

Opinnäytetyö (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikka

Biotekniikka

2013

Jami Torikka

PAINEILMAVERKON OPTIMOINTI



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Bio- ja elintarviketekniikka | Biotekniikka

2013 | 45 sivua

Ohjaaja: Annikka Kajanen

Jami Torikka

PAINEILMAVERKON OPTIMOINTI

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa Neste Oil Naantalin jalostamon paineilman tuotantoa energiatehokkuuden tehostamiseksi. Työ aloitettiin työilmaverkon kartoituksella, jonka tavoitteena oli löytää verkostosta turhia käyttökohteita, jonne ilman syötön voisi katkaista. Turhien verkon osien sulkemisen jälkeen työilmakompressori vaihdettiin tuotannoltaan sopivampaan malliin. Tämän jälkeen työilmaverkon painetta laskettiin parempaan arvoon ottaen huomioon jalostusprosessin vaatimukset.

Instrumentti-ilmaverkon osalta tehtiin vuotokartoitus ja -paikkaus ulkoisen yrityksen toimesta. Tämän jälkeen tehtiin instrumentti-ilmaverkon koeajot, jonka tavoitteena oli laskea verkon painetta optimiin arvoon. Koeajojen tarkoituksena oli myös nähdä, miten paineen lasku vaikuttaa eri verkon osien paineisiin.

Työilmaverkon osalta optimointi sujui suunnitellusti ja kulutusta saatiin laskettua noin 300 nm³/h ja painetta noin 1 baari. Instrumentti-ilmaverkon kanssa koeajot aiheuttivat huomattavia ongelmia, eikä painetta saatu laskettua ollenkaan. Vuotojen paikkaamisella saatiin kuitenkin noin 100 nm³/h kulutussäästöt. Rahallisesti mitattuna säästöä tuli noin 47 000 € / a. Energiankulutus pieneni yhteensä 806 MWh / a.

ASIASANAT:

paineilma, paineilmaverkko, paineilmajärjestelmä, pneumatiikka, energiatehokkuus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme in Biotechnology and Food Technology | Biotechnology

2013 | 45 pages

Instructor: Annikka Kajanen, Senior Lecturer

Jami Torikka

OPTIMIZATION OF COMPRESSED AIR NETWORK

The objective of this Bachelor's Thesis was to energy efficiently improve the production of compressed air in Neste Oil Naantali refinery. The project was started by mapping out the working air network with the purpose of discovering unnecessary areas where the supply of compressed air could be shut off. After this the working air compressor was replaced with a more suitable model. After the replacement the pressure of the working air network was lowered to a more energy efficient value considering the refining processes requirements.

The instrumentation air network was mapped out and repaired for any leakage by an external contractor. After this the instrumentation air network was test ran to lower the pressure to a more optimal value. The purpose of the test run was also to see how the lower pressure would affect different areas in the network.

The optimization process for the working air network was successful and the network air consumption was reduced by 300 nm³/h and pressure by 1 bar. The test run for the instrumentation air network was unsuccessful and caused significant difficulties. The pressure for the instrumentation air network was not lowered, but the leakage patching reduced the consumption of air by 100 nm³/h. The total savings for both networks were about 47 000 €/a and energy savings 806 MWh/a.

KEYWORDS:

compressed air, compressed air network, pneumatic system, pneumatics, energy efficiency

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET (TAI SANASTO)	7
1 JOHDANTO	8
2 PAINEILMAN TUOTANTO	9
2.1 Paineilmajärjestelmä	9
2.2 Kompressorityypit	10
2.2.1 Ruuvikompressorit	11
2.2.2 Tuoton säätö	12
2.3 Paineilmasäiliö	13
2.4 Paineilman jälkikäsittely	14
2.4.1 Paineilman kuivaus	14
2.4.2 Öljyn suodatus	17
2.4.3 Partikkeleiden suodatus	17
2.5 Paineilman laatu	18
2.6 Siirtäminen	20
2.7 Vuodot	23
2.8 Puristuslämmön talteenotto	23
3 NESTE OIL	24
3.1 Naantalın Jalostamo	24
3.1.1 Huoltoseisokki 2012	25
3.1.2 Jalostamon paineilmaverkko	26
4 ENERGIATEHOKKUUS	29
4.1 Paineilman energia-analyysimalli	30
4.2 CARE+	30
4.3 Naantalın Jalostamon energiatehokkuusprojekti	31
5 PAINEILMAVERKON OPTIMOINTI	32
5.1 Työilmaverkon kartoitus	32
5.2 Instrumentti-ilmaverkon vuotokartoitus	33
5.3 Työilmaverkon optimointi	34
5.4 Instrumentti-ilmaverkon optimointi	34

6 TULOKSET	36
6.1 Työilmaverkko	36
6.2 Instrumentti-ilmaverkko	38
6.3 Paineen ja kulutuksen pienenemisestä saadut säästöt	38
7 YHTEENVETO JA KEHITYSEHDOTUKSET	40
7.1 Vuotokartoitukset	41
7.2 Työilman kuivaus	41
7.3 Työ- ja instrumentti-ilman yhdistäminen	42
7.4 Instrumentti-ilmaverkon parannus	42
7.5 Paineilman vuokraus	43
LÄHTEET	44

LIITTEET

- Liite 1. Työilmaverkon ilmanpaineet ja -kulutus
- Liite 2. Instrumentti-ilmaverkon ilmanpaineet ja -kulutus
- Liite 3. Työ- ja instrumentti-ilmaverkon kuukausittaiset paineen keskiarvot kuvaajana
- Liite 4. Työ- ja instrumentti-ilmaverkon kuukausittaiset ilmentkulutuksen keskiarvot kuvaajana
- Liite 5. Työ- ja instrumentti-ilmaverkon kuukausittaiset ilmentkulutuksen ja paineen keskiarvot taulukoituna
- Liite 6. Paineilmaverkon koeajosuunnitelma
- Liite 7. Instrumentti-ilmaverkon vuotokartoituksen yhteenveto
- Liite 8. Esimerkki havaituista instrumentti-ilmaverkon vuodoista ja niiden merkitsemisestä
- Liite 9. Satelliittikuva jalostamoalueesta, johon on merkattu työilman käyttökohteet

KUVAT

Kuva 1. Paineilmajärjestelmän kaaviokuva.	10
Kuva 2. Kompressorien sukupuu. ⁴	11
Kuva 3. Suoratoimisen ruuviyksikön rakenne.	12
Kuva 4. Paineilman jälkikäsitteilylaitteisto. ¹¹	14
Kuva 5. Adsorptiokuivain. ¹⁴	16
Kuva 6. Putkiston mitoitusnomogrammi.	21
Kuva 7. Paineilmaverkkojen rakennemuotoja. ²	22
Kuva 8. Ilmakuva Naantalin jalostamosta.	25
Kuva 9. Jalostamon instrumentti-ilman tuotantokaavio.	26

TAULUKOT

Taulukko 1. Paineilman laatuluokat. ¹⁷	18
Taulukko 2. Naantalin jalostamon paineilmakompressorit.	28
Taulukko 3. Työilmaverkolle tehdyt toimenpiteet.	33
Taulukko 4. Työilmaverkon optimoinnista saatujen säästöjen laskelma.	37
Taulukko 5. Instrumentti-ilmaverkon optimoinnista saatujen säästöjen laskelma.	38
Taulukko 6. Arvio kulutuksen pienenemisestä saaduista säästöistä laitteiden huoltokuluissa	39

KÄYTETYT LYHENTEET (TAI SANASTO)

API	Jäteöljyn keruualtaat
JVL	Jätevesilaitos
KARP	Katalyytin rikinpoistoyksikkö
kWh	Kilowattitunti
LT	Liuotintislausyksikkö
MWh	Megawattitunti
nm ³	ISO 1217 standardin mukainen kuutiometri ilmaa
REF	Reformointiyksikkö
TWh	Terawattitunti

1 JOHDANTO

Energiatehokkuus on noussut yhdeksi suurimmista yritysten tehostamiskeinoista liittyen sähkön ja lämmön kulutuksen pienentämiseen ja tätä kautta säästöjen saavuttamiseen. Työ- ja elinkeinoministeriön tavoitteena on vähentää energiankulutusta 20 % vuoteen 2020 mennessä, joka osaltaan kannustaa yrityksiä etsimään energiankulutukseen liittyviä säästökohteita.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli optimoida Neste Oil Naantalin Jalostamon paineilmaverkko osana koko konsernia koskevaa energiatehokkuusprojektia. Paineilma on jalostamolla välttämätön hyödyke, sillä öljyn jalostuksessa syntyy erilaisia räjähdysalttiita kaasuja, jotka estävät muiden, esimerkiksi sähköllä toimivien, toimilaitteiden käyttämisen. Sen sijaan käytetään paineilmalla toimivia venttiileitä, työkaluja ja muita laitteita. Jalostamolla paineilmaverkosto on jaettu kahteen osaan: työ- sekä instrumentti-ilmaverkkoon.

Optimointi tehtiin kartoittamalla työilman kannalta turhat verkon osat sekä sulkeamalla niitä tilanteen mukaan. Samalla pyrittiin löytämään oikeat verkon painetasot. Lisäksi työilmakompressori vaihdettiin tuotoltaan sopivampaan malliin. Instrumentti-ilmaverkon osalta selvitettiin verkon vuotokohdat ja toteutettiin koeajot, joiden tarkoituksena oli löytää painetasolle sopivat arvot ja nähdä, miten paineen alennus vaikuttaa verkon eri osien paineeseen.

2 PAINEILMAN TUOTANTO

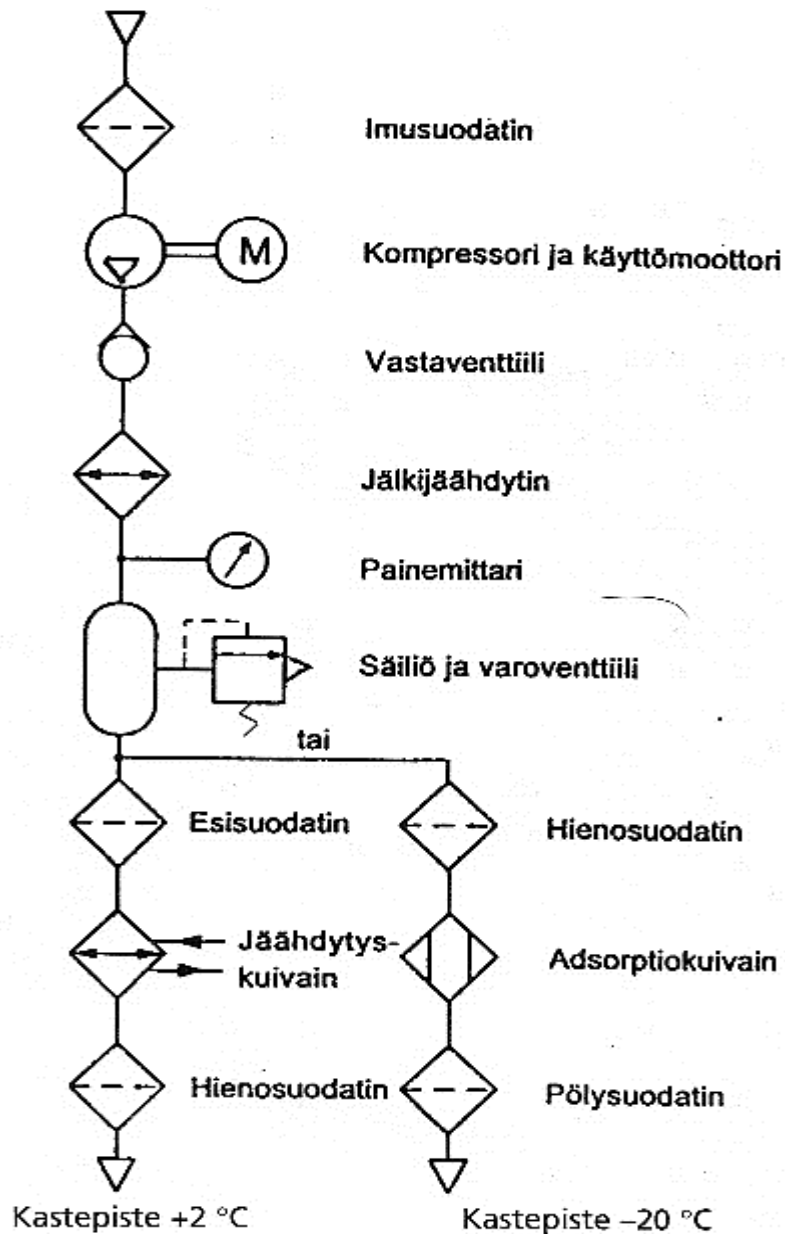
Paineilma on ilmaa, joka on kompressorin avulla puristettu korkeampaan paineeseen kuin mitä ympäröivän ilmakehän paine on. Tyypillinen painejärjestelmä, joka toimii 7 baarin paineella, puristaa ilman 1/8:een osaan alkuperäisestä tilavuudesta.

Paineilma on yksi teollisuuden energiaintensiivisimmistä käyttöhyödykkeistä, joten paineilman energiatehokkuuteen liittyvät ratkaisut ovat hyviä tapoja vähentää tehtaan energiankulutusta. Tyypillisen 7 baarin paineeseen puristetun ilman teoreettinen maksimihyötysuhde tehonsiirrossa on 32 %. Kitka-, vuoto- ja paisuntahäviöt huomioitaessa todellinen hyötysuhde putoaa yleensä alle 5 %:iin.¹

Paineilmaa välitetään tehtaassa yleensä kiinteän verkoston avulla. Verkostoon syötetään ilmaa kompressoreiden kautta, joiden jälkeen ilma kuivataan ja johdetaan putkia ja letkuja pitkin käyttökohteisiinsa.² Paineilma on hyötysuhteeltaan hyvin huono, mutta välttämätön hyödyke monissa tehdassovelluksissa.²⁵

2.1 Paineilmajärjestelmä

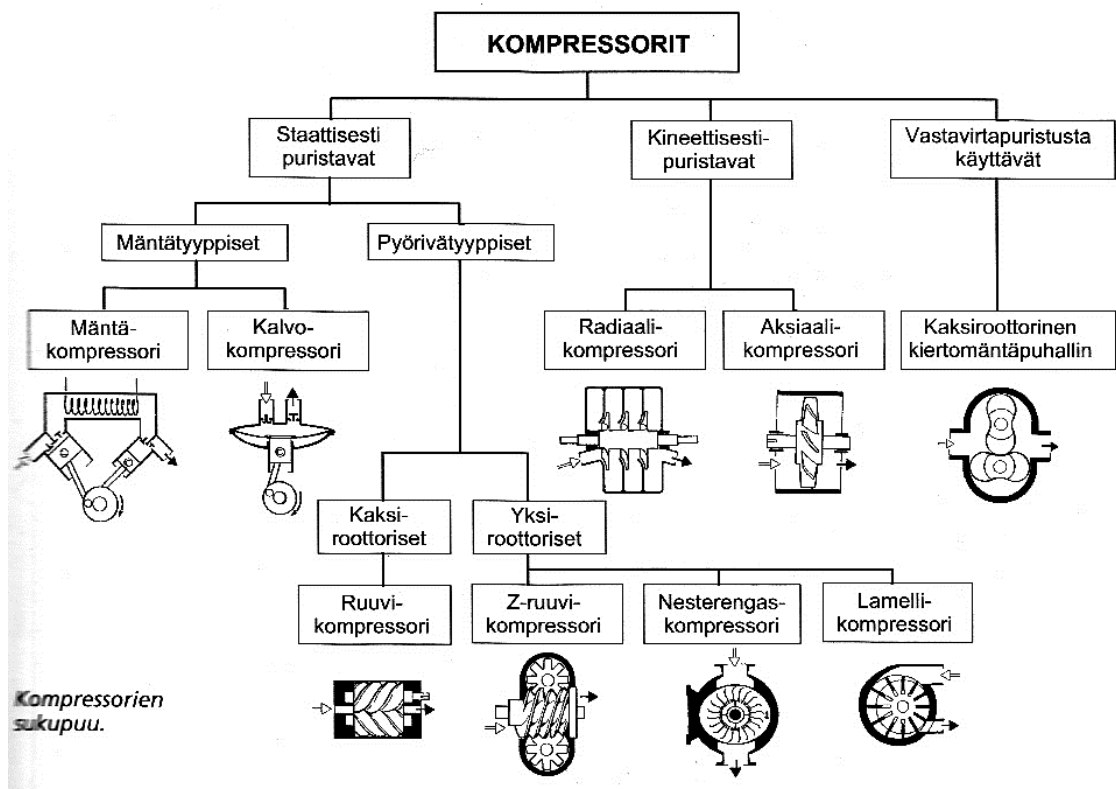
Tavallisesti paineilmajärjestelmään kuuluu kompressori, jälkikäsitteilylaitteet, paineilmasäiliö sekä -verkosto, järjestelmän toimintaa ohjaavat venttiilit sekä toimilaitteet. Paineilmasäiliö ei ole välttämätön, mutta se auttaa tasaamaan verkon painetta sekä toimii painevarastona.³ Paineilmajärjestelmää on havainnollistettu kuvalla 1.



Kuva 1. Paineilmajärjestelmän kaaviokuva.⁴

2.2 Kompressorityypit

Laitteesta, jolla voidaan nostaa kaasun painetta vähintään kaksinkertaiseksi verrattuna imupaineeseen, kutsutaan yleisnimellä kompressor. Kompressoreiden tuottomäärät ja -tekniikat vaihtelevat suuresti. Kuvassa 2 näkyy kompressoreiden sukupuu.



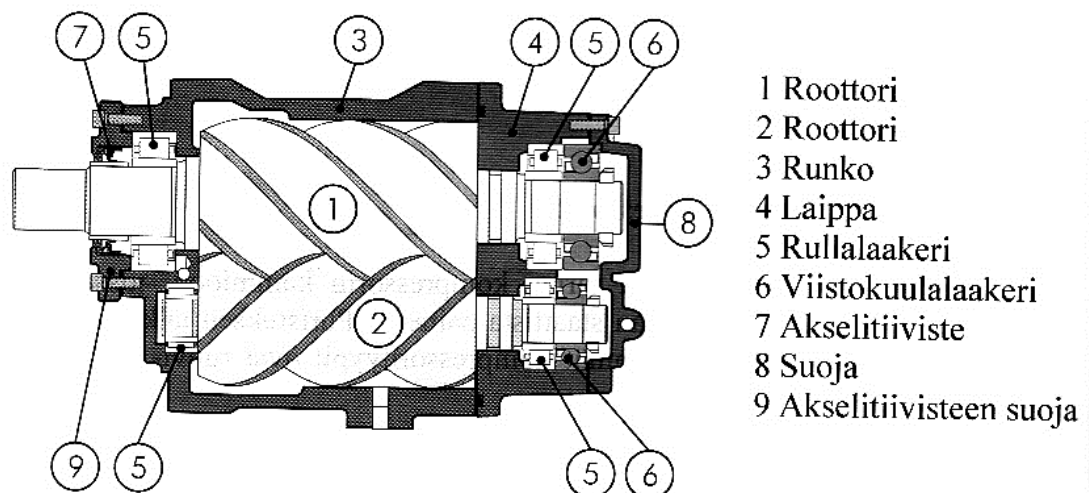
Kuva 2. Kompressorien sukupuu.⁴

Nykyään yleisimmät kompressorityypit ovat ruuvi-, mäntä- ja lamellikompressoireita. Tässä yhteydessä tutustutaan ainoastaan Naantalin jalostamolla käytettyyn kompressorityyppiin eli ruuvikompressoireihin.

2.2.1 Ruuvikompressoiret

Ruuvikompressoireissa ilman puristus tapahtuu ruuviyksikössä ruuvi- ja luistiroottorin väliin jäävässä urissa. Ruuviyksikköä ympäröi pesä, joka tiivistää roottoreiden ulko- ja päätypinnat. Ruuvikompressoireilla tuotettu paineilma on sykkeetöntä, sillä roottorit pyörivät ja puristavat ilmaa tasaisesti. Tämän takia kompressoireiden jälkeen ei välttämättä tarvita painesäiliötä tasaamaan ilman sykkyä. Jos ruuvi-

kompressorin rottorit koskettavat toisiaan, tarvitaan öljyä voitelemaan rottöreita. Tällöin öljyä sekoittuu myös tuotettavan ilman joukkoon ja se täytyy poistaa jälkikäsitteilylaitteilla. Jos rottorit eivät kosketa toisiaan, öljyvoitelua ei tarvita, eikä öljyä näin ollen tarvitse poistaa tuotettavasta ilmasta.⁵ Suoratoimisen ruuviyksikön toimintaa on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3. Suoratoimisen ruuviyksikön rakenne.⁶

Öljyvoidelluissa koneissa painesuhde on 13-15 ja öljyvapaissa koneissa 3-5. Ruuvikompressoreissa ei tarvita imu- tai paineventtiileitä. Ruuvikompressorit voivat olla joko ilma-, öljy- tai vesijäähdytteisiä.⁷

2.2.2 Tuoton säätö

Säätöjärjestelmän tehtävä on ohjata kompressorin tuottoa ilmantarpeen mukaiseksi ja minimoida kompressorin sähkönkulutus.⁸ Ruuvikompressoreiden kohdalla säätötoimia ovat mm. käyntinopeuden muutos, imuvirtauksen kuristus sekä luisti- tai kiertoventtiilisäädöt.⁹

Käyntinopeuden muutos tehoalueella 100-50 % maksimituotosta on helppoa, kun käyttömoottorina on polttomoottori. Taajuusmuuntajan avulla säätö on mahdollista myös oikosulkumoottorissa, mutta kustannussyistä tämä ei aina ole kannattavaa.⁹ Käyntinopeuden säädössä säätöjärjestelmä mittaa järjestelmän ilmanpainetta. Jos paine nousee yli asetetun tavoitteen, järjestelmä ohjaa taajuusmuuntajaa laskemaan moottorin pyörintänopeutta. Jos vastaavasti paine laskee alle asetetun tavoitteen, järjestelmä ohjaa taajuusmuuntajaa nostamaan moottorin pyörintänopeutta. Käyntinopeuden säädössä kompressorin hakeutuu paineen mukaan tuottamaan tarkalleen tarvittavan määrän ilmaa.⁸

Imuvirtauksen kuristus toteutetaan imulinjaan asennetun läppä- tai lautasventtiilin avulla. Kuristus voidaan toteuttaa jatkuvana välillä 100-0 % tai kaksipistesäätönä tuotoilla 100 % ja 0 %. Kaksipistesäätö vaatii kompressorin jälkeen painesäiliön. Kaksipistesäädön etuna on parempi kokonaishyötysuhde suurimmalla osalla ilmankulutusalueella. Jos tyhjäkäyntijaksot muodostuvat pitkiksi, voidaan kompressorin pysäyttää joksikin aikaa.⁹

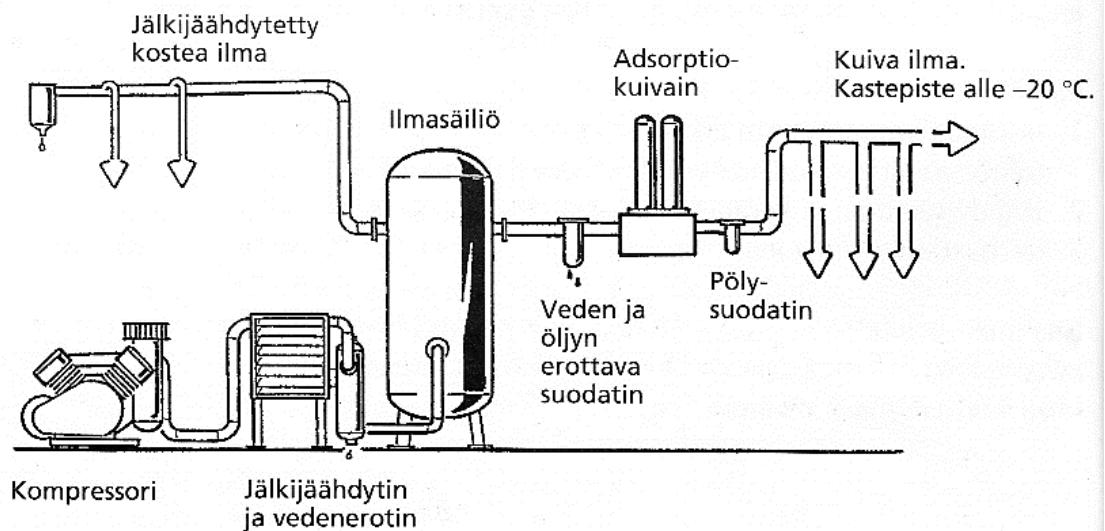
Jäähdytyskompressoritekniikasta lähtöisin olevan luisti- tai kiertuventtiilisäädön periaatteena on se, että osa ruuviyksikön roottoreiden väliin ohjatusta ilmasta johdetaan takaisin imutilaan ennen puristuksen alkamista. Puristuksen alkamis- ja päättymishetkeä voidaan näin siirtää sisäisen painesuhteen säilyttämiseksi.⁹

2.3 Paineilmasäiliö

Paineilmajärjestelmään kuuluu lähes aina paineilmasäiliö. Sen tehtävänä on tasoiittaa kompressorin aikaansaamat ilmansysäykset, ja näinollen toimittaa paineilma verkkoon tasaista paineilmaa. Säiliö myös jäähdyttää ilmaa ja kerää tiivistynyttä vettä ja toimii verkon painevarastona. Jäähdytysominaisuuksiensa takia paineilmasäiliö suositellaan sijoitettavaksi kompressorihallin ulkopuolelle varjoisaan paikkaan.¹⁰

2.4 Paineilman jälkikäsitely

Jälkikäsitelyn tarkoituksena on muuttaa paineilma käyttökohteisiin sopivaksi. Paineilmaa tuottaessa ilmaan syntyy haitallisia aineita mm. öljyn, veden ja pölyn muodossa. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki tavallisimmista paineilman jälkikäsitelylaitteista.



Kuva 4. Paineilman jälkikäsitelylaitteisto.¹¹

Jälkikäsitelylaitteistoon kuuluvat tavallisesti jälkijäähdytin, ilmankuivain sekä öljynerotus- ja muut suodattimet.¹¹

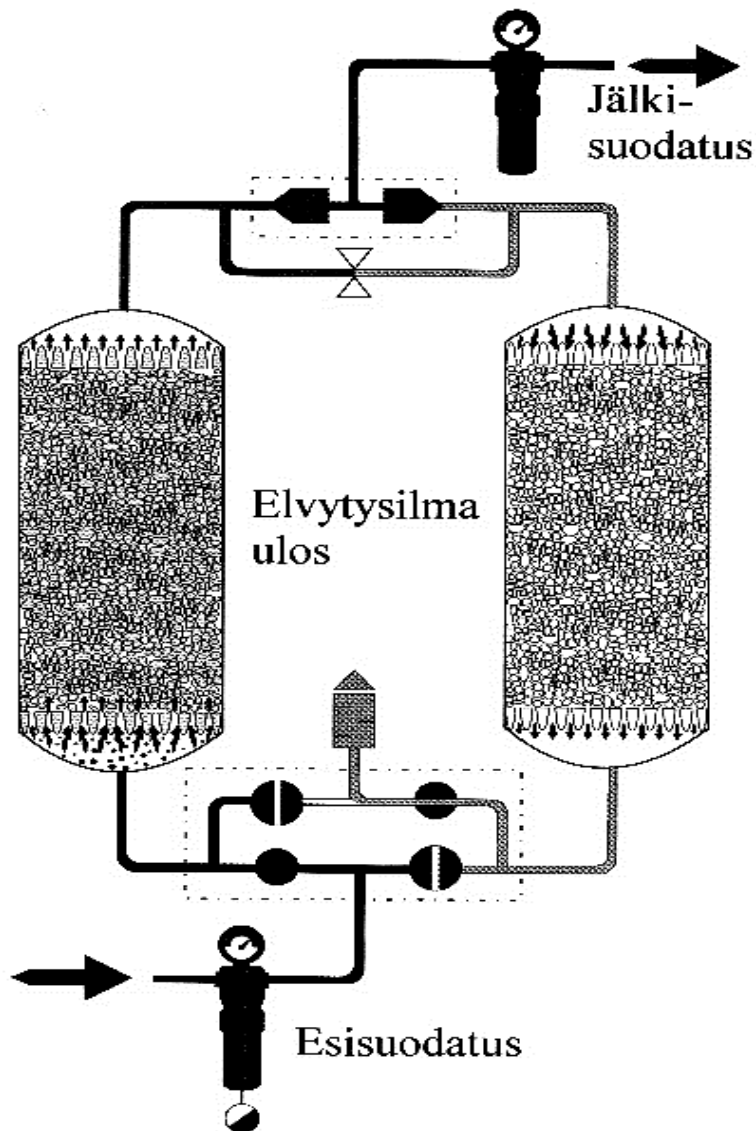
2.4.1 Paineilman kuivaus

Imusuodatuksessa huolimatta osa ilmasta olevasta kosteudesta siirtyy kompressorin puristusvaiheiden läpi tuotettuun paineilmaan, yleensä höyryn muodossa. Kun paineilma jäähtyy, tämä höyry tiivistyy vedeksi. Paineilmajärjestelmien suurin ongelma on nestemäisessä muodossa oleva vesi. Tämän vuoksi paineilma

yleensä kuivataan käyttäen eri menetelmiä.¹² Yleensä kompressoreiden jälkeen on välittömästi jälkijäähdytin sekä vedenerotin. Jälkijäähdytin on lämmönvaihdin, joka jäähdyttää tuotetun paineilman ja poistaa siitä vettä. Jälkijäähdyttimen vedenpoistokyky on 80-90 % tulevan ilman absoluuttisesta kosteudesta.¹³

Jäähdytyskuivaimessa kuivattava ilma ja jäähdyttävä kylmäaine kulkevat omissa kiertopiireissään. Kuivattava ilma saapuu lämmönvaihtimen ja vedenerottimen läpi tuloilmaputkeen. Vastaavasti kuivattu kylmä ilma johdetaan tuloilmaputkea ympäröivään vaippaan, jolloin se lämpenee ja se siirretään paineilmajärjestelmään. Tuloilmaputkeen tullut lämmin, kuivattava ilma vastaavasti jäähtyy ja osa kosteudesta erottuu vedenerottimeen. Kuivattava ilma johdetaan edelleen jäähdytyspiiriin, jossa ilma jäähtyy kylmäaineen avulla. Ilmassa jäljellä oleva kosteus kondensoituu ja se poistetaan vedenerottimen avulla.¹³

Adsorptiokuivaimessa kiinteä tai nestemäinen aine sitoo vesimolekyylejä pinnalleen. Kuivatettava ilma johdetaan kuivausainesäiliöön, missä kuivausaine sitoo paineilmaista vesimolekyylit. Kuva 5 havainnollistaa adsorptiolaitteiston toimintaa.



Kuva 5. Adsorptiokuivain.¹⁴

Säiliön jälkeen kuivattu ilma johdetaan paineilmaverkkoon. Adsorptiokuivaimissa on yleensä kaksi rinnakkaista säiliötä, joista toinen on aina käytössä, ja toista elvytetään lämpimällä ilmavirtauksella tai sähkövastuksilla. Adsorptiokuivaimella voidaan saavuttaa -30 - -90 °C kastepiste.¹⁴

Naantalın Jalostamolla käytössä on kompressoreiden omien jälkijäähdyttimien lisäksi yksi adsorptiokuivain.

2.4.2 Öljyn suodatus

Öljy esiintyy paineilmassa sumuna, kaasuna tai nesteenä. Öljynsuodattimissa käytetään kolmea eri suodatustekniikkaa: mekaanista, yhdistymis- ja adsorptiosuodatusta.

Mekaanisessa suodatuksessa öljypartikkeleiden eteneminen estetään suodatinverkolla, jonka reikien koko on partikkeleita pienempi. Mekaaniset suodattimet ovat tehokkaita, mutta aiheuttavat suuren painehäviön.

Yhdistymissuodattimessa öljypisarat virtaavat suodattimen eri kerrosten läpi ja yhdistyvät suurimmiksi öljypartikkeleiksi. Suuret pisarat tarttuvat suodatinelementtiin ja valuvat pois.

Adsorptiosuodatuksessa sidotaan epäpuhtaudet suodattimen pintaan adheesioavulla.¹⁵

2.4.3 Partikkeleiden suodatus

Kompressori imee jokaisen ilmakeuutiometrin mukana keskimäärin 190 miljoonaa likahiukkasta, hiilivetyjä, viruksia ja bakteereja. Suurin osa epäpuhtauksista siirtyy kompressorin läpi tuotettuun paineilmaan. Useimmat paineilman käyttökohdet vaativat ilman olevan puhdasta ja suodattimet määräytyvät vaaditun puhdistusasteen mukaan. Erilaisia suodattimia ovat esi- ja jälkisuodattimet, mikro-suodattimet, mikro- ja aktiivihiihliisuodattimien yhdistelmät sekä steriilisuodattimet.¹⁶

Esisuodattimet ovat pronssisia, rakenteeltaan karkeita suodattimia. Esisuodattimien tarkoitus on poistaa kiinteitä partikkeleita ja öljyä sekä estää vesipisaroiden pääsy kuivaimeen.

Hienosuodattimet ovat yleissuodattimia teollisuuden käyttöön. Suodatinelementtien erotuskoko vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan.

Mikrosuodattimet ovat käyttötarkoitukseltaan hienompia yleissuodattimia. Mikrosuodattimia käytetään esisuodattimina adsorptiokuivaimelle.

Steriilisuodattimia käytetään yleisimmin sairaaloissa ja lääkeaineteollisuudessa. Suodatinelementtien tulee olla kemiallisesti, biokemiallisesti ja biologisesti neutraaleja.

Pölysuodattimia käytetään adsorptiokuivaimen jälkeen. Adsorptioaineesta syntyy hienojakoista pölyä, joka voi olla haitallista paineilma-verkolle tai käyttökohteille.¹⁵

2.5 Paineilman laatu

ISO -standardi 8573-1 määrittelee paineilman laatuluokat. Laatuluokissa määritellään kiinteiden partikkelien maksimikokoa sekä määrää, kastepistettä paineenalaisena sekä öljyn maksimipitoisuutta.¹⁷ Taulukko 1 havainnollistaa standardin mukaisia paineilman laatuluokkia.

Taulukko 1. Paineilman laatuluokat.¹⁷

Laatu - luokka	Kiinteät partikkelit		Kastepiste °C	Öljypitoisuus mg/m ³
	koko µm	määrä mg/m ³		
1	0.1	0.1	- 70	0.01
2	1	1	- 40	0,1
3	5	5	- 20	1
4	15	8	+ 3	5
5	40	10	+ 7	25
6	-	-	+ 10	-
7	-	-	-	-

Merkittävimmät epäpuhtaudet, jotka syntyvät paineilmaan kompressorin ja jälkikäsitteilylaitteiden jälkeen ovat vesihöyry, öljy, hiukkaset, kaasut sekä jälkikäsitteilystä syntyvät epäpuhtaudet.¹⁸

Imuilman mukana siirtynyt kosteus kulkee kompressorin läpi ja on puristuksen jälkeen höyrymäisessä muodossa. Paineilmajärjestelmän lämpötilan laskiessa

myös vesihöyryn lämpötila laskee, ja lopulta vesihöyry tiivistyy vedeksi. Paineilman kuivaus on ainut menetelmä, jolla tavanomaisen paineilmajärjestelmän vesihaitat voidaan täysin poistaa.¹⁸

Kaikista öljyvoidelluista paineilmakompressoreista siirtyy öljyä paineilman joukkoon. Öljystä ei ole varsinaista haittaa kaikissa käyttökohteissa, ja se toimii jonkinasteisena korroosiosuojana putkistoissa. Toisaalta kompressorin voiteluöljy ei ole ominaisuuksiltaan sovelias voiteluaine paineilmatyökaluille. Yhdellä suodattimella päästään tyydyttävään lopputulokseen, mikäli käyttökohteet sallivat pieniä määriä öljyä. Täysin öljytöntä ilmaa vaativien laitteiden kohdalla tulisi käyttää öljyvapaata kompressoria, sillä useat suodattimet aiheuttavat huomattavia painehäviöitä ja huoltokustannuksia.¹⁸

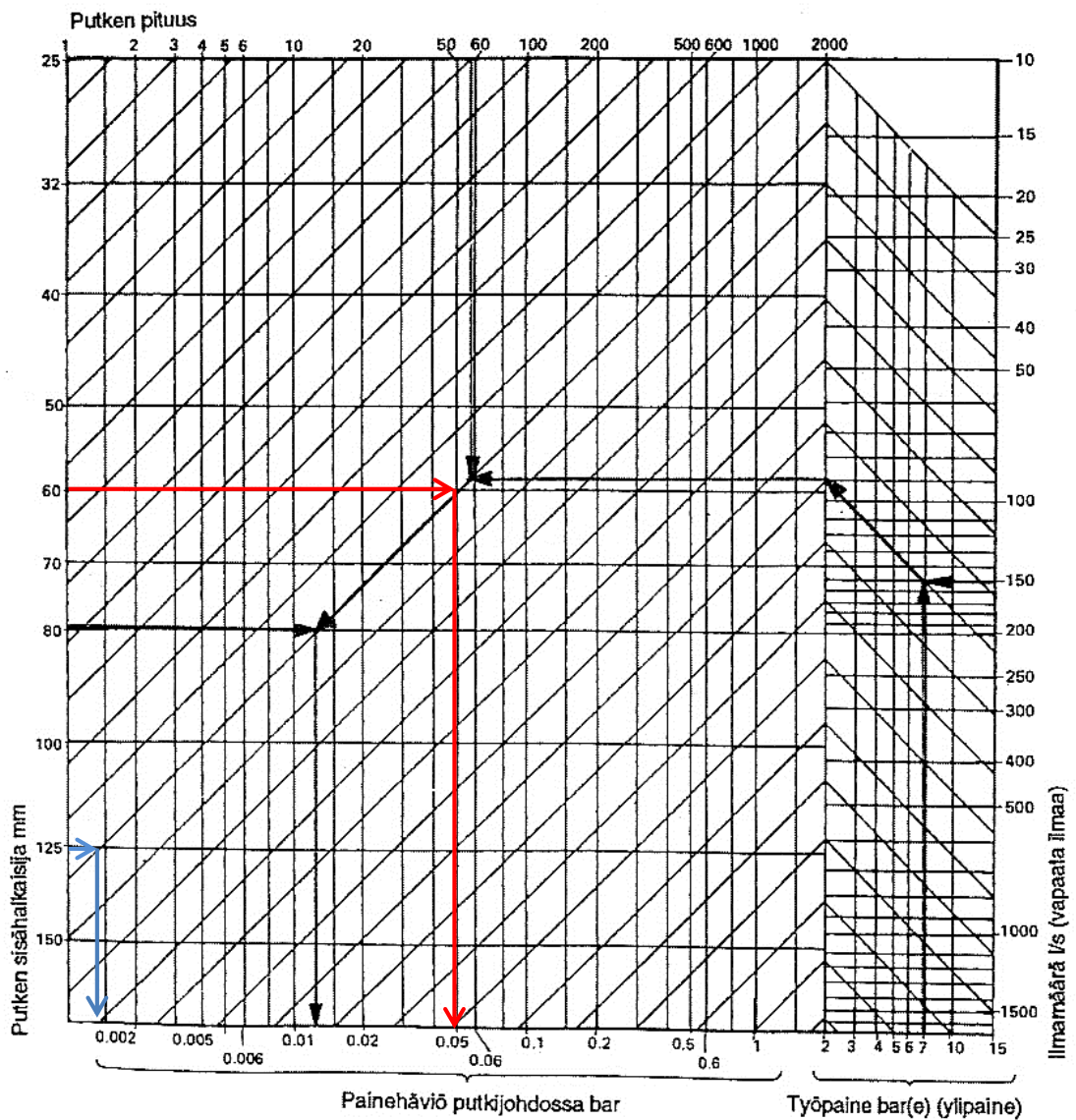
Imuilman mukana siirtyy esisuodattimista huolimatta jonkin verran erikokoisia kiinteitä hiukkasia paineilmaan. Niitä syntyy myös kompressorista sekä putkistosta kulumisen takia. Suurin osa poistuu paineilmajärjestelmässä lauhteenpoistimien kautta. Mikäli paineilmajärjestelmässä käytetään hiukkasille herkkiä laitteita, tulee ilma suodattaa ennen kyseistä laitetta.¹⁸

Teollisuuslaitoksissa esiintyy usein savu- ja muita teollisuuskaasuja. Joissain tapauksissa nämä kaasut voivat olla hyvin syövyttäviä paineilmajärjestelmässä. Tämän lisäksi teollisuuskaasujen haitalliset ainesosat voivat konsentroitua adsorptiokuivaimen aiheuttaen haittaa kuivainta käsitteleville henkilöille. Tämän takia imuilma tulisi aina ottaa paikasta, missä haitallisten kaasujen pitoisuus on mahdollisimman pieni. Mikäli tämä ei ole mahdollista, tulee käyttää imuilman pesuria.¹⁸

Jälkikäsitteystä syntyvät epäpuhtaudet koskevat lähinnä adsorptiokuivaimia. Näissä käytetty kiinteä kuivausaine hiertyy ajan mukaan hienojakoiseksi pölyksi. Tämä pöly poistetaan yleensä pölysuodattimilla, jotka on asennettu välittömästi kuivaimen jälkeen.¹⁸

2.6 Siirtäminen

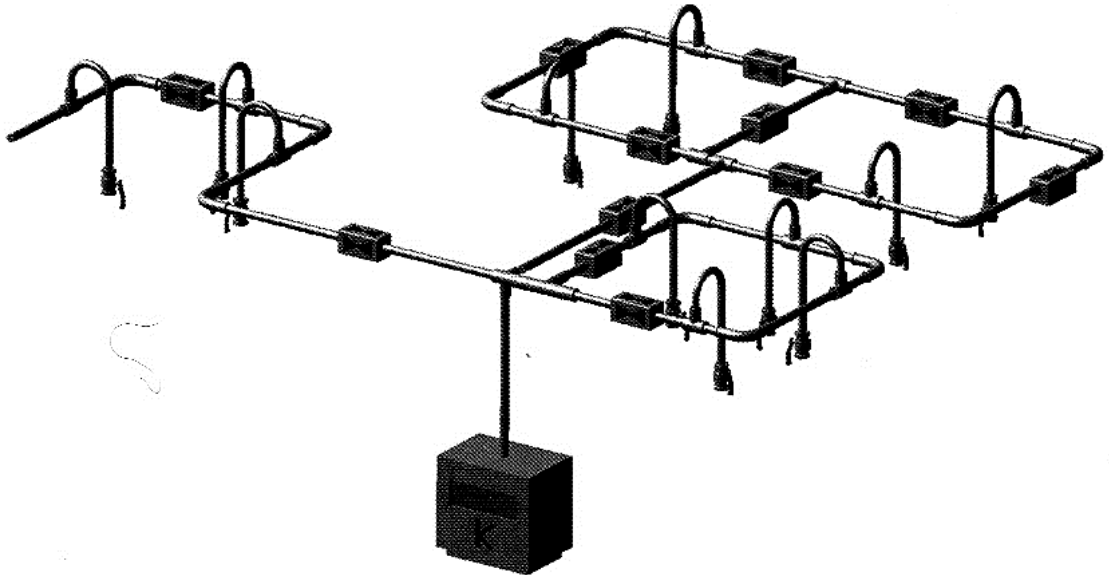
Paineilma siirtäminen tapahtuu paineilmakeskuksen syöttöputken kautta runkoverkkoon. Runkoputkesta paineilma johdetaan jakeluputkilla laitteiden ja työkalujen liitännöihin. Runkoputken halkaisija pyritään pitämään mahdollisimman suurena, jolloin painehäviö pysyy maltillisempana. Tämän voi havainnollistaa suoraan seuraavan sivun mitoitusnomogrammista (kuva 6). 7 baarin paineella toimivassa verkossa, missä ilmamäärä on 150 l/s, 60 m mittaisen putken sisähalkaisijan muuttuessa 60 mm:stä (punainen viiva) 125 mm:iin (sininen viiva), pienenee painehäviö putkessa noin 0,05 baarista -> 0,002 baariin. Putken pituuden kasvaessa myös painehäviöt kasvavat. Lisäksi liian pieni putkikoko aiheuttaa ilman riittämättömyyttä työkaluissa ja toimilaitteissa kulutushuippujen aikana.²



Kuva 6. Putkiston mitoitusnomogrammi.¹⁹

Paineilmaverkon rakenne voi olla suora, rengasmainen tai näiden yhdistelmä. Suorassa verkossa käytetään yhtä etenevää runkoputkea, josta jakeluputkien avulla paineilma johdetaan käyttökohteisiinsa. Suora rakenne on yksinkertainen ja soveltuu käytettäväksi pienissä järjestelmissä. Verkon haittapuolena on yksisuuntaisuus; kun verkko suljetaan jostain pisteestä, ilman virtaus koko loppuverkoon estyy. Tämän lisäksi laajennusmahdollisuudet ovat vaikeasti toteutettavissa

painehäviöiden vuoksi. Paineenvaihtelua aiheuttavien suurien ja satunnaisten ilmamäärien saamiseksi voidaan verkon eri vaiheisiin asentaa lisäpainesäiliöitä.² Kuvassa 7 on esitetty eri paineilmaverkkojen rakennemuotoja.



Kuva 7. Paineilmaverkkojen rakennemuotoja.²

Rengasmaisessa verkossa on huomattavia etuja verrattuna suoraan verkkoon. Vastaavasti rakenteeltaan rengasverkko on monimutkaisempi ja kalliimpi toteutukseltaan. Rengasverkossa paineilman virtaus tapahtuu aina kahta reittiä pitkin. Runkoputkissa on myös sulkuventtiileitä, jolloin osa verkosta voidaan eristää muiden osien häiriintymättä. Putkiston tilavuus on suuri ja painetaso pysyy vakaana, jolloin verkosto itsessään toimii painesäiliön apuna.²

Suoran ja rengasverkon yhdistelmässä rengasverkkoon voidaan lisätä lyhyitä suoria haaroja kulutuskohteen saavuttamiseksi tai verkon laajentamiseksi. Ominaisuudet määräytyvät edellä mainittujen verkkotyyppien mukaisesti.²

2.7 Vuodot

Paineilmajärjestelmän varteenotettavimpia häviötekijöitä ovat erilaiset vuodot. Vuodon määrä on riippuvainen vuotokohtien muodosta sekä paineesta. Yleisimpiä vuotokohtia ovat putkiliitokset, venttiilit, liittimet, työkalut sekä lauhteenpoistimet. Vuotojen energiankulutus voi muodostaa vuositasolla huomattavia kustannuksia. Vuotojen etsiminen ja paikallistaminen on usein vaikeaa. Suuret vuodot todetaan usein kuulon avulla ja pienempiä vuotoja voidaan etsiä erilaisten ruis-kutettavien aineiden avulla sekä ultraäänivuotomittareiden avulla. Kokonaisvuotomäärän pitäisi pysyä alle 5 %:n tasolla, jota voidaan pitää vielä kohtuullisena.²⁰ Vuodot tulisi tarkastaa neljä kertaa vuodessa.²¹

2.8 Puristuslämmön talteenotto

Yli 90 % kompressorin aksiaalitehosta poistuu jäähtymisen (ilma, vesi) yhteydessä. Tätä lämpöä voi hyödyntää lämpimän käyttöveden lämmitykseen, lumen sulattamiseen tai pesuveden lämmitykseen. Hyödyntämiskäytännöt ovat aina tapauskohtaisia.²¹

3 NESTE OIL

Neste Oil on suomalainen öljynjalostukseen ja -markkinointiin keskittynyt yritys. Neste Oil on keskittynyt liikennepolttoaineisiin sekä muihin jalostettuihin öljytuotteisiin. Neste Oilin jalostamot sekä tuotantolaitokset tuottavat mm. kevyitä ja raskaita polttoöljyjä, bensiiniä sekä NExBTL – dieselpolttoainetta. Neste Oil omistaa Suomessa kaksi öljynjalostamoita, Porvoon jalostamon sekä Naantalın jalostamon. Neste Oil työllistää maailmanlaajuisesti noin 5000 henkilöä ja sen liikevaihto vuonna 2011 oli 15,4 miljardia euroa.²²

3.1 Naantalın Jalostamo

Naantalın erikoistuotejalostamo on Suomen ensimmäinen öljynjalostamo. Jalostamo aloitti toimintansa vuonna 1957. Naantalın jalostamo on Porvoon jalostamoon verrattuna pieni, mutta erikoistumisensa ansiosta Naantalın jalostusmarginaali on korkeampi kuin muiden vastaavan kokoisten jalostamoiden. Kaikki jalostettava raakaöljy tuodaan laivoilla jalostamon öljysatamaan. Sataman kautta kulkee noin neljä miljoonaa tonnia öljyä vuodessa. Kuvassa 8 on ilmakeku Naantalın jalostamosta, johon on merkitty punaisella paineilman tuotantolaitos.



Kuva 8. Ilmakuva Naantalin jalostamosta.²³

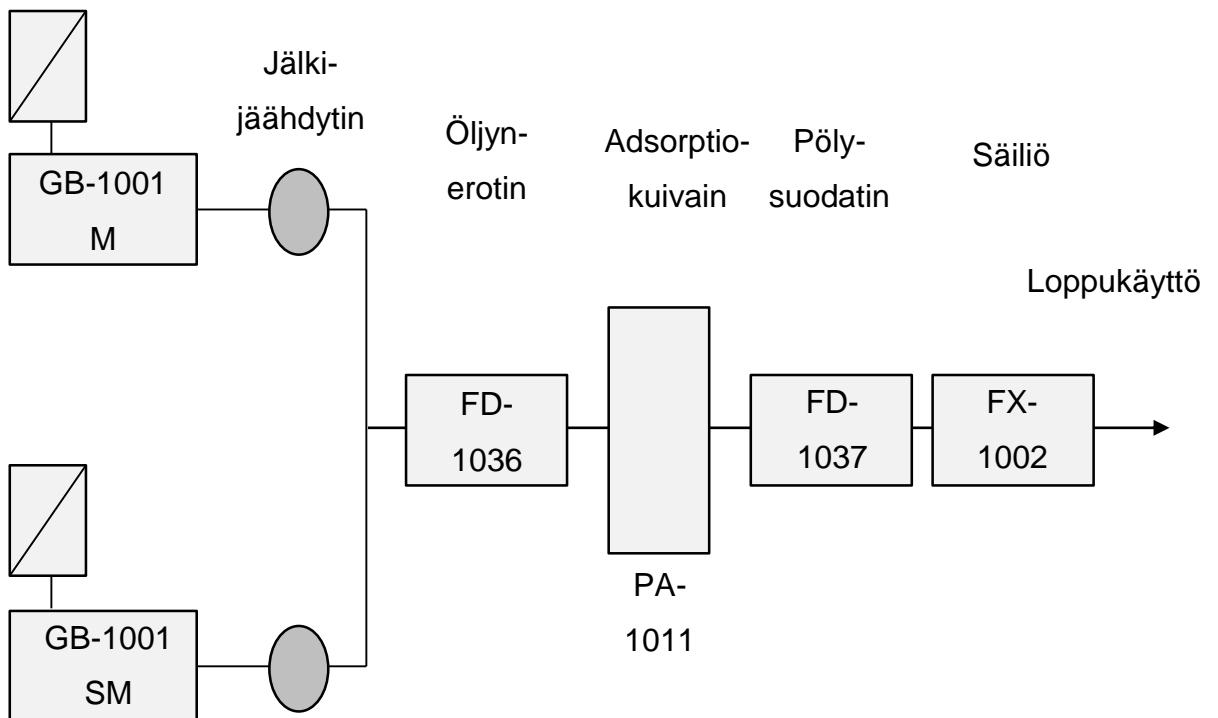
Jalostamon tärkeimpiin tuotteisiin kuuluvat liikennepolttoaineet sekä erikoistuotteet kuten bitumit, liuottimet ja pienmoottoribensiini. Jalostamon tuotanto on noin kolme miljoonaa tonnia vuodessa. Jalostamo työllistää noin 350 henkilöä.²⁴

3.1.1 Huoltoseisokki 2012

Naantalin jalostamolla toteutettiin suunniteltu huoltoseisokki keväällä 2012. Seisokki alkoi huhtikuussa ja kesti noin kuusi viikkoa. Edellinen huoltoseisokki järjestettiin vuonna 2006. Vuoden 2012 huoltoseisokissa jalostamolla tehtiin laitehuoltoja ja uusittiin mm. prosessiuuneja ja laitteita. Samalla uudistettiin myös paineilman tuotantoa. Hankkeen kustannukset olivat yhteensä noin 60 miljoonaa euroa ja seisokin aikana jalostamolla työskenteli yhteensä noin 1000 henkilöä.²⁴

3.1.2 Jalostamon paineilmaverkko

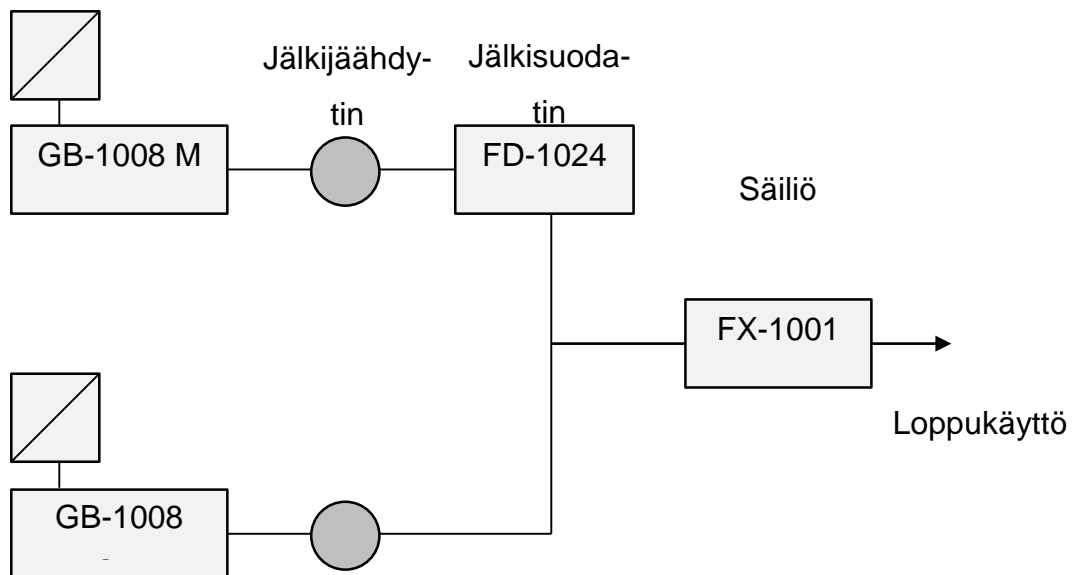
Naantalin jalostamon paineilmaverkko muodostuu työ- ja instrumentti-ilmaverkosta, jotka normaalin toiminnan puitteissa ovat eristettyinä toisistaan. Normaalissa käytössä instrumentti-ilmaa tuottavia kompressoreita on kaksi ja työilmaa tuottavia kompressoreita yksi. Lisäksi työilmaverkkoon on kytketty yksi varakompressori. Sähkökäyttöisten kompressorien ominaisuudet on esitetty sivun 28 taulukossa 2. Sähkökäyttöisten kompressoreiden lisäksi varalla on kaksi dieselkäyttöistä kompressoria. Näiden lisäksi häiriöiden varalta on putkiyhteys jalostamon typpiverkon ja instrumentti-ilma- ja instrumentti-ilma- ja työilmaverkon välillä. Instrumentti-ilman kulutus on normaalisti noin 2500 nm³/h, työilman kulutus vaihtelee 300-800 nm³/h välillä, yhteensä ilmaa kuluu noin 3000 nm³/h. Jalostamon instrumentti-ilman tuotantokaavio on kuvan 9 mukainen.



Kuva 9. Jalostamon instrumentti-ilman tuotantokaavio.

Instrumentti-ilman valmistuksesta vastaavat kompressorit GB-1001 M sekä GB-1001 SM, joista ensimmäinen on pääasiallinen kompressor. Jälkijäähdyttimien jälkeen tuotettu ilma saapuu öljynerottimeen FD-1036, jonka jälkeen ilma kuivataan adsorptiokuivaimessa PA-1011. Kuivaimesta mahdollisesti irronneet partikkelit suodatetaan pölysuodattimessa FD-1037, jonka jälkeen tuotettu ilma johdetaan painesäiliöön FX-1002 ja siitä edelleen jakeluun.

Jalostamon työilman tuotanto eroaa instrumentti-ilman tuotannosta sillä, että työilmaa ei suodateta eikä kuivateta. Tämä aiheuttaa talvisin ongelmia työilmaverkossa, sillä kuivaamaton ilma siirtää mukanaan hyvin paljon kosteutta verkkoon, joka tiivistyy vedeksi. Lämpötilan laskiessa pakkasen puolelle tiivistynyt kosteus saattaa jäättyä. Tätä yritetään estää jalostamalla puhaltamalla ilmaa ulos eri verkonosista, jotta vesi ei pääse kertymään verkkoon. Lisäksi käytetään höyryä lämmittämään työilmalinjoja. Energiatehokkuuden näkökulmasta tämä on kuitenkin hyvin epäedullinen ratkaisu. Työilman tuotanto on havainnollistettu alla olevassa kuvassa 10.



Kuva 10. Jalostamon työilman tuotantokaavio.

Jalostamon paineilmaverkon runko on vanha ja se on rakenteeltaan suurimmaksi osaksi suora. Vaikkakin paikkauksia ja korjauksia on ajan mittaan tehty, ovat runkoputket nykystandardeihin verrattuna halkaisijaltaan pieniä.

Molempiin verkkoihin on liitetty paineilmasäiliöt FX-1001 ja FX-1002. Molemmat säiliöt on sijoitettu kompressorihallin ulkopuolelle ulkoilmaan. Säiliöitä ennen on verkot yhdistävä venttiili, joka normaalitoiminnan puitteissa on kiinni. Hätätapauksessa verkot voidaan yhdistää tällä venttiilillä.

Molempien verkkojen kompressoreita ohjataan omilla säätöruuveillaan. Kaikki kompressorit toimivat kevennys/kuormitussäädöllä. Kolme neljästä kompressorista on valmistettu 70-80 -luvuilla ja uusin, Tamrotor S90, vuonna 1994.

Taulukko 2. Naantalın jalostamon paineilmakompressorit.

Tunnus	Valmistaja ja malli	Verkko	Kompressorityyppi ja teho	Jäähdytystapa	Muuta
GB-1001 M	Atlas Copco ZR4A	Instrumentti	250 kW ruuvi	Vesi	Öljyvapaa
GB-1001 SM	Tamrock 1250EW	Instrumentti	250 kW ruuvi	Vesi	
GB-1008 M	Tamrock 1250EW	Työ	200 kW ruuvi	Vesi	Vaihdettu varakompressoriksi syksyllä 2012
GB-1008 SM	Tamrotor S90	Työ	90 kW ruuvi	Ilma	Vaihdettu pääkompressoriksi syksyllä 2012

Jalostamo käyttää noin 350 000 € vuodessa paineilman tuottamiseen, sen lisäksi laitteiden huoltoon ja kunnossapitoon kuluu tuhansia euroja vuosittain.²⁵

4 ENERGIATEHOKKUUS

1970-luvulla öljykriisien aikaan yleiseen tietoisuuteen nousi energian säästäminen ja energiatehokkuus. Tällöin huolena oli energian riittävyys ja energian korkea hinta.²⁶ Nykyään energiatehokkuuden ensisijaisena tarkoituksena on kasvihuonepäästöjen kustannustehokas vähentäminen. Perinteisempiä syitä ovat energiakustannusten alentaminen, energian saatavuuden turvaaminen ja muut ympäristönäkökohdat. EU:n yhteisenä tavoitteena on tehostaa energiankäyttöä 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä.²⁷

Energian käyttö voidaan jakaa välilliseen ja välittömään käyttöön. Välilliseksi energiaksi kutsutaan tuotteisiin ja palveluihin sitoutunutta energiaa; raaka-aineita jalostettaessa, valmistettaessa ja kuljetettaessa niihin kuluu energiaa, ja tuotteita hankittaessa hankitaan samalla niiden aikaansaamiseksi käytettyä energiaa. Suomessa energian käytöstä n. 56 % on välillisen energian käyttöä.²⁶

Eräs energiatehokkuuspäätösten keskeisimmistä tekijöistä on toimien kannattavuus. Uudet tekniikat, prosessiratkaisut ja analysointimallit tehostavat toimintaa ja luovat samalla energiasäästöjä. Käyttäjän kannalta tärkeää on, toteutuuko energian käytön väheneminen käyttöä tehostamalla vai kulutusta karsimalla. Toimenpiteiden kannattavuuden analysoinnissa tulisikin huomioida suoran energiansäästön lisäksi muut saavutetut edut esimerkiksi huolto- ja käyttökustannuksissa.²⁶

Energiatehokkuuden parantamiseen on käytettävissä monia erilaisia malleja ja oppaita mm. Suomen valtion omistaman Motiva Oy:n paineilman tuotannon optimointiin tehty PATE-analyysi. Tähän työhön sovellettiin PATE-analyysiä sekä CARE+ opasta.

4.1 Paineilman energia-analyysimalli

PATE-analyysi eli paineilman energia-analyysimalli muodostui vuosina 2003 ja 2004 kauppaja teollisuusministeriön energiaosastolta saadun palautteen perusteella. PATE-analyysimalli on suunnattu teollisuuslaitosten paineilmajärjestelmiin, mutta sitä voidaan soveltaa myös suurempiin yhdyskunta- ja kaupallisen sektorin paineilmalaitoksiin. PATE-analyysimalli on tarkoitettu sovellettavaksi ottamalla huomioon jokaisen kohteen erityisominaisuudet.

PATE-analyysin lähtökohtana on keskittyä vain ja ainoastaan paineilman energiatehokkuuden parantamiseen ja se eroaa näin perinteisistä kokonaisvaltaisista energiakatselmuksista.

PATE-analyysi soveltuu parhaiten paineilmajärjestelmiin, joissa on vähintään kaksi kompressoria ja joiden yhteinen sähköteho on vähintään 100 kW tai sähköenergiankulutus 200 MWh/a.²⁸

4.2 CARE+

CARE+ -hanke on Euroopan kemianteollisuuden kattojärjestö Cefic:n Responsible Care – ohjelmaa täydentävä opas. Se on tehty Euroopan pienten ja keski suurten kemian alan yritysten käyttöön ja sen tavoitteena on parantaa koko alan energiatehokkuutta. CARE+ -hanke on kaiken kattava opas PK -yritysten energianhallintaan ja sen yksi osa-alue on paineilmajärjestelmien energiankäytön tehostaminen. PATE -analyysimallin tavoin myös CARE+ on tehty sovellettavaksi.²⁹

4.3 Naantalin Jalostamon energiatehokkuusprojekti

Tämän opinnäytetyön puitteissa tehty paineilma-verkon optimointi oli osa Naantalin jalostamoa koskevaa energiatehokkuusprojektia, jonka tarkoituksena oli parantaa kannattavuutta ja luoda säästöjä. Neste Oil -konsernin koko Suomen toimia koskevan energiatehokkuussopimuksen tavoitteena on säästää 660 GWh vuoteen 2016 mennessä. Raportoidut säästötoimet vuosilta 2008-2011 olivat 354 GWh.

Naantalin jalostamon keskimääräinen energiankulutus vuodessa on noin 1,8 TWh. Energiankulutuksesta aiheutuvat vuosittain noin 85 miljoonan euron kustannukset. Jalostamon tavoitteena on pienentää energiankulutusta 6 % vuoteen 2014 loppuun mennessä vuoden 2010 tasosta. Tämä vastaa noin 105 GWh:a.³⁰

5 PAINEILMAVERKON OPTIMOINTI

Jalostamon paineilma-verkon optimointiin kuului työilmaverkon alkukartoitus, suljettavien kohteiden kartoittaminen, instrumentti-ilmaverkon vuotokartoitus sekä molempien verkkojen painetasojen optimointi. Optimointiin sovellettiin PATE sekä CARE+ oppaita.

5.1 Työilmaverkon kartoitus

Työt aloitettiin jalostamon työilmaverkon kartoituksella, koska nykyiset PI – kaaviot eivät olleet ajan tasalla. Kartoitusta ennen pidetyssä palaverissa keskusteltiin kohteista, joihin voitaisiin työilman syöttöä vähentää, sulkea pienen muutoksen avulla tai sulkea kokonaan. Tämän keskustelun pohjalta lähdettiin kartoittamaan runkoverkkoa seuraavista kohteista: Jalostamon satama, tuotesäiliömäki, Tupavuoren säiliöalue, vanha laboratorio, bitumialue, lähettämö sekä urakoitsija-alue. Työilmaverkkoa kartoitettiin kentällä linjoja seuraamalla ja selvittämällä mahdollisia käyttökohteita. Samalla tutkittiin mahdollisia vuotokohteita. Apua saatiin kyselemällä eri alueiden operaattoreilta verkon rakennetta sekä ilmankäytön määrää ja -kohteita. Kartoituksen jälkeen pidettiin palaveri, jossa olivat läsnä eri alueiden vastaavat henkilöt ja keskusteltiin mahdollisista suljettavista ja karsittavista kohteista. Päätösten jälkeen jokainen alue teki itse omat toimenpiteensä työilmaverkossa. Toimenpiteet on esitetty taulukossa 3. Ennen kohteiden sulkemista työilmakompressori GB-1008 M vaihdettiin uudempaan GB-1008 SM -kompressoriin.

Taulukko 3. Työilmaverkolle tehdyt toimenpiteet.

Kohde	Toimenpide
Satama	Tuleva työilma suljetaan Tupavuoren säiliöalueelta ja sataman työilmaverkko yhdistetään instrumentti-ilmaverkkoon
Tuotesäiliömäki	Venttiilit tarkastetaan ja suljetaan, lisäksi alueen reunalla oleva pneumaattinen ovi yhdistetään instrumentti-ilmaverkkoon
Tupavuoren säiliöalue	Työilman tulo suljetaan
Urakoitsija-alue	Työilman tulo suljetaan
Bitumialue	Lisätään venttiili L&T:n pesupaikan jälkeen ja suljetaan työilma bitumialueelle
Lähetämö	Työilman tulo suljetaan
Vanha soihtu	Työilman tulo suljetaan

Liitteessä 9 on jalostamon satelliittikuvaan merkitty suuripiirteisesti kohteet, mihin työilman syöttö on suljettu ja mihin sitä edelleen syötetään. Vihreällä värjättyissä kohteissa työilman syöttö on suljettu.

5.2 Instrumentti-ilmaverkon vuotokartoitus

Instrumentti-ilmaverkon vuotokartoitus tehtiin Naantalilaisen ND Testauksen toimesta. Vuotokartoitus tehtiin ultraäänimittauksena prosessin ollessa käynnissä. Vuotokohdat merkattiin PI – kaavioihin ja numeroitiin. Lisäksi kentällä vuotokohdat merkattiin merkintänauhalla, johon kirjoitettiin PI – kaaviossa vastaava numero. Näin helpotetaan tulevia vuotokorjauksia.

Tämän lisäksi vanhaan laboratoriorakennukseen tulevaan instrumentti-ilmalinjaan lisättiin sulkuventtiili, jolla suljettiin ilman tulo rakennukseen.

5.3 Työilmaverkon optimointi

Työilmaverkon paineenalennus tehtiin verkon kartoituksen ja turhien kohteiden sulkemisen jälkeen. Työilmaverkon ilmankulutus laski huomattavasti turhien kohteiden karsimisen jälkeen ja verkossa oli ainoastaan muutamia kriittisiä kohteita. Nämä olivat jätevesilaitoksen dispersioilma sekä kevytbensiininkäsittelyn hiilitornit. Jätevesilaitokselle alaraja dispersioilman paineelle on noin 4 baaria, mutta hiilitornit tarvitsevat yli 5 baarin paineen. Tämän lisäksi piti ottaa huomioon kulutuspiikeistä aiheutuvat paineiden heittelyt.

Ennen paineenalennusta pyydettiin lupa toimenpiteeseen vuoromestarilta. Verkon painetta laskettiin yhdessä erässä jalostamon ollessa käynnissä. Koska kyseessä oli verkoista pienempi ja kulutukseltaan ailahtelevampi, päätettiin paineen alennuksen jälkeen verkkoon jättää jonkin verran ylimääräistä painetta kulutuspiikeistä aiheutuvien häiriöiden ja riskien minimoimiseksi.

5.4 Instrumentti-ilmaverkon optimointi

Instrumentti-ilmaverkon vuotokartoituksen jälkeen toteutettiin kyseisen verkon paineen optimointi. Tätä toimenpidettä varten laadittiin koeajosuunnitelma (liite 6). Koeajosuunnitelmasta selviää, että tarkoituksena oli aluksi nostaa verkon painetta niin paljon, kun pääasiallisesta instrumentti-ilmakompressorista sitä saa nostettua. Tämän jälkeen tarkoituksena oli laskea painetta 10 kPa, jonka jälkeen verkon osia tarkkailtaisiin neljän tunnin ajan häiriöiden varalta ja toistettaisiin 10 kPa:n paineen alennus. Samalla mitattaisiin sähkönkulutusta kyseisen kompressorin osalta. Lisäksi ennen koeajojen aloitusta pyydetäisiin lupa jalostusmestarilta ja informoitaisiin jalostamon henkilökuntaa radiopuhelinverkon välityksellä. Lisäksi kentälle asennettiin ylimääräisiä painemittareita mm. laboratorioon sekä prosessialueelle.

Ennen koeajoja huoltomies myös selvitti pääinstrumentti-ilmakompressorin (GB-1001 M) säätölaitteet. Varainstrumentti-ilmakompressorin (GB-1001 SM) säätöä varten kysyttiin ohjeistusta käyttöhyödykeosaston henkilökunnalta. Sähköosastolta saatiin sähkönkulutusmittari pääinstrumentti-ilmakompressorille.

Ensimmäisen koeajon ajankohtana ei saatu lupaa jalostusmestarilta koeajojen aloittamiseen johtuen KARP – yksikön käynnistämisestä. Samalla selvisi, että varsinainen instrumentti-ilmakompressorin käy jo täysillä, eikä sen avulla pystytä nostamaan verkon painetta. Tämän takia päätettiin toteuttaa paineen nosto GB-1001 SM kompressorista. Myös sähkönkulutusmittari siirrettiin tähän koneeseen.

Toisella kerralla saatiin lupa jalostusmestarilta ja aloitettiin verkon paineen nostaminen saatujen ohjeiden mukaisesti säätämällä imukanavan kuristusta ohjaavaa venttiiliä. Useiden yritysten jälkeen kuitenkin todettiin, että verkon paine ei nouse ollenkaan. Asiaa tiedusteltaessa selvisikin, että 2012 huoltoseisokissa varailmakompressorin oli asennettu kytkin, joka estää paineen nostamisen pääkompressorin käyttöpaineen yli. Tämä tarkoitti sitä, että verkon painetta ei pystytty nostamaan.

Tämän jälkeen päätettiin jatkaa koeajoja nostamatta verkon painetta. Säädettiin varailmakompressorin säätöruuvia vastaamaan n. 0,1 baarin lähtöpaineen alenusta. Kompressorin tuotto putosikin noin 8,1 baarista noin 7,9 baariin. Säiliön paine sekä verkon osien paineet putosivat samassa suhteessa. Noin viidentoista minuutin kuluttua jalostusmestari kuitenkin soitti ja ilmoitti, että koeajot on keskeytettävä, koska paine on joissain osissa jalostusta laskenut liian alas. Tämän jälkeen säädettiin kompressorit takaisin lähtötilanteeseen ja lopetettiin koeajot.

6 TULOKSET

Työilmaverkon optimointi ja kartoitukset sujuivat suunnitelmien mukaisesti ja tulokset olivat hyviä. Instrumentti-ilmaverkon optimoinnin kanssa oli huomattavia ongelmia johtuen verkon heikosta kunnosta ja huonoista säätömahdollisuuksista. Molempien paineilmaverkkojen optimointi saatiin kuitenkin lopulta päätökseen vuoden 2013 heinäkuussa.

6.1 Työilmaverkko

Työilmaverkon eri osien sulkemisen jälkeen ilmankulutus putosi n.oin 300 nm³/h (~500 nm³/h -> ~200 nm³/h). Suurin vaikutus saatiin aikaan sulkemalla työilman syöttö urakoitsija-alueelle ja sitä kautta aliurakoitsijoiden maalaushallille. Tämä toimenpide poisti lähes kokonaan työilman äkilliset kulutuspiikit. Myös muiden kohteiden sulkemisella saatiin laskettua kulutusta.

Työilmaverkon optimoinnin avulla saatiin verkon painetta laskettua noin 100 kPa (~750 kPa -> ~650 kPa) ilman minkäänlaisia ongelmia. Suurempaankin laskupotentiaaliin olisi varmasti ollut mahdollisuuksia. Verkon osien karsiminen osaltaan edesauttoi optimointia, sillä näin verkosta saatiin paljon kompaktimpi ja tiiviimpi. Paineen lasku ei vaikuttanut ilmankulutukseen.

Neste Oilin oman PTK – järjestelmän kuvaaja työilman kulutuksesta ja paineesta löytyy liitteestä 1. Työilman kulutus näkyy vaaleanpunaisena kuvaajana (FI_1038) ja työilman paine keltaisena kuvaajana (PI_1043). Kuukausittaiset keskiarvot vuoden ajalta sekä niitä vastaavat kuvaajat löytyvät liitteistä 3, 4 ja 5.

Työilmaa tuotti alun perin 200 kW tehoinen kompressori, jonka keskimääräiseksi energiankulutukseksi mitattiin 152 kWh 25.10.2012. Kompressori vaihdettiin tuoltaan sopivampaan ja modernimpaan 90 kW malliin, jonka keskimääräiseksi energiankulutukseksi mitattiin 87 kWh 29.10.-2.11.2012 välisenä aikana. Lisäksi uudemman kompressorin jäähdytyspuhaltimen teho on 2,2 kW. Kompressorin

vaihdosta saatu energiansäästö oli siis noin 63 kWh, mistä saadaan vuodessa ympärivuorokautisella käytöllä noin 552 MWh:n säästöt.

Työilmaverkon turhien kulutuskohteiden karsimisen ja painetasojen optimoinnin jälkeen kompressorin keskimääräiseksi energiankulutukseksi mitattiin noin 71 kWh 27.5.-31.5.2013 välisenä aikana. Saatu energiansäästö tästä oli noin 16 kWh, mistä saadaan vuodessa ympärivuorokautisella käytöllä noin 140 MWh:n säästöt (taulukko 4).

Taulukko 4. Työilmaverkon optimoinnista saatujen säästöjen laskelma.

Sähkön hinta = 50 €/MWh (alv 0 %)		Säästö /a (MWh)	Säästö /a (€)
200 kW kompressorin energiankulutus	152 kWh		
90 kW kompressorin energiankulutus	87 kWh + 2,2 kWh		
Säästö	63 kWh	552 MWh	27 600 €
90 kW kompressorin energiankulutus optimoinnin jälkeen	71 kWh		
Säästö	16 kWh	140 MWh	7000 €
Säästö yhteensä	79 kWh	692 MWh	34 600 €

Naantalin jalostamolle sähkön hinta on 50 €/MWh. Kompressorin vaihdosta saatu säästö euroina on noin 27 600 €/a. Verkonosien karsimisesta ja painetasojen optimoinnista saadut säästöt ovat noin 7 000 €/a. Yhteensä työilmaverkon osalta saadut säästöt ovat noin 692 MWh/a ja 34 600 €/a.

6.2 Instrumentti-ilmaverkko

Instrumentti-ilmaverkon osalta saadut parannukset jäivät vuotojen paikkaamiseen, sillä varaa painetasojen alentamiseen ei ollut. Liitteen 2 (PI_1044) ja 4 kuvaajasta sekä liitteen 5 taulukosta voidaan kuitenkin todeta ilmankulutuksen laskeneen näiden toimenpiteiden osalta noin 100 nm³/h. Tämän lisäksi instrumentti-ilman kulutus tasaantui ja kulutushuiput pienenevät.

Energiankulutuksen vähenemistä ei mittarilla pystytty toteamaan epäonnistuneiden koeajojen aikana. Jos käytetään esimerkkinä laskelmaa, missä jäähdytetyn, kuivatun ja suodatetun paineilman normaalikuution tuottaminen kuluttaa 0,13 kWh³¹, saadaan energiankulutuksen säästöksi 13 kWh. Vuodessa säästöä kertyy 114 MWh, mikä tekee rahassa noin 5 700 € (taulukko 5).

Taulukko 5. Instrumentti-ilmaverkon optimoinnista saatujen säästöjen laskelma.

Sähkön hinta = 50 €/MWh (alv 0 %)	1 nm ³ = 0,13 kWh	Säästö /a (MWh)	Säästö /a (€)
Vuotojen paikkauksesta saatu säästö ilmankulutuksessa	100 nm ³ /h		
Säästö yhteensä	13 kWh	114 MWh	5 700 €

6.3 Paineen ja kulutuksen pienemisestä saadut säästöt

Molempien verkkojen yhteenlaskettu kulutussäästö oli noin 400 nm³/h. Motiva Oy mainitsee oppaassaan³¹ paineilman laitteisiin ja huoltoon liittyviksi tuotantokustannuksiksi 0,002 €/nm³. Käyttäen edellä mainittua arvoa, voidaan karkeasti arvioida kulutuksen pienemisestä saatuja säästöjä vuositasolla taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6. Arvio kulutuksen pienenemisestä saaduista säästöistä laitteiden huoltokuluissa

Huollon tuotantokustannukset		Säästö /a (nm³)	Säästö /a (€)
0,002 €/nm³			
Työilmaverkon kulutuksessa saatu säästö	300 nm ³ /h	2 628 000 nm ³	5 200 €
Instrumentti-ilma-verkon kulutuksessa saatu säästö	100 nm ³ /h	876 000 nm ³	1 700 €
Säästö yhteensä	400 nm ³ /h	3 504 000 nm ³	6 900 €

Huoltokustannuksien kautta saavutettujen säästöarvioiden paikkansapitävyyttä on tietysti hankala suoraan arvioida, koska jokainen kompressorikeskus ja paineilma-verkko on erilainen, mutta taulukkoa voidaan pitää suuntaa-antavana.

Yhteensä saavutetut välittömät säästöt molempien verkkojen optimoinnin osalta ja välilliset säästöt huollon tuotantokustannuksien kautta ovat noin 47 000 €/a. Energiasäästöä syntyi 806 MWh/a

7 YHTEENVETO JA KEHITYSEHDOTUKSET

Tässä kappaleessa esitellään kehitysehdotuksia, sekä pohditaan jo tehtyjen toimenpiteiden vaikutuksia.

Työilmaverkon optimoinnin osalta työn tavoite tuli saavutettua, vaikka verkon karkoitus olikin melko aikaa vievää ja osittain haastavaakin. Verkon turhia osia saatiin karsittua hyvin paljon ja tämä vaikutti suoraan painetasojen laskuun positiivisella tavalla. Turhien verkonosien karsiminen myös vähentää ulospuhalluksen tarvetta talvisin, joka taas vähentää ilmankulutusta ja näin säästetään energiaa.

Instrumentti-ilmaverkon osalta työn tavoite jäi saavuttamatta. Suurin vaikutus oli verkon vanhalla rakenteella, jonka takia painehäviöt verkon eri osissa ovat hyvin suuria. Myös kompressoreiden tuoton säätömenetelmät olivat karkeita. Puutteellisella ohjeistuksella ja valmistautumisella oli myös se vaikutus, että painetasoja ei suunnitelmista huolimatta saatukaan nostettua koeajojen aluksi. Koeajot olisi mahdollisesti saatu suoritettua, mikäli hälytysrajoja olisi laskettu, mutta kyseisellä toimenpiteellä olisi vaarannettu turhaan prosessin toimivuus, sillä eri instrumenttien vaatimia paineita ei saatu selville kyselyistä huolimatta.

Kokonaisuutena opinnäytetyön tavoite saavutettiin ja konkreettisia tuloksia saatiin. Lisäksi saaduilla toimenpiteillä saatiin huomattavat, noin 47 000 € vuosisäästöt. Kaikkiin asetettuihin tavoitteisiin ei päästy, mutta työn määrä oli huomattavasti suurempi kuin aluksi ajateltiin. Opinnäytetyön vaatimat opintopisteiden tuntimäärät tuli täytettyä jo ennen instrumentti-ilmaverkon optimointia. Mikäli opinnäytetyö olisi laajempi, olisi instrumentti-ilmaverkon painetasojen optimointia ja sen ongelmia voitu pohdiskella pidempäänkin. Tässä on kuitenkin mahdollisuus toiselle opinnäytetyölle, missä voisi myös pohtia syvällisemmin jalostamon instrumentti-ilmaverkon paineilmatuotannon ongelmia.

Seuraavaksi esitellään kehitysehdotuksia, joilla voisi mahdollisesti saada ratkaistua joitain paineilman tuotantoon liittyviä ongelmia.

7.1 Vuotokartoitukset

Jalostamolla tulisi tehdä vuosittain vuotokartoitus esimerkiksi PATE – analyysin tai CARE+ -oppaan tavoin (4.1 & 4.2). Ensimmäisinä vuosina vuotokartoituksen voisi tehdä useamminkin, jotta saataisiin verkon vuotomääriä laskettua nopeasti ja saavutettaisiin eräänlainen perustaso. Havaitut vuodot tulisi myös paikata mahdollisuuksien mukaan ja luetteloida liitteen 8 tapaan. Vuotokartoitukseen ja vuotojen paikkaamiseen tulisi nimittää vastuuhenkilö, jonka tehtävänä olisi varmistaa vuotokartoituksen toteutus sekä havaittujen vuotojen paikkaus. Lista vuodoista tulisi myös toimittaa kunnossapito – osastolle ja vastuuhenkilön tulisi huolehtia siitä, että vuotoja myös paikattaisiin kartoituksen jälkeen.

Vuosittaisten kartoitusten tarkoituksena olisi vähentää vuotojen määrä ja näin saataisiin säästettyä energiakustannuksissa. Vuosittain tehtynä kartoitus pitäisi verkoston vuotomäärän kurissa, eikä vuotoprosentti pääsisi nousemaan kohtuuttomiin lukemiin. Kartoitus voitaisiin tehdä joko ulkoisen yrityksen toimesta tai sisäisesti jalostamon oman henkilökunnan avulla.

7.2 Työilman kuivaus

Tällä hetkellä työilmaa ei kuivata. Tästä johtuen työilmaverkon osiin, missä työilman kulutus on vähäistä, kertyy vettä nestemäisessä muodossa. Kesäisin vesi ei aiheuta suuria ongelmia, mutta talvella työilmaa joudutaan puhaltamaan verkostosta ulos, jottei vesi jäädy ja halkaise putkia. Työilman kuivaamisella vältettäisiin talvisin turhat ulospuhallukset. Kuivaaminen myös poistaisi muita nestemäisen veden aiheuttamia ongelmia työilmaverkostossa, kuten veden aiheuttaman korroosion.

7.3 Työ- ja instrumentti-ilman yhdistäminen

Paras ratkaisu olisi yhdistää molemmat verkostot niin, että paineilmaa tuottaisivat 250 kW GB-1001 M sekä 90 kW GB-1008 SM. Tällä tavoin kompressoreiden yhteenlaskettu tuotto (noin 3000 nm³/h) vastaisi paremmin tämänhetkistä kulu- tusta. Tällä hetkellä instrumentti-ilman tuotannon kompressorit ovat ylimitoitet- tuja. Yhdistäminen vaatisi pieniä teknisiä muutoksia kompressorihallissa, sillä lin- jat tulisi yhdistää ennen adsorptiokuivainta, jotta molempien kompressoreiden tuottama paineilma kuivattaisiin. Tämän jälkeen työ- ja instrumentti-ilma erotet- taisiin vielä omiin säiliöihinsä, mutta molempien verkkojen ilma olisi kuivattua ja suodatettua. Myös tällä ratkaisulla päästäisiin veden aiheuttamista ongelmista eroon.

7.4 Instrumentti-ilmaverkon parannus

Tällä hetkellä instrumentti-ilmaverkon painehäviöt ovat huomattavia. Verkkoa voi- taisiin parantaa tekemällä siitä rengasmaisen selllaisten kohteiden lähellä, missä painehäviöt ovat huomattavia (Pohjoisalue/LT/KARP/REF). Myös runkoverkon paksuntaminen ja/tai muutaman kuution kokoisten välisäiliöiden asentaminen em. kohteisiin sekä isojen toimilaitteiden läheisyyteen voisi auttaa painehäviöihin.

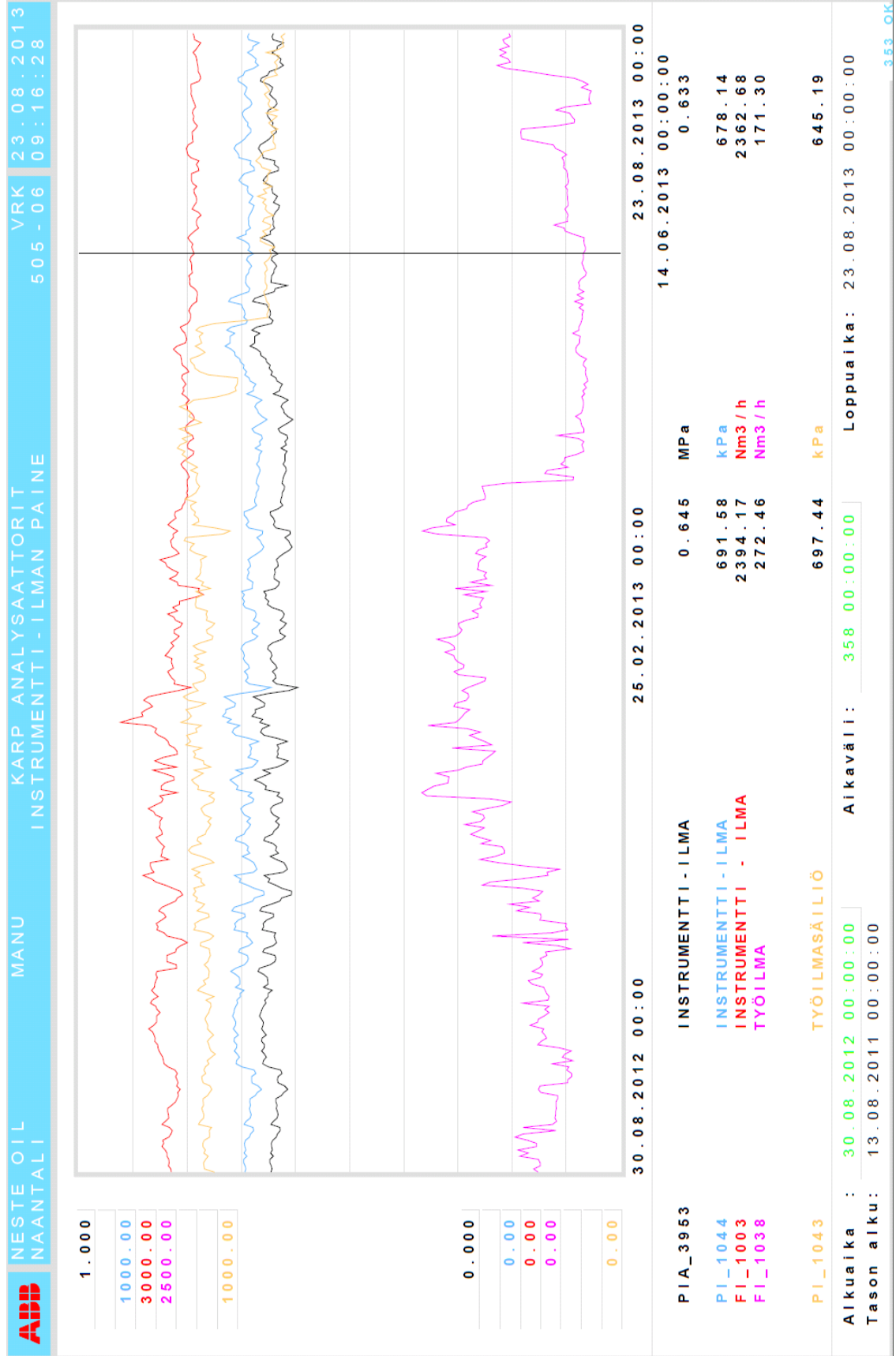
Instrumentti-ilmaverkon kompressorien tuoton säätämiseen voisi harkita tietoko- nepohjaista ohjelmistoa, jonka avulla säätö olisi nykyiseen verrattuna huomatta- vasti helpompaa ja tarkempaa.

Mikäli instrumentti-ilmaverkkoa saataisiin parannettua niin, että painehäviöt pie- nenisivät, voitaisiin tämän jälkeen verkon painetta laskea energiatehokkuuden kannalta parhaaseen tasoon.

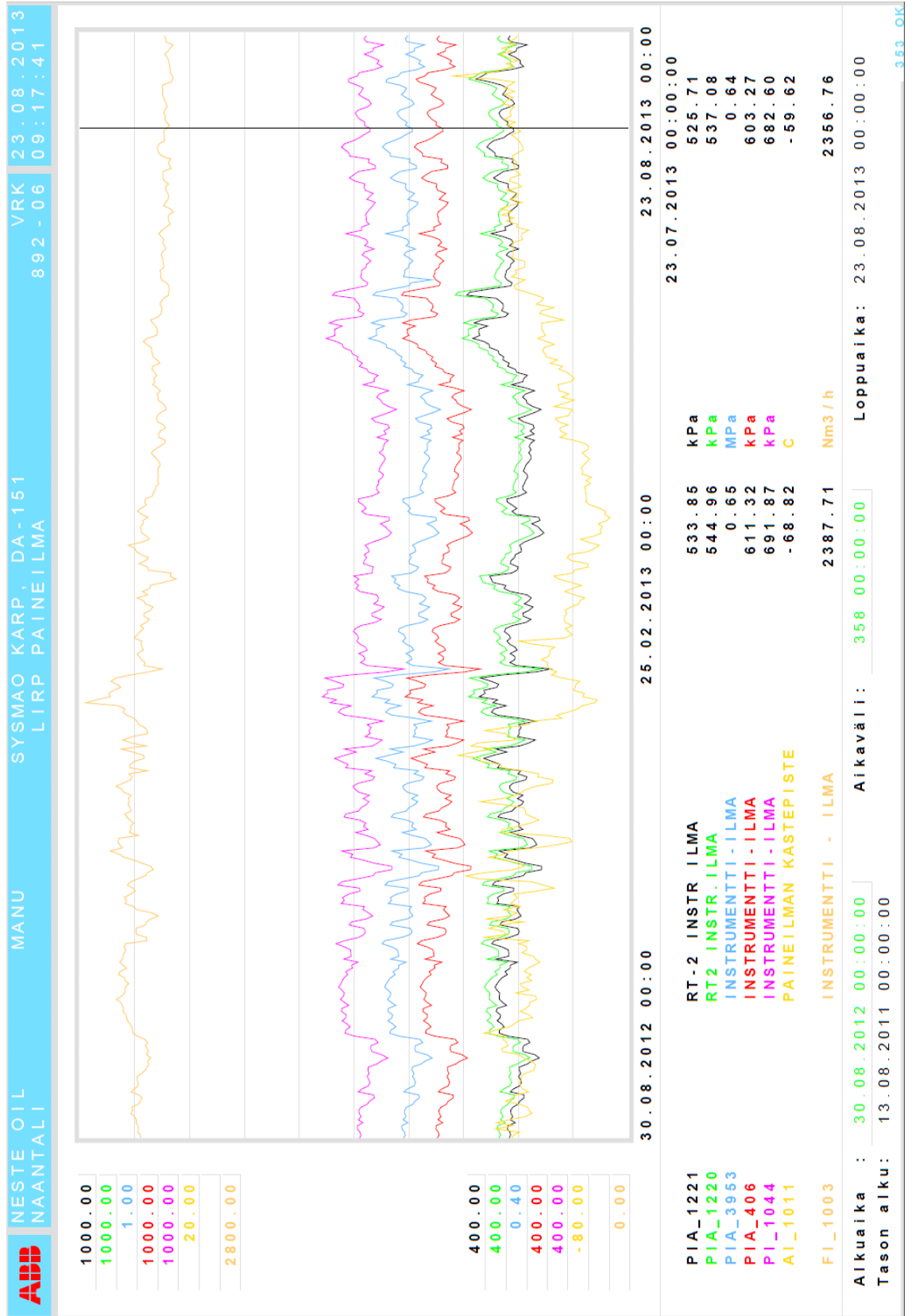
7.5 Paineilman vuokraus

Paineilmalaitteiden vuokraus joko kiinteällä kuukausihinnalla tai niin, että tuote-
tuista kuutioista maksetaan tietty hinta, on myös vartenotettava vaihtoehto.
Vuokrattavilla laitteilla saataisiin kertaheitolla modernisoitua kompressorikeskus
ilman laitteiden ostamisen vaatimia suuria hankintakuluja. Vuokrauksiin kuuluu
yleensä myös täyden palvelun huolto, joten tällä tavalla säästettäisiin jalostamon
omia resursseja kunnossapidon osalta. Verkoston vuodot tulisi kuitenkin saada
hallintaan, ennen tuottomäärään perustuvalla hinnoittelulla vuokrattavien laittei-
den hankkimista.

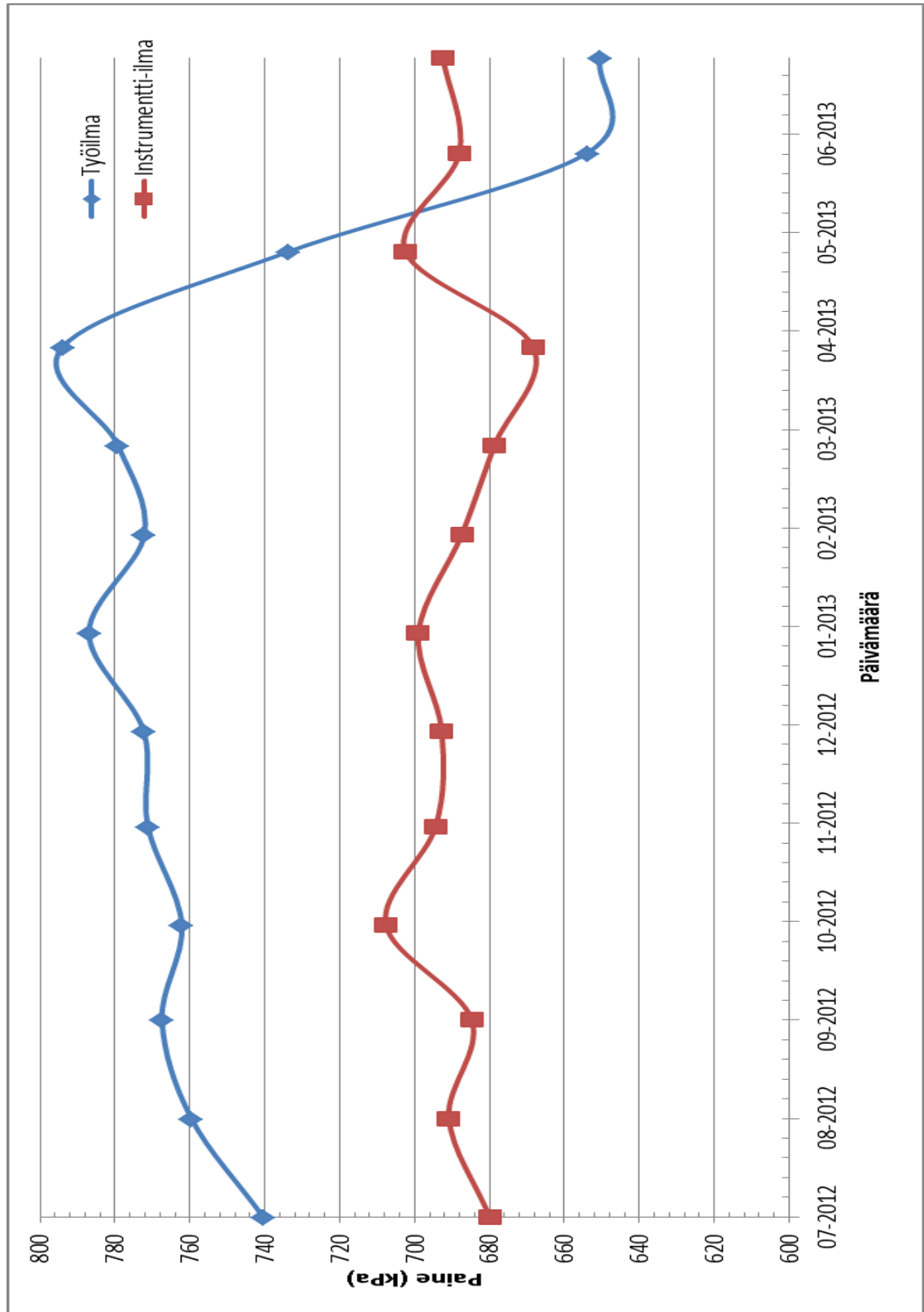
Työilmaverkon ilmanpaineet ja -kulutus



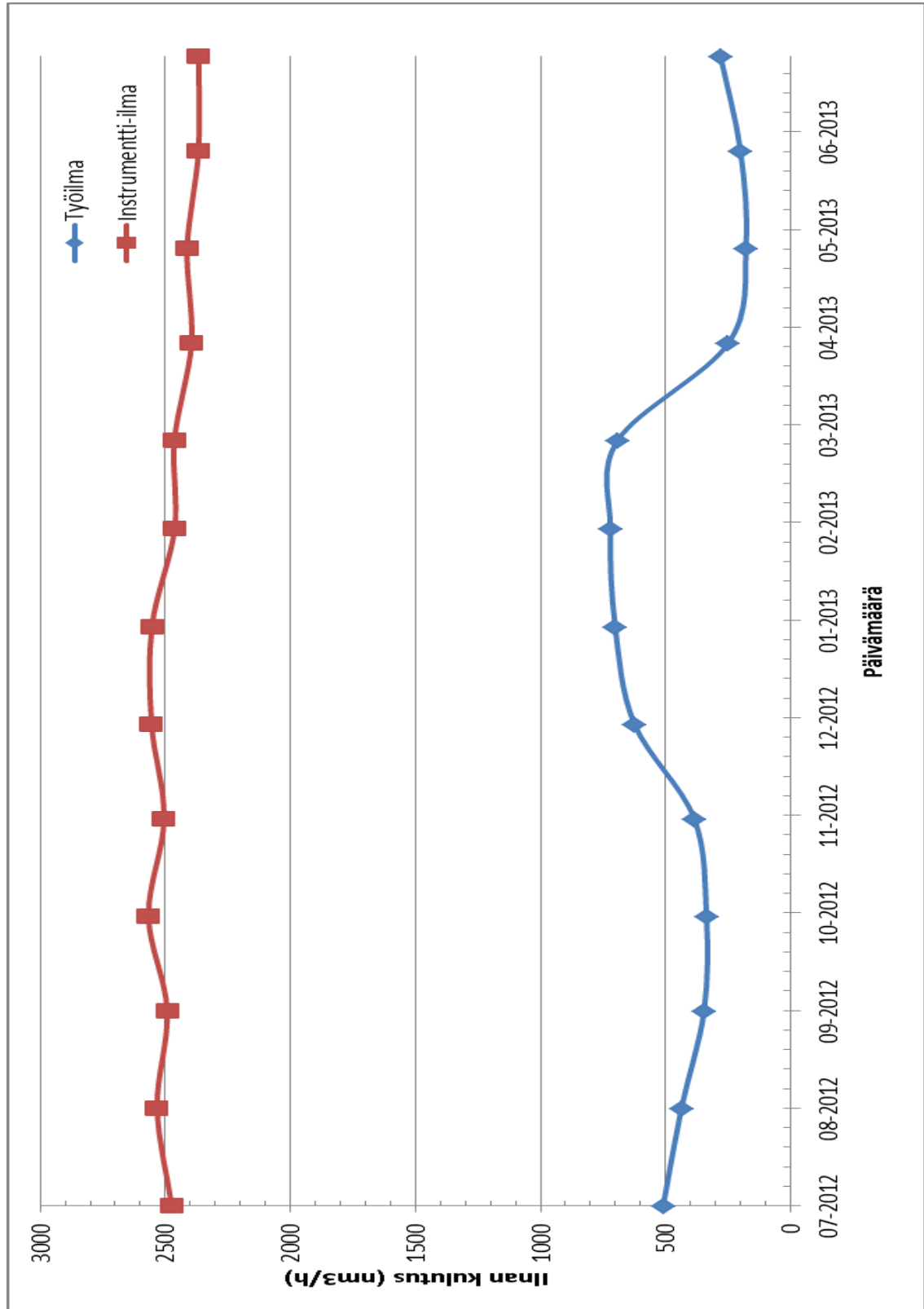
Instrumentti-ilmaverkon ilmanpaineet ja -kulutus



Työ- ja instrumentti-ilmaverkon kuukausittaiset paineen keskiarvot kuvaajana



Työ- ja instrumentti-ilmaverkon kuukausittaiset ilmapankutuksen keskiarvot kuvaajana



Työ- ja instrumentti-ilmaverkon kuukausittaiset ilmankulutuksen ja paineen keskiarvot taulukoituna

Pvm	Työilma		Instrumentti-ilma	
	Kulutus (nm ³ /h)	Paine (kPa)	Kulutus (nm ³ /h)	Paine (kPa)
1.7.2012	740,5	509,5	680	2474,9
1.8.2012	759,7	436,7	690,9	2533
1.9.2012	767,5	345,9	684,8	2493,2
1.10.2012	762,2	336,7	707,7	2567,6
1.11.2012	771,3	386,2	694,4	2505,2
1.12.2012	772,4	625,3	692,8	2555,4
1.1.2013	787	702	699	2553,6
1.2.2013	772,2	721,1	687,4	2463
1.3.2013	779,3	691,7	678,7	2464,2
1.4.2013	794	248	668,4	2395,6
1.5.2013	733,6	177,9	702,5	2413,1
1.6.2013	654	201	688,1	2367,6
1.7.2013	650,6	280,5	692,5	2366,9

Paineilmaverkon koeajosuunnitelma

NESTE OIL

Prosessikoeajosuunnitelma
Sisäinen

1 (5)

Naantalin jalostamo / Jami Torikka

9.7.2013

PAINEILMAVERKON OPTIMOINNIN KOEAJO

1 Koeajon tarkoitus

Koeajon tarkoituksena on optimoida askelkokeiden avulla jalostamon instrumentti-ilmaverkon painetasot energiatehokkuuden ja toiminnan kannalta optimaaliselle alueelle.

2 Koeajon aikataulu ja suoritus

Koeajo suoritetaan viikolla 28 (10.7.-12.7.). Askelkokeet aloitetaan keskiviikkona klo 10. Verkon ilmanpainetta lasketaan 10 kPa:n askelein kolmen tunnin välein ja kolme kertaa päivässä.

Ennen koeajoja informoidaan keskusvalvomoa sekä asianosaisia koeajon luonteesta ja mitä toimenpiteitä se aiheuttaa. Käytännössä tämä tarkoittaa vaan tarkempaa valvontaa ilmanpaineiden osalta prosessin toiminnan takaamiseksi. Lisäksi instrumentti- ja työilmaverkot tulee olla eriytettyinä ennen koeajoja.

Koeajojen aikana työilmaa tekee GB-1008S ja instrumentti-ilmaa tekee GB-1001. GB-1001S painetta lasketaan ennen GB-1001 paineen laskemista, jotta saadaan GB-1001 pidettyä kuormalla koeajojen ajan. Ennen koeajoja nostetaan GB-1001 paine maksimiin, jotta saadaan laajempi kuva paineen alenemisen vaikutuksista. Käytännössä tämä tarkoittaa n. 0,3 barin nousua kompressorin lähtöpaineessa.

Mikäli jossain verkon osassa paineenlaskun yhteydessä tai sitä seuraavan kolmen tunnin ajanjakson aikana huomataan, että ilmanpaine on prosessin toiminnan kannalta liian matala, lopetetaan askelkokeet ja nostetaan paine normaaliin tasoon. Häätavarana voidaan instrumentti-ilmaverkkoon syöttää typpeä.

Sähkönkulutusmittarit saadaan instrumentti-ilmakoneisiin sähköosastolta.

Liitteenä mittauspöytäkirja, josta löytyvät PTK "tagit" sekä kenttämittarit ja niiden paikat.

Pvm.	Aika	Lähtöpaine GB-1001/S
10.7.2013	10:00	-10 kPa
	13:00	-10 kPa
	16:00	-10 kPa
11.7.2013	10:00	-10 kPa
	13:00	-10 kPa
	16:00	-10 kPa
12.7.2013	10:00	-10 kPa
	13:00	-10 kPa
	16:00	-10 kPa

3 Kirjausaikataulu

Pvm.	Aika	Kohde	Nimike	Kommentit
10.7.2013	09:50	GB-1001/S lähtö RT2, KARP, TCC, käsimitarit	<u>Ilmanpaine</u>	
	12:50	GB-1001/S lähtö RT2, KARP, TCC, käsimitarit	<u>Ilmanpaine</u>	
	15:50	GB-1001/S lähtö RT2, KARP, TCC, käsimitarit	<u>Ilmanpaine</u>	
11.7.2013	09:50	GB-1001/S lähtö RT2, KARP, TCC, käsimitarit	<u>Ilmanpaine</u>	
	12:50	GB-1001/S lähtö RT2, KARP, TCC, käsimitarit	<u>Ilmanpaine</u>	
	15:50	GB-1001/S lähtö RT2, KARP, TCC, käsimitarit	<u>Ilmanpaine</u>	
12.7.2013	09:50	GB-1001/S lähtö RT2, KARP, TCC, käsimitarit	<u>Ilmanpaine</u>	
	12:50	GB-1001/S lähtö RT2, KARP, TCC, käsimitarit	<u>Ilmanpaine</u>	
	15:50	GB-1001/S lähtö RT2, KARP, TCC, käsimitarit	<u>Ilmanpaine</u>	

4 Vastuut

Koeajon vastuut jakaantuvat seuraavasti:

suunnitelman laatiminen	Jami Torikka
koeajon ohjeistus	Jami Torikka
koeajon läpivienti	operoivat vuorot, jalostusmestari
sähkömittaus	Jukka Nieminen hoitaa mittarit, SP:itä kulutuslukemat
loppuraportointi	Jami Torikka

NESTE OIL

Prosessikoeajosuunnitelma
Sisäinen

3 (5)

Naantalin jalostamo / Jami Torikka

9.7.2013

5 Raportointi

Koeajosta kirjoitetaan loppuraportti, joka toimii osana opinnäytetyötä.

Mittauspöytäkirja 1

Pvm.	Aika	PTK						
		Ilmankulutus FI_1003	Instr. ilmasäiliö FX-1002 PI_1044	RT2 PIA_1220	RT2 PIA_1221	KARP PIA_3953	TCC PIA_406	
10.7.2013								
11.7.2013								
12.7.2013								

Mittauspöytäkirja 2

Pvm.	Aika	Käsimittarit kentällä						
		Satama	Laboratorio	Etelä-patteriraja	Pohjoisen pumppuhuone (3 kpl)	LT patteriraja	KARP	REF (2 kpl)
10.7.2013								
11.7.2013								
12.7.2013								

Instrumentti-ilmaverkon vuotokartoituksen yhteenveto



Yhteenveto Paineilmaverkoston vuodoista

Päivämäärä 19.12.2012

Yritys	ND Testaus Oy Ylitalontie 2, 21110 Naantali Y-2479365-8
Vuotomittaja	Esko Ryöppönen 040-5653 629 esko.ryopponen@ndtestaus.fi
Asiakas Osoite	Neste Oil Oyj Naantalin jalostamo 21100 Naantali
Yhteyshenkilö	Petri Kaerala 050-4580737

Neste Oil Oyj Naantalin jalostamossa on suoritettu instrumentti-ilmaverkoston vuotomittaus.

Tutkimusraportista selviää tarkat erittelyt jokaisesta vikapaikasta. Putkipiirustukseen on merkitty keltaisella merkintätussilla tarkastettu putkisto ja numeroitu vuotokohtat. Putkistoon vuotokohta on merkitty keltaisella merkintänuhalla jossa numero, joka vastaa tutkimusraportin numeroa

Vuotomittauksen tulokset:

Vuotopaikkoja	600 kpl	
Korjattuja kohteita	160 kpl	
Karavuotoja	154 kpl	
Venttiilejä auki	25 kpl	
Muut vuodot	263 kpl	suurin osa liitosvuotoja
Helmiliitosvuotoja	45 kpl	
Hitsausvuotoja	8 kpl	
Paineenalennusventtiilivuotoja	116 kpl	
Letkuvuotoja	8 kpl	
Laitteita n.	1776 kpl	
Vuotoprosentti	33,8 %	
Kevään 2012 runkoputkivuodot	99 kpl	
Kokonaisvuotoprosentti	39,4 %	

Toimenpiteet:

Uusintavuotomittaus suoritetaan korjausten jälkeen, jotta voidaan todeta korjauksien onnistuneen

Kaikki oikeudet vuotomittauksiin on tilaajalla.
Varmuskopiot säilyttää tilaaja.

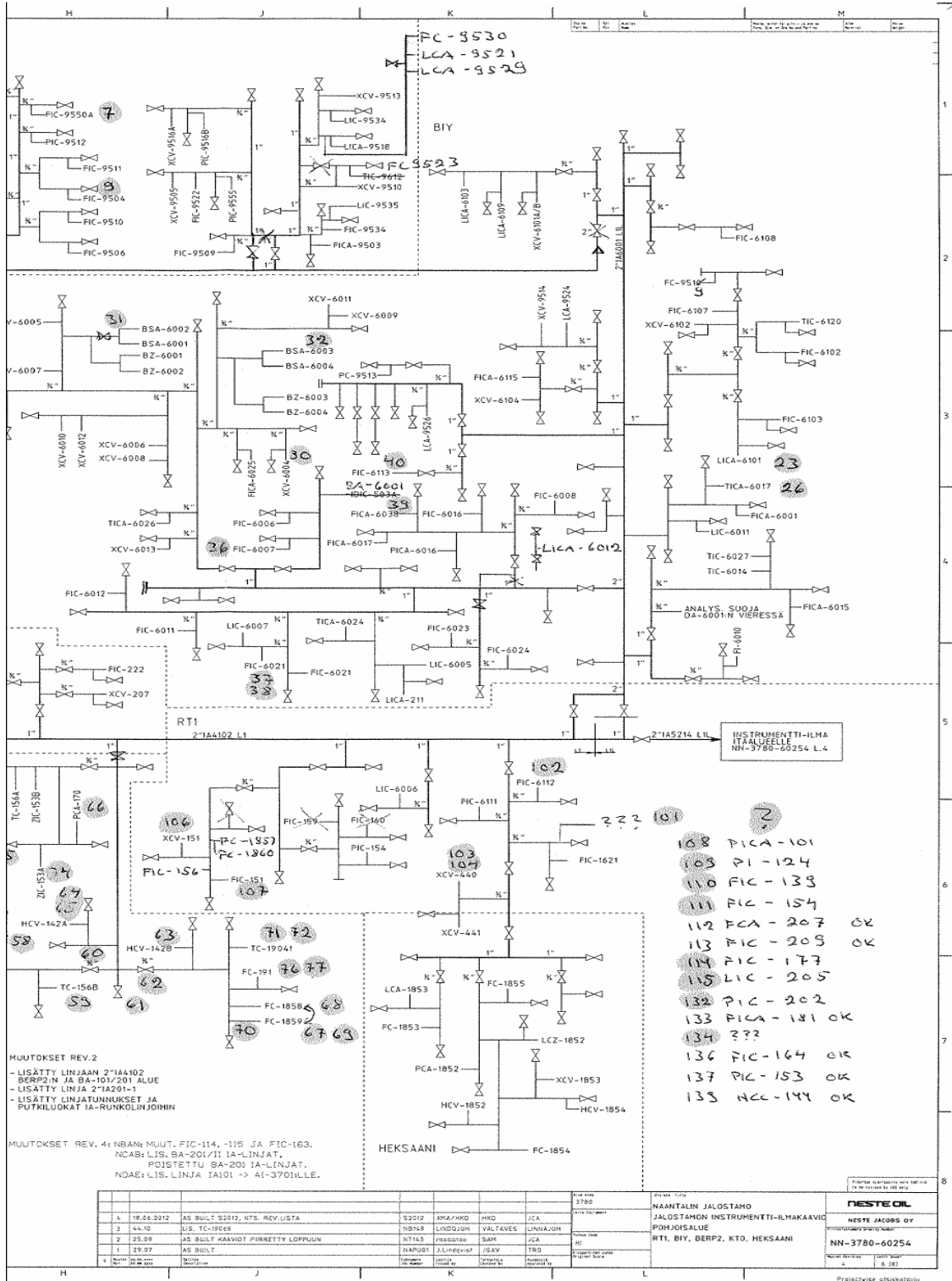


Esko Ryöppönen

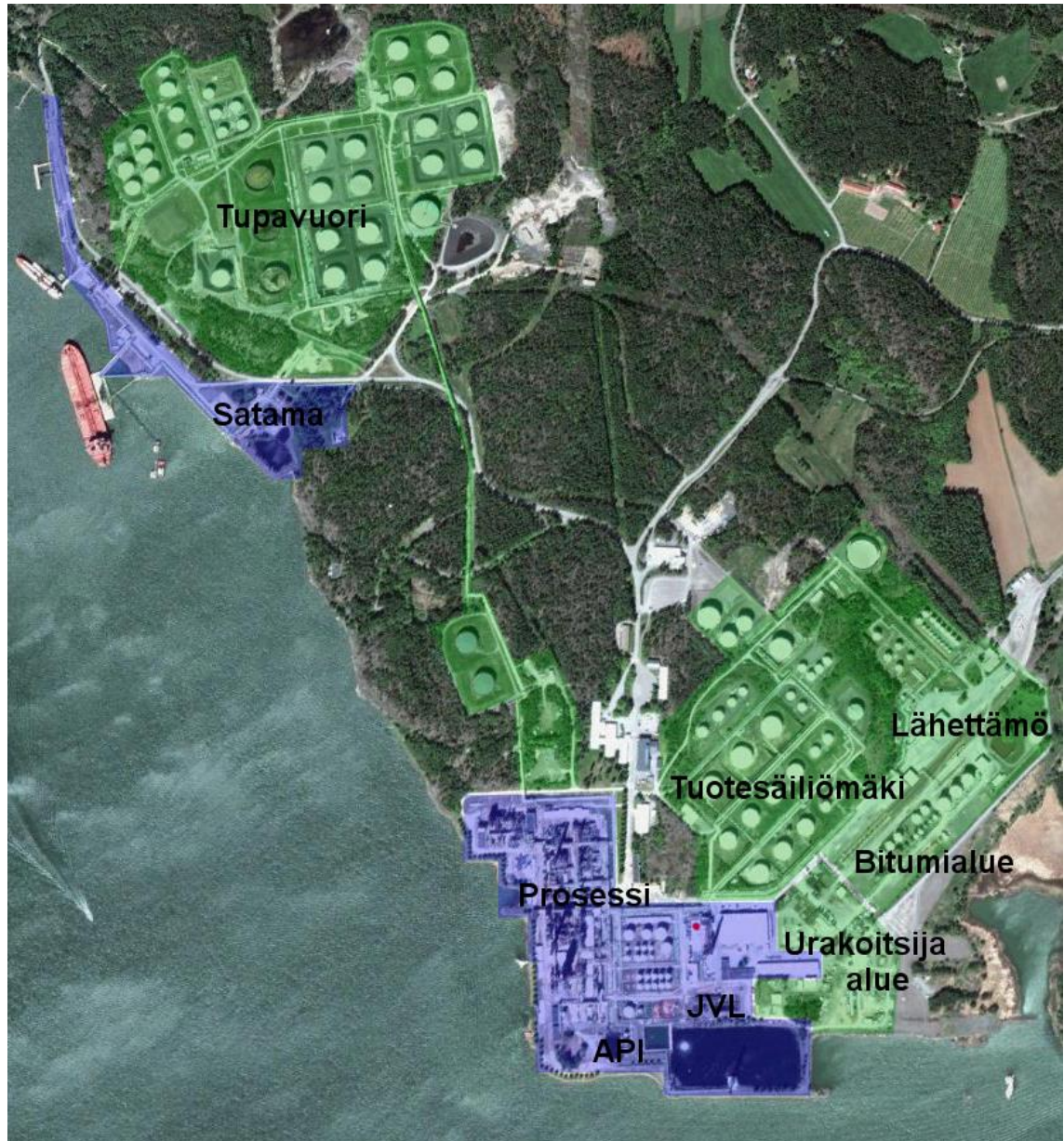
Esimerkki havaituista instrumentti-ilmaverkon vuodoista ja niiden merkitsemisestä



PAINELMAVERKOSTON VUOTOKARTOITUS, PIIRUSTUS NN-3780-60254 A0 LEHTI 1/8																						
No.	Alue/Yksikkö	Laite	?	1	1	12	4	2	0	33	9	Kommentti										No.
1	Väli/patteri	FC-3962								1	1	Kaikki liitokset vuotaa										1
2		FC-3968								1	1	Tuloventtiili										2
3		FC-3968								1	1	Painesäätimen tulo										3
4		XCV-9008								1	1	Vierestä venttiilin										4
5										1	1	Venttiili vuotaa juuresta										5
6		XCV-9010								1	1	Tuloventtiili										6
7		XCV-9102										Magneettiventtiilin tulo										7
8		XCV-6103								1	1	Tuloventtiili										8
9		XCV-6112								3	3	Koko tulo puoli vuotaa										9
10										1	1	Jatkos vuotaa										10
11										3	3	Palokunnassa 3 vuotoa kaikki merkattu										11
12								1			1											12
13										1	1	Liitosvuoto										13
14										1	1	Liitosvuoto										14
15		FD-1037								1	1	Lähdönvuoto										15
16		PA-1011								1	1											16
17											1											17
18										1	1											18
19										1	1											19
20										1	1											20
21											1	Laippavuoto										21
22	jääh. vesilait.3									1	1	Laitteen sisäänmeno vuotaa										22
23										1	1	Liitos vuotaa										23
24										2	2	Painealennusventtiilin molemmat puolet										24
25	ilman/jätevesi	HCV-1011								1	1	Magneettiventtiilin liitos vuotaa										25
26		XCV-1041								1	1	Magneettiventtiili auki										26
27										1	1	Venttiili vaihdettava										27
28										1	1	Venttiili vuotaa kiristetty										28
29										1	1	Venttiilivuotaa										29
30										1	1	Venttiilin liitos vuotaa										30
31										1	1	Painealennusventtiilin mittarin juuri vuotaa										31
32		LICA3417								1	1											32
33		LICA-3418								1	1											33
34		LICA-3417								1	1											34



Satelliittikuva jalostamoalueesta, johon on merkattu työilman käyttökohteet



LÄHTEET

- ¹ Ellman, A, Hautanen, J, Järvinen, K, Simpura, A. (2002) Pneumatiikka, ss. 29. Edita Prima Oy. Helsinki.
- ² Ellman, A, Hautanen, J, Järvinen, K, Simpura, A. (2002) Pneumatiikka, ss. 59-62. Edita Prima Oy. Helsinki.
- ³ Keinänen, T, Kärkkäinen, P. (2005) Automaatiojärjestelmien hydrauliiikka ja pneumatiikka, ss. 23-24. WSOY. Porvoo.
- ⁴ Keinänen, T, Kärkkäinen, P. (1997) Koneautomaatio 1 hydrauliiikka ja pneumatiikka, ss. 23. WSOY. Porvoo
- ⁵ Keinänen, T, Kärkkäinen, P. (2005) Automaatiojärjestelmien hydrauliiikka ja pneumatiikka, ss. 27-28. WSOY. Porvoo.
- ⁶ Ellman, A, Hautanen, J, Järvinen, K, Simpura, A. (2002) Pneumatiikka, ss. 44. Edita Prima Oy. Helsinki.
- ⁷ Keinänen, T, Kärkkäinen, P. (1997) Koneautomaatio 1 hydrauliiikka ja pneumatiikka, ss. 27. WSOY. Porvoo
- ⁸ Ellman, A, Hautanen, J, Järvinen, K, Simpura, A. (2002) Pneumatiikka, ss. 48-50. Edita Prima Oy. Helsinki.
- ⁹ Airila, M, Hallikainen, K, Kääpä, J, Laurila, T. (1983) Kompressorikirja, ss. 34-35. Korpivaara Oy Hydor Ab. Helsinki.
- ¹⁰ Keinänen, T, Kärkkäinen, P. (2005) Automaatiojärjestelmien hydrauliiikka ja pneumatiikka, ss. 31. WSOY. Porvoo.
- ¹¹ Keinänen, T, Kärkkäinen, P. (1997) Koneautomaatio 1 hydrauliiikka ja pneumatiikka, ss. 32. WSOY. Porvoo
- ¹² Keinänen, T, Kärkkäinen, P. (2005) Automaatiojärjestelmien hydrauliiikka ja pneumatiikka, ss. 33-34. WSOY. Porvoo.
- ¹³ Ellman, A, Hautanen, J, Järvinen, K, Simpura, A. (2002) Pneumatiikka, ss. 53-54. Edita Prima Oy. Helsinki.
- ¹⁴ Ellman, A, Hautanen, J, Järvinen, K, Simpura, A. (2002) Pneumatiikka, ss. 55. Edita Prima Oy. Helsinki.
- ¹⁵ Ellman, A, Hautanen, J, Järvinen, K, Simpura, A. (2002) Pneumatiikka, ss. 56-57. Edita Prima Oy. Helsinki.
- ¹⁶ Keinänen, T, Kärkkäinen, P. (2005) Automaatiojärjestelmien hydrauliiikka ja pneumatiikka, ss. 38. WSOY. Porvoo.
- ¹⁷ Ellman, A, Hautanen, J, Järvinen, K, Simpura, A. (2002) Pneumatiikka, ss. 52-53. Edita Prima Oy. Helsinki.
- ¹⁸ Airila, M, Hallikainen, K, Kääpä, J, Laurila, T. (1983) Kompressorikirja, ss. 47-48. Korpivaara Oy Hydor Ab. Helsinki.

- ¹⁹ Ellman, A, Hautanen, J, Järvinen, K, Simpura, A. (2002) Pneumatiikka, ss. 66. Edita Prima Oy. Helsinki.
- ²⁰ Ellman, A, Hautanen, J, Järvinen, K, Simpura, A. (2002) Pneumatiikka, ss. 67. Edita Prima Oy. Helsinki.
- ²¹ Hellgren, M, Heikkinen, L, Suomalainen, L. (1996) Energia ja Ympäristö. 2. painos, ss. 154-155. Opetushallitus. Helsinki.
- ²² Neste Oil Oyj. (2013) Neste Oil Lyhyesti. Viitattu 11.3.2013 <http://nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,107,2999>
- ²³ Neste Oil Oyj. (2011) Airshot Naantali. Viitattu 10.10.2013 <http://www.nesteoil.fi/> > Media > Kuvagalleria > Pictures > Refineries > Airshot Naantali.
- ²⁴ Neste Oil Oyj. (2013) Naantalin jalostamo. Viitattu 11.3.2013 <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,62,12271,12282>
- ²⁵ Urponen, J. (2012) Paineilma ihmisen palveluksessa. Powerpoint esitys. Neste Oil Oyj.
- ²⁶ Hellgren, M, Heikkinen, L, Suomalainen, L. (1996) Energia ja Ympäristö. 2. painos, ss. 14-16. Opetushallitus. Helsinki.
- ²⁷ Työ- ja elinkeinoministeriö. (2013) Energiatehokkuus.. Viitattu 16.4.2013 <http://www.tem.fi/energia/energiatehokkuus>.
- ²⁸ Motiva Oy. (2006) PATE-analyysi – Paineilman energia-analyysimalli. Saatavissa http://www.motiva.fi/files/1318/PATE-analyysi_Paineilman_energia-analyysmalli.pdf.
- ²⁹ CEFIC. (2009) CARE+ Energy Efficiency Handbook for Chemical SMEs. Saatavissa <http://www.cefic.org/Policy-Centre/Energy/Energy-Efficiency/CARE-/Care-Tools/>.
- ³⁰ Vähemmän Energiaa – Enemmän tulevaisuutta seminaari. (2012) Powerpoint esitys. Neste Oil Oyj.
- ³¹ Motiva Oy. (2010) Energiatehokkaat paineilmaa käyttävät laitteet. Saatavissa http://www.motiva.fi/files/4182/Energiatehokkaat_paineilmaa_kayttavat_laitteet.pdf