



Tuotantolaitoksen paineilmajärjestelmän uusiminen

Kari Hanski

OPINNÄYTETYÖ
Elokuu 2020

Konetekniikka
Tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotantotekniikka

HANSKI, KARI:
Tuotantolaitoksen paineilmajärjestelmän uusiminen

Opinnäytetyö 44 sivua
Elokuu 2020

Opinnäytetyössä käsitellään tuotantolaitoksen paineilmajärjestelmän uusimista. Työn tarkoituksena oli luoda 5-vuotissuunnitelma AGCO Power Oy:lle kompressoreiden korvausinvestoinnille. Investointitarpeeseen on päädytty, koska vanhat kompressorit ovat käyttötuntiansa puolesta joko peruskorjauksen tai korvausinvestoinnin tarpeessa. Työn tavoitteina oli paineilman taloudellisuuden ja energiatehokkuuden parantaminen. Työn toimeksiantaja on AGCO Power Oy.

AGCO Powerin vanhan kantatehtaan alueella on kaksi laitehuonetta kompressoreille ja kuivaimille. Työssä käsitellään vanhempaa laitehuonetta ja siihen kuuluvaa laitteistoa. Nykyisen laitteiston on toimittanut Atlas Copco. Tällä hetkellä vain toisesta vanhimman laitehuoneen kompressorista otetaan hukkalämpöä talteen ylhäällä olevaan sosiaalitalaan. Hukkalämpöä on kuitenkin saatavilla huomattavasti enemmän. Kompressoreiden tuottamasta tehosta hukkalämmöksi häviää n.90 %. Lisäksi vanhin laitetila ei ole optimaalinen ilmajäähdytteisille kompressoreille, koska kompressorit sijaitsevat kellaritiloissa ja varsinkin kesäaikana ne käyvät liian kuumana. Paineilmaverkosto on myös kantatehtaan alueella vanhaa ja runkolinjasto kulkee kanaaleissa. Opinnäyte sisältää verkoston kunnon arvioinnin.

Työssä onnistuttiin löytämään taloudellinen ja energiatehokas tapa hyödyntää kompressoreiden tuottamaa hukkalämpöä kiinteistön lämmitykseen ja lämpimän veden tuotantoon. Lisäksi laitetalan layout – ja ilmanvaihtosuunnitelma saatiin valmiiksi.

Asiasanat: paineilma, laitteisto, energiatehokkuus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering

HANSKI, KARI:
Renewal of the Compressed Air System at the Manufacturing Plant

Bachelor's thesis 44 pages
August 2020

The thesis deals with the renewal of the compressed air system of a production area. The purpose of the work was to create a 5-year plan for AGCO Power Oy for compressor replacement investment. A decision was made to invest in the equipment because the old compressors are in need of either renovation or replacement investment in terms of operating hours. The goals of the work was to improve the cost and energy efficiency of compressed air. The thesis was commissioned by AGCO Power Oy.

AGCO Power's old main factory area has two equipment rooms for compressors and dryers. The thesis deals with the oldest equipment room and associated equipment. The current equipment was supplied by Atlas Copco. Currently, only the second compressor in the oldest equipment room is used to recover waste heat to heat the social space located above it. Waste heat is available in much larger quantities. After all, about 90% of the power produced by the compressors is lost as waste heat. In addition, the oldest equipment room has not been optimized for an air-cooling compressor. The appliances are located in the basement and especially during the summer they get too hot. The compressed air networks is also old in the area of the main plant and the main network runs in the channels. The thesis includes an assessment of the condition of the network.

The work was successful in finding a cost and energy efficient way to utilize the waste heat generated by the compressors for heating the property and producing heat water. In addition, the layout and ventilation plan for the equipment room was completed.

Key words: compressed air, facilities, energy efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	AGCO POWER OY.....	7
2.1	Agco Power Linnavuori	7
2.1.1	Linnavuoren rakennemuutos	8
2.1.2	Nykypäivä	8
2.2	AGCO Konserni	11
3	PAINEILMAJÄRJESTELMÄ	13
3.1	Nykyinen tilanne.....	13
3.1.1	1-Halli	13
3.1.2	5-Halli	15
3.1.3	Kantatehdas	17
3.1.4	Verkosto	17
4	PAINEILMA.....	19
4.1	Paineilmatietoutta.....	19
4.1.1	Paineilmajärjestelmä ja sen laitteet	20
4.1.2	Koneturvallisuusmääräykset.....	21
4.2	Kompressorityypit.....	22
4.2.1	Ruuvikompressorit.....	23
4.2.2	Paineilmasäiliö.....	24
5	PAINEILMAN JÄLKIKÄSITTELY	26
5.1	Lauhteenpoisto.....	26
5.2	Paineilman kuivaus	27
5.3	Öljyn poisto	29
5.4	Paineilman suodatus.....	29
5.5	Paineilman laatuluokat	30
6	ENERGIATEHOKKUUS	32
6.1	Lämmöntalteenottomahdollisuuksia	33
6.2	Turvallisuusnäkökohdat	34
6.3	Hukkalämmön talteenoton yhteenveto	35
7	PUTKISTON MITOITUS	36
7.1	Verkosto	38
8	LAYOUT	41
9	LASKELMAT.....	43
10	POHDINTA	44
	LÄHTEET.....	45

LYHENTEET JA TERMIT

FMS	Joustava valmistusjärjestelmä
USD	Amerikan dollari
qv	Tilavuusvirta, m^3/min
Bar	Paineyksikkö
N	Kiinteiden hiukkasten koko

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda suunnitelma AGCO Powerille vanhan laittilan laitteiden uusimiselle, löytää epäkohtia nykyisestä konstruktiosta ja kehittää toimintaa. AGCO Power on dieselmootoreiden valmistaja Nokian Linnavuoressa. AGCO Power on nykyään amerikkalaisomisteinen yritys. AGCO Power kuuluu AGCO konserniin.

Opinnäyte alkoi nykyiseen laitteistoon ja toimintatapaan tarkemmalla tutustumisella. Tämän jälkeen kaksi laitevalmistajaa suoritti mittaukset kompressoreilta, jonka pohjalta he pystyivät luomaan analyysin nykytilanteesta. Tuloksien avulla pystyttiin luomaan suunnitelma, millä laitepohjalla paineilmaa pystytään tuottamaan mahdollisimman tehokkaasti ja taloudellisesti.

Kompressoreiden ohjauksessa ja niiden käyntituntien määrässä on paljon kehittämistä. Myös vuototaso on hyvin korkea tehdasalueella. Suurin kehittämisen tarve vanhassa laittilassa on kuitenkin energiatehokkuuden parantaminen. Järkevimmäksi ja sijainniltaan helpoimmaksi tavaksi osoittautui lämmöntalteenoton hyödyntäminen lämmitykseen ja lämpimän veden tuotantoon. Kompressorit sijaitsevat lähellä kaukolämpölinjan toisiopiiriä, PTG-levylämmönvaihtimen kautta hukkalämpö on hyödynnettävissä toisiopiiriin.

Opinnäyte sisältää myös yleistä tietoa paineilmosta ja sen tuottamisesta.

2 AGCO POWER OY

2.1 Agco Power Linnavuori

Opinnäytetyön tilaaja AGCO Power on pääasiassa dieselmootoreiden ja aggregaattien valmistaja. Yrityksen tie alkoi Tampereelta ja Nokian Linnavuoresta lentomootorien ääreltä. Tehojen ja sylinterien täyteiseen historiaan mahtuu monta kiinnostavaa polkua. Tehdas sijaitsee noin puolen tunnin ajomatkan päästä Tampereelta Nokian Linnavuoressa. Tehtaalla on pitkä historia, joka ulottuu vuoteen 1942. Tällöin rakennettiin Suomen toinen lentomootoritehdas Linnavuoreen (kuvio 1). Tehtaan päätehtävä oli toimia lentomootoreiden korjaustyön ydinpaikkana.



KUVIO 1. 1-Halli. (Yritysesittely 2020)

Tuotannollinen toiminta aloitettiin osin keskeneräisissä tiloissa maaliskuussa 1944. Ensimmäinen työ oli 30 VL Myrsky II- hävittäjäkoneen rungon kokoonpano. Sodan päätyttyä tehdas siirtyi lähes täysin sotakorvaustuotantoon. Linnavuoreen valikoitui miltei kaikki tarvittavien dieselmootoreiden -ja ilmakompressorien valmistus. Omaan tuotekehitykseen perustuvien dieselmootorien valmistus alkoi vuonna 1946.

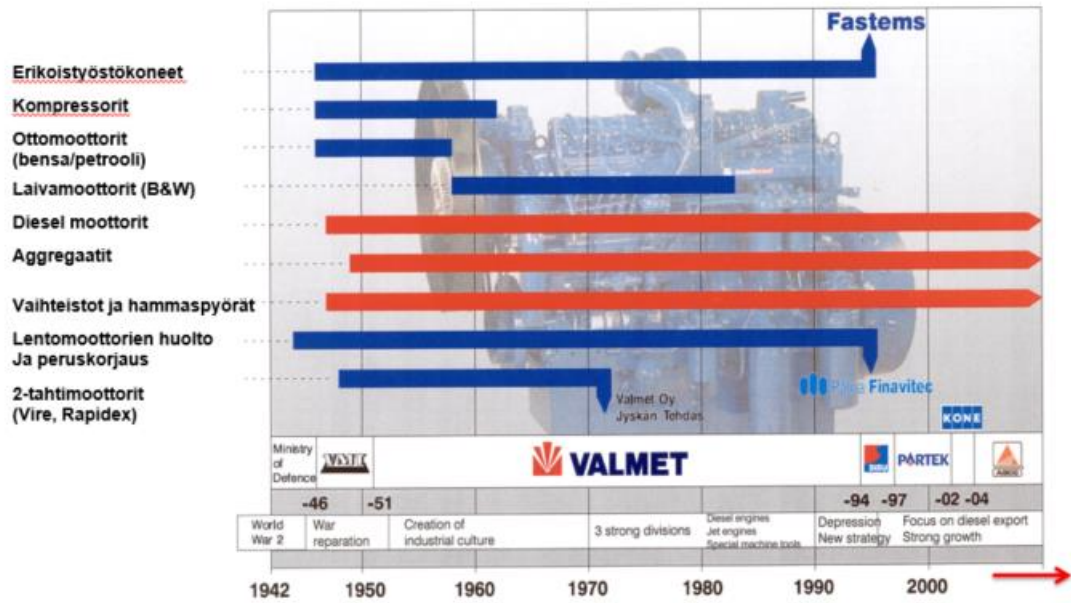
2.1.1 Linnavuoren rakennemuutos

Vielä 1990-luvulle tultaessa Linnavuoren tehtaalla oli useita tuotelinjoja ja dieselmoottorit olivat niistä suurin. Tehtaasta tuli Pohjoismaiden johtava erikoistyöstökoneiden ja joustavien valmistusjärjestelmien (FMS) toimittaja. Sen verran tehtaan alkuperäisestä liikeideasta oli jäljellä, että vuoren sisässä huollettiin armeijan lentokoneiden suihkumoottoreita. Dieselmoottorituotannon ohessa oli jo 1950-luvulta lähtien kehittynyt dieselvaravoimaloitten valmistus.

Kun Valmet Oy:ssä aloitettiin rakennemuutokset 1990-luvun alussa, Linnavuoren alueelle syntyi kolme tehdasyksikköä: Dieseltuotteet, joihin kuuluivat myös hammaspyörät ja dieselvaravoimalat, Valmet Tehdasautomaatio ja Valmet Aviationiin kuuluva suihkumoottoreitten huolto-osasto. Kun Valmet Oy:n ja Sisun välillä tehtiin omistusjärjestelyjä keväällä 1994, Dieseltuotteet ja Tehdasautomaatio siirtyivät uuteen Sisuun ja lentomoottorit Patria Finaviteciin. Koska Sisun liikeidea perustui kumipyörillä liikkuviin ajoneuvoihin ja työkoneisiin, Tehdasautomaatio myytiin Mercantile Oy:lle vuoden 1995 lopulla. Moottoritehtaan nimeksi tuli tässä yhteydessä Sisu Diesel ja hieman myöhemmin myös moottoreiden tuotenimeksi Valmetin sijaan Sisu Diesel. Dieseltehtaasta muodostui Pohjoismaiden suurin hammaspyörien valmistaja oman moottoritehtaan rinnalla pääasiakkaanaan Valtra. (<https://www.agcopower.com/fi/yritys/historia/v1990-luku-suurten-muutosten-ja-paatosten-aika/>)

2.1.2 Nykypäivä

Omistussuhteet ovat vaihtuneet vuosien varrella ja sitä kautta yrityksen nimi (kuvio 2). Vuonna 1997 Partek osti enemmistöosakkuuden Sisu-konsernista. Vuonna 2002 oli vuorossa seuraava muutos, kun Kone-konserni osti Partekin koko osakekannan. Kuitenkin jo elokuussa 2003 tiedotettiin esisopimuksesta, jonka Kone oli tehnyt moottoritehtaan myymisestä amerikkalaiselle AGCO Corporationille.



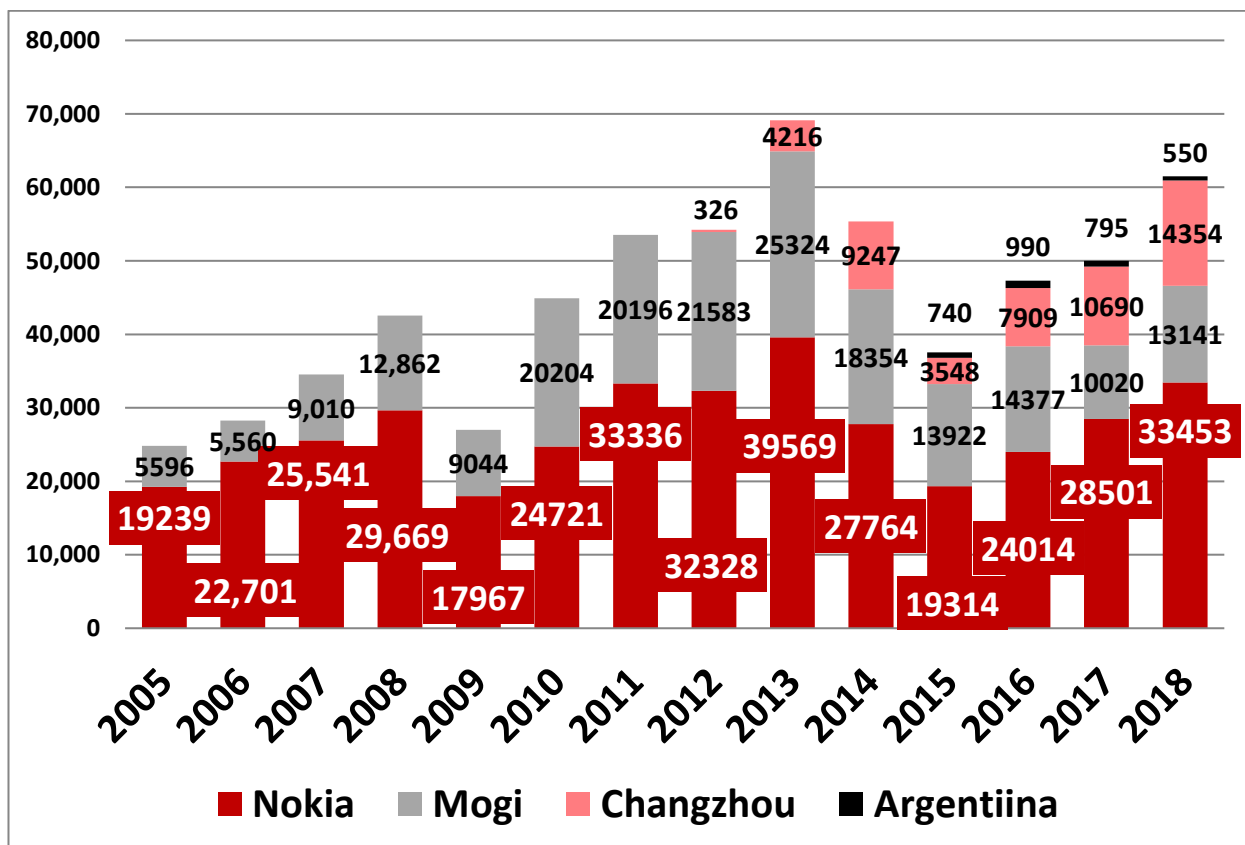
KUVIO 2. Historia. (Yritysesittely 2020)

Vuonna 2012 liiketoiminta integroitiin entistä tiivimmin AGCO-konsernin ydinliiketoimintaan vaihtamalla yrityksen nimeksi AGCO Power. Tehdas alueella on nykyisin kuusi eri tuotantohallia ja viimeisintä niistä laajennetaan tällä hetkellä. Kaikilla halleilla on omat funktionsa, mutta laajennuksen myötä moottorikokoonpano keskitetään täysin uudelle tehdasalueelle (kuvio 3).



KUVIO 3. Tehdasalue. (Yritysesittely 2020)

Moottoreiden valmistusmäärät ovat kasvaneet alkuvuosien sadoista kappaleista merkkipaalujen 10 000 kpl (1994) ja 20 000 kpl (2000) kautta nykypäivän liki 40 000 moottorin vuositaittiin (kuvio 4). Tämä on vaatinut merkittäviä lisäpanostuksia ja resursseja moottoreiden tuotekehitykseen ja tuotannon automatisointiin.



KUVIO 4. Agco Powerin moottorituotanto. (Yritysesittely 2020)

Agco Power moottorit täyttävät viimeisimmät Stage V päästömääräykset EU:ssa, China IV Kiinassa sekä Tier 4 Final USA:ssa. Moottoreista on tarjolla myös muokattuja versioita vähemmän säännellyille markkinoille. Moottoreiden jatkuva tutkimus- ja kehitystyö takaa, että moottorit täyttävät koko ajan tiukentuvat hiilidioksidipäästömääräykset. Moottoreiden teholuokat vaihtelevat 75 kW-365 kW ja niitä on saatavilla 3-7 sylinterisinä. Kuviossa 5 on esitetty HD 74 mallinen 6 sylinterinen moottori näyttelyväreissä. Uudessa kokoonpanotehtaassa alkaa tulevaisuudessa rakentumaan Agco Powerin uusi moottoriperhe. Uusia moottoreita valmistetaan 4- ja 6 sylinterisinä. Edellinen suuri muutos on tullut

vuonna 1991. Uusi moottori on suunniteltu pääasiassa työkonekäyttöön, mutta soveltuu myös maantiekäyttöön.

Kokoonpanon lisäksi tehtaassa koneistetaan muun muassa sylinteriryhmiä – ja kansia sekä hammaspyöriä ja voimansiirtoakseleita. Tehtaassa kunnostetaan myös vanhoja moottoreita. Tehdas työllistää tällä hetkellä 750 henkilöä, joista 480 on tuotannon työntekijöitä ja 270 toimihenkilöitä. Noin 13 % on naisia ja 87 % on miehiä. Ikärakenne painottuu nuoriin aikuisiin, koko henkilöstön keski-ikä on noin 40v.



KUVIO 5. Moottori HD 74. (agcopower.com)

2.2 AGCO Konserni

AGCO on maailman kolmanneksi suurin maatalouskoneiden kehittäjä ja valmistaja. AGCO:n tuotteita myydään yli 3000 jälleenmyyjän voimin yli 140 maassa ympäri maailmaa. AGCO:n maailmankuuluja brändejä ovat mm.:

- Massey Ferguson, maailman eniten myydyin traktori
- Fendt, traktoreiden teknologiajohtaja
- Valtra, markkinajohtaja traktoreissa Pohjois-Euroopassa ja Etelä-Amerikassa
- Challenger, telatraktorit
- Gleaner puimurit

- Hesston heinäkoneet
- Rogator, Terragator ja Spra-Coupe, itsekulkevat ruiskut

3 PAINELMAJÄRJESTELMÄ

3.1 Nykyinen tilanne

Linnavuoren tehdas on alkanut rakentumaan vuonna 1942. Tehtaiden alla kulkee kanaaliverkosto. Tätä verkostoa on käytetty kaukolämmön, veden, sähkön ja myös paineilman siirtoon. Kanaaliverkosto kulkee pääasiassa hallien suuntaisesti. Paineilmaverkosto on suurimmalta osin vanhan kantatehtaan alueella alkuperäistä ja varsin huonokuntoista. Kantatehtaan alueella on kaksi laitehuonetta ja nämä toimivat niin sanottuina keskitettyinä paineilmajärjestelminä. Uudella tehtaalla on kaksi ruuvikompressoria hajautettuna ja ne sijaitsevat hallissa laitetasolla.

Kantatehtaan alueen laitehuoneet sijoittuvat 1- ja 5 halliin.

3.1.1 1-Halli

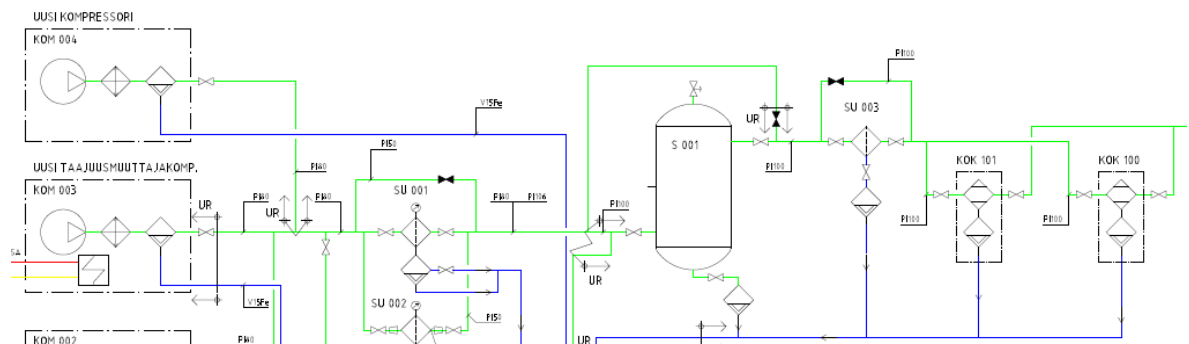
1- Hallin laitehuone koostuu seuraavista laitteista (Kuvio 6).

- Paineilmakompressori Tampella LTD, Tamrock 550 EWA, maks. Paine 8 bar, tuotto $16 \text{ m}^3/\text{min}$), sähköteho 110 kW, vv. 1982
- Paineilmakompressori Atlas Copco GA55plus (2007), maks. paine 8 bar, tuotto 7,5 bar $10,6 \text{ m}^3/\text{min}$, sähköteho 55kW
- Taajuusmuuttajaohjattu paineilmakompressori Atlas Copco, GA 90 VSD (2007), maks. paine 13 bar, tuotto 7 bar, $17 \text{ m}^3/\text{min}$, sähköteho 90 kW
- Paineilmasäiliö Galvanoimis Oy, tilavuus 3 m^3 , rakennepaine 10 bar, vedenpoistin Bekomat
- Paineilman jäähdytyskuivain, Tamrotor Oy, Hiross PGN 450 400/3/50, max. Paine 12 bar, suurin virtaus (7 bar vapaa ilma) $45 \text{ m}^3/\text{min}$, sähköteho 4,31 kW, kastepiste $+3 \text{ }^\circ\text{C}$, kylmäaine R 407C
- Paineilman jäähdytyskuivain, Atlas Copco, FD750A VSD, max. Paine 13 bar, suurin virtaus (7 bar vapaa ilma) $45 \text{ m}^3/\text{min}$, sähköteho 5,1 kW, kastepiste $+3 \text{ }^\circ\text{C}$, kylmäaine R 404A

- Kondenssiveden öljynerotin, Tamrotor Oy, Övamat 6, erottimeen kytkettyjen ruuvikompressoreiden maksimi yhteinen ilmantuotto on 30 m^3/min

Toiminta perustuu siihen, että kiinteätuottoinen käy aina kunnes saavuttaa paineen 7,3 bar, josta alkaa kevennyskäynti. Jos taas kulutusta on niin paljon, että kiinteätuottoinen ei pysty pitämään painetta yllä, lähtee taajuusmuuttajakäyttöinen kompressori tukemaan tarvittavan ajan. Laitteet ovat investoitu vuonna 2007. Laitehuoneeseen on jätetty myös vanha paineilmakompressori mahdollisten laiterikkojen varalle.

Laitehuone (Kuvio 7) ei ole täysin soveltuva suunniteltuun käyttöönään varsinkaan ilmajäähdytteisillä kompressoreilla, sillä sen lämpötila nousee liian korkeisiin lukemiin varsinkin kesällä siihen nähden missä lämpötilassa kompressoreiden olisi hyvä käydä. Myös kuivainhuoneessa lämpötila aiheuttaa häiriöitä laitteille.



KUVIO 6. 1-Halli paineilmakeskus kaavio. (AX-suunnittelu)

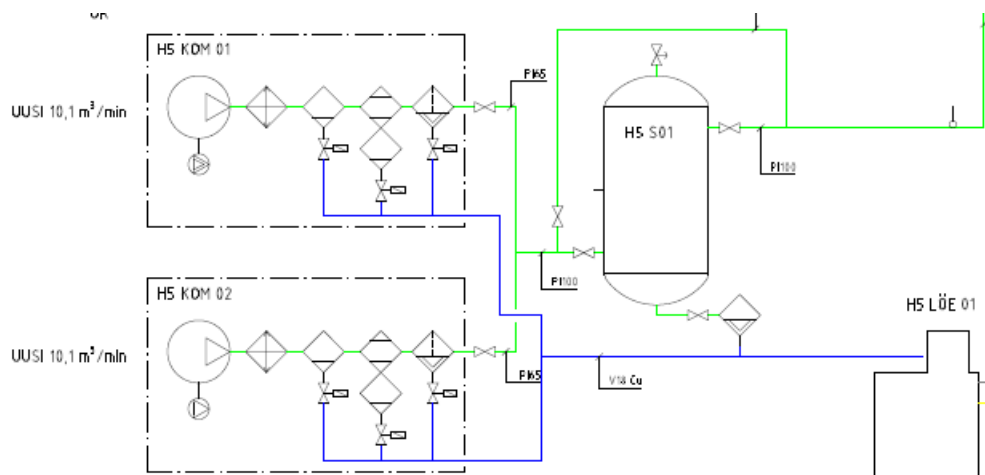


KUVIO 7. 1-Hallin laitehuone kellarissa

3.1.2 5-Halli

Toinen kantatehtaan alueen laitehuoneista sijaitsee 5-hallissa. Laitehuone koostuu seuraavista laitteista (Kuvio 8). Toimintaperiaate on täysin sama kuin 1-hallin laitehuoneessa.

- Taajuusmuuttajaohjattu paineilmakompressori Atlas Copco GA55ff VSD (2007), maksimi paine 13 bar, tuotto 7 bar 10,3 m^3 /min, sähköteho 55kW
- Paineilmakompressori Atlas Copco GA55plus (2007), maksimi paine 8 bar, tuotto 7,5 bar 10,6 m^3 /min, sähköteho 55kW
- Paineilmasäiliö, tilavuus 2 m^3 , rakennepaine 10 bar, vedenpoistin EWD50
- Kondenssiveden öljynerotin, Atlas Copco, OSC 600, erottimeen kytkettyjen ruuvikompressoreiden maksimi yhteinen ilmantuotto on 22 m^3 /min



KUVIO 8. 5-Halli paineilmakekus kaavio. (AX-suunnittelu)

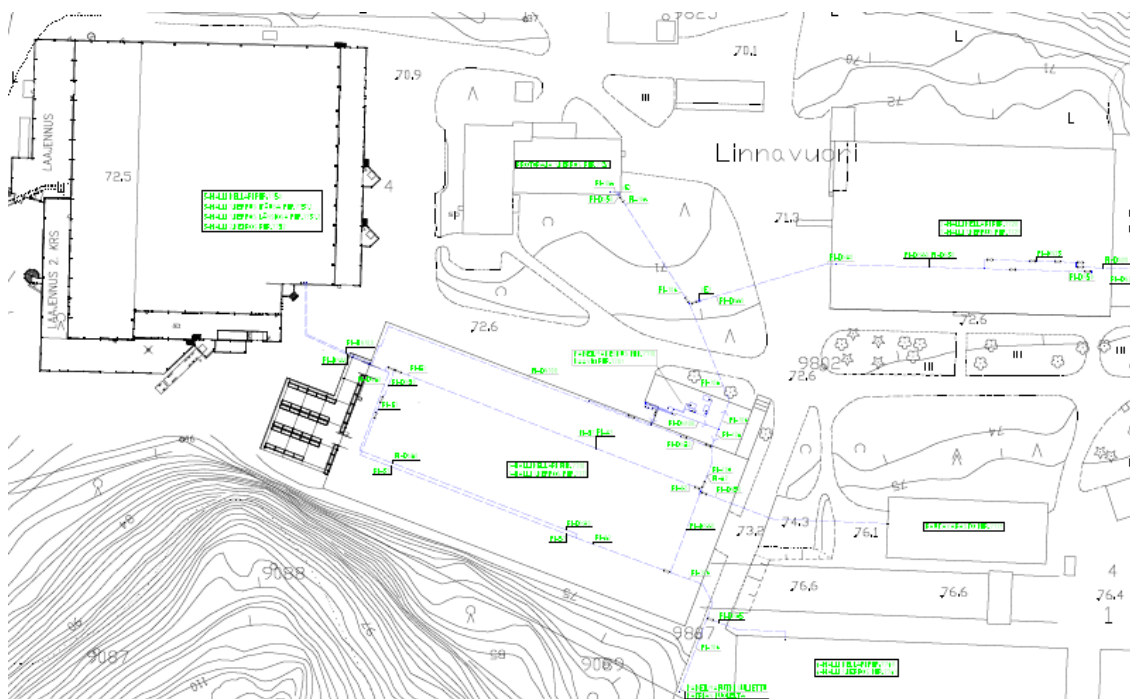
Laitehuone on sijainniltaan ja käyttökelpoisuudeltaan (Kuvio 9) huomattavasti parempi kuin 1-hallin laitehuone, se sijaitsee parvella, tila on avara ja lämmöntalteenottoakin on hyödynnetty vieressä sijaitsevaan korkeavarastoon. Laitteet ovat investoitu vuonna 2008. (Erno Lindroos, Kunnossapitopäällikkö)



KUVIO 9. 5-Hallin laitehuone parvella

3.1.3 Kantatehdas

Kaksi laitehuonetta siis tuottaa paineilmaa kantatehtaan alueelle (Kuvio 10). Kantatehdas koostuu neljästä tuotantolaitoksesta ja yhdestä tuotekehitys hallista. Linjastot ovat siis erittäin pitkiä ja sitä kautta vuototasot korkeat. Tehtaalla tehdään paineilman vuotomittauksia vuosittain.



KUVIO 10. Kantatehdasalueen paineilmapakaavio. (AX-suunnittelu)

3.1.4 Verkosto

Muuntamohuolto viikonlopun yhteydessä, koko tehdasalueella tuotannon ollessa seisahduneena, paineilmaverkosto laskettiin paineettomaksi, jotta päästiin suorittamaan huoltotyötä. Runkolinjasta korjattiin kaksi isoa vuotokohtaa ja vaihdettiin ylemmän lämpölinja putken vuodon kohteeksi joutunut paineilmaputki uuteen (KUVIO 11).



KUVIO 11. Vikaantunut paineilmaputki.

Runkolinjasto on kyseisessä kohdassa alkuperäistä 1940- luvun lopusta. Oletusarvona oli, että runkolinja on sisältäkin varsin huonokuntoista, mutta vanha valurautaputki osoittautuikin yllättävän hyväksi. Pientä pintaruostetta, likaa ja kosteutta öljyn muodossa oli havaittavissa (KUVIO 12).

Paineilmaputkeahan tehtaalla kulkee satoja kilometrejä, mutta ainakaan kyseisellä kohdalla tilanne ei ole hälyttävä.



KUVIO 12. Putken sisäpinta runkolinjassa.

4 PAINAILMA

4.1 Paineilmatietoutta

Paineilma on ylipaineiseksi paineistettua eli kompressoitua ilmaa. Käyttö perustuu pääasiassa erilaisten toimilaitteiden liikkeiden toteuttamisessa. Liikkeet aikaansaadaan esimerkiksi sylintereillä, paineilmamootoreilla ja tarttujilla. Liikkeiden ohjaukseen tarvitaan joukko erilaisia venttiileitä. Niitä ohjataan yleensä mekaanisesti, pneumaattisesti tai sähköisesti. Sähköohjauksilla on tekniikassa merkittävin osa, koska ne mahdollistavat älykkään ohjauslogiikan käytön. Pelkästään ilmaohjattuja järjestelmiä käytetään esim. räjähdysvaarallisissa tai hyvin kosteissa olosuhteissa.

Yleisesti paineilma soveltuu käyttöön, kun:

- Käsiteltävät kappaleet ovat keveitä
- Liikkeet voidaan suorittaa rajalta rajalle
- Vaaditaan hygieenisyyttä
- Vaaditaan nopeaa liikettä
- Tartunnan on oltava pehmeä
- Ympäristö on palo- tai räjähdysarka

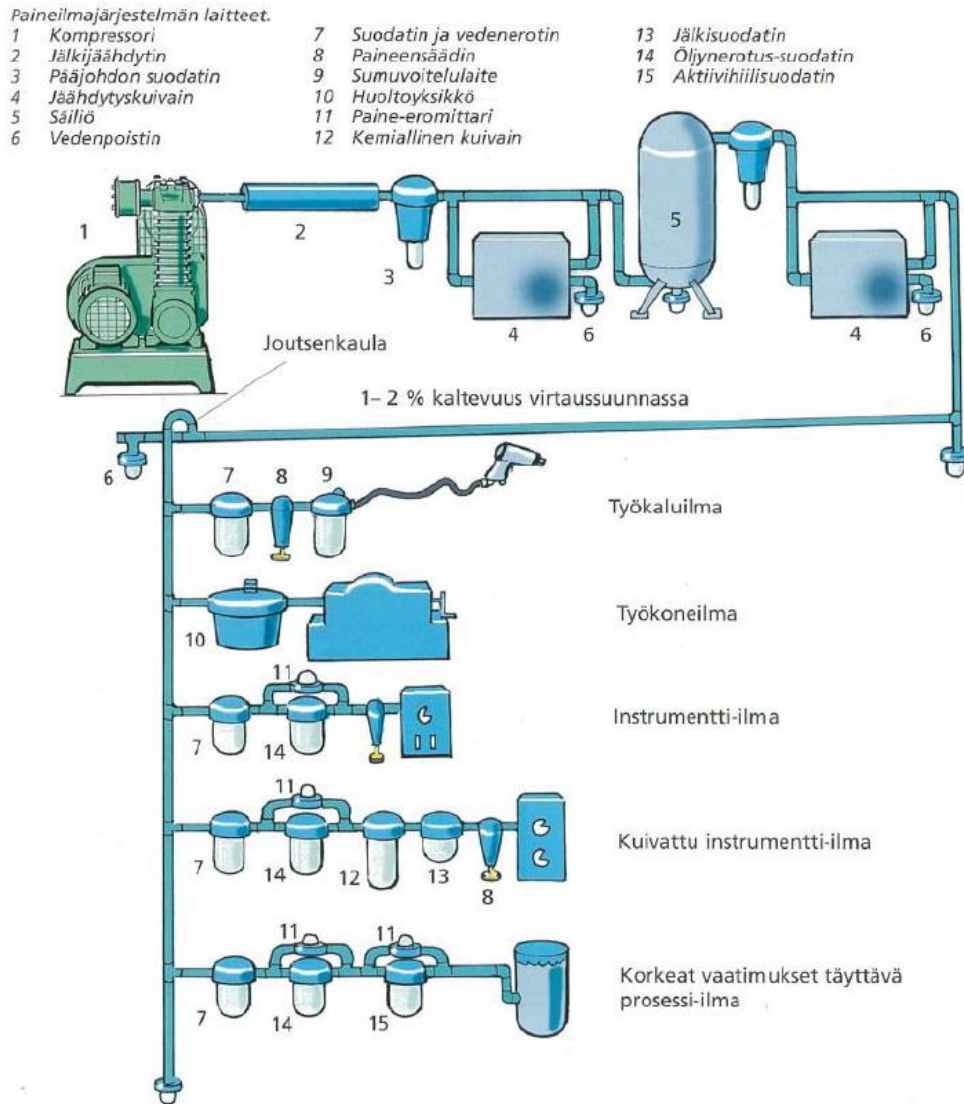
Paineilman jakelussa on pyrittävä siihen, että painehäviöt kompressorihuoneen ja käyttöpaikan välillä olisivat mahdollisimman pienet. Näitä häviöitä syntyy vuotoina sekä paineen laskuna ahtaiden ja likaantuneiden putkijohtojen takia. Tärkeä haittatekijä on tiivistynyt kondenssi- eli lauhdevesi, joka voi aiheuttaa paljonkin harmia sekä putkijohdoissa että toimilaitteissa. Seuraavassa on esitetty paineilman käyttäjän kymmenen ohjetta, jotka eliminoivat haittatekijöitä tehokkaasti.

1. Kompressorikapasiteetin on riitettävä tyydyttämään paineilman kokonaisterve.
2. On käytettävä oikeita putkikokoja, liittimiä, venttiilejä ja varusteita.
3. Venttiilit on suljettava työajan päättyessä.
4. Vuotoja on tarkkailtava säännöllisesti ja vuotokohdat korjattava välittömästi.
5. Paras tapa poistaa vettä paineilmasta on oikea ennaltaehkäisy ja kuivaimen käyttö.
6. Ellei kuivainta ole, on järjestelmässä oltava vedenerottimia.
7. Paineilmakoneet on huollettava säännöllisesti ja pidettävä käyttökunnossa.
8. On käytettävä oikeita ja työturvallisia voiteluaineita ja niiden kulutus on säädettävä voitelulaitteesta toimilaitteelle sopivaksi.
9. Paineilmaa ei saa käyttää jäähdytys- tai tuuletustarkoituksiin! Koeponnistusten teko kokoonpuristuvalla yllättäen purkautuvalla paineilmalla on hengenvaarallista.
10. Vaatteiden puhaltaminen puhtaaksi paineilmalla on myös ehdottomasti kielletty. Sekin voi olla hengenvaarallista!

4.1.1 Paineilmajärjestelmä ja sen laitteet

Toimivaan paineilmajärjestelmään kuuluu yleensä (KUVIO 13):

1. Kompressori
2. Paineilman jälkikäsittelylaitteet
3. Paineilmasäiliö
4. Paineilmaverkosto
5. Toimintaa ohjaavat venttiilit
6. Toimilaitteet kuten sylinterit ja moottorit



KUVIO 13. Paineilmajärjestelmän laitteet. (Keinänen Toimi, 2005)

4.1.2 Koneturvallisuusmääräykset

Koneturvallisuusmääräykset koskevat pneumaattisia järjestelmiä.

Valtioneuvoston päätös vuodelta 2011, N:ro 12100, antaa yleisiä ohjeita koneiden turvallisuudesta. Koneiden valmistajan tulee taata koneiden turvallisuus ja liittää tuotteeseen CE-merkki. Standardi EN 4414 käsittelee turvallisuusvaatimuksia niin hydraulisten kuin pneumaattisten järjestelmien osalta. Tämä standardi koskee koneiden pneumaattisia järjestelmiä ja niiden komponentteja. Standardissa yksilöidään vaaratekijät ja seikat, jotka vaikuttavat järjestelmien ja niiden komponenttien turvallisuuteen, kun niitä käytetään

tarkoitettulla tavalla. (Automaatio järjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka, Keinänen Toimi, 2005)

4.2 Kompessorityypit

Kompessori on yleisnimi laitteelle, joilla voidaan nostaa kaasun painetta vähintään kaksinkertaiseksi verrattuna imupaineeseen. Kompessoreiden tuottomäärät vaihtelevat suuresti, muutamista litroista tuhansiin kuutiometrihin minuutissa. Tuotto ilmoitetaan paineilman tilavuusvirtana, jonka yksikkö voi olla l/min , m^3/h tai m^3/s . Pienillä paineilla kompressorit toimivat yksivaiheisina, jolloin puristus suoritetaan kerralla. Korkeammissa paineissa lämpörasitusten vähentämiseksi puristus tehdään vaiheittain. Puhutaan kaksi- tai kolmivaiheisesta puristuksesta. Vaiheiden väliin sijoitetaan välijäähdyttimiä. Puristusvaiheiden jälkeen eli kompressorin perään sijoitetaan jälkijäähdytin, jonka tehtävänä on alentaa ilman lämpötilaa ja poistaa siitä tiivistynyttä vettä.

Kompressorien tyypillisiä toiminta alueita:

Tyyppi:	Tuotettu paine (MPa):	Tilavuusvirta (m^3/min):
Mäntäkompressorit	0,1-100	0,005-3
Ruuvikompressorit	0,08-3	0,25-10
Lamellikompressorit	0,02-0,8	0,08-2
Radiaaliturbokompressorit	0,07-30	0,1-50
Aksiaaliturbokompressorit	0,08-0,5	10-100

Yleisimmät kompressorityypit ovat nykyisin ruuvi- mäntä- ja lamellikompressorit. Ruuvikompressorit ovat nykyisin yleisimpiä ja asettuvat niin tuotto- kuin

paineominaisuuksien puolesta keskialueelle. Lamellikoneet soveltuvat hiukan pienimmille työpaineille ja niiden tuotto on myös pienempi kuin ruuvikoneilla. Mäntäkompressorit ovat parhaita, jos ilman tarve vaihtelee käytön aikana suuresti ja jos painevaatimukset ovat korkeat. (Automaatio järjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka, Keinänen Toimi, 2005)

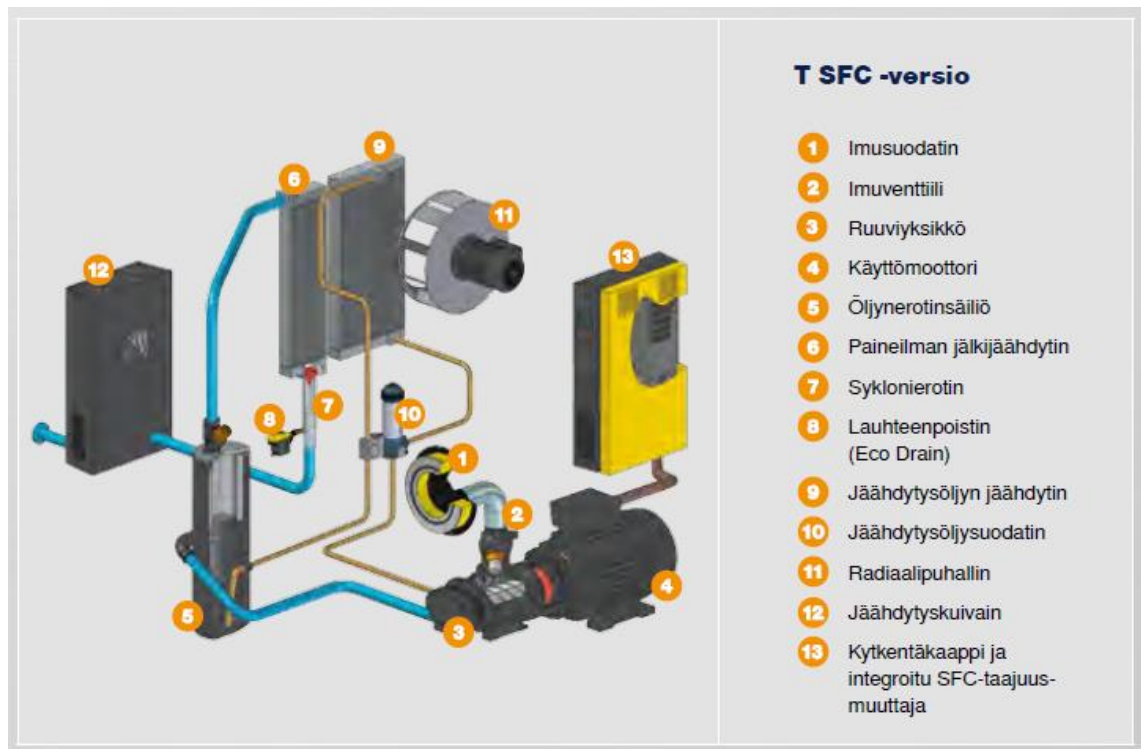
4.2.1 Ruuvikompressorit

Ruuvikompressorissa puristus tapahtuu ruuvi- ja luistiroottorin väliin jäävissä urissa. Roottoreiden ympärillä oleva pesä tiivistää roottoreiden ulko- ja päätyypinnat. Puristuksella tuotettava paineilma on sykkeetöntä, koska ruuvit puristavat ilmaa tasaisesti. Ruuvikompressorit ovat myös mäntäkoneisiin verrattuna hiljaisempiä. Kompressorin jälkeen ei välttämättä tarvita painesäiliötä. Roottorit voivat koskettaa toisiaan, jolloin tarvitaan öljyvoitelu. Silloin päästään painesuhteeseen 13 - 15. Öljyttömissä ruuvikompressoreissa eivät kosketa toisiaan, vaan niitä pyöritetään hammaspyöräkäytöllä. Painesuhde on öljyttömissä koneissa 3 – 5 välillä. Öljyttömät ruuvikoneet ovat hankintahinnaltaan kalliita.

Ruuvikompressorit eivät tarvitse imu- ja paineventtiilejä, vaan ilma kulkee imuaukosta sisään ja paineaukosta ulos. Tuoton säätö voidaan tehdä seuraavasti:

käyntinopeutta säätämällä esim. sähkömoottorin taajuusmuuttajaohjauksella, pysäytys- käynnistys- automatiikalla, imuvirtausta kuristamalla tai kierrättämällä painevirtausta takaisin imupuolelle. (Automaatio järjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka, Keinänen Toimi, 2005)

Ruuvikompressorit (KUVIO 14) sopii käyttökohteisiin, joissa paineilman tarve on jatkuvaa. Laitetta voi ajaa vuorokauden ympäri ilman pysäytyksiä ja se sopii vaativiin olosuhteisiin. AGCO Powerilla on ainoastaan ruuvikompressoreita, tehtaalla on monia erilaisia vuorojärjestelmiä ja sitä kautta paineilman tarve on jatkuvaa.



KUVIO 14. Ruuvikompressorin rakenne. (Kaeser CSD_CSDX, 2019)

4.2.2 Paineilmasäiliö

Jokaiseen paineilmajärjestelmään kuuluu yksi tai useampia paineilmasäiliöitä. Säiliön koko määräytyy kompressorikapasiteetin säätöjärjestelmän ja ilmantarpeen vaihtelujen mukaan.

Paineilmasäiliön tehtäviä ovat:

1. Tasoittaa kompressorin aikaansaamat ilmasysäykset
2. Jäähdyttää ilma ja kerätä tiivistynyttä vettä
3. Toimia painevarastona
4. Toimia painelähteenä kompressorin pysäytys-käynnistys- automatiikalle
5. Toimia varoventtiilin sijoituskohteena ja lisätä näin järjestelmän käyttöturvallisuutta

Ensimmäinen tehtävä tulee täytettyä, kun painesäiliön tilavuus kuutiometreissä on kuusi kertaa kompressorin kapasiteetti m^3/s normaalilla 7 bar ylipaineella. Kun järjestelmässä on jälkijäähdytin, tullaan toimeen kohtuullisella säiliöllä, koska sen on tiivistettävä vain se osa vesihöyrystä, joka ei ole tiivistynyt

jälkijäähdyttimen vedenerottimessa. Tiivistynyt vesi poistetaan säiliöstä tyhjennyshanasta, joka on joko käsikäyttöinen tai automaattinen.

Painevarastona toimimisesta on olemassa kokemukseen perustuvaa tietoa, josta esimerkkinä taulukko.

<i>l/s</i>	<i>m³/min</i>	Ilmasäiliön tilavuus <i>m³</i>
1,6 - 4,0	0,1 – 0,25	0,150
8,0 - 10,5	0,5 – 1	0,375
50,0 - 270	3 – 16	1
500 - 1000	30 - 60	4

Painesäiliö sijoitetaan, mikäli mahdollista, ulos varjoisaan ja viileään paikkaan rakennetulle perustalle. Mikäli painesäiliö on kompressorihuoneessa, pätee tilan ilmastointiin eli viilentämiseen sama säännöt kuin kompressorin kohdallakin.

Viileä tila on vesiongelmien paras ennaltaehkäisykeino! (Automaatio järjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka, Keinänen Toimi, 2005)

5 PAINEILMAN JÄLKIKÄSITTELY

Paineilman jälkikäsitteilyn tarkoitus on muuttaa sen laatu käyttökohteisiin sopivaksi. Paineilma voi sisältää osittain haitallisia aineita mm.

- Vettä, pisaroina tai höyrynä
- Öljyä, pisaroina tai kaasuna
- Pölyä eli kiinteitä partikkeleita

Paineilman käyttötarkoituksen mukaan edellä mainitut aineet voivat vaikuttaa ratkaisevasti tuotantotuloksiin, laatuun ja kustannuksiin.

Jälkikäsitteilylaitteistoon kuuluu periaatteessa jälkijäähdytin, kuivain, öljynerotus- ja muut suodattimet. Käyttöpaikassa voidaan jälkikäsitteilyyn lukea vedenerotus, suodatus, paineensäätö ja voitelu. Nämä toimenpiteet hoidetaan erillisellä huoltoyksiköllä.

5.1 Lauhteenpoisto

Jokaisessa paineilmajärjestelmässä syntyy epäpuhtauksia sisältävää lauhdetta tiettyihin kohtiin (KUVIO 15). Luotettava lauhteenpoisto on sen vuoksi ehdottoman välttämätöntä. Se vaikuttaa oleellisesti paineilman laatuun sekä paineilmajärjestelmän toimintavarmuuteen ja taloudellisuuteen.

70 - 80 % lauhteesta kerääntyy paineilmajärjestelmän mekaanisiin osiin – olettaen, että kompressoreissa on tehokas jälkijäähdytys.

Syklonierotin:

Tämä mekaaninen erotin erottaa lauhteen ilmasta keskipakovoiman avulla. Optimaalisten toimintaedellytysten saavuttamiseksi kuhunkin syklonierottimeen tulee liittää vain yksi kompressori.

Välijäähdytin:

Kaksivaiheisissa, välijäähdyttimillä varustetuissa kompressoreissa lauhdetta kertyy myös välijäähdyttimen erottimeen.

Paineilmasäiliö:

Päätehtävänsä eli paineilman varastoinnin ohella säiliö erottaa ilmasta lauhdetta painovoiman avulla. Riittävän suuri paineilmasäiliö (kompressorin $\frac{\text{tuotto}/\text{min}}{3} =$ paineilmasäiliön minimitalavuus kuutiometreinä) on yhtä tehokas lauhdeenerottaja kuin syklonierotin. Syklonierottimesta poiketen paineilmasäiliö voidaan asentaa kompressoriaseman pääpaineilmajohdtoon edellyttäen, että paineilma virtaa sisään säiliön alaosaan ja poistuu ylhäällä sijaitsevan aukon kautta. Suuren lämpösäteily pintansa ansiosta säiliö myös tehostaa paineilman jäähtymistä ja parantaa siten lauhteen erottumista.

Vesikuoppa paineilmajohdossa:

Jotta lauhde ei voisi virrata epämääräisesti paineilmajärjestelmässä, on kosteata paineilmaa kuljettava paineilmaputki suunniteltava siten, että kaikki siihen johtavat ja siitä erkanevat paineilmaputket osoittavat joko ylöspäin tai sivulle. Alaspäin suunnatut lauhteenjohtimet eli niin sanotut vesikuopat, mahdollistavat lauhteen poistamisen runkojohdosta. Paineilman virtausnopeuden ollessa 2-3 m/s ja vesikuopan ollessa oikein suunniteltu se erottaa lauhteen paineilmaputkista paineilmajärjestelmän kostealla alueella yhtä tehokkaasti kuin paineilmasäiliö. (Kaeser paineilmatekniikkaopas, 2019)



KUVIO 15. Lauhteen poisto. (Kaeser paineilmatekniikkaopas, 2019)

5.2 Paineilman kuivaus

Miksi paineilma pitää kuivata, käytännön esimerkki:

Kun öljyjäähdytteinen ruuvikompressor imee yhden minuutin aikana 20 °C:n lämpötilassa ja ympäristön paineessa 10m³ ilmaa, jonka suhteellinen kosteus on 60 %, sisältää tämä ilma noin 100g vesihöyryä. Kun ilma puristetaan 10 baarin absoluuttiseen paineeseen (puristussuhde 1:10), saadaan 1 käyttökuutiometri

paineilmaa. Puristusvaiheen jälkeisessä 80 °C:n lämpötilassa yksi kuutiometri pystyy sitomaan 290 g vettä. Koska vettä on noin 100 g, tulee ilman suhteelliseksi kosteudeksi noin 35 %, paineilma on melko kuivaa eikä lauhdetta muodostu. Mutta kompressorin jälkijäähdyttimessä paineilman lämpötila putoaa 80 °C:sta noin 30 °C:seen. Tämän jälkeen yksi kuutiometri ilmaa kykenee sitomaan itseensä enää vain noin 30 g vettä. Ylimääräistä vettä muodostuu noin 70 g/min. Tämä vesi kondensoituu ja erottuu paineilmasta. Kahdeksantuntisen työpäivän aikana syntyy tällä tavoin noin 35 litraa lauhdetta. Lauhteen määrä kasvaa vielä noin 6 litralla päivässä, jos kompressoria seuraa jäähdytyskuivain. Siinä paineilma jäähdytetään ensin +3 °C:seen ja lämmitetään sitten takaisin ympäristölämpötilaa vastaavaksi. Näin ilman suhteelliseksi kosteudeksi saadaan noin 20 %, ja paineilmasta tulee laadultaan parempaa ja suhteellisen kuivaa (KUVIO 16.).



KUVIO 16. Lauhteen muodostuminen. (Kaeser paineilmatekniikkaopas, 2019)

Jotta välttyttäisiin kondenssi- eli lauhdeveden aiheuttamilta harmeilta ja tuotantoseisokeilta, on yhä useammin päädytty paineilman kuivaamiseen. Tällä ratkaisulla vältetään kaikki vesiongelmat sekä itse paineilmaverkostossa, että sen toimilaitteissa. Kuivan ilman kastepiste käyttöpaikassa on aina alhaisempi kuin ympäröivän ilman lämpötila.

Jäähdytyskuivaus:

Jäähdytyskuivaimessa ilman lämpötila jäähdytetään kylmäkoneistolla noin +2 °C:een ja siitä poistetaan tiivistynyt vesi. Tämän jälkeen ilma lämmitetään lämmönvaihtimessa uudelleen lähelle huoneilman lämpötilaa. Näin on ilman kastepiste saatu lähelle +2 °C työpaineen ollessa 7 bar. Tällä prosessilla on +20 °C:n ilman suhteellinen kosteus enää 33 %. Paineilma sisältää siis vesihöyryä. Tiivistymistä nesteeksi ei tapahdu ennen kuin käyttölämpötila laskee alle +2 °C.

Jäähdytyskuivaus on yleistynyt viime aikoina sen tuomien etujen johdosta. Kuivaimia toimitetaan myös öljyhöyryt kondensoivilla mikrosuodattimilla.

5.3 Öljyn poisto

Kaikki öljyvoidellut kompressorit tuottavat paineilmaan öljyjätöksiä. Nämä voivat olla nesteenä, ilmaan sekoittuneena aerosolina tai kaasumaisena öljyhöyryinä. Öljy saattaa myös korkeissa lämpötiloissa koksautua kiinteäksi pinnoitteeksi. Öljy yleensä lauhdeveteen sekoittuneena ei koskaan ole sopiva voiteluaine, vaan se on poistettava. Kompressorin jälkeinen öljypitoinen seos tukkii instrumenttien suuttimia, kuluttaa tiivisteitä, syövyttää komponentteja ja vahingoittaa maalauspinnoja sekä lisää huollon kustannuksia.

Suodatusmenetelminä käytetään mekaanista suodatusta, yhdistymissuodatusta tai adsorptiota. Mekaaninen suodatin on verkko- tai reikärakenteinen patruuna, josta läpi pääsee vain suodatuskykyä pienemmät öljyhiukkaset. Yhdistymissuodattimessa pienet öljypisarot yhdistyvät suuremmiksi ja painuvat raskaampina suodattimen pohjalle. Adsorptiosuodattimissa käytetään yleisimmin aktiivihiltä sitomassa kasaantuneita hiilivetyjä eli öljyjä. Jäähdytyskuivain toimii tehokkaana öljyhöyryjen tiivistäjänä. Suodatus onnistuu tämän jälkeen tehokkaammin.

5.4 Paineilman suodatus

Jokaisen ilmakeuutiometrin mukana kompressori imee keskimäärin jopa 190 miljoonaa likahiukkasta, hiilivetyjä, viruksia ja bakteereja. Suurin osa epäpuhtauksista jää paineilmaan. Useimmissa käyttökohteissa paineilman on oltava puhdasta. Suodattimet määräytyvät vaaditun puhdistusasteen mukaan. Järjestelmässä voi olla esisuodattimia, jälkisuodattimia, mikrosuodattimia, mikrosuodattimen ja aktiivihilisuodattimen yhdistelmiä sekä steriilisuodattimia. (Automaatio järjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka, Keinänen Toimi, 2005)

5.5 Paineilman laatuluokat

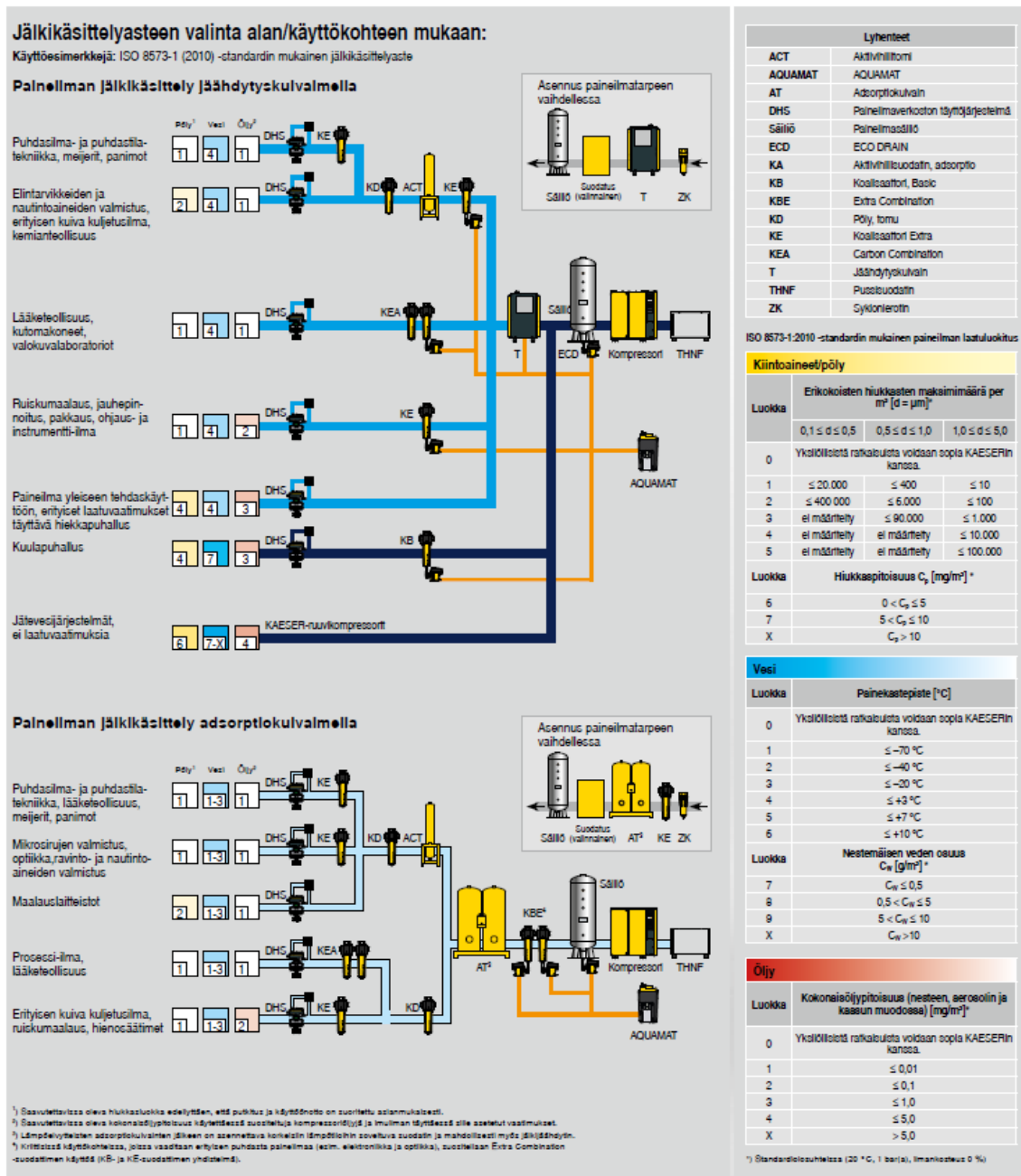
Paineilma voi sisältää osittain haitallisia aineita, kuten vettä, kiinteitä epäpuhtauksia ja öljyä. Näiden määrät on luokiteltu ISO 8573-1 standardissa seitsemään laatuluokkaan.

Kiinteiden hiukkasten eli epäpuhtauksien maksimikoko ilmoitetaan $N = 120$. Tämä tarkoittaa, että N - halkaisijaisista partikkeleista $1/120$ pääsee suodatuksesta läpi. Maksimimäärä ilmoitetaan yksikössä mg/m^3 .

Kastepiste on se lämpötila, jossa kaasun vesihöyryn paine vastaa kylläisen höyryn painetta eli vesihöyry tiivistyy vedeksi. Tämän lämpötilan alapuolella esiintyy vesiongelmia.

Öljypitoisuus ilmoitetaan maksimipitoisuutena, yksikkönä mg/m^3 . (Automaatio järjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka, Keinänen Toimi, 2005)

Erilaisten suodatinyhdistelmien täydentäessä järjestelmää, voidaan tuottaa luotettavasti kaikkia ISO-standardin määrittelemiä paineilmalaatuja kuivasta ja hiukkasvapaasta aina teknisesti öljyttömään ja steriiliin paineilmaan saakka (KUVIO 17).



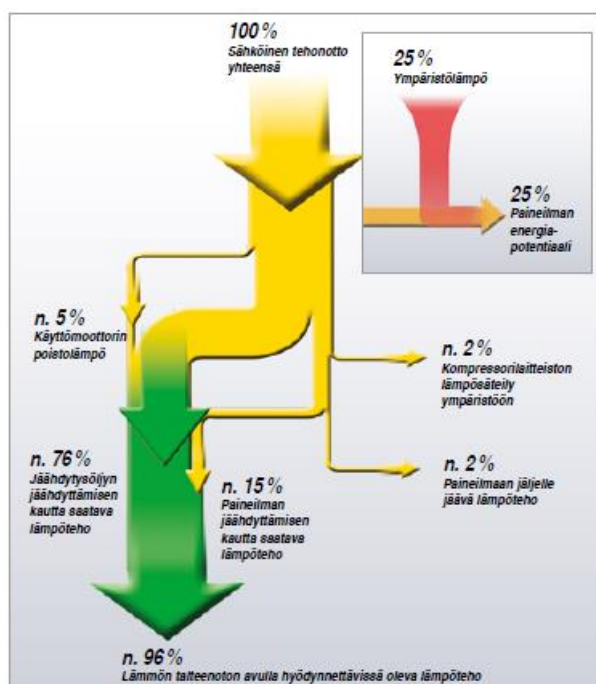
KUVIO 17. Jälkikäsittelyasteen valinta. (Kaeser paineilmatekniikkaopas, 2019)

6 ENERGIATEHOKKUUS

Energiansäästö ei nykyisin ole välttämätöntä vain ekologisista syistä vaan myös taloudellisista syistä. Kompressorivalmistajat tarjoavat tähän erittäin monia mahdollisuuksia. Ruuvikompressorien synnyttämä lämmöntalteenotto on yksi potentiaalinen säästökohde.

Vaikka kuulostaakin uskomattomalta, niin tosiasia on, että 100 % kompressoriin syötetystä energiasta muuttuu lämmöksi. Puristuksen seurauksena ilmaan muodostuu kompressorissa energiapotentiaali. Tätä energiamäärää voidaan hyödyntää alennettaessa paine ympäristön painetta vastaavaksi, paineilmaa jäähdyttäessä ja ympäristöstä tapahtuvan lämmönoton yhteydessä.

Suurin osa eli 76 % käytetystä ja lämpönä hyödynnettävästä energiasta siirtyy jäähdytysneste- tai öljyjäähdytteisissä kompressoreissa niiden jäähdytysnesteeseen, 15 % paineilmaista ja jopa 5 % sähkömoottorin lämpöhäviöihin. Täysin koteloidussa jäähdytysneste- tai öljyjäähdytteisissä ruuvikompressoreissa jopa tämä häviö voidaan saada takaisin lämpöenergiana tarkoin kohdistetun sähkömoottorin jäähdytyksen avulla. Kompressorin vaatimasta energiasta voidaan siis yhteensä 96 % hyödyntää lämpöteknisesti. Vain 2 % energiasta häviää lämpösäteilynä ja 2 % lämmöstä jää paineilmaan (KUVIO 18.)



KUVIO 18. Lämmönvirtauskaavio, (Kaeser paineilmatekniikkaopas, 2019)

6.1 Lämmöntalteenottomahdollisuuksia

Paineilman taloudelliseen käyttöön on monia mahdollisuuksia.

Lämmenneen jäähdytysilman käyttö lämmitykseen:

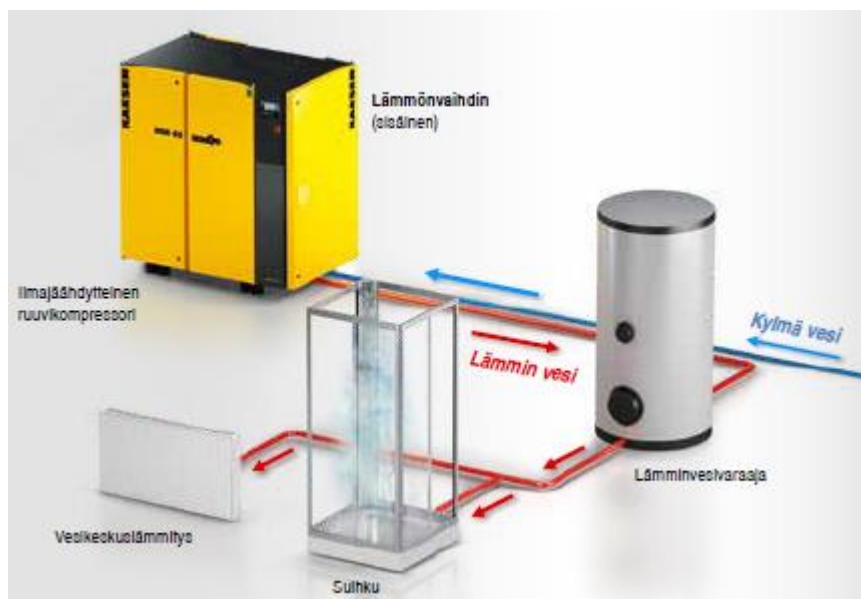
Yksinkertaisin lämmön talteenottotapa ilma- ja öljy-/jäähdytysnestejäähdytteisten ruuvikompressorien kohdalla on hyödyntää kompressorin lämmittämä jäähdytysilma suoraan. Tällöin poistolämpö ohjataan ilmakehän järjestelmän kautta suoraan lämmitettäviin tiloihin. Kyseistä tekniikkaa hyödynnetään jo Linnavuorella 5-hallissa vieressä olevaan korkeavaraston tilaan. Tilassa ei ole muuta lämmitystä. Lämmintä ilmaa voidaan luonnollisesti käyttää myös muissa kohteissa kuten esimerkiksi kuivausprosesseissa, tuulikaappien ja oviaukkojen lämmityksessä tai polttoilman esilämmityksessä. Kun lämmintä ilmaa ei tarvita, johdetaan poistoilmavirta ulos käännettävän läpän tai säleikön kautta. Säleikön termostaattiohjaus mahdollistaa lämpimän ilman annostelun niin tarkkaan, että lämmityskohteessa voidaan ylläpitää tasaista lämpötilaa. Tällä tavoin voidaan hyödyntää 96 % ruuvikompressorin sähköisestä tehonotosta. Se voi olla kannattavaa myös pienten laitteiden kohdalla, sillä jo 7,5 kW:n kompressorin poistolämpö riittää vaivatta omakotitalon lämmittämiseen.

Vesikeskuslämmitys:

Sekä ilma- että vesijäähdytteisten ruuvikompressorien kohdalla on mahdollista tuottaa lämmintä vettä eri tarkoituksiin asentamalla lämmönvaihdin jäähdytysjärjestelmään. Kysymykseen tulevat levylämmönvaihtimet tai välipiirillä varustetut turvalämmönvaihtimet riippuen siitä, onko lämmin vesi tarkoitus käyttää lämmitykseen, peseytymiseen vai tuotanto- ja puhdistusprosesseihin. Näiden lämmönvaihdinten avulla on mahdollista tuottaa lämmintä vettä enintään +70 °C:seen saakka. Kokemuksen mukaan 7,5 kW:n ja sitä suurempien kompressorien kohdalla tämän vaihtoehdon vaatimat lisäkustannukset maksavat itsensä takaisin noin kahdessa vuodessa. Tämä edellyttää asiantuntevaa suunnittelua. (Automaatio järjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka, Keinänen Toimi, 2005)

6.2 Turvallisuusnäkökohdat

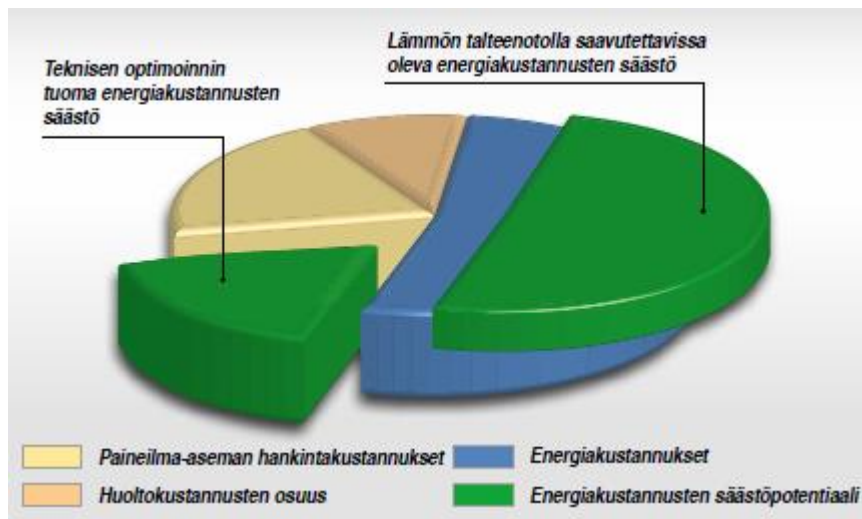
Tavallisesti kompressorin ensisijaista jäähdytysjärjestelmää ei tulisi koskaan samanaikaisesti käyttää lämmöntalteenottojärjestelmänä. Lämmön talteenoton mahdollinen toimintahäiriö vaarantaisi myös kompressorin jäähdytyksen ja siten paineilmatuotannon. Sen vuoksi kompressorin tulee asentaa erityiset lämmönvaihtimet lämmön talteenottoa varten, jolloin kompressorin voi hätätapauksessa itse huolehtia turvallisesti jäähdytyksestä: jos lämpö ei poistu talteenottojärjestelmän lämmönvaihtinten kautta, kytkeytyy kompressorin ensisijaiselle ilma- tai vesijäähdytykselle. Näin paineilmatuotanto on edelleen turvattu (KUVIO 19).



KUVIO 19. Lämmön talteenoton kaavio, (Kaeser paineilmatekniikkaopas, 2019)

6.3 Hukkalämmön talteenoton yhteenveto

Lämmön talteenotto on harkitsemisen arvoinen mahdollisuus parantaa paineilmalaitteiston taloudellisuutta ja samalla keventää ympäristörasitusta. Järjestelmän edellyttämät lisäinvestoinnit ja järjestelyt ovat suhteellisen vähäiset. Investointien suuruus riippuu käyttökohteesta vallitsevista olosuhteista, käyttötarkoituksesta ja valitusta talteenottomenetelmästä (KUVIO 20)



KUVIO 20. Lämmön talteenoton säästöpotentiaali, (Kaeser paineilmatekniikkaopas, 2019)

7 PUTKISTON MITOITUS

Paineilmaputkiston halkaisijoita määrättäessä tutkitaan ensin, kuinka suuria ilmamääriä työpaikalla tullaan kuluttamaan. Konepajoissa, korjaamoissa ja teollisuuslaitoksissa on jokainen ulosotto mitoitettava vähintään 30...50 l/s, jotta esimerkiksi hioma- ja porakoneita voitaisiin käyttää missä tahansa. Putkistoa ei pidä koskaan alimitoitaa.

Ensimmäisessä vaiheessa tulee aina selvittää, onko kyseessä keskitetty vai hajautettu paineilmajärjestelmä. Putkimateriaalina on perinteisesti käytetty teräksistä vesijohtoputkea, jolloin yhteen liittäminen on tapahtunut putkikierteitetyillä nipoilla, yhteillä ja muhveilla. Teräsrakenteisen verkon paino on korkea ja on olemassa ruostumisvaara, mikäli putkistossa esiintyy tiivistynyttä vettä. Vanhaa verkostoon muodostuu suuria painehäviöitä korroosion seurauksena. Joskus saattaa vanhojen venttiilien yhteyteen muodostua ruostetulpia, jotka tukkivat paineilman virtauksen lähes kokonaan. Näiden syiden takia putkimateriaaleiksi on vakiintumassa joko muovin tai alumiinin käyttö. Muoviputkilinjat ja liitokset kootaan yleensä reaktioliimalla, jolla saadaan suuri liitoslujuus. Haittana on kuitenkin liimojen käytön yhteydessä esiintyvät liuottimet.

Alumiinin käyttö virtausputkina näyttää yleistyvän. Ne ovat teräkseen verrattuna keveitä ja niiden liittämiseen on olemassa selkeät liitoskalusteet. Ne ovat rakenteellisesti hyvin samanlaisia kuin kuparisten vesijohtoputkien asennuksissa käytetään.

Putkistoasennuksissa on otettava huomioon lämpölaajeneminen, jota putkistoissa lämpötilavaihtelujen takia esiintyy. Lämpölaajenemisen ja – kutistumisen takia on suositeltavaa käyttää kiinnikkeitä, joissa putki pääsee liukumaan. Seinäkiinnityksessä pidetään kahden metrin kiinnikeväliä riittävänä.

Putkihalkaisijat ovat riippuvaisia läpivirtaavasta ilmamäärästä, työpaineesta, putkiston pituudesta sekä painehäviöstä. Paineilmaverkoston mitoituksen tulisi joka tapauksessa perustua laskelmaan. Sen lähtökohdaksi otetaan maksimissaan 1 baarin paineenpudotus kompressorin ja paineilmatyökalujen

välillä. Tähän sisältyvät kompressorin kytkentäpaineen ero ja paineilman vakiokäsittely (jäähdytyskuivain). (KUVIO 21)

Lähtökohdaksi otetaan seuraavat painehäviöt:

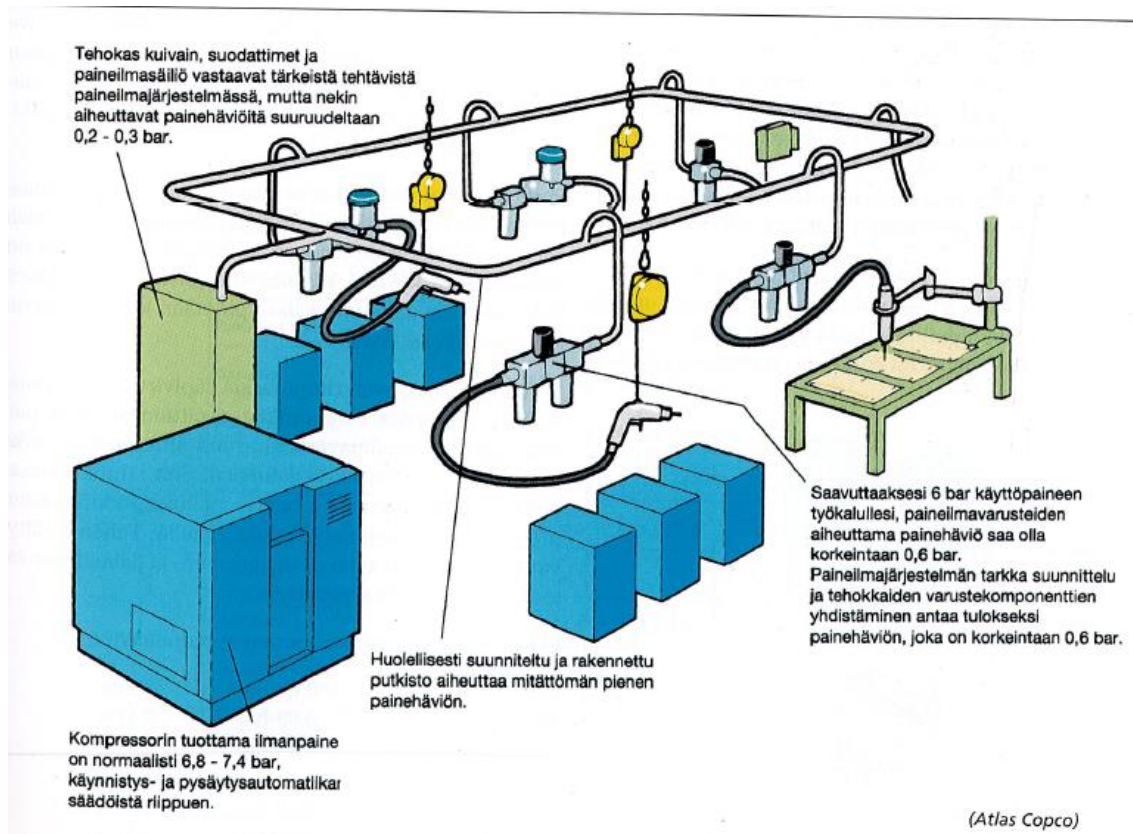
Runkojohto (1):	0,03 bar
Jakelujohto (2):	0,03 bar
Liitäntäjohto (3):	0,04 bar
Kuivain (4):	0,2 bar
Huoltoyksikkö ja letku (5)	0,5 bar
Yhteensä:	0,8 bar

Painehäviö putkistossa voidaan määrittää laskemalla. Laskentakaava on:

$$\Delta p = 1,6 \cdot 10^{12} \cdot qv^{1,85} \cdot \frac{l}{d^5 \cdot p}$$

Jossa	Δp = painehäviö, kPa
	qv = tilavuusvirta, m^3/s
	d = putken sisähalkaisija, mm
	l = putkijohdon pituus, m
	p = absoluuttinen työpaine, kPa

(Automaatio järjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka, Keinänen Toimi, 2005)

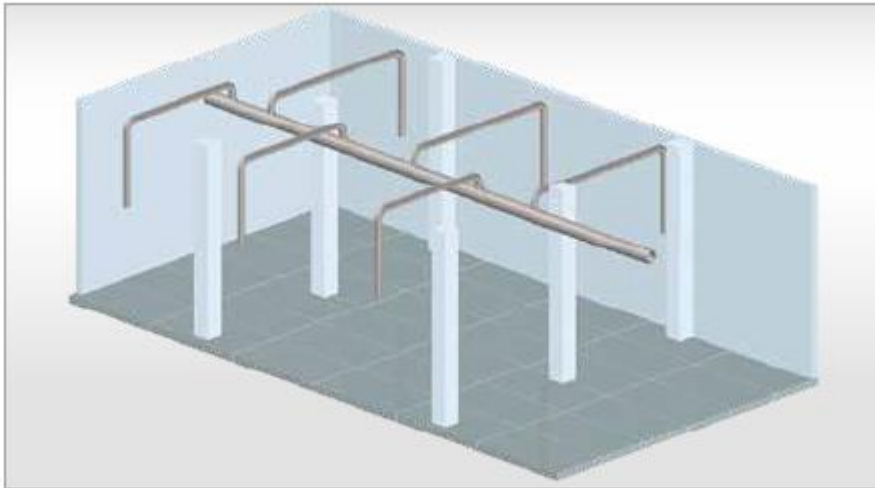


KUVIO 21. Putkiston mitoitus. (Keinänen Toimi, 2005)

7.1 Verkosto

Putkihaara:

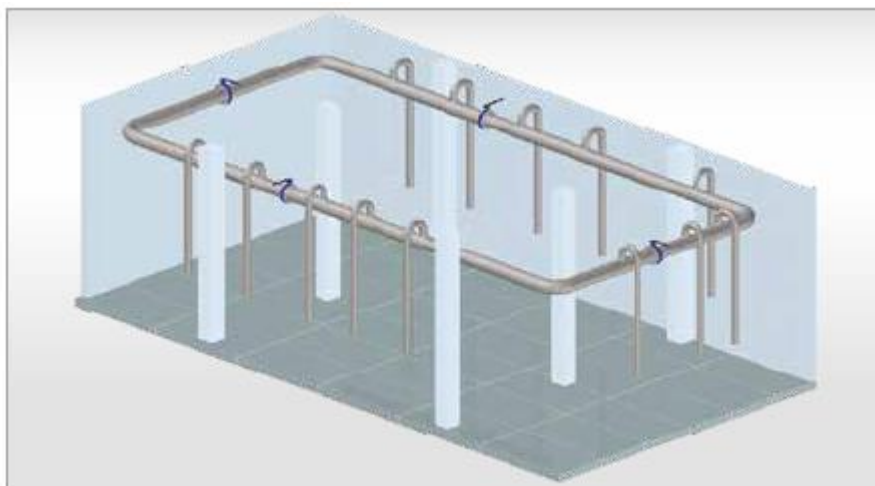
Putkihaaran ja siitä työpisteisiin johtavien johtojen (KUVIO 22) asentaminen on suhteellisen helppoa. Putkihaaraa ei yleensä tarvitse vetää pitkiä matkoja, mutta sen kapasiteetin on riitettävä koko kuljetettavalle paineilmamäärälle. Tämä tarkoittaa, että putken läpimitan tulee olla rengasjohtoon tai verkostoon verrattuna huomattavasti suurempi. Paineilmatyökaluihin johtavat liitäntäjohdot ovat myös pitempiä ja ne on mitoitettava suuremmiksi. Putkihaarat sopivat yleensä vain pienille yrityksille, sillä tämä rakenne ei tarjoa mahdollisuutta sulkea osaa putkistosta laajennus- tai kunnostustöiden vuoksi.



KUVIO 22. Putkihaara, (Kaeser paineilmatekniikkaopas, 2019)

Rengasjohto:

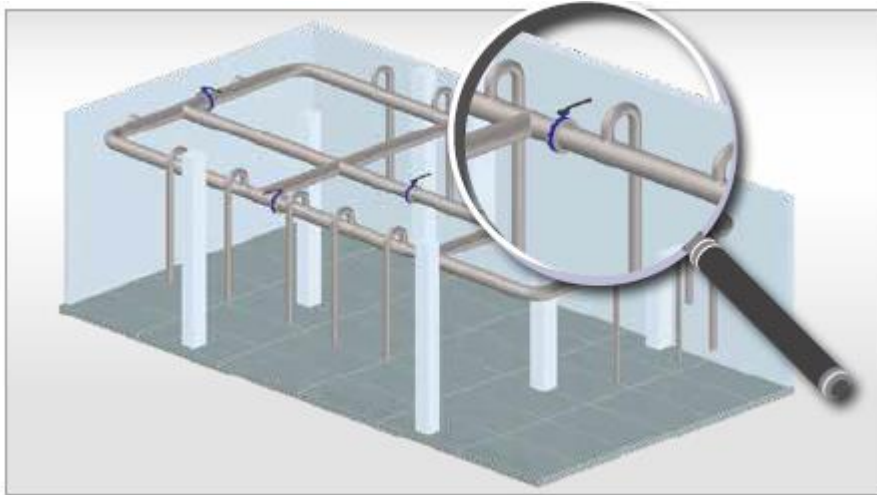
Putkihaaraan verrattuna rengasjohdolla (KUVIO 23) on yksi ratkaiseva etu, vaikka työmäärä niitä asennettaessa onkin suurempi: Jos kaikkien järjestelmään kytkettyjen työkalujen paineilman tarve on yhtä suuri, voidaan putkijohdot niin pituudeltaan kuin tilavuudeltaankin mitoittaa puolet pienemmiksi. Tällöin riittää putkien pienempi läpimitta kuljetuskapasiteetin heikentymättä. Lyhyiden liitännäjohtojen koko on harvoin yli DN25. Riittävä määrä sulkulaitteita mahdollistaa sen, että laajennuksen tai saneerauksen yhteydessä voidaan sulkea yksittäisiä osuuksia koko tuotantoa pysäyttämättä.



KUVIO 23. Rengasjohto, (Kaeser paineilmatekniikkaopas, 2019)

Verkosto:

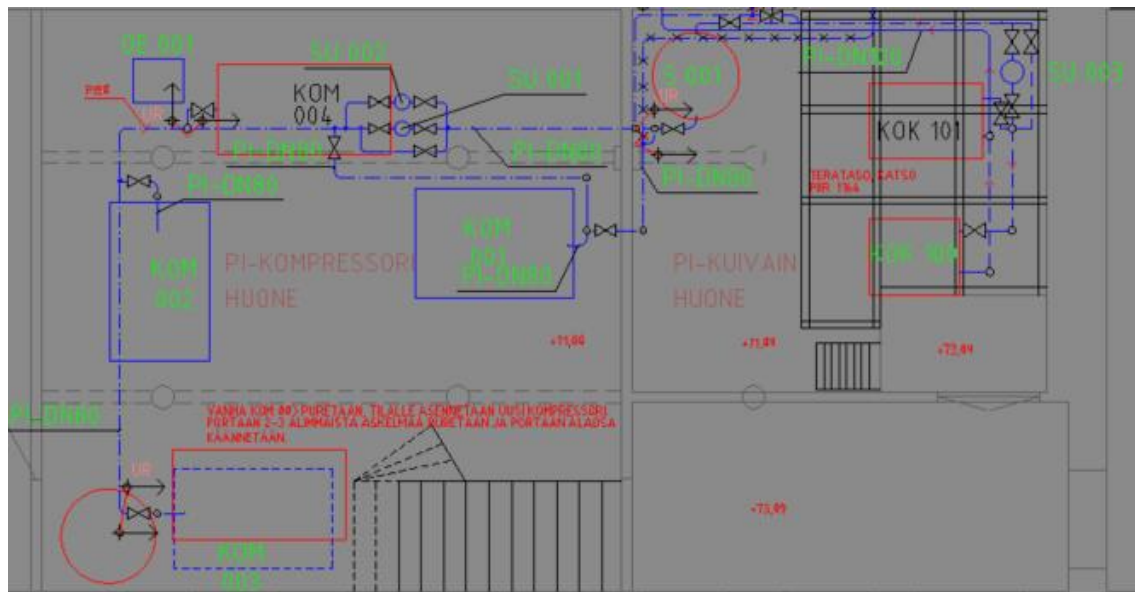
Suurempien laitosten kohdalla suositeltavin vaihtoehto on putkiverkosto, sekä pituus- että poikittaissuuntaan kulkevilla välijohtoilla verkkorakenteeksi laajennettu rengasjohto (KUVIO 24). Tämä vaihtoehto on asennukseltaan työläin, mutta siitä huolimatta edut ovat suuremmat kuin haitat: verkkomainen rakenne mahdollistaa paineilman luotettavan ja energiatehokkaan jakelun suurissakin tehdashalleissa ilman, että putkijohtojen mitat karkaavat käsistä.



KUVIO 24. Verkosto, (Kaeser paineilmatekniikkaopas, 2019)

8 LAYOUT

Kompressorihuoneen layout on viimeisimmän saneerauksen jäljiltä vuodelta 2007 (KUVIO 25). Pohjapiirroksessa on vielä kuvattu sen aikaiset vanhat laitteet punaisella, mutta ne ovat poistuneet muutoksen yhteydessä. Huone koostuu kahdesta osasta, alemmalla tasolla kompressorihuone ja ylemmällä tasolla paineilmakompressorien kuivain huone.

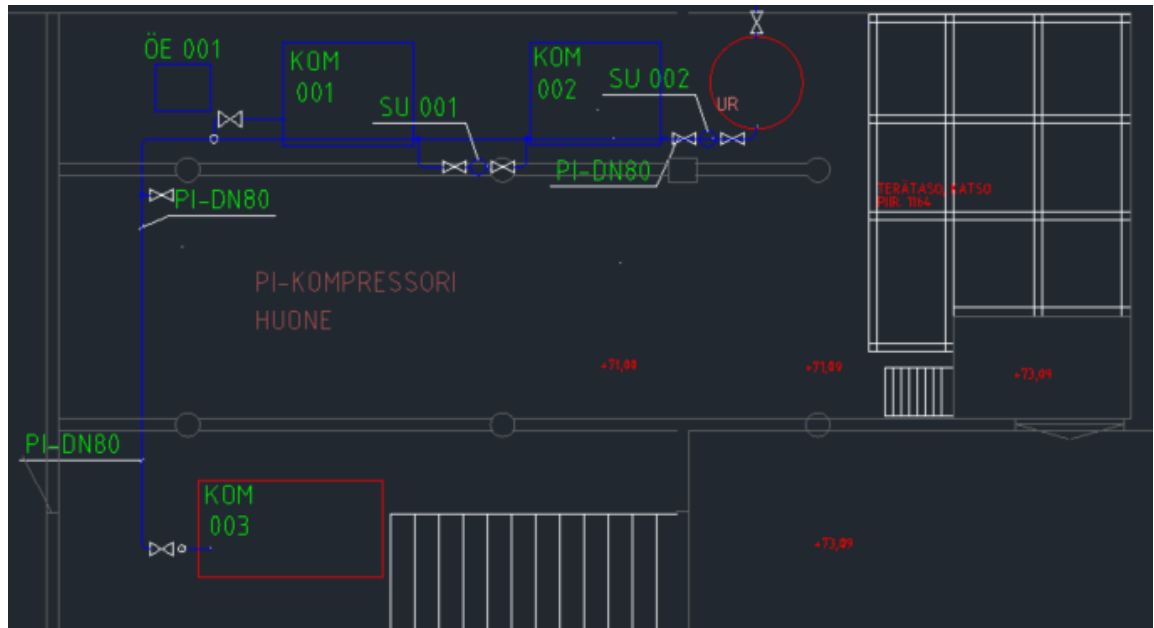


KUVIO 25. 1-hallin kompressorihuone layout, (AX-suunnittelu)

Laitehuone on täysin soveltuva tarkastelun jälkeen pienten muutoksien avulla edelleen jatkokäyttöön. Sijainti on keskeinen kantatehtaan alueella, juuri oikea paikka keskitetylle järjestelmälle. Myöskään lämpökuorma ei pääse rasittamaan huonetta, sillä huone sijaitsee ilmansuunnaltaan pohjoiseen päin.

Uuden layoutin tarkoituksena on saada tilasta avarampi, käyttöystävällisempi ja huollon kannalta toimiva. Tulevissa kompressoreissa kuivain on integroituna laitteeseen, joten kuivain huone jää tarpeettomaksi. Tämä tuo paljon uusia vaihtoehtoja tilan laitteiden uudelleen sijoitteluun. Tilan jakaa tällä hetkellä tiiliseinä, joka on vanha ja huonokuntoinen. Seinä on täysin tarpeeton ja tuottaa varsinkin tällä hetkellä turhaa lämpökuormaa kuivain tilaan. Investoinnin yhteydessä seinä on tarkoitus kaataa ja tilaan lisätä vielä yksi tuloilmakanava ilmanvaihdon tehostamiseksi. Uudet kompressorit olisi tarkoitus asentaa takaseinälle paineilmäsäiliön läheisyyteen, jättäen tilaa tulevan

lämmöntalteenotto verkoston rakentamiseen. Vanha taajuusmuuttajakäyttöinen kompressori on tarkoitus jättää laitehuoneeseen, mahdollisten tulevien laiterikkojen varalle (KUVIO 26).



KUVIO 26. 1-hallin kompressorihuone layout suunnitelma, Kari Hanski, 2020

9 LASKELMAT

Lämmöntalteenotto alentaa kustannuksia ja säästää ympäristöä, ruuvikompressorin kohdalla 96 % muodostuvasta poistolämmöstä voidaan hyödyntää, PTG – levylämmönvaihtimella 76 % lämpimän veden muodossa. Mittauksien perusteella 1-hallin kompressorihuoneessa energiatehokkain laiteratkaisu olisi kaksi kiinteätuottoista nimellisteholtaan 75 kW kompressoria. Lämmöntalteenotolla niistä olisi veteen siirrettävissä koneen maksimikäytöllä 59 kW lämpöä. Jos tätä vertaa vastaavaan sähkölämmitykseen, säästöjä olisi saatavilla kompressorin 6000h käyttötunnilla:

$$59kW \cdot 6000h \cdot 0,05€/kWh = 17\,700€$$

Mittausten perusteella toinen kompressori kävisi kokoajan täysin ja toinen n. 50 % kapasiteetilla vuodessa. Näin ollen keskimääräinen energiapotentiaali syötettynä vesiverkostoon olisi jatkuvasti n. 85 - 90 kW. Lämpimän veden tuotto 70 °C n. 3m³/h.

Jotta saamme laskettua kompressoreille realistisen takaisinmaksuajan lämmöntalteenottoa hyödyntäen, pyysin Siemensiltä taloautomaatiojärjestelmästämmme dataa kaukolämmön paluulämpötiedoista alkaen 1.1.2019. Selvisi, että talvella kompressorin lämmöntalteenottosiirtimelle olisi saatavilla 55 °C vettä ja kesällä 60 °C. Laitevalmistajalla on nyt selvityksessä miten lämmöntalteenottosiirrin pitäisi optimoida niin, että virtaama suhteessa lämpötilaeroon on talvi- ja kesä aikana mahdollisimman tehokasta.

10 POHDINTA

Kun mietitään miten paineilmaa on mahdollisimman tehokkainta ja taloudellisinta tuottaa, niin kaikista tärkein asia on lämmöntalteenoton hyödyntäminen. Tämän asian ollessa kunnossa voidaan keskittyä muihin tärkeisiin ja olennaisiin asioihin, kompressorien tehokkaaseen ohjaukseen, optimaaliseen yhteensovittamiseen paineilman kulutuksen mukaan ja verkoston painetason optimointiin. Kun nämä kaikki asiat ovat kunnossa, paineilman tuottaminen on tehokasta ja taloudellista.

Oletuksena työn alkaessa oli, että nykyinen 1-hallin laitetilä ei olisi käytännöllinen paineilman tuottamiseen. Ajatuksena oli, että kompressorien sijoittaminen hajautetusti tehdassaliin omalle laitetasolle olisi järkevin ja tehokkain tapa tuottaa paineilmaa. Käsitys kuitenkin muuttui asiantuntijakeskustelujen ja mittauksien kautta. Investoinnin kannalta hyvä asia on, että voidaan hyödyntää nykyistä laitetilaa pienien muutoksien kautta tulevaisuudessakin.

Työn suhteen sovituksessa aikataulussa pysyttiin, vaikka vallitseva koronan aiheuttama tilanne monia vierailuita ja palavereja peruikin. Kuitenkin etäpalavereiden ansiosta pysyttiin aikataulussa. Suunnitellut referenssivierailut peruuntuivat ja ne tullaan suorittamaan myöhemmin.

Investointi 1-hallin laitetilän kompressoreiden uusimiseksi tullaan todennäköisesti toteuttamaan vuonna 2021. Työssä laaditut suunnitelmat muodostavat perustan yhtiössä tehtäville laitteiston ja verkoston saneerauksille.

LÄHTEET

Lindroos, E. Maintenance Manager. 2020. Laitehuoneet nykytilanne. Linnavuori, Finland.

Kaminen, J. Agco Power. 2020. Yrityksen esittely diat

Agco Power. 2020. Yrityksen Internet-sivut. Luettu 19.3.2020.

<https://www.agcopower.com/fi/yritys/historia/v1990-luku-suurten-muutosten-ja-paatosten-aika/>

Toimi Keinänen, Pentti Kärkkäinen, 2005, Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka, WSOY. Porvoo.

Kaeser. 2020. Yrityksen internet - sivut. Luettu 24.3.2020.

www.kaeser.com

Torvinen, J. Sähkötöiden suunnittelija. 2020. Taloautomaatio Agco Power. Linnavuori, Finland.