

Paineilmajärjestelmän kunnossapito ja dokumentointi

Mikko Jurvanen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2019

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Jurvanen, Mikko-Ville	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu, 2019
	Sivumäärä 32	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Paineilmajärjestelmän kunnossapito ja dokumentointi		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kirsi Niininen		
Toimeksiantaja(t) Maintpartner Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Maintpartner Oy, joka tarjoaa teollisuuden käyttö- ja kunnossapitopalveluita. Työn tarkoitus oli parantaa toimeksiantajan teollisuusasiakkaan kahden teollisuuskohteen paineilmalinjojen teknisiä dokumentteja ja tehdä esiselvitystä toimeksiantajalle järjestelmällisen kunnossapidon aloittamisesta. Tämä sisälsi kunnonvalvonnan ja kunnossapidon kehityskohteen etsimistä ja runkoverkon linjakarttojen dokumenttien päivittämistä.</p> <p>Työhön kerättiin aineistoa haastattelemalla nykyistä ja entistä kunnossapitohenkilöstöä. Molemmille tutkimuskohteille järjestettiin organisoitu tutkimuskierrros, jossa käytiin läpi paineilman runkoverkko toimilaitteineen. Haastatteluissa sovellettiin avoimen haastattelun periaatteita, ja niitä toteutettiin tutkimuskierrrosten aikana. Tämän jälkeen suoritettiin kevyt paineilma-analyysi, jossa kerättiin paineilman kulutus- ja tuottotietoja Sarlin -ohjausjärjestelmän valvomonäytöltä. Saatujen tehoarvojen perusteella laskettiin vuotokustannuksia ja arvioitiin kulutuskohteita.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena tutkimuskohteista saatiin päivitettyt linjakartat, jotka sisältävät runkoverkon ja tärkeimmät toimilaitteet. Lisäksi saatiin lista korjaus- ja kehitysehdotuksista, ehdotus säännöllisestä kunnonvalvonnasta, sekä vuosittaiset kustannukset virtaushäviöstä kuutiometrin minuuttivirtausta kohden. Vuotokustannusten arvioinnin perusteella vuotojen korjaukset nähtiin ensisijaisena toimenpiteenä. Muuten tulevaisuudessa linjakarttojen piirustuksien avulla voidaan alkaa paneutua paineilmaverkon komponenttien hierarkian kehittämiseen. Päivitetylle laitehierarkialle voi sen jälkeen alkaa luoda tarkempaa ennakko-ohjelmaa esimerkiksi RCM-mallin mukaisesti.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Paineilma, paineilmajärjestelmä, kunnossapito, kunnonvalvonta,		
Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Jurvanen, Mikko-Ville	Type of publication Bachelor's thesis	Date May, 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 32	Permission for web publication: x
Title of publication Maintenance and documentation of a pneumatic system		
Degree programme Degree Programme in Energy and Environmental Technology		
Supervisor(s) Niininen, Kirsi		
Assigned by Maintpartner Oy		
Abstract <p>The thesis was assigned by Maintpartner Oy, which offers industrial operation and maintenance services. The purpose of the thesis was to improve the technical documents of pneumatic systems in two industrial targets of the assignor's industrial client, and to do pre-evaluation the assignor to begin the implementation of systematic maintenance in the two targets. These purposes included finding ways to improve condition monitoring and maintenance and updating the documents of mainline network line maps.</p> <p>Material for the work was gathered by interviewing current and former maintenance staff. An exploratory round was held in both targets, where the pneumatic mainline including the actuators was investigated. Open interview style was applied in the interviews that conducted during the exploratory rounds. After that, a brief pneumatic analysis was executed, where collecting data on the consumption and production of pneumatic air gathered. Air leak expenses and consumption objects were evaluated based on the data.</p> <p>The result of the thesis include updated line drawings with the mainline network and main actuators. In addition, a list of reparation and improvement ideas was acquired, as well as a suggestion of cyclic condition monitoring and the annual cost of flow leakage measured in cubic meter per minute. Based on the leakage costs, reparations were considered the most critical operation. Later in the future, developing the hierarchy of the components in the pneumatic mainline can start with the help of the linemap documents.</p>		
Keywords/tags (subjects) pneumatic system, maintenance, condition monitoring,		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	4
1.2	Maintpartner Oy.....	5
2	Paineilman käyttö ja tuottaminen.....	6
2.1	Kompressorit	6
2.2	Paineilman kuivaaminen	8
2.3	Suodattimet.....	10
2.4	Paineilman siirto.....	12
3	Kunnossapito.....	13
3.1	Kunnossapidon lajit	13
3.2	Kuntoon perustuva kunnonvalvonta ja kunnonvalvonta.....	14
3.2.1	Kunnonvalvonnan suunnittelu	15
3.2.2	RCM kunnossapidon suunnittelussa	15
4	Paineilman kunnossapito	16
4.1	Paineilman ohjausjärjestelmät.....	16
4.2	Paineilman jakeluhäiriöt.....	17
4.3	Vuoto- ja verkostokartoitus.....	18
4.4	Paineilma-analyysi	19
4.4.1	PATE-analyysin kulku	20
4.4.2	Ylläpitosuunnitelma ja energiatehokkuus	21
5	Opinnäytetyön toteutus	22
5.1	Paineilmakierrokset.....	22
5.2	Paineilmapiirustukset	22
5.3	Paineilma-analyysi kohteille.....	23

6 Tulokset	24
6.1 Paineilmakartasto.....	24
6.2 Kunnonvalvonnan ja kunnossapidon kehitys.....	25
7 Pohdinta.....	26
Lähteet	28
Liitteet.....	30

Kuviot

Kuvio 1. Paineilmakeskuksen rakenne	6
Kuvio 2. Hanwha Techwin öljytön turbokompressorin.....	8
Kuvio 3. Jälkijäähdyttimiä.....	9
Kuvio 4. Adsorptiokuivain	10
Kuvio 5. Paineilman esisuodatin	11
Kuvio 6. Aktiivihiihisiuodatin	12
Kuvio 7. Esimerkki paineilmaverkon rakenteesta	13
Kuvio 8. Kunnossapitolajit PSK:n mukaan	14
Kuvio 9. Suoran linjan muutos rengaslinjaksi.....	17
Kuvio 10. Suuntaa-antavat vuotojen kustannukset vuotoreiän koon mukaan	19
Kuvio 11. PATE--analyysin vaiheet	Error! Bookmark not defined.
Kuvio 12. Teho/Tuotto –suhde tarkastelujaksolla	23
Kuvio 13. Runkolinjasta lähtevä paineilmalinja	25

Taulukot

Taulukko 1. Paineenalainen kastepiste	18
Taulukko 2. Esimerkkikohteen paineilman kulutuskohteiden listaus.....	21
Taulukko 3. Parannusehdotuksien esimerkkilistaus	26

Liitteet

Liite 1. Pneumatiikan piirrosmerkit	30
-------------------------------------------	----

1 Johdanto

Paineilmajärjestelmän kunnossapidon tärkeys teollisuudessa

Paineilmaa käytetään teollisuudessa laajasti. Sen teollinen soveltaminen alkoi 1800-luvulla, jolloin paineilmaa käytettiin kaivostoiminnassa. Paineilman valtteja ovat, että sitä on aina saatavissa, sen toimintaperiaate on yksinkertainen ja sillä on edulliset hankintakustannukset. (Ellman 2002, 7 – 8.)

Paineilman käytön laajuutta kuvaa se, että nykyään paineilmakompressorit käyttävät teollisuuden sähkönkulutuksesta jopa noin 3-12 %. Tämän johdosta paineilmajärjestelmien oikeaoppisella ja suunnitellulla kunnossapidolla on iso rooli energiatehokkaan tuotannon saavuttamisessa. Paineilmajärjestelmien kunnossapidon suurin haaste on paineilmauodot, joita esiintyy jatkuvasti. Nämä uodot aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia ja voivat aiheuttaa tuotantohäiriöitä. (Energiakatselmoijan käsikirja n.d.; Paineilmavuotojen kartoitus n.d.)

1.1 Opinnäytetyön tausta

Lähtötilanne ja tavoitteet

Opinnäytetyön toimeksiantaja otti tammikuussa 2019 kunnossapitonsa vastuulle erään teollisuusasiakkaansa (myöhemmin asiakas) teollisuuskohteen paineilmajärjestelmät. Tätä ennen näillä paineilmajärjestelmillä ei ollut ollut järjestelmällistä kunnossapitoa ja esimerkiksi linjoilla olevien toimilaitteiden kunnossapito oli ollut vähäistä. Vuosien varrella runkolinjoihin oli tehty muutoksia, mutta linjakartastoja ei ollut päivitetty muutosten mukaan. Pääosin siis olemassa olevat kartastot olivat vanhentuneita ja niistä puuttui toimilaitteita.

Tämän opinnäytetyön tavoite oli päivittää vaillinaisia linjakartastoja ja tehdä alkuselvitystä järjestelmällisen kunnossapidon aloittamiseksi asiakkaan teollisuuskohteessa. Työ oli rajattu niin, että se kattoi asiakkaan teollisuuskohteet A:n ja B:n, jotka sisälsivät yhteensä satoja metrejä paineilmaverkkoa.

Tutkimusote ja menetelmät

Perimmäinen ongelma, joka projektissa yritettiin ratkaista, oli dokumentoinnin heikkous paineilmalinjojen rakenteesta ja kunnossapidosta. Kunnossapidosta olivat aiemmin vastanneet asiakkaan omat kunnossapitohenkilöt, joista osa oli jäänyt eläkkeelle tai siirtynyt toisiin tehtäviin. Suuri osa tiedosta oli tähän asti ollut suullista, ja henkilöstön vaihduttua oli vaarana sen katoaminen. Tätä lähdettiin ratkomaan hyödyntämällä suurimmaksi osaksi kehittämistutkimuksen prosesseja ja menetelmiä.

Aluksi suoritettiin lähtötilan kartoitus. Paineilmalinjastojen kulkua tutkittiin kunnossapitohenkilöstön kanssa tehtaalla ja tehtaan alla, ja niistä saadun tiedon avulla päivitettiin vanhoja sekä luotiin uusia linjakaavioita. Tämän aikana sekä sen jälkeen kerättiin aineistoa haastattelemalla entistä kunnossapitohenkilöstöä. Haastattelut noudattivat avoimen haastattelun periaatteita, ja kunnossapitoon liittyviä asioita tuli ilmi sitä mukaa, kun paineilmakerros eteni. Tärkeintä oli saada ja kirjata mahdollisimman paljon hyödynnettävää tietoa kunnossapitohenkilöstöltä. Näitä kehityskohteiden tietoja voitiin myöhemmin analysoida ja hyödyntää kunnossapidon kehittämisessä.

Aineistoa kerättiin havainnoinnin ja haastattelun lisäksi olemassa olevista dokumenteista ja huolto- ja kunnossapitoraporteista. Näitä hyödynnettiin asiakkaan kohteiden kokonaiskuvan ymmärtämisessä. Lisäksi paineilman ohjausnäytöltä saatiin historia-tietoja, joita käytettiin laskettaessa tarkastelukohteiden vuotoarvioita.

1.2 Maintpartner Oy

Maintpartner Group Oy on yksi Pohjois-Euroopan johtavia teollisuuden käyttö- ja kunnossapitoyrityksiä. Sen tytäryhtiöt Maintpartner Oy ja Maintpartner Expert Services Oy tarjoavat Suomessa palveluita teollisuusyrityksille ja julkiselle sektorille useilla eri teollisuudenaloilla. Yhteensä Maintpartnerilla työskentelee noin 1800 työntekijää, joista Suomessa noin tuhat. Maintpartner Oy:n tarjoamia palveluita ovat muun muassa suunnittelupalvelut, asennukset ja rakennuttaminen, kunnossapidon johtaminen sekä energialaitosten ja kaukolämpöverkkojen operointi. (Yleisesite n.d.)

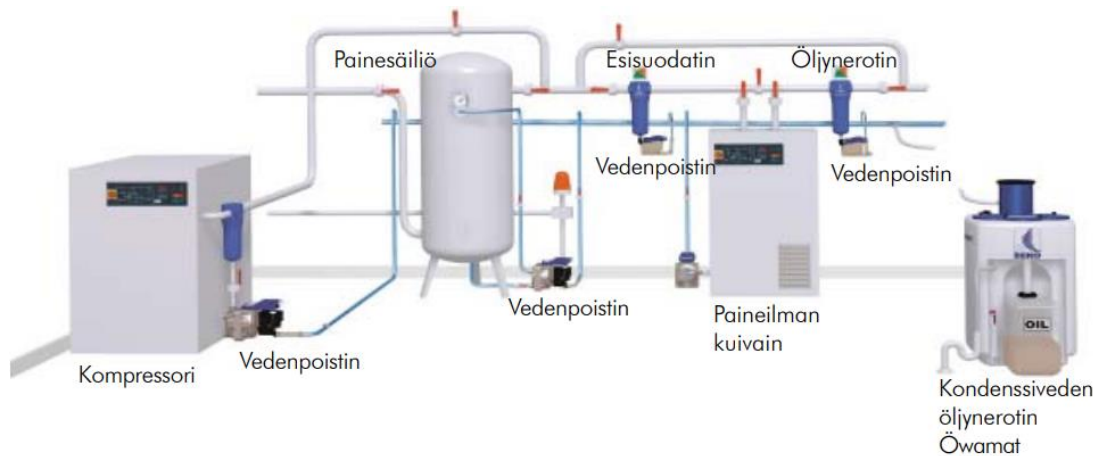
Maintpartnerin toiminta on määritelty systemaattisesti, ja sen perustoimintamalli on Maintpartner Way, jota käytetään pohjana rakennettaessa toimintajärjestelmiä asi-

akkaille. Tällä mahdollistetaan yhtenäinen toiminta alueellisissa HUBEissa eli asiakkaan toimipisteiden ympäristössä. (Maintpartner Way – systemaattinen toimintamallimme n.d.)

2 Paineilman käyttö ja tuottaminen

2.1 Kompressorit

Paineilma tuotetaan paineilmakeskuksessa, jossa on yksi tai useampia kompressoreja tuottamassa paineilmaa (Ellman 2002, 41). Kuviossa 1 on esitetty havainnollistava yleiskuva paineilmakeskuksen laitteista.



Kuvio 1. Paineilmakeskuksen rakenne (Paineilman suodatus ja kuivaus, n.d.)

Kompressori on laite, jolla puristetaan kaasumaista väliainetta, yleensä ilmaa, niin että sen loppupaine on vähintään kaksinkertainen imupaineeseen verrattuna. Kompressorit jaotellaan toimintatapojensa mukaan staattisiin ja dynaamisiin kompressoreihin. Dynaamisia kompressoreja on esimerkiksi radiaali- ja aksiaalikompressorit.

Niiden toiminta perustuu siihen, että pyörimisliikkeellä kiihdytetyn kaasun kineettinen energia muutetaan potentiaalienergiaksi paineen virtausta vastustamalla. (Ellman 2002, 41.)

Staattisissa kompressoreissa kaasua puristetaan kompressorin kammiossa, ja tilavuuden pienenytessä sen paine kasvaa. Staattisista kompressoreista yleisimpiä ovat ruuvi- ja mäntäkompressorit. (Ellman 2002, 43.)

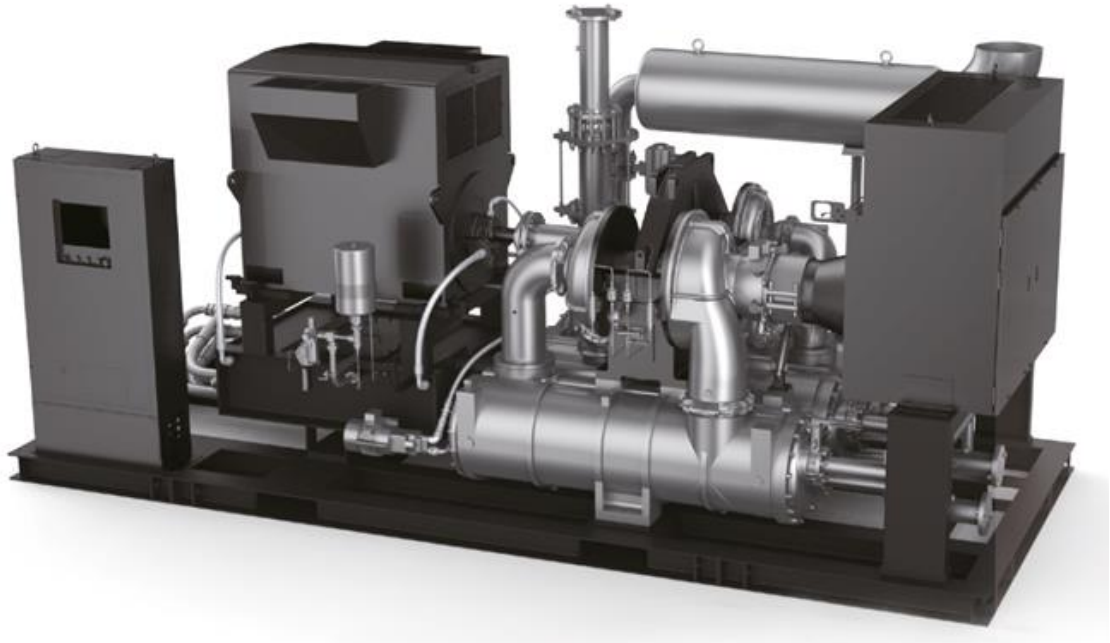
Ruuvikompressori

Ruuvikompressori on tällä hetkellä teollisuudessa yleisin tapa tuottaa paineilmaa (Turbokompressori puristaa ilman hyvällä hyötysuhteella, 2017). Ruuvikompressorin ruuviyksikkö muodostuu ruuvi- ja luistiroottoreista, ja ne voivat olla joko öljyttömiä tai voideltuja. Öljyttömissä roottoriyksiköissä ruuvin roottorien välillä on sadasosamillimetrien kokoinen välys kulumisen estämiseksi. (Ellman 2002, 44.)

Voidelluissa järjestelmissä laakereille ja puristustilaan suihkutetaan öljyä. Tämä edellyttää omaa öljynkiertojärjestelmää, ja sen takia ruuvikompressori ei sovellu paikkoihin missä paineilman edellytetään olevan täysin puhdasta sekä öljytöntä. (Ellman 2002, 46.; Paineilman kunnossapitokustannuksiin ... 2016.)

Turbokompressori

Turbokompressorissa (ks. Kuvio 2) tuloilman virtausnopeutta kasvatetaan juoksupyörässä, ja siitä saadaan paineilmaa hidastamalla sitä. Turbokompressoreita on käytetty teollisessa paineilman tuotannossa 1960-luvulta asti, mutta vasta viime vuosina ne ovat alkaneet yleistyä ja syrjäyttää ruuvikompressoreita. (Turbokompressori puristaa ilman hyvällä hyötysuhteella 2017.)



Kuvio 2. Hanwha Techwin öljytön turbokompressorin (Kompressorit n.d.)

2.2 Paineilman kuivaaminen

Paineilmassa esiintyy monia epäpuhtauksia ja haitallisia aineita. Niistä ongelmallisimmat on ilmankosteuden mukana kompressorin läpi kulkeutuva vesi. Tämän takia paineilmajärjestelmiin asennetaan kompressorin jälkeen erilaisia jäähdyttimiä ja kuivaimia kosteuden poistamiseksi. (Ilman jäähdyttimet ja kompressorit n.d.)

Jälkijäähdytin

Jälkijäähdytin (ks. Kuvio 3) on lämmönvaihdin, joka jäähdyttää kompressorilla tuotettua paineilmaa veden tai ilman avulla. Tämän jäähdytyksen tarkoitus on saavuttaa paineilmassa olevan vesihöyryn kastepiste, jolloin höyry tiivistyy vedeksi, ja se voidaan erottaa jälkijäähdyttimestä vedenerottimella. Jälkijäähdytin sijaitsee yleensä osana kompressorina, ja sillä saadaan poistettua noin 80 – 90 % kompressorilta tulevan ilman kosteudesta. (Ellman 2012, 52-53.; Ilman jäähdyttimet ja kompressorit n.d.)



Kuvio 3. Jälkijäähdyttimiä (Ilman jäähdyttimet ja kompressorit n.d.)

Jäähdytyskuivain

Kompressorilta tuleva ilma kulkee jälkijäähdyttimeltä esijäähdyttämisen jälkeen jäähdytyskuivaimen höyrystimeen, jossa sen kastepistelämpötila saavutetaan jäähdyttämällä sitä kylmäaineella. Jäähdyttämisestä syntyvä kondensiovesi poistetaan järjestelmästä vedenerottimella. (Ellman 2002, 53-54.; PoleStar Smart Jäähdytyskuivaimet n.d.)

Adsorptiokuivain

Adsorptiokuivain (ks. Kuvio 4) perustuu adsorptioprosessiin, jossa kiinteä tai neste-mäinen aine eli adsorbentti sitoo vesimolekyylejä eli adsorbaatteja pintaansa (Adsorbtion, n.d). Adsorptiokuivaimessa on kuiva-aineella täytettyjä torneja, jonka läpi kostea paineilma kulkee ja luovuttavat kosteutensa kuiva-aineelle. (Ellman 2002, 55.)



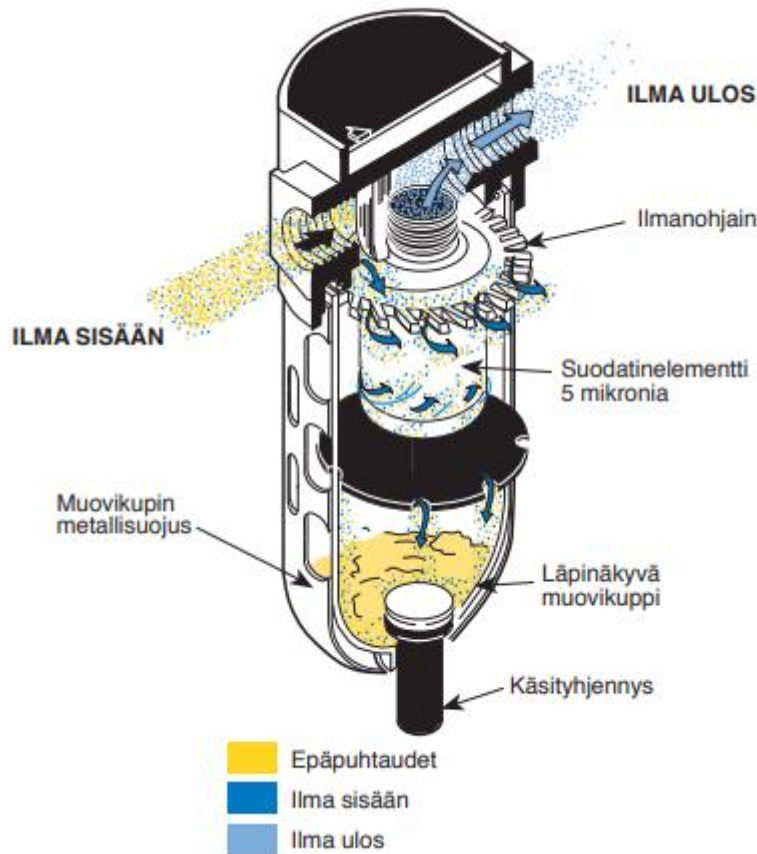
Kuvio 4. Adsorptiokuivain (Adsorptiokuivaimet, n.d.)

2.3 Suodattimet

Paineilmakompressorin imuilmassa on kosteuden lisäksi muitakin epäpuhtauksia, kuten pölyä ja likaa, ja ne lisäävät komponenttien kulumista. Kulumisen estämiseksi paineilmakeierron eri vaiheisiin voidaan asettaa erilaisia suodattimia, jotka poistavat epäpuhtauksia. (Paineilman huoltolaitteet 2012.)

Esisuodattimet

Esisuodattimet (ks. Kuvio 5) poistavat paineilmasta kiinteät yli 5 μ m kokoiset partikkelit, sekä öljyä ja vettä. Esisuodattimessa tuloilma johdetaan pyörivään liikkeeseen ja likapartikkelit jäävät kiinni syklonin seinään ja valuvat reunoja pitkin pohjalle. (Paineilman huoltolaitteet 2012.)



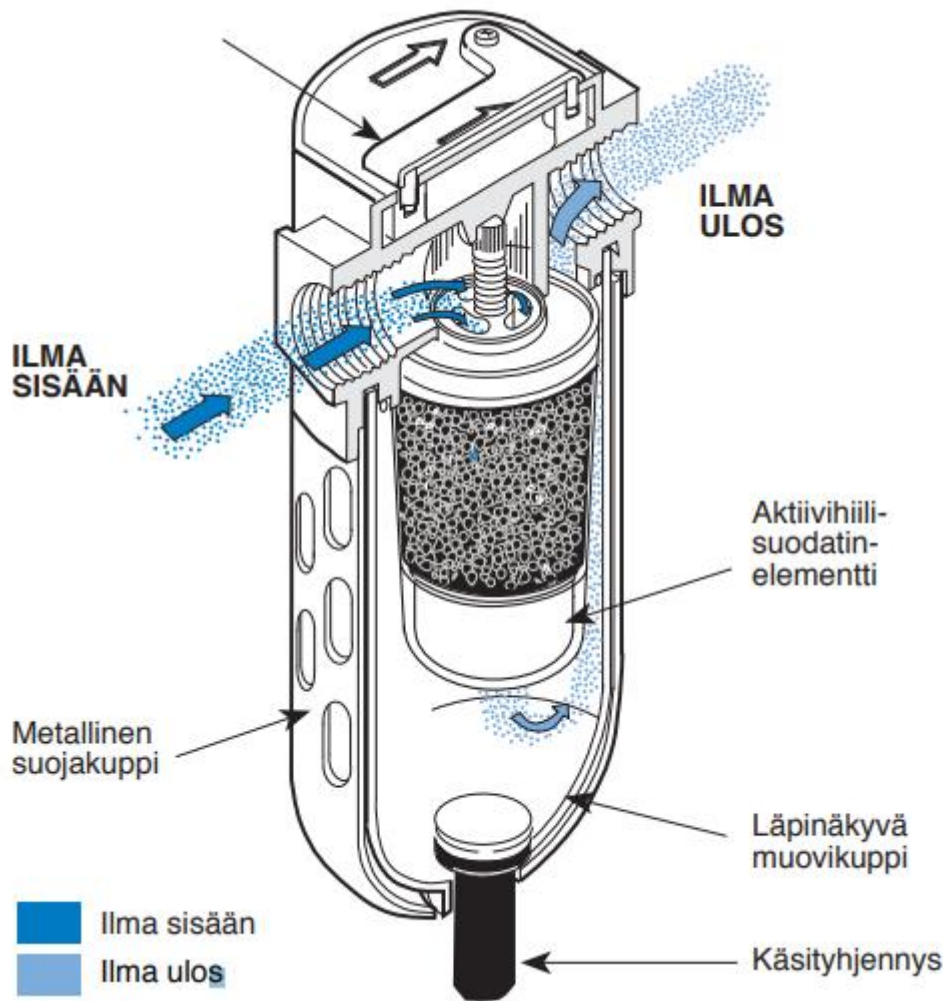
Kuvio 5. Paineilman esisuodatin (Paineilman huoltolaitteet 2012.)

Mikrosuodatin

Mikrosuodattimella paineilmasta poistetaan vettä, öljyä ja kiinteitä partikkeleja, jotka ovat suurempia kuin $0,01 \mu\text{m}$. Rakenteeltaan ne ovat syklonimallisia, niin kuin esisuodattimetkin, mutta niissä on tarkempi suodatinelementti. Tätä $0,01 \mu\text{m}$ suodatinelementtiä voidaan käyttää myös aktiivihilisuodattimen esisuodattimena. (Paineilman huoltolaitteet 2012.)

Aktiivihilisuodatin

Aktiivihilisuodattimia (ks. Kuvio 6) käytetään korkealaatuisen paineilman saavuttamiseksi poistamalla siitä kaasumaiset öljyt, sekä hajut ja maut. Suodatinelementissä oleva aktiivihili adsorboi öljymolekyylit suuripinta-alaiseen rakenteeseensa. (Paineilman huoltolaitteet 2012.)



Kuvio 6. Aktiivihiilisuodatin (Paineilman huoltolaitteet 2012.)

2.4 Paineilman siirto

Paineilmaverkko

Paineilmaverkosto koostuu paineilmasäiliöstä, putkistosta ja paineilman käyttökohteista. Paineilmakeskuksesta paineilmaa johdetaan runkoputkeen syöttöputkella. Runkoputken sijoitus voi riippua monista tekijöistä, mutta yleensä se on kiinnitetty seinä- tai kattorakenteisiin. Runkoputkesta paineilma johdetaan työkaluille ja laitteille erillisellä jakeluputkella. Kuviossa 7 on esimerkki paineilma-verkon rakenteesta. (Ellman 2002, 59. – 60.)



Kuvio 7. Esimerkki paineilmaverkon rakenteesta (Ellman 2002, 60)

Paineilmasäiliö

Paineilmasäiliö on paineilmakeskuksessa oleva säiliö, jonka päätehtävä on varastoida paineilmaa, vaimentaa painevaihteluja ja tasata kulutushuippuja. Paineilmasäiliö voi sijaita joko ennen jälkikäsitteilylaitteita, tai niiden jälkeen, kuten Kuviossa 1 on esitetty. (Paineilmasäiliöt n.d.)

Pneumatiikan piirrosmerkit

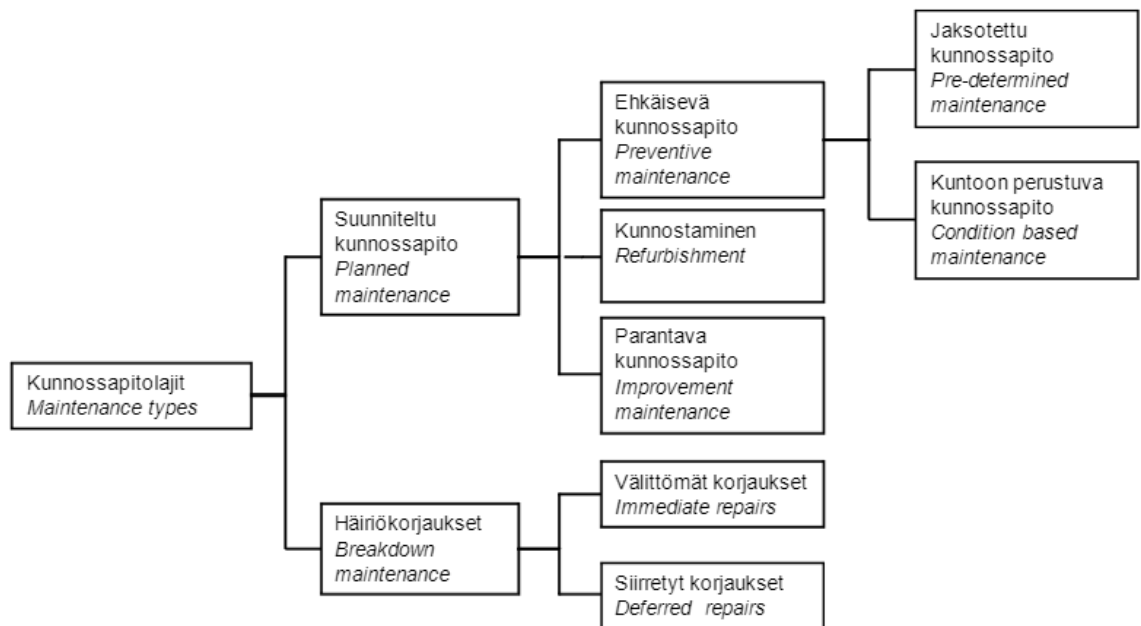
Paineilmajärjestelmien dokumentointia varten on luotu oma piirikaavio (ks. Liite 1), jossa paineilman komponentit esitetään standardoiduilla piirrosmerkeillä (Ellman 2002, 68).

3 Kunnossapito

3.1 Kunnossapidon lajit

Kunnossapitotoimintaa on ollut olemassa niin kauan, kuin rakennuksia tai koneita on valmistettu. Varhaisimmat kunnossapidon muodot ovat olleet redundanttinen varmistaminen, vian esiintymisen jälkeinen korjaus sekä huolto. Vuosien saatossa kunnossapito on kehittynyt niin että se ei ole enää vain korjaavaa toimintaa. Nykyään kunnossapito ei olekaan yrityksille pelkkä kustannuserä, vaan se nähdään tärkeänä

tuotannontekijänä, jolla varmistetaan kilpailukykyinen tuotanto. Kunnossapidolla pyritään saavuttamaan korkea tuotannon kokonaistehokkuus ja hyvä käyttövarmuus. (Järviö & Lehtiö 2017, 21, 59.; Kuntoon perustuva kunnossapito 2009, 25.) Prosessiteollisuuden standardointikeskus PSK määrittelee standardissa PSK 6201:2011 kunnossapidon seuraavanlaisesti: ”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” PSK:n mukaan kunnossapito voidaan jakaa laji-kohtaisesti suunniteltuun kunnossapitoon ja suunnittelemattomaan (korjaavaan) kunnossapitoon. Kuviossa 8 on esitetty kunnossapidon lajit PSK:n mukaan. (Järviö & Lehtiö 2017, 18.; Kuntoon perustuva kunnossapito 2009, 96.)



Kuvio 8. Kunnossapitolajit PSK:n mukaan (Kuntoon perustuva kunnossapito 2009, 96.)

3.2 Kuntoon perustuva kunnonvalvonta ja kunnonvalvonta

Kuntoon perustuva kunnossapito on ehkäisevän kunnossapidon alalaji, jossa kunnossapidon kohteesta seurataan valittua parametria ja sen muutoksiin reagoidaan saatujen havaintojen perusteella. Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa kunnonvalvonnalla on tärkeä rooli. PSK 6201 määrittelee, että sen avulla tuotetaan lähtötiedot eh-

käisevän kunnossapidon suunnitteluun. Näitä tietoja hankitaan aistinvaraisilla ja mittavilla tarkastuksilla, sekä niiden analysoinneilla. (Kuntoon perustuva kunnossapito 2009, 101.)

3.2.1 Kunnonvalvonnan suunnittelu

Kunnonvalvontamenetelmät valitaan tapauskohtaisesti niin, että niillä on mahdollista suorittaa kunnonvalvontaa asetettujen teknisten ja taloudellisten tavoitteiden mukaisesti. Usein hyvää kunnonvalvontaa on se, että käytetään eri menetelmiä täydentämään toisiaan. Standardissa PSK 5705 kuvataan kunnonvalvonnan suunnittelun vaiheet seuraavanlaisesti:

- *Määritellään laitoksen koneiden kriittisyys ja kriittisten koneiden kunnonvalvonnan tarve.*
- *Selvitetään konekohtaisesti soveltuvat valvontamenetelmät.*
- *Arvioidaan menetelmien tekninen toteutettavuus.*
- *Valitaan valvonnan piiriin ne laitteet, joille kunnonvalvonnan toteuttaminen on taloudellisesti kannattavaa.*
- *Valituille laitteille laaditaan kunnonvalvontasuunnitelma, joka määrittää*
 - *käytettävät valvontatekniikat ja menetelmät sekä menetelmäkohtaiset raja-arvot*
 - *mittausvälit*
 - *käytettävät mittausjärjestelmät*
 - *mittaustoiminnan käytännön järjestelyt*
 - *mittausten dokumentoinnin, raportoinnin ja seurannan* (Kuntoon perustuva kunnossapito 2009, 162.)

3.2.2 RCM kunnossapidon suunnittelussa

Kunnossapidon suunnittelun avuksi on kehitetty toimintamalleja ja filosofioita, joista yksi laajasti prosessiteollisuudessa käytetty menetelmä on RCM, joka tulee englanninkielen sanoista Reliability Centered Maintenance ja on suomennettuna luotettavuuskeskeinen kunnossapito. John Moubray esittää RCM II -kirjassaan prosessin, jonka avulla laitteiden kunnossapito jaotellaan prioriteettien mukaan. Tätä kriittisyysjaottelua hyödyntämällä kunnossapitoa voidaan kohdistaa sinne, missä sitä tarvitaan, ja ottaa pois vähemmän kriittisistä kohteista. (Kuntoon perustuva kunnossapito 2009, 75)

Moubrayn RCM-prosessi sisältää pääpiirteittäin seitsemän vaihetta.

1. Määritellään laitteiden päätoiminnot ja tehokkuusvaatimukset, jolla ne toteutuvat
2. Määritellään toiminnalliset viat eli tavat, miten laitteen toiminto keskeytyy
3. Selvitetään vikaantumismallit eli asiat, jotka voivat johtaa vian syntymiseen
4. Selvitetään vian vaikutukset eli miten vikaantuminen ilmenee.
5. Selvitetään vian seuraukset, eli mitä näkyviä, piileviä, toiminnallisia tai ei-toiminnallisia vaikutuksia sillä on.
6. Vikaantumiselle määritellään sopiva ennakoivan kunnossapidon toimenpide
7. Jos ennakoivaa toimenpidettä ei voida suorittaa, suoritetaan tilannekohtaisesti joku seuraavista toimenpiteistä
 - a. Vian etsintä eli Failure finding (FF)
 - b. Uudelleensuunnittelu eli Re-design (RD)
 - c. Ei toimenpidettä eli Run-to-failure (RTF) (Moubray 1997, 7, 13-14.)

4 Paineilman kunnossapito

Teollisuudessa on kehitetty paineilman energiatehokkuuden parantamiseksi erilaisia analyysejä ja kartoituksia. Suurin hukka, jota näillä sovelluksilla voidaan minimoida, on paineilmanvuodot. Vuotojen kartoitus on tärkeää, sillä ne voivat viedä jopa 20% paineilmajärjestelmän tuotosta. (Paineilma-analyysi tuo säästöjä, 2012.)

4.1 Paineilman ohjausjärjestelmät

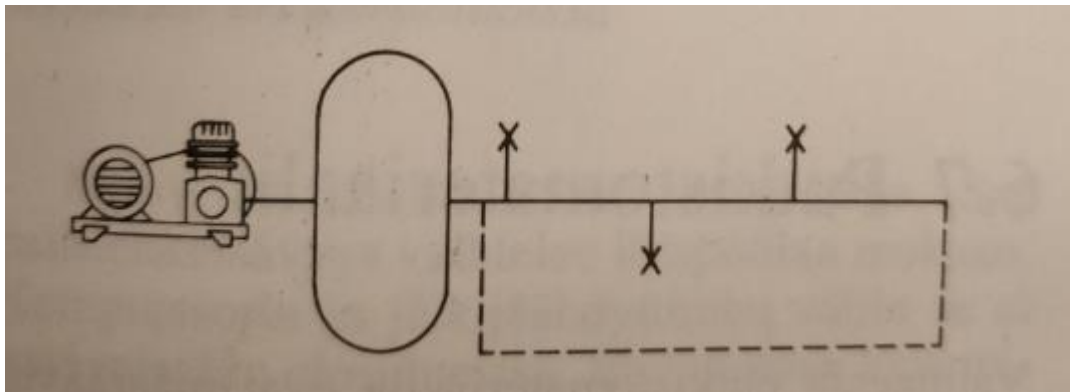
Paineilmajärjestelmien oikeaoppisen ja energiatehokkaan käytön helpottamiseksi on kehitetty erilaisia sähköisiä ohjausjärjestelmiä. Asiakkaan käytössä on Sarlin Balance -niminen paineilman hallintajärjestelmä. Sarlin Balance -järjestelmällä ohjataan keskitetysti koko paineilmajärjestelmän toimintaa ja oikealla ajotavalla voidaan säästää energiaa ja parantaa tuottavuutta. Säästöjä saadaan esimerkiksi seuraamalla verkon painetta ja optimoimalla kompressoreita sen mukaisesti. Mittauksiin perustuvan datan perusteella pystytään saavuttamaan kompressorien paras toiminta-alue, ja tällä tavoin säästetään energian lisäksi myös laitteita. (Sarlin Balance -paineilmajärjestelmän ohjaus, optimointi ja valvonta n.d.)

4.2 Paineilman jakeluhäiriöt

Kompressorikirja (Airila 1983, 100) jaottelee paineilmaverkon jakeluhäiriöille viisi pääasiallista syytä.

1. Painehäviöt
2. Verkon jäätyminen
3. Vauriot verkossa
4. Vuodot
5. Uusien liitännöjen tekeminen verkkoon

Ensimmäistä häiriötä, eli painehäviötä, tulisi ehkäistä jo verkon mitoitusvaiheessa. Painehäviöt saattavat kasvaa silloin kun laitoksen paineilman kulutus lisääntyy, ja putkisto on liian pieni siihen nähden. Myös epäpuhtaudet, jotka jäävät putkiston seinämiin kiinni, lisäävät painehäviötä. Yksi ratkaisu kulutuksen tasaamiseen on verkon uudelleensuunnittelu. Verkkoon voidaan esimerkiksi lisätä linja kuvion 9 mukaisesti, niin että saadaan aikaan rengasverkko, jolloin kulutusta saadaan jaettua. (Airila 1983, 101)



Kuvio 9. Suoran linjan muutos rengaslinjaksi (Airila 1983, 101.)

Jos paineilmaverkko kulkee kylmissä olosuhteissa, pitää varmistaa, että käytössä olevassa kuivaimessa on riittävän alhainen kastepiste. ISO 8573.1 -standardi määrittää paineilmalle laatuluokat paineenalaisen kastepisteen mukaan (ks. Taulukko 1). Tyypillinen ulkokäytössä Suomessa oleva paineilman luokitus on 2 tai 3, ja se saavutetaan adsorptiokuivaimella. (Suodatus ja kuivatus n.d.)

Taulukko 1. Paineenalainen kastepiste (Suodatus ja kuivatus n.d.)

Laatuluokka	Kastepiste
1	-70
2	-40
3	-20
4	+3
5	+7
6	+10
7	Ei määritetty

Jos paineilmaverkko on sijoitettu suoraan maahan, se voi syöpyä tai murtua maan liikkeiden vaikutuksesta. Tämän takia maassa olevat linjat pitäisikin asentaa siten, että niiden alla on tilaa. Myös linjojen vuototarkastelut helpottuvat, jos putkien alle pääseminen on mahdollista. (Airila 1983, 102.)

4.3 Vuoto- ja verkostokartoitus

Paineilmajärjestelmän vuotoja voidaan tutkia monella tapaa. Selkein merkki, josta isommat vuodot tunnistaa, on vuotokohdasta lähtevä suhina. Kaikkia paineilmavuotoja ei kuitenkaan voi korvalla kuulla, vaan ne voivat hukkaa tehtaan muuhun meluun. Kuvioista 10 näkee, että jo muutamien millimetrin kokoisista vuodoista voi tulla tuhansien eurojen kulueria. (Paineilma-analyysi tuo säästöjä 2012.)

Vuotoreiän halkaisija mm	Vuotomäärä 8 bar l/min	Kustannukset euroa/vuosi
1 •	75	290
1,5 •	150	580
2 ●	260	1 000
3 ●	600	2 320
4 ●	1 100	4 260
5 ●	1 700	6 580

Kuvio 10. Suuntaa-antavat vuotojen kustannukset vuotoreiän koon mukaan (Paineilma-analyysi tuo säästöjä 2012)

Pienempiä paineilmavuotoja, joita ei normitarkastuksessa huomata, tutkitaan erilaisilla tiiveystarkastuksilla (Paineilma-analyysi tuo säästöjä 2012). Näistä yleisin on ultraäänivuototesti, jossa tunnistetaan vuotokohdasta tuleva ultraäänikohina, ja vahvistetaan se mikrofoni- ja signaalinkäsittelylaitteilla ihmiskorvalla kuultavaan muotoon. Tällä menetelmällä paineilmavuoto voidaan paikantaa tarkasti esimerkiksi laippaliitokseen tai vuotavaan letkuun. Teollisuuslaitoksissa paineilmavuotoja syntyy jatkuvasti, ja ne pahenevat, jos niitä ei korjata. Tätä voidaan ennakoida säännöllisillä tarkastuksilla. Lisäksi ennakointia voidaan suorittaa asentamalla linjoille kulutusmittareita, joilla seurataan vuotohävikin määrää. (Paineilmajärjestelmän vuotokartoitus n.d.; Vuodonhaku ja kunnonvalvonta ultraäänen avulla 2013.)

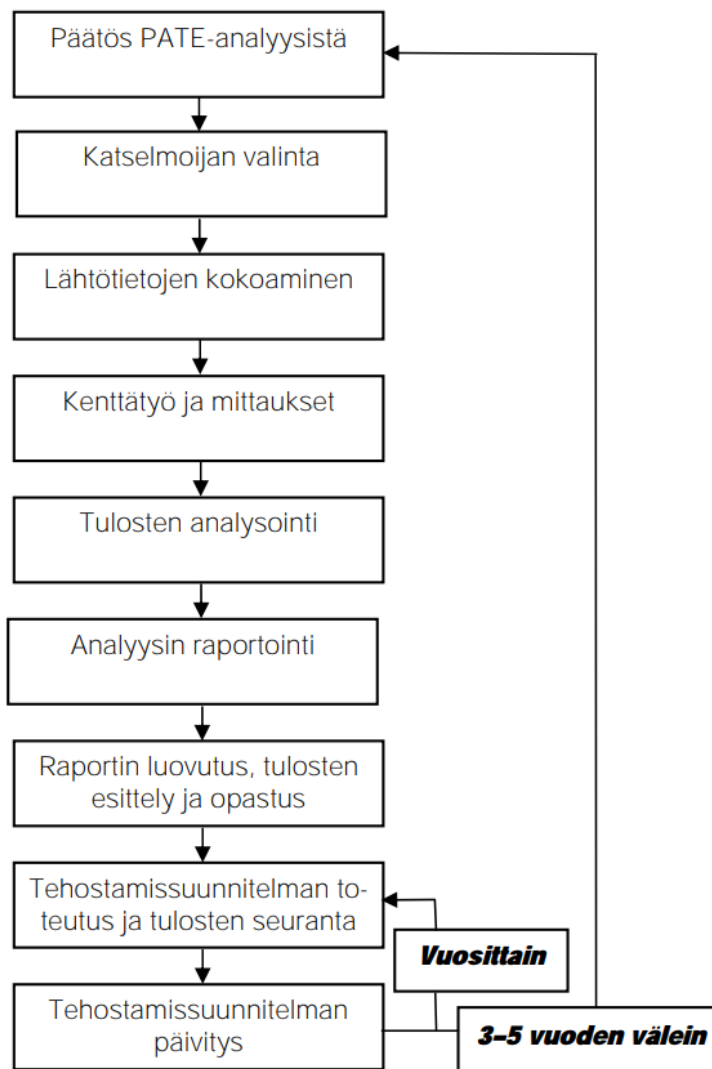
4.4 Paineilma-analyysi

Motiva Oy on kehittänyt yleisten energiakatselmuksien täydentäväksi analyysiksi PATE-analyysin, eli paineilman kokonaisvaltaisen energiatehokkuuden tarkastelun. Tämä eroaa tavallisesta Motiva-mallin energiakatselmuksista siten, että PATE-analyysissä keskitytään ainoastaan paineilman energiatehokkuuden parantamiseen. Analyysissä etsitään energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, lasketaan vuosisäästöt ja investointikustannukset, sekä määritetään niihin tarvittavien toimenpiteiden takaisinmaksuajat. PATE-analyysi ei Motivan paineilma-

analyysimallin mukaan ole käytännöllinen toimenpide pienen suuruusluokan paineilmajärjestelmissä, vaan kohdejärjestelmän tulisi sisältää vähintään kaksi kompressoria, joiden yhteisteho on 100 kW tai sähkönkulutus 200 MWh/a. (Paineilma-analyysi tuo säästöjä 2012; PATE-analyysi – Paineilman energia-analyysimalli 2005.)

4.4.1 PATE-analyysin kulku

PATE-analyysin selvitystyössä aluksi määritetään paineilman eli määrä- ja laatuvaatimukset, sen jälkeen verkostovuodot ja lopuksi paineilman tuotanto. Tarkempi kuvaus analyysin vaiheista on kuvattu kuviossa 11.



Kuvio 11. PATE-analyysin vaiheet (Paineilman energia-analyysimalli 2012)

Käyttökohteiden määrittämisessä tutkittavan kohteen kaikki paineilman kulutuskohteet listataan ja niiden ilmavirran tarve määritetään joko laitetietojen perusteella, tai niiden puuttuessa arvioimalla (ks. Taulukko 2). Yleisiä toimenpiteitä mihin PATE-analyysillä päädytään ovat vuotokorjaukset, kompressoriohjauksen parantaminen, ja verkoston painetaso alentaminen. (Paineilma-analyysi tuo säästöjä 2012.)

Taulukko 2. Esimerkkikohteen paineilman kulutuskohteiden listaus (Paineilman energia-analyysimalli 2005)

Laitteet Kohde	Käyttö	Ilmavirta m ³ /min	Painetarve bar, arvio bar	Tarve	Vuodot
1 Sahan nestesumulaitteet ja terän puhdistus, pistooleja	jatkuva	0,5	6	kyllä/ei	kyllä
2 Hitsauspisteiden ilmanpuhdistin	jaksottainen	< 0,1	6	kyllä	ei
3 Hitsauskone ja pistooli	jaksottainen	< 0,5	6	kyllä	ei
4 Hitsauskone, pistooli ja painekoelaitte	jaksottainen	< 0,5	6	kyllä	kyllä
5 Hitsauskone, pitkä letkuvienti	jaksottainen	< 0,1	6	kyllä	ei
6 2xkäsityökalu ja painekoelaitte	jaksottainen	n. 20	6	kyllä	ei
7 Pistooli	jaksottainen	< 0,5	3	kyllä	ei
8 Maalauslinjan kuivaustunneli	jaksottainen	< 0,1	6	kyllä	ei
9 Maalauslinja	osin jatkuva	< 0,5	6	kyllä	ei
10 Maalipumput ja tynnyrisekoittimet	jatkuva	< 0,5	6	kyllä/ei	ei
11 Painekoelaitte, käsityökalu ja pistooli	jaksottainen	< 0,5	6	kyllä	ei
12 Hitsauspisteiden hitsauslaitteet	jaksottainen	< 0,1	6	kyllä	ei

4.4.2 Ylläpitosuunnitelma ja energiatehokkuus

Paineilma-analyysillä saatujen parannustoimenpiteiden jälkeen energiatehokkuuden ylläpitäminen on tärkeää. Huoltotyöt pitää raportoida reaaliaikaisesti, sekä paineilman tuoton tehoa ja kompressorien käyttötunteja on seurattava vuotuisesti. Tähän yritys voi määrittää esimerkiksi oman vastuuhenkilön. Lisäksi henkilöstön tiedotus on isossa roolissa energiatehokkuuden ylläpitämisessä, ja työntekijöille voidaan järjestää koulutuksia, joissa painotetaan paineilman oikeaoppista käyttöä, sekä vuotojen havainnoimista ja raportointia. (Paineilman energia-analyysimalli 2005).

Hyvänä energiatehokkuuden mittarina Paineilma-analyysi pitää paineilman teho/tuotto –suhdetta, eli ominaistehoa. Yleispätevänä ohjeena ominaisteho ei saisi normaalioloissa ylittää tehoarvoa 7 kW/(m³/min), vaikkakin joka kohteen ominaistehotavoite määritetään aina tapauskohtaisesti. (Paineilman energia-analyysimalli 2005.)

5 Opinnäytetyön toteutus

5.1 Paineilmakierrokset

Projektin alkuvaiheessa kummallekin asiakkaan tutkimuskohteelle järjestettiin tutkimuskierrokset, jossa käytiin läpi kohteiden paineilman runkoverkot. Verkot sijaitsevat suureksi osaksi maan alla tunnelikanaaleissa. Molemmissa kohteissa tutkimuskierrosta johtivat asiakkaan entiset työntekijät, jotka olivat aiemmin vastanneet kohteista. Toinen heistä oli siirtynyt eläkkeelle, ja toinen siirtynyt toisiin tehtäviin. Molemmilla työntekijöillä oli yli kymmenien vuosien kokemus kohteiden kunnossapidosta, ja he esittelivät kierroksella kohteiden kriittisimpiä paikkoja ja laitteita. Lisäksi kierrokseen osallistui toimeksiantajan kunnossapitoasentajia sekä kohteista vastaavat toimihenkilöt. Tässä vaiheessa runkoverkon kulusta luotiin hahmotelmat tehtaan layoutpiirustusten päälle.

Paineilmakierroksia johtavia asiakkaan henkilöitä sekä toimeksiantajan omia asentajia haastateltiin kierrosten aikana. Heiltä saatiin kehityskohteita ja niitä kirjattiin ylös myöhempää tarkastelua varten. Haastattelut etenivät strukturoimattomasti niin, että henkilöstön mielestä kriittisten kohteiden kohdalla pysähdyttiin ja niistä keskusteltiin. Näitä ongelmakohtia kirjattiin ylös ja niiden luotettavuutta sekä paikkansapitävyyttä analysoitiin myöhemmin toimeksiantajan toimihenkilöiden kanssa palaverissa. Ajateltiin, että näillä kehityskohteilla voitaisiin saada parannettua kunnossapidettävyyttä sekä kunnossapitovarmuutta ja tuotua sitä kautta säästöjä asiakkaalle. Kehityskohteista koottiin A4-lista, jota arvioitiin ensin toimeksiantajan kanssa, ja se toimitettiin myöhemmin asiakkaalle, jonka kanssa sitä käsiteltiin yhdessä toimeksiantajan kanssa.

5.2 Paineilmapiirustukset

Projektin aikana piirrettiin Autocad LT –ohjelmalla linjakaaviot kohteiden A ja B paineilma-verkon rakenteesta. Kaaviot keskittyvät pääasiassa tunnelikanaaleissa sijaitsevaan runkoverkkoon, ja niissä näkyvät tärkeimmät sulkuventtiilit ja toimilaitteet. Pohjana linjakaavioille käytettiin kohteiden layout-kuvia, johon paineilma-verkko piirret-

tiin uutena tasona. Näitä piirustuksia analysoitiin palavereissa ja niihin tehtiin projektin aikana lisäyksiä. Layoutiin oli muun muassa tarkoitus lisätä merkinnät kanaalin sisäänkäynneistä paineilma-verkon kunnossapitokierrosten ja turvallisuuden helpottamiseksi. Nämä luukut, portaat ja muut sisäänkäynnit löytyivät kuitenkin jo valmiina olemassa olevista dokumenteista, ja ne lisättiin sieltä paineilmapiiirustuksiin.

5.3 Paineilma-analyysi kohteille

Asiakkaan koko tehdasalueen paineilmavuodoista aiheutuvia virtaushäviöitä arvioitiin Sarlin Balance -ohjelman avulla. Teoriassa häviöt olisi voitu määrittää ”pohjakuorman” avulla, eli tarkastelemalla paineilman kulutusta silloin, kun kaikki tuotanto ja paineilmaa käyttävät laitteet ovat pois käytöstä. Paineilman käyttö tutkimuskohteissa on kuitenkin jatkuvaa, koska tehdas ei ole koskaan täysin seisokissa. Siksi valvomonäytöltä katsomalla ei voitu tietää tarkasti, kuinka paljon paineilmaa kuluu tuotannon laitteisiin. Suuntaa-antavaa vuototarkastelua voitiin kuitenkin tehdä kirjamalla historiatiedoista paineilmavirtauksia eri kohteille sekä määrittämällä kompressorien teho/tuotto –suhteen keskiarvon yhden vuoden tarkastelujaksolla. (ks. Kuvio 12)

KESKIARVO	
TEHO	317 kW
ILMAN TUOTTO	46.4 m ³ /min
TEHO/TUOTTO	7.15 kW/m ³ /min

Kuvio 12. Teho/Tuotto –suhde tarkastelujaksolla

Ominaistehon avulla voitiin määrittää vuosittainen hinta paineilman virtaushäviöille kuutiota per minuuttia seuraavasti:

$$1 \frac{m^3}{\text{min}} \text{ hinta vuodessa} = 7,15 \frac{kW}{\left(\frac{m^3}{\text{min}}\right)} * 8760h * 0,10 \frac{\text{€}}{kWh} = \mathbf{6263,40} \frac{\text{€}}{\left(\frac{m^3}{\text{min}}\right)}$$

kun

$$\text{Ominaisteho on } 7,15 \frac{kW}{\left(\frac{m^3}{\text{min}}\right)}$$

Käyttötunteja vuodessa on 8760 h

$$\text{Sähkön tuoton hinta on } 0,10 \frac{\text{€}}{kWh}$$

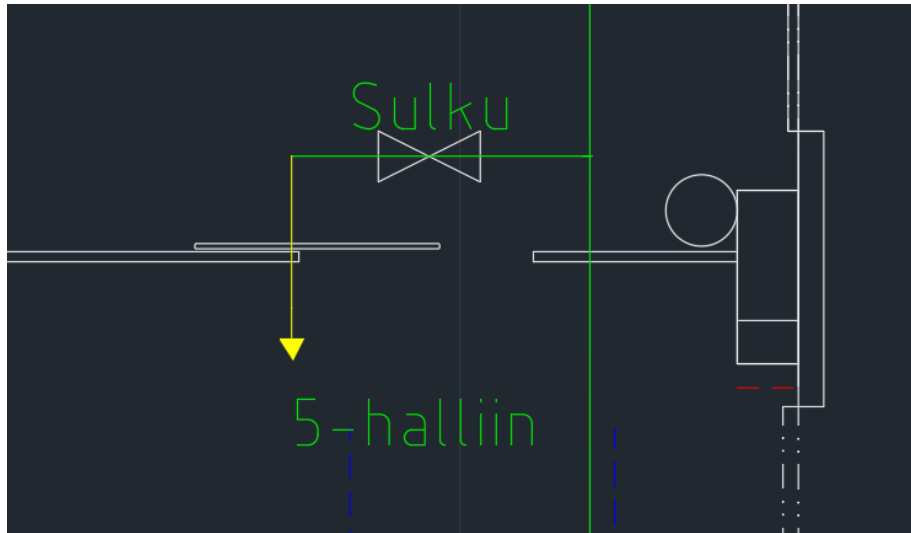
Laskennan perusteella yhden kuution virtaushäviön vuosihinnaksi saatiin siis **6263,40€**. Teollisuuskohteissa arvioitiin olevan paineilman vuotohäviöitä useita kymmeniä kuutioita, ja niistä tulevien kustannuksien nähtiin olevan kohtalaisen suuria. Projektin aikana toimeksiantajan intra-verkkoon tehtiin molemmista tutkittavista kohteista laatu- ja ympäristöhavainto, jossa oli korjausehdotus suurimpien vuotojen vuotokorjauksiin.

6 Tulokset

6.1 Paineilmakartasto

Kunnossapitohenkilöstön ja tutkimuskierrosten tuloksena saatiin päivitettyt linjakartat kohteista A ja B. Karttoihin on merkattu kompressorihuoneen sijainti, suurin osa sulkuventtiileistä ja vedenerottimista, ja joitakin paine- ja virtausmittauksia. Projektin aikana sovittiin, että venttiilien ja toimilaitteiden numerointikentät jätetään tyhjiksi,

mutta helposti myöhemmin muokattaviksi. Runkoverkoista lähtevät linjahaarat merkittiin kuvion 13 (s. 26) mukaisesti nuolilla, ja niitä voi myöhemmin päivittää tarkemmin. Linjakartoissa vihreä viiva merkitsee tunnelikanaalissa sijaitsevaa linjaa ja keltainen sellaista joka kulkee tehtaan puolella.



Kuvio 13. Runkolinjasta lähtevä paineilmalinja

6.2 Kunnonvalvonnan ja kunnossapidon kehitys

Projektin aikana asiakkaan ja toimeksiantajan kunnossapito henkilöstön kanssa päädyttiin tulokseen, että kohteissa A ja B otetaan käyttöön kunnonvalvonta tarkastuskierrosten muodossa kohteiden paineilma verkoille kahden viikon sykllillä. Nämä kierrokset tekevät kunnossapitoasentajat.

Toimeksiantajan kunnossapitotoimihenkilöt esittivät palaverissa arvioita paineilma vuotojen kohdekohtaisista määristä. Näiden arvioiden ja ominaistehon avulla lasketujen kustannuksien avulla pystyttiin määrittämään vuodoista aiheutuvia kustannuksia vuositasolla. Nämä kustannuserät ovat kohtalaisen korkeita ja siksi vuotojen korjaukset nähtiin ensisijaisina. Näihin palaverihin ja Motivan analyysimalliin perustuvina ehdotuksina oli, että aloitetaan korjaukset korvinkuultavista paineilma vuodoista. Tällaisia vuotoja oli paineilma verkossa useissa venttiileissä, jotka sijaitsivat tunnelikanaalissa kohtalaisen helposti saavutettavissa paikoissa. Ensimmäinen korjausehdotus oli siis käydä läpi nämä isoimmat vuotokohdat ja sen jälkeen aloittaa runkoverkon laippaliitosten läpikäyminen järjestelmällisesti. Tiiviiden tarkastus on

Motiva-mallin mukaan nopea toiminta ja sen kustannukset pienet, suhteessa sillä saavutettavaan hyötyyn (Paineilma-analyysi tuo säästöjä 2012).

Toinen ehdotus paineilmalinjojen parantamiseksi olisi lisätä sulkuventtiilejä linjalle, niin että paineilman syötön saisi suljettua keskitetympin Kohteiden A ja B tehdashalleissa. Nykyisellään useassa hallissa sulkuventtiilit sijaitsevat vaikeakulkuisissa paikoissa eikä jokaisella hallilla ole omaa sulkua. Tämän nähtiin kasvattavan onnettomuusriskiä esimerkiksi tulipalotilanteessa, jos syöttöä ei saa katkaistua hallikohtaisesti. Muita parannusehdotuksia oli linjojen merkintöjen parantaminen ja kulkuohjeiden lisääminen tunnelikanaaleihin. Kohdemerkinnät korjaus- ja parannusehdotuksien paikoista merkittiin parannusehdotuslistaan, ja lyhennetty esimerkkilistaus ehdotuksista on kuvattu taulukossa 3.

Taulukko 3. Parannusehdotuksien esimerkkilistaus

Kohde 1	Kohde 2
<ul style="list-style-type: none"> • Merkataan vuotokohdat ja pyritään korjaamaan. • Paineilmalinjaan sulkuventtiili hallin puolelle. • Oviin merkinnät kulkemisen helpottamiseksi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Merkataan vuotokohdat ja pyritään korjaamaan. • Vedenerotuksen kanssa ongelmia ja vesi kerääntyy yhteen nousukohtaan. => Verkkoon muutos => rengasverkko

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoitus oli parantaa asiakkaan kahden teollisuuskohteen paineilmalinjojen dokumentointia ja tehdä esiselvitystä toimeksiantajalle järjestelmällisen kunnossapidon aloittamisesta. Tämä sisälsi päivitettyt linjakartat paineilman runkoverkoista ja avoimella haastattelulla kerättyä tietoa runkoverkon kunnossapidosta sekä korjaus- ja kehityskohteista.

Itsearvioituna projektin tavoitteisiin päästiin melko hyvin. Paineilmaverkkoon tutustuttiin ja siitä piirrettiin Autocadilla linjakartat. Piirtämisen rajaaminen runkolinjaan onnistui niin, että kartat ovat myöhemmin helposti muokattavissa ja halliin meneviä linjalähtöjä voidaan täydentää karttaan. Saadut tulokset kuvastavat linjojen todellista tilaa ja paineilman runkoverkko liitetään osaksi Layout-piirustuksia.

Toinen vaihe oli kunnossapidon kehityskohteiden kerääminen haastattelemalla ja havainnoimalla. Menetelmänä avoin haastattelu oli tähän ainoa toimiva ratkaisu, koska haastattelua tehtiin paineilmakierroksen ohessa. Strukturoidun haastattelun järjestäminen kierroksilla olisi ollut haastavaa, ja olisi vienyt fokusta itse kierroksilta. Näin suoritetuilla haastatteluilla luotettavuusarvo oli kuitenkin jonkun verran pienempi kuin strukturoidulla. Haastateltavia oli melko pieni otos, koska kierrokseen osallistui vain muutamia henkilöitä. Luotettavuutta tukevana seikkana nähtiin kuitenkin päähaastateltavien pitkä ura kohteiden kunnossapidossa, ja sen nähtiin tuovan riittävää asiantuntemusta kohteista. Haastatteluilla saatuja tietoja voidaan siis pitää laadullisesti melko luotettavina, mutta määrällisesti ei täysin luotettavina.

Sarlin Balance –valvomonäytön tiedoilla määritetty vuototarkastelu ja kustannuslasku olivat pitkälti samassa linjassa kuviossa 10 (s.19) esitettyjen suuntaa-antavien paineilmavuotojen kanssa. Kustannusarviota voidaan pitää melko luotettavana ja vuotoja voidaan jaotella asiakkaan eri kohteille kohtalaisen tarkasti. Myöhemmin jaottelua voidaan tarkentaa hyödyntämällä esimerkiksi Motivan paineilma-analyysin menetelmiä.

Opinnäytetyön jatkotoimenpiteitä ajatellessa projektissa päivitettyjä linjakarttoja voidaan alkaa hyödyntää kunnonvalvonnassa, jossa kunnossapitohenkilöstö voi muodostaa niistä ohjeet paineilmakierroksille. Näin ohjeet voidaan standardisoida ja siten helpottaa uusien henkilöiden perehdytystä, kun tarvittavat tiedot löytyvät dokumentoituna. Lisäksi linjakarttojen piirustuksien avulla voidaan alkaa paneutua paineilma-verkon komponenttien hierarkian kehittämiseen. Päivitetylle laitehierarkialle voi sen jälkeen alkaa luoda tarkempaa ennakkohuolto-ohjelmaa esimerkiksi RCM-mallin mukaisesti.

Lähteet

- Adsorptiokuivaimet. N.d. Oy Atlas Copco Ab:n esite. Viitattu 16.1.2019.
<https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/paineilman-perusteet/paineilma-kuivain/adsorptiokuivain>
- Adsorption. N.d. Encyclopedia Britannican tiedeartikkeli. Viitattu 16.1.2019.
<https://www.britannica.com/science/adsorption>
- Airila, M. 1983. Kompessorikirja. Vantaa: Hydor.
- Ellman, A. 2002. Pneumatiikka. Helsinki: Edita.
- Energiakatselmoijan käsikirja. N.d. Motivan materiaali. Viitattu 5.3.2019.
<http://www.motiva.fi/files/1720/kat-energiakatselmoijan-kasikirja-osa-3-2-A.pdf>
- Ilman jäähdyttimet ja kompressorit. N.d. Norcool -yrityksen tuote-esite. Viitattu 15.1.2019. http://www.rtv.fi/kone-ja-pintakaesittelyosasto/norblast-tuotteet/hiek-kapuhalluslaitteet/norcool-jaelkijaeahdyttimet/lisaetietoja/norcool-jaelkijaeahdyttimet-esite/at_download/file
- Kompressorit. N.d. Sarlin Oy:n tuote-esite. Viitattu 16.1.2019. <https://www.sarlin.com/tuotteet/kompressorit>
- Kuntoon perustuva kunnossapito. 2009. Käsikirja. Kunnossapitoyhdistys Promaint. Helsinki: KP-Media. Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 13
- Maintpartner Way – systemaattinen toimintamallimme. N.d. Maintpartnerin sivustolla. Viitattu 11.1.2019.
<https://www.maintpartner.com/index.php/fi/maintpartner-suomi/toimintamalli>
- Moubray, J. 1997. Reliability-centered maintenance. 7. 14. - 15. p. Iso-Britannia: Butterworth-Heinemann Publications
- Paineilma-analyysi tuo säästöjä. 2012. Motivan esite. Viitattu 14.1.2019.
https://www.motiva.fi/files/6017/Paineilma-analyysi_tuo_saastoja.pdf
- Paineilmajärjestelmän ohjaus ja valvonta. N.d. Sarlin Oy:n liite. Viitattu 1.2.2019.
<https://www.sarlin.com/assets/Tuotteet/sarlin-balance-paineilmajC3A4rjestelmC3A4n-ohjaus2C-optimointi-ja-valvonta/liitteet/Sarlin-Balance-paineilman-ohjausjaerjestelmae.pdf>
- Paineilmajärjestelmän vuotokartoitus. N.d. Pneumatec Oy:n esite. Viitattu 14.1.2019.
https://pneumatec.fi/fin/wp-content/uploads/2016/10/vuotokartoitus_esite.pdf
- Paineilman huoltolaitteet. 2012. Wilkerson -laitevalmistajan esite.
<https://docplayer.fi/5194357-Paineilman-huoltolaitteet.html>
- Paineilman kunnossapitokustannuksiin suuri pudotus. Turbokompressori puhaltaa öljyttömästi. 2016. Artikkelit Promaintin sivulla. Viitattu 15.1.2019.
<https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Paineilman-kunnossapitokustannuksiin-suuri-pudotus.-Turbokompressori-puhaltaa-oljyttomasti>
- Paineilman suodatus ja kuivaus. N.d. Kompessorit Oy:n esite. Viitattu 24.1.2019.
http://www.compressor.fi/www/media/EsitePDF/Suodatus_ ja_kuivaus.pdf

Paineilmasäiliöt. N.d. Kaeser Kompressorit Oy:n tuote-esite. Viitattu 16.1.2019. <https://fi.kaeser.com/tuotteet/paineilmasaeilioet-ja-taeyttoejaerjestelmaet/paineilmasaeilioet/>

Paineilmavuotojen kartoitus. N.d. Sarlin Oy Ab:n sivustolla. Viitattu 15.1.2019. <https://www.sarlin.com/palvelut/paineilmapalvelut/paineilmavuotojen-kartoitus/>

PATE-analyysi – Paineilman energia-analyysimalli. 2005. Motivan raportti. Viitattu 20.3.2019. https://www.motiva.fi/files/1318/PATE-analyysi_Paineilman_energia-analyysmalli.pdf

PoleStar Smart Jäähdytyskuivaimet. N.d. Tamrotor Kompressorit Oy:n esite. Viitattu 16.1.2019. http://www.compressor.fi/media/EsitePDF/Hiross_PoleStar_PST.pdf

Sarlin Balance -paineilmajärjestelmän ohjaus, optimointi ja valvonta. N.d. Sarlin Oy:n esite. 1.2.2019. Viitattu 5.3.2019. <https://www.sarlin.com/tuotteet/sarlin-balance-paineilmaj%C3%A4rjestelm%C3%A4n-ohjaus%2C-optimointi-ja-valvonta>

Turbokompressori puristaa ilman hyvällä hyötysuhteella. 2017. Sarlin Oy:n artikkeli. Viitattu 15.1.2019. <https://www.sarlin.com/blogi/turbokompressori-puristaa-ilman-hyv%C3%A4ll%C3%A4-hy%C3%B6tysuhteella/>

Vuodonhaku ja kunnonvalvonta ultraäänen avulla. 2013. Artikkelin Promaintin sivulla. Viitattu 15.1.2019. <https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Vuodonhaku-ja-kunnonvalvonta-ultraaanen-avulla>

Liitteet

Liite 1. Pneumatiikan piirrosmerkit (Ellman 2002, 69-73)



