



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Tampereen aikuiskoulutuskeskuksen paineilmajärjestelmän energiatehokkuus

Kalle Pitkämäki

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-talotekniikka

KALLE PITKÄMÄKI:

Tampereen aikuiskoulutuskeskuksen paineilmajärjestelmän energiatehokkuus

Opinnäytetyö 62 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Toukokuu 2016

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa Tampereen aikuiskoulutuskeskuksen paineilmajärjestelmän tämänhetkinen tila ja tutkia järjestelmän energiatehokkuutta. Järjestelmä on yli 40 vuotta vanha, ja kokonaisuuteen on tehty useita muutoksia vuosien aikana. Paineilmaverkko kattaa kahdeksan hallitilaa sekä muutaman luokkatilan. Tavoitteena oli löytää energiankulutusta vähentäviä toimenpiteitä.

Työn suurimmat toimenpiteet olivat paineilmakompressorin ja jäähdytyskuivaimen sähkönkulutusten mittaaminen, vuotokohtien paikannus sekä käyttäjäkysely. Mittauksista selvisi, että paineilmakompressorin on ylimitoitettu tämän hetken tarpeeseen nähden eikä tästä syystä kykene toimimaan energiatehokkaasti. Järjestelmän käyttö oli yllättävän vähäistä, joten kokonaisenergiakustannukset olivat alhaiset minkä vuoksi suurempien investointien takaisinmaksuaika kasvaakin huomattavan pitkäksi. Suurin yksittäinen energiankuluttaja on vuodot, joiden osuus kokonaisenergiakustannuksista on lähes puolet. Käyttäjäkyselyn avulla selvisi, että paineilman käyttö saattaa hyvinkin vähentyä vielä tulevaisuudessa, kun paineilmatyökaluja korvataan sähkökäyttöisillä. Tämän vuoksi kompressorin energiankulutuksen säännöllinen seuranta tulevaisuudessakin olisi tärkeää.

Energiatehokkuuden parantamiseksi ensimmäinen toimenpide olisi ehdottomasti vuotojen korjaaminen. Jo löydettyjen vuotojen lisäksi kaikkien jatkeletkujen liitokset tulisi tarkistaa huolellisesti ja korjata. Paineilmakompressorin sähkönkulutuksen aktiivinen seuranta ennen vuotojen korjausta ja sen jälkeen on tärkeää, jotta vaikutukset voidaan todeta. On oletettavaa, että kulutus vähenee huomattavasti vuotojen korjauksen ansiosta. Tämä alentaa kompressorin jo valmiiksi huonoa energiatehokkuutta, joten kompressorin kannattaa ehdottomasti vaihtaa pienempään. Energiatehokkuuden kannalta myös käyttöpaineen alennus ja letkujen korvaus teräsputkilla ovat taloudellisesti kannattavia toimenpiteitä.

Asiasanat: paineilmajärjestelmä, energiatehokkuus, kartoitus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in HVAC Building Services

KALLE PITKÄMÄKI:

Energy Efficiency of the Compressed Air Plant of Tampereen Aikuiskoulutuskeskus

Bachelor's thesis 62 pages, appendices 7 pages
May 2016

This thesis was an analysis of the compressed air system at Tampereen aikuiskoulutuskeskus (Tampere Adult Education Centre). The system is over 40 years old, and much has changed since it was originally constructed. The objective of the thesis was to find ways to improve the energy efficiency of the system.

The analysis was carried out by measuring the consumption of electricity of the compressor and the refrigerant type dryer. After that a survey was conducted with the users to get information on the usage and possible problems. Finally, the amount leaking air was calculated and the leakage points were located.

It was found that the compressor is oversized for the actual usage of the system. Therefore, it cannot operate at optimum efficiency. The leakage was also found to be quite significant. Because compressed air was used much less than expected, the leakage turned out to be a significant portion of the total air consumption.

It is recommended that the leakage points are repaired, and monitor the compressed air consumption after that. After the actual usage level is determined, the compressor should be replaced with a smaller one. Other recommended operations are lowering the pressure level and replacing some of the flexible hoses with hard pipes.

Key words: compressed air, energy efficiency, analysis

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TAMPEREEN AIKUISKOULUTUSKESKUS (TAKK).....	8
3	PAINEILMAJÄRJESTELMÄT	9
	3.1 Toimiva kokonaisuus	9
	3.2 Paineilmavirta ja sen laatu	9
	3.3 Tarvittava paine	10
	3.4 Kulutuksen vaihtelut	10
	3.5 Ohjaus ja säätö	10
4	KOMPRESSORIT.....	12
	4.1 Kompressorityypit	12
	4.1.1 Ruuvikompressori	13
5	PAINEILMAN JÄLKIKÄSITTELY	14
	5.1 Paineilman epäpuhtaudet	14
	5.2 Kosteuden poisto.....	14
	5.3 Öljyn suodatus	15
	5.4 Partikkeleiden suodatus	16
6	PAINEILMAVERKOSTO.....	17
	6.1 Putkimateriaalit.....	17
	6.2 Paineilmaverkkotyypit	18
	6.2.1 Suora verkko	18
	6.2.2 Rengasverkko.....	19
	6.2.3 Yhdistelmäverkko	20
	6.3 Paineilmasäiliö.....	20
7	PAINEILMAJÄRJESTELMÄN ENERGIATEHOKKUUS	21
	7.1 Paineilman energiatehokkuuden tilanne yleisesti	21
	7.2 Puhallusten tarpeellisuus ja tehostaminen	22
	7.3 Sähkökäyttöiset vaihtoehdot	22
	7.4 Käyttöpaineen ja kulutuksen optimointi	22
	7.5 Vuodot	23
	7.6 Huolto ja kunnossapito	24
	7.7 Ohjaus ja säätö	24
	7.8 Lämmöntalteenotto	25
	7.9 Muita toimenpiteitä.....	25
8	AIKUISKOULUTUSKESKUKSEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ.....	27
	8.1 Kompressorihuone	27
	8.2 Paineilman tuotto	28

8.3	Jälkikäsitteily	29
8.4	Ohjaus ja säätö	30
8.5	Paineilmaverkko	31
9	PAINEILMAJÄRJESTELMÄN TUTKIMUKSET JA TULOKSET	33
9.1	Käytetyt tutkimusmenetelmät	33
9.2	Mitta- ja tutkimuslaitteisto	33
9.2.1	Sähkökulutuksen mittalaitteet	33
9.2.2	Painemittari	34
9.2.3	Vuodoilmaisuaine	35
9.3	Sähkökulutuksen mittaukset	35
9.3.1	Mittaustulokset	35
9.3.2	Paineilmajärjestelmän kokonaisenergiakustannukset	37
9.3.3	Vuotojen määrä ja kustannukset	39
9.4	Automaation tarkastus	40
9.5	Vuotokohtien kartoitus	41
9.6	Painetasojen tarkastus	44
9.7	Käyttäjäkysely ja sen tulokset	44
9.7.1	Tilat ja niiden muutokset	44
9.7.2	Sähköiset työkalut	45
9.7.3	Tulevaisuuden tarpeet	45
9.7.4	Käyttäjien parannusehdotukset	46
10	TULOKSET	47
10.1	Vuotojen korjaus	47
10.2	Kompressorin käynnissäoloaikojen säätö	48
10.3	Kompressorin vaihto pienempään	48
10.4	Kompressorin sähkökulutusmittaus	48
10.5	Sähkökäyttöiset työkalut	49
10.6	Painetason alennus	49
10.7	Letkujatkeiden vaihto metalliputkiin	50
10.8	Jäähdytyskuivaminen sammutus käytön ulkopuolella	50
10.9	Runkolinjoihin liittyvät toimenpiteet	50
10.10	Muita esille tulleita toimenpide-ehtotuksia	51
11	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	53
	LÄHTEET	55
	LIITTEET	56
	Liite 1. Vuotojen kokonaismäärän ja energiankulutuksen laskelmat	56
	Liite 2. Käyttäjäkyselylomake	60
	Liite 3. Pääkompressori Gardner Denver VS40 tekniset tiedot	61
	Liite 4. Varakompressori Gardner Denver F37 - Enduro tekniset tiedot	62

TERMIT

TAMK

Tampereen ammattikorkeakoulu

TAKK

Tampereen aikuiskoulutuskeskus

Työpaine

Paine, johon kompressori puristaa ilman [bar]

Kompressorin ominaisteho

Tarvittavan sähköenergian määrä suhteessa tuotetun paineilmapvirtaan [$\text{kW}/(\text{m}^3/\text{min})$]

1 JOHDANTO

Tampereen aikuiskoulutuskeskuksen paineilmajärjestelmä on jo yli 40 vuotta vanha, ja se on vuosien saatossa kokenut monia muutoksia. Tällä hetkellä järjestelmän energiankulutusta ei seurata, piirustukset putkistosta ovat suurimmaksi osaksi vähintään 10 vuotta vanhoja ja kokonaisuuden energiatehokkuus on iso kysymysmerkki. Työn ohjaajana oli TAKKin kiinteistöpäällikkö Raimo Keskinen, ja apuna kiinteistöpalveluiden huoltomies Marko Keto sekä sähköasentaja Risto Lahti.

Tampereen ammattikorkeakoulussa Talotekniikan koulutukseen sisältyy lähiopetusta paineilmajärjestelmiin liittyen vain 12 tuntia. Tästä johtuen teoriaan tutustuminen ja asioiden sisäistäminen oli erittäin merkittävä osuus opinnäytetyötä. Kun ymmärrys laitteista ja järjestelmän varusteista lisääntyi, onnistui kokonaisuuden ymmärtämään sekä mahdolliset ongelmakohdat havaitsemaan paremmin.

Työn tavoitteena oli selvittää, toimiiko järjestelmä kokonaisuutena järkevällä tapaa, ja millä toimenpiteillä olisi mahdollista saada säästöjä aikaiseksi. Tutkimusmenetelminä käytettiin paineilmantuottolaitteiston sähkönkulutusmittauksia, käyttäjäkyselyä, vuoto-kartoitusta sekä painemittauksia.

2 TAMPEREEN AIKUISKOULUTUSKESKUS (TAKK)

TAKK on laajasti koulutusta aikuisille tarjoava oppilaitos. Sen ylläpitäjä on Tampereen Aikuis-koulutussäätiö sr. Vuonna 2014 TAKKilla oli henkilöstöä 321 ihmistä ja liikevaihto oli 27,5 miljoonaa euroa. Oppilaitoksen nimi on muuttunut vuosien saatossa neljä kertaa, nykyisellä nimellään se on tunnettu vuodesta 2000 lähtien. (TAKK, 2015)

Koulutuksessa on vuosittain noin 15000 opiskelijaa. Tutkintoja voi suorittaa kolmella toimialalla, jotka jakautuvat 18:aan koulutusalaan. Valikoimassa on yhteensä 104 erilaista tutkintoa. Vuonna 2014 kokotutkintoja suoritettiin 1238 ja osatutkintoja 1521. (TAKK, 2015)

TAKKilla on kaksi toimipistettä, Tampereen keskustan tuntumassa Tampereen Valtatie 15:ssä, sekä Nirvassa, Kurssikeskuksenkatu 11:ssä. Näiden lisäksi TAKK vuokraa tiloja tarvittaessa. Tämä opinnäytetyö kohdistuu Nirvan toimipisteeseen. (TAKK, 2015)

Visio toiminnalle on olla edelläkävijä ja halutuin ammatillisen osaamisen kehittäjä Pirkanmaalla. Arvoja on kaksi: pyritään olemaan luotettava kumppani, sekä rohkea edelläkävijä. (TAKK, 2015) Alla on kuva TAKKin käyttämästä logosta, logon väri vaihtoehtoja on useita, mutta muoto on aina sama.



KUVA 1. TAKKin logo (TAKK, 2015)

3 PAINEILMAJÄRJESTELMÄT

3.1 Toimiva kokonaisuus

Paineilmajärjestelmää hankittaessa on kannattavaa panostaa hankesuunnitteluun, sillä käyttökustannukset ovat erittäin korkeat hankintakustannuksiin nähden. Oikeanlainen kokonaisratkaisu saattaa säästää yli puolet käyttökustannuksista. (Airila ym. 1983, 8)

3.2 Paineilmavirta ja sen laatu

Tarvittava paineilmavirta ja ilmanlaatu määräytyvät paineilmaa käyttävien laitteiden ja työkalujen perusteella. Ilmanlaatuun vaikuttaa myös käyttötilojen vaatimukset, esimerkiksi elektroniikka- ja lääketeollisuudessa ilman epäpuhtauksien hallinta on kriittistä. Työkaluille ja laitteille on olemassa suunnittelussa auttavia taulukkoja, joissa on erilaisten käyttökohteiden tavanomaisia ilmankulutusvirtoja ja kuormituskertoimia. Parhaimpaan lopputulokseen päästäkseen kannattaa tarkemmat tiedot hankkia laitevalmistajilta sekä käyttäjältä. Erittäin merkityksellistä on se, kuinka suuren osan päivästä paineilmalla toimivaa laitetta käytetään ja moniko laite toimii samanaikaisesti. Uusissa laitoksissa edellä mainittujen asioiden arviointi voi olla haasteellista, ja taulukoista voi olla suurta hyötyä. Olemassa olevissa järjestelmissä kulutuksen selvitys on huomattavasti helpompaa.

Paineilma kannattaa suodattaa vain sille tasolle kuin käyttökohde ja toimilaitteet vaativat. Mitä tarkemmin tarvittava paineilmavirta ja ilmanlaatu pystytään määrittelemään, sitä optimoidumpi kokonaisuudesta pystytään suunnittelemaan. Paineilmavirta vaikuttaa olennaisesti valitun kompressorin kokovalintaan, kuormitusasteeseen ja sitä kautta hyötysuhteeseen. Liika suodatus lisää ainoastaan kustannuksia tuomatta vastaavia hyötyjä. Mikäli järjestelmän kokonaisuus on iso ja yksittäiset pisteet tarvitsevat muita parempilaatuista ilmaa, on suositeltavaa asentaa erikoissuodattimet vasta kyseisten haarojen yhteyteen. (Airila ym. 1983, 9)

3.3 Tarvittava paine

Työpaine on kannattavaa pitää niin alhaisena kuin mahdollista, sillä työpaineen noustessa tehontarve kasvaa ja kompressorin tuotto vähenee. Molemmat tekijät vaikuttavat huomontavasti kompressorin hyötysuhteeseen. Ylimääräinen jälkikäsitteily lisää painehäviöitä, jotka nostavat työpaineen tarvetta. Liian kova paine toimilaitteilla lisää paineilman kulu- tusta ja kompressorin energiankulutusta. Mikäli jokin paineilmaverkkoon kytketyistä toi- milaitteista tarvitsee alemman paineen toimiakseen, on suositeltavaa asentaa paineena- lennusventtiili sen eteen. (Airila ym. 1983, 11)

3.4 Kulutuksen vaihtelut

Kompressorityypin valintaan automaatiotasoinen vaikuttaa suuresti se, miten paineil- man kulutus jakautuu ajallisesti. Onko järjestelmä täydellä kuormituksella ympäri vuoro- kauden päivästä toiseen, vai käytetäänkö sitä pari tuntia päivässä muutaman kerran vii- kossa. Myös päivän aikana tapahtuvat suuret kulutusvaihtelut vaikuttavat merkittävästi kompressorilta vaadittaviin ominaisuuksiin. Kompressorin ominaisteho vaihtelee kuor- mituksen mukaan. Tyhjäkäynnin osuus on syytä minimoida aina, sillä se on hukkaan hei- tettyä energiaa. (Airila ym. 1983, 11)

3.5 Ohjaus ja säätö

Ohjauksen ja säädön tarkoituksena on paineenvaihteluiden minimointi, tai toisin sanot- tuna paineilman tuoton mukauttaminen kulutuksen mukaan. Kompressorin säätämiseen on useita eri vaihtoehtoja, joista kaikilla on oma soveltuvuusalueensa. Täysautomaattinen säätö tarkoittaa, että kompressorin käy joko täydellä teholla, tai on pysäytettynä. Energia- tehokkuus on tällöin usein korkea, koska kompressorin höytysuhde on parhaimmillaan täydellä teholla, ja pysäytettynä energian kulutusta ei ole. Tämä säätötapa vaatii toimiak- seen hyvin tasaisen ilmentuloksen. Kuormitus/kevennys –säätö toimii samaan tapaan kuin täysautomaattinen, mutta kompressorin täyden pysäyttämisen sijaan se siirtyy ke- vennyskäynnille. Tämä ei rasita kompressorin yhtä paljoa kuin jatkuva pysäytys ja käyn- nistys, mutta tämä säätötapa kuluttaa energiaa turhaan kevennyksellä ollessaan. Tämä

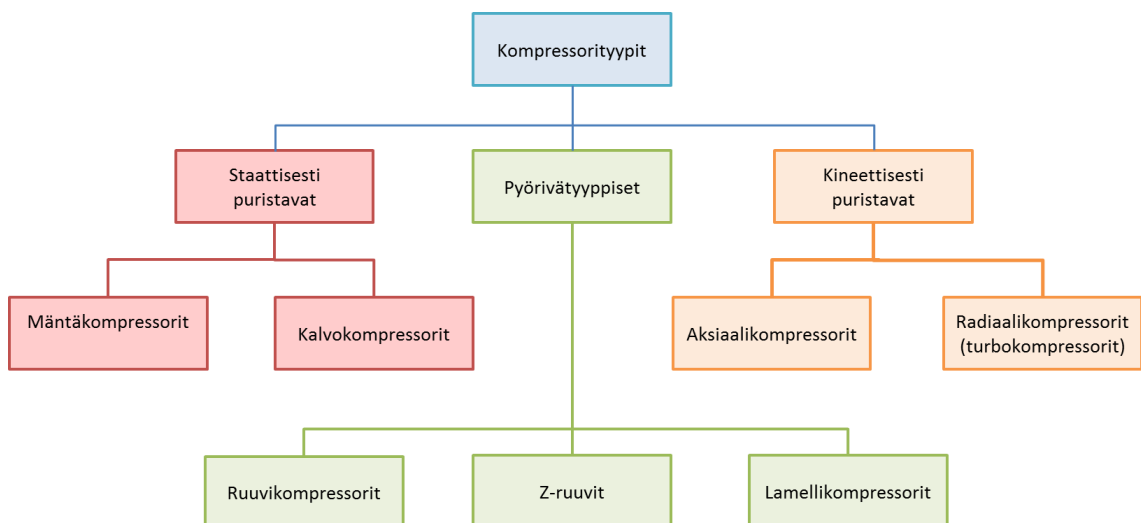
säätötapa soveltuu hieman edellistä paremmin vaihtelevaan paineilman kulutukseen. Portaaton kuristussäätö perustuu imuvirtauksen kuristukseen, jonka avulla paineilman tuotto säädetään kulutusta vastaavaksi. Tämä säätötapa soveltuu vaihtelevan kulutuksen järjestelmiin, mutta energiatehokkuus on huono. Moottorin kierroslukusäätö, esimerkiksi taajuusmuuttajaohjattu kompressori, perustuu tuoton säätöön kulutusta vastaavaksi moottorin kierroslukua säätämällä. Kompressorin ominaisteho voi vaihdella suuresti säätöalueella, joten pelkkä taajuusmuuttaja ei automaattisesti paranna järjestelmän energiatehokkuutta. (Airila 1983, 108-109)

4 KOMPRESSORIT

4.1 Kompressorityypit

Kompressoreita on hyvin monenlaisia, joilla kaikilla on omat soveltuvuusalueensa. Tärkeimmät valintaan vaikuttavat tekijät ovat työpaine, tarvittava paineilmavirta sekä ilman puhtausvaatimukset. Mäntäkompressoreita on saatavilla hyvin laajalle paineentuottovälille ja tästä syystä ne ovat laajassa käytössä. Kalvokompressorit ovat mäntäkompressoreita, joissa kalvo erottaa puristuskammion ja männän toisistaan. Tämä estää öljyn siirtymisen tuotettuun paineilmaan ja tästä syystä kyseiset kompressorit ovat suosittuja ruoka- ja lääketeollisuudessa. Kineettisesti puristavat kompressorit soveltuvat muita suurempien tilavuusvirtojen tuottamiseen. Pyörivätyyppisiä kompressoreita on todella monenlaisia, joista yleisin on ruuvikompressorit. Lamellikompressorit soveltuvat todella pienien tilavuusvirtojen tuottamiseen. (Festo. 2009, 23)

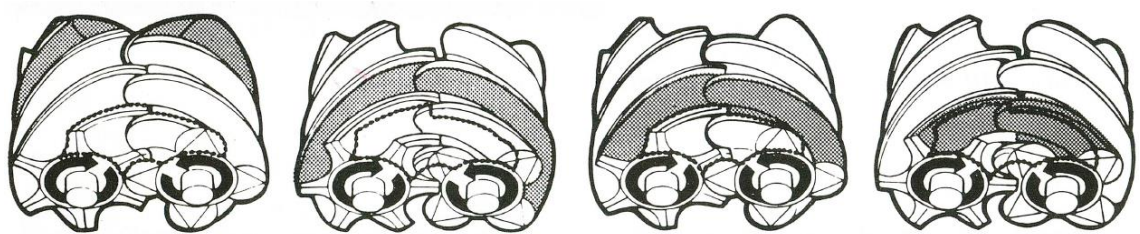
Vertailtaessa kompressoreita täytyy kiinnittää huomiota standardeihin, joilla valmistajat ovat tuoton määrittäneet. Teknisen Kaupan Liitto on antanut suosituksen kompressorien tuoton ilmoittamisesta: ”Tuotto ilmoitetaan koko kompressoripaketin tuottona ulostuloputkesta kaikkien laitteiden jälkeen ja ilmoitettuna normaalityöpaineessa”. Käytettävät standardit ovat DIN 1945, Osa 1, Liite F; ISO 1217, Osa 1, Liite C; sekä Pneurop/Cagi PN2CPTC2.



KUVIO 1. Kompressoreiden tyyppijakauma

4.1.1 Ruuvikompressorit

Koska Tampereen aikuiskoulutuskeskuksella on käytössä vain ruuvikompressoreita, käsittelem niiden toimintaa tarkemmin. Ruuvikompressorit koostuvat toistensa kanssa runkossa olevasta uros- ja naarasruuvista, jotka pyörivät rungon sisällä. Ilma imetään roottoreiden väliin rungon toisessa päässä sijaitsevasta imuaukosta. Roottoreiden pyöriessä väliin imetyn ilman yhteys imuaukkoon katkeaa, ja ilma jää suljettuun tilaan. Pyörinnän aikana tila roottoreiden välissä pienenee jatkuvasti, jolloin ilma alkaa puristua paineeseen. Puristuksen loppuvaiheessa saavutetaan haluttu paine, ja ilma virtaa poistoaukon kautta säiliöön. (Airila 1983, 30)



KUVA 2. Puristuksen kulku ruuvikompressorissa (Airila 1983, 30)

Ruuvikompressorit voidaan jakaa karkeasti kahteen tyyppiin, öljyttömiin ja voideltuihin. Öljyttömässä ruuvikompressorissa imuilmaan ei sekoiteta mitään aineita, jolloin tuotettu paineilma on mahdollisimman puhdasta. Käyttökohteina ovatkin yleensä puhtausvaatimuksiltaan tiukat laitokset, kuten lääketehnot ja kemian alan teollisuus. Voidelluissa ruuvikompressoreissa imuilman sekaan ruiskutetaan nestettä, useimmiten öljyä. Muut voiteluainevaihtoehdot ovat vesi, lämpöä poistava neste tai jokin muu. Ilman sekaan ruiskutettu öljy siirtää puristuksessa syntyneitä lämpöä pois, tiivistää vuodot, ja voitelee roottoreita. Voidelluilla kompressoreilla saadaan aikaiseksi huomattavasti suurempia painesuhhteita yhdellä puristusvaiheella kuin voitelemattomalla. (Heinz, Bloch 2006, 145)

Puristuksen jälkeen öljy on suodatettava pois ilmasta. Suodatus tehdään yleensä kaksivaiheisesti esierottimella ja hienoerottimella. Koska öljyyn sitoutuu 60 - 80 % puristuslämmöstä, on öljyä jäähdytettävä ennen sen palautusta kierto. (Airila 1983, 32)

5 PAINEILMAN JÄLKIKÄSITTELY

5.1 Paineilman epäpuhtaudet

Imuilman suodatuksesta huolimatta paineilmassa esiintyy aina epäpuhtauksia kompressorin jälkeen. Ilmankosteus säilyy höyrynä kuumassa paineilmassa, mutta jäähtyessään tiivistyy nesteeksi. Öljyvoidelluista kompressoreista jää pieniä määriä öljyä paineilman sekaan. Kiinteitä hiukkasia kulkeutuu myös järjestelmään. Bakteerit sekä virukset voivat olla ongelma hygienian suhteen tarkoissa kohteissa. (Ellman 2002, 52)

Paineilman käyttötarkoitus määrittää, kuinka tehokkaasti edellä mainitut epäpuhtaudet tulee poistaa. Teollisuudessa haitallisimpia ovat yleensä vesi, öljy ja pöly. Sairaala-, lääke-, ja elintarviketyössä tulee estää myös bakteerien ja virusten pääsy lopullisten prosessien kanssa tekemisiin. Paineilma kannattaa käsitellä vain siihen laatutasoon asti, jonka kyseisen kohteen laitteet ja käyttötarkoitus vaativat. Ylimääräinen suodatus ja käsittely vain lisäävät kustannuksia tuomatta vastaavaa hyötyä. (Airila 1983, 8)

5.2 Kosteuden poisto

Ylimääräisen veden poisto paineilmasta on erittäin tärkeää, etenkin järjestelmissä joissa on käytetty hitsattua rautaputkea. Kosteus tiivistyy vedeksi putkiston sisällä, mikäli paineilman lämpötila laskee alle kastepisteen, tai putken pinta on riittävän kylmä. Kastepiste onkin tärkein määrittävä tekijä ilmankuivaimen valinnassa. Kompressorisyksiköihin sisältyy jälkijäähdytin, joka poistaa paineilmasta suurimman osan absoluuttisesta kosteudesta, mutta tämä ei useimmissa tilanteissa riitä. Tarpeelliseen kastepisteeseen päästäkseen tarvitaan lisäkuivain. Vaihtoehtoina on jäähdytyskuivain, absorptiokuivan sekä adsorptiokuivain. (Ellman 2002, 53)

Jäähdytyskuivain on yleisin käytetty ratkaisu. Sen avulla saadaan paineilman kastepiste $+2\text{ °C}$ - $+5\text{ °C}$ välille. Jäähdyttimeen sisältyy esijäähdytysvaihe, jossa lämmönvaihtimen avulla jäähdyttimelle tulevasta paineilmasta siirretään lämpöä jäähdyttimeltä lähtevään paineilmaan. Tämän jälkeen paineilma kulkee jäähdytysyksikköön, jossa sen lämpötila

lasketaan $+2\text{ °C}$ - $+5\text{ °C}$ välille. Kosteus tiivistyy jäähdytysyksikön alla olevaan erotusyksikköön, josta kondenssivesi johdetaan viemäriin. Lopuksi paineilma vielä suodatetaan ja johdetaan esijäähdytysvaihtimelle, jossa se lämpiää. Tämän jälkeen paineilma siirtyy putkistoon kohti käyttöpistettä. (Festo 2009, 30)

Adsorptiokuivain on vaativampien kastepisteiden kohteissa käytetty kuivain, jolla paineilmalle saadaan aikaan jopa -90 °C :een kastepiste. Sen toiminta perustuu kahteen säiliöön, jotka sisältävät kosteutta pinnalleen keräävää rakeita. Ilmavirta johdetaan ensimmäisen säiliön läpi, kunnes sen rakeet kyllästyvät. Tällöin ilmavirta vaihdetaan kulkemaan toisen säiliön kautta, ja ensimmäinen säiliö eheytetään puhaltamalla kuumaa ilmaa sen läpi. (Festo 2009, 31)

Absorptiokuivain on harvimmin käytetty vaihtoehto. Se perustuu täysin kemialliseen prosessiin, ja sen käyttökustannukset ovat korkeat. Sen avulla voidaan saavuttaa 0 °C :een kastepiste. Varsinaisten kuivainten lisäksi myös paineilmasäiliö toimii kosteuden poistajana, vaikka sen ensisijainen tarkoitus onkin kuormitushuippujen tasaus. Säiliön ulkopinta-alan suhde tilavuuteen on suuri, jonka ansiosta paineilma jäähtyy sen sisällä. Ilman jäähtyessä kosteus tiivistyy vedeksi sen seinämiin ja valuu säiliön alla olevaan vedenpoistoputkeen. (Festo 2009, 32)

5.3 Öljyn suodatus

Öljy voi olla paineilmassa kolmessa olomuodossa: nesteinä, sumuna ja kaasuna. Öljysumu ja kaasut ovat haasteellisia poistaa. Perinteinen öljysuodatus käyttääkin kolmea erilaista suodatustekniikkaa: Mekaaninen suodatus, yhdistymissuodatus ja adsorptiosuodatus.

Mekaaninen suodatin on pienireikäinen verkko, johon reikiä isommat öljypartikkelit jäävät kiinni ja valuvat alas. Pienemmät reiät kasvattavat sekä suodatustehoa että painehäviötä. Yhdistymissuodattimen toiminta perustuu siihen, että virratessaan suodattimen usean kerroksen läpi öljypisarat yhdistyvät isommiksi, kunnes tarttuvat suodatinelementtiin ja valuvat pois. Adsorptiosuodatus puolestaan sitoo epäpuhtaudet suodattimen pintaan adheesiota hyväksi käyttäen. Näiden lisäksi voidaan käyttää myös aktiivihiiლისuoda-

tusta, jonka avulla saadaan poistettua öljyhöyryjä ja kompressorin puristuksessa syntyneitä hiilivetyjä. Kyseinen suodatin vaatii eteensä ilmankuivaimen ja tehokkaan yhdistymissuodattimen. (Ellman 2002, 56)

5.4 Partikkeleiden suodatus

Kiinteiden partikkeleiden suodatukseen on viidenlaisia eri suodattimia: Esisuodatin, hienosuodatin, mikrosuodatin, steriilisuodatin sekä pölysuodatin. Esisuodatin poistaa kiinteitä partikkeleita, öljyä ja vesipisaroita. Se on rakenteeltaan usein sintrattua pronssia, ja sen erotuskyky on 5–40 µm. Hienosuodatin on teollisuuskäytön yleissuodatin. Sillä suodatetaan partikkeleita, joiden kokoluokka on 0,1-0,01 µm, riippuen käyttötarkoituksesta. Mikrosuodattimet ovat erittäin hienoa yleissuodatusta varten, niiden erotuskyky on 0,01 µm, ja niitä käytetään usein esisuodattimena adsorptiokuivaimelle. Adsorptiokuivainta käytettäessä on myös jälkisuodatuksesta huolehdittava. Raemaiset adsorptioaineet tuottavat hienojakoista pölyä käytössä, joka voi olla tarpeellista poistaa. Tähän tarkoitukseen käytetään pölysuodattimia. Steriilisuodattimia käytetään kohteissa, joissa paineilmalta vaaditaan erityistä puhtautta tai bakteerittomuutta. Yleensä sairaalat, lääketeollisuus ja tietyt prosessiteollisuudenalat vaativat bakteerittomuutta tai erityispuhtautta. Mikäli suodattimen puhdistukseen käytetään höyrysterilointia, täytyy suodattimen kestää vähintään +200 °C:een lämpötiloja. Kyseiset suodatinelementit ovat myös kemiallisesti, biokemiallisesti ja biologisesti neutraaleja. (Ellman 2002, 57)

6 PAINEILMAVERKOSTO

6.1 Putkimateriaalit

Paineilmaputkiston tärkeimmät toiminnalliset kriteerit ovat: korroosionkesto, hankinta- ja asennuskustannukset, varusteiden yhteensopivuus ja saatavuus sekä paineen ja lämpötilan kestävyys. Putkiverkon on tarkoitus kestää vuosien tai vuosikymmenien käyttöä, joten kestävyystekijät ovat monesti merkittävimmät. Konepajoissa yleisimmin käytettävä materiaali on saumaton hitsattava teräsputki, jonka isoimpana heikkoutena on putken sisään kertyvä ruoste, mikäli olosuhteet ovat huonot. Teräsputken ulkopinta täytyy myös maalata aina korroosion estämiseksi. (Ellman ym. 2002, 64)

Sinkitty teräs kierreliitoksin on valmiiksi pintakäsiteltyä eikä siten ole herkkä korroosiolle. Kierteet tosin lisäävät vuotoriskiä ja hitsattaessa sinkitty teräs menettää korroosion kestävyytensä. Myös laippaliitokset ovat mahdollisia, mutta ne ovat kalliita ja vuotoherkkiä. Tiloissa, joissa korroosioriski on voimakas, ruostumaton tai haponkestävä teräs voivat olla ainoita vaihtoehtoja. (Airila ym. 1983, 102)

Muovi on hyvä materiaali pienissä putkissa, ja se on täysin ruostumatonta. Sen huonoina puolina ovat paineenkestävyyden heikkeneminen lämpötilan noustessa ja melko voimakas lämpölaajeneminen. Myös kupariputket ovat vaihtoehto, ja markkinoille on tullut myös modulaarisia alumiiniputkia, joiden asennus on hyvin yksinkertaista. (Ellman 2002, 64)

Alla olevaan taulukkoon (taulukko 1) on koottu joitain putkimateriaalien ominaisuuksia vertailuun. (Exair)

TAULUKKO 1. Putkimateriaalien vertailutaulukko

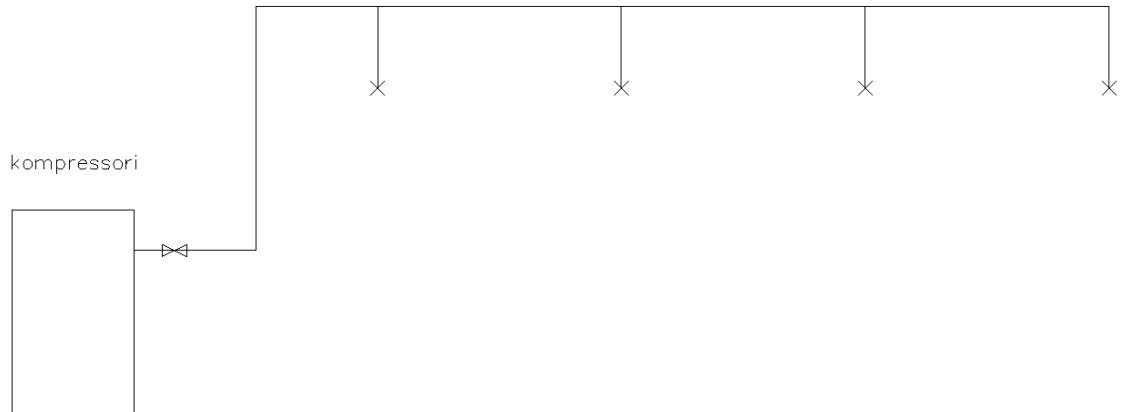
Materiaali	Teräs	Ruostumaton teräs	Muovi	Kupari	Alumiini
Kustannukset: Materiaali/Asennus [%/%]	25/75	30/70	50/50	40/60	80/20
Asennuksen vaikeustaso	Vaikea	Keskiverto	Helppo	Keskiverto	Helppo
Korroosionkestävä	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Paino	Raskas	Kohtuullinen	Kevyt	Kohtuullinen	Kevyt
Mekaaninen kestävyys	Korkea	Korkea	Heikko	Hyvä	Hyvä
Lämpötilan kesto	Hyvä	Hyvä	Heikko	Hyvä	Hyvä
Muokattavuus asennuksen jälkeen	Heikko	Heikko	Hyvä	Heikko	Hyvä
Liitostavat	Laippa/Kierre/ Hitsaus/Muu	Hitsaus/Kierre Panta/Muu	Liima/ Pikaliitos	Laippa/Juotos/ Muu	Pikaliitos/ Muu

6.2 Paineilmaverkkotyypit

6.2.1 Suora verkko

Rakenteeltaan yksinkertaisin paineilmaverkko, joka koostuu yhdestä päätyvästä runkoputkesta ja ulosottoputkista. Tällainen putkiverkkorakenne soveltuu käytettäväksi pieniin järjestelmiin sekä kohteisiin, joissa paineilman tarve on samaa kokoluokkaa kaikissa ulosotto pisteissä, ja käyttö on satunnaista.

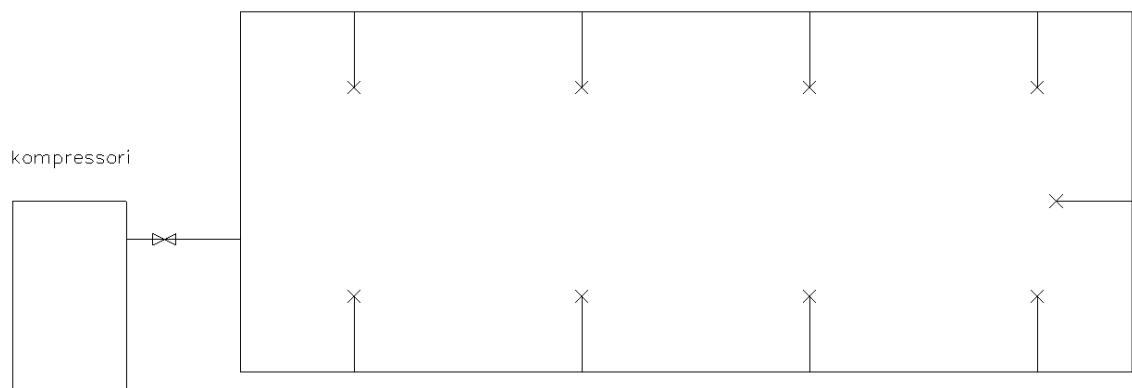
Rungon putkikoon pienentäminen loppupäätä kohti on mahdollista. Laajennusmahdollisuudet ovat rajallisia tai vaikeasti toteutettavia painehäviöiden kasvaessa liian suuriksi. Lisäsäiliön asennus verkkoon on yksi vaihtoehto, mikäli satunnaisesti tarvitaan suurta paineilmapvirtaa. Suurin ongelma on yksisuuntaisuus. Rungon loppupään toiminta estyy, jos verkko suljetaan yhdestä pisteestä. (Ellman ym. 2002, 60)



KUVA 3. Periaatekuva suorasta putkiverkkorakenteesta

6.2.2 Rengasverkko

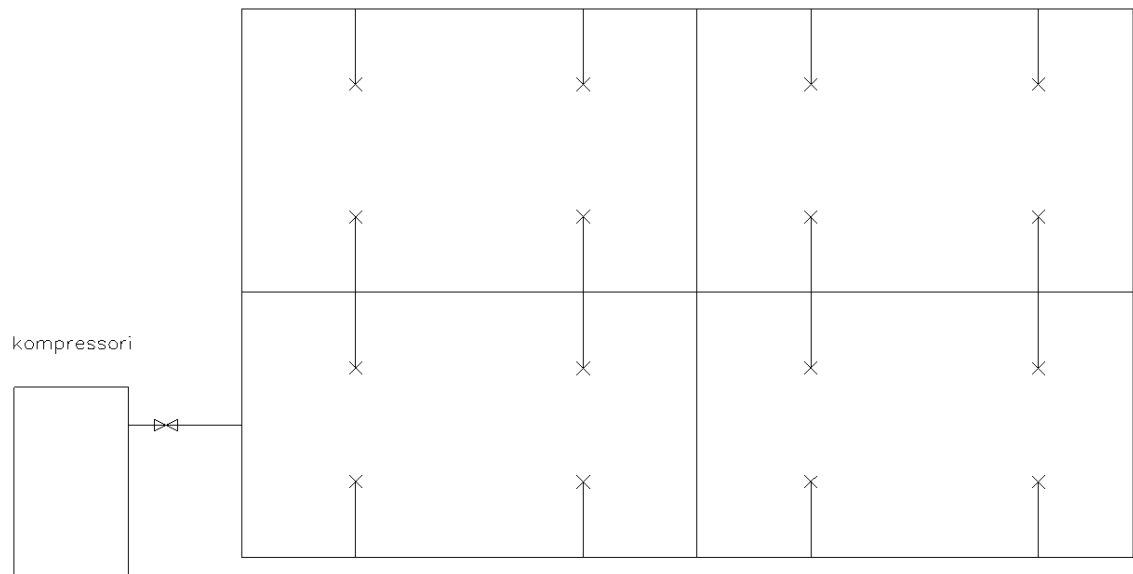
Rengasverkko on rakenteeltaan monimutkaisempi kuin suora verkko, mutta sen käytöstä on monia hyötyjä etenkin laajoissa järjestelmissä. Ilma virtaa verkossa aina kahta reittiä kohteeseensa, jonka ansiosta putkikoko voidaan valita pienemmäksi kuin suorassa verkossa. Runkoputkeen voidaan asentaa useita sulkuventtiileitä, joiden avulla pystytään eristämään osa putkistosta häiritsemättä kokonaisuuden toimintaa. Putkiston tilavuus on laaja, jolloin se avustaa painesäiliön toimintaa, ja mahdollistaa painetasen vakaana pysymisen. (Ellman ym. 2002, 60)



KUVA 4. Periaatekuva rengasverkosta

6.2.3 Yhdistelmäverkko

Yhdistelmäverkko on suoran- ja rengasverkon yhdistelmä. Käytännössä yhdistelmäverkko on rengasverkko, johon on lisätty yhdistäviä putkiosuuksia käyttökohteiden saavuttamiseksi tai verkon laajentamiseksi. Verkon ominaisuudet riippuvat kohdasta, jota tarkastellaan. Joissain paikoissa se saattaa toimia kuin rengasverkko, toisissa lähes suoran verkon tavoin. (Ellman 2002, 60)



KUVA 5. Periaatekuva yhdistelmäverkosta

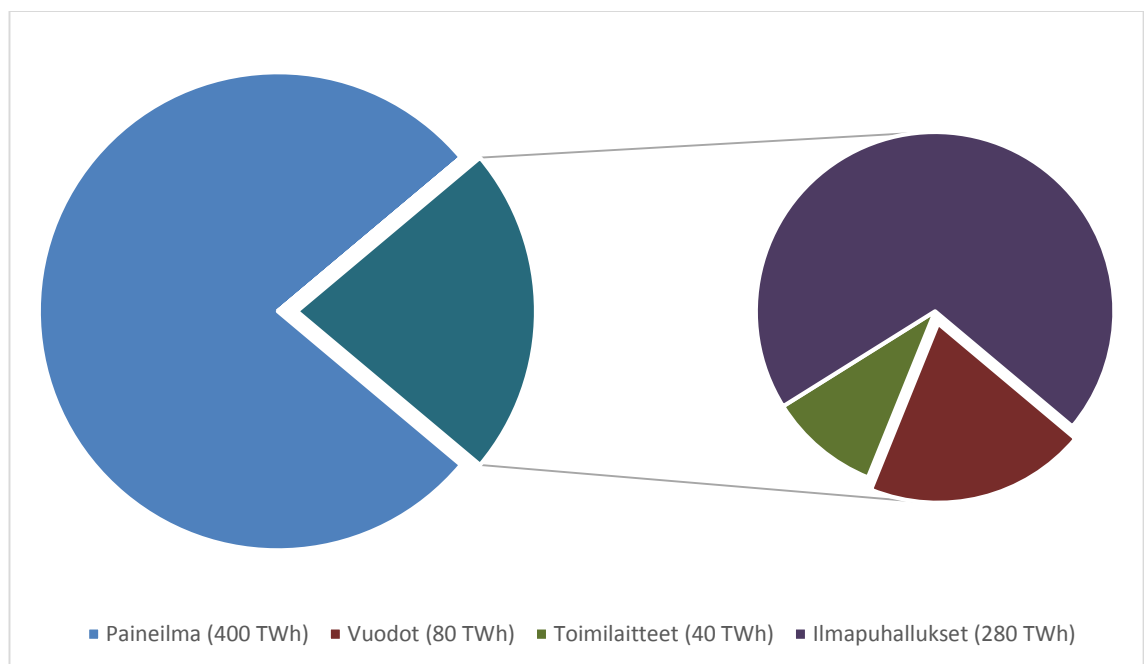
6.3 Paineilmasäiliö

Paineilmasäiliö ei ole pakollinen osa paineilmajärjestelmää, mutta sen käyttö on suositeltavaa. Säiliö toimii paineilmaparastona, joka tasaa kulutushuippuja etenkin pienissä järjestelmissä. Se vaimentaa painevaihteluja järjestelmässä ja jäähdyttää ilmaa eli toimii myös vedenerottimena. Laajoissa järjestelmissä putkistoverkko itsessään toimii myös painesäiliön tavoin, mutta se ei varsinaisesti korvaa säiliöllä saavutettuja ominaisuuksia. Painesäiliön mitoittamiseen on monia ohjeita ja suosituksia kompressorivalmistajilta. Painesäiliöitä koskee EU-direktiivi 2009/105/EC, jossa määritellään paineastioihin liittyvät käsitteet ja määräykset. (Ellman 2002, 62)

7 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN ENERGIATEHOKKUUS

7.1 Paineilman energiatehokkuuden tilanne yleisesti

SMC-Corporationin vuonna 2012 tehtyjen selvitysten mukaan paineilmajärjestelmät sisältävät suuren säästöpotentiaalin. Euroopan teollisuudessa käytetty paineilma kuluttaa sähköä arviolta yhteensä 400 TWh vuodessa, mikä on noin 20 % osuus teollisuuden kokonaiskulutuksesta. Tästä 20 prosentista noin 70 % menee ilmapuhalluksiin, 10 % toimilaitteille ja 20 % vuotoina hukkaan. Toisin sanoen 4 % koko Euroopan teollisuuden käytämästä sähköstä kuluu paineilman vuotoihin. Paineilman energiatehokkuutta olisi mahdollista parantaa kaiken kaikkiaan 5–50 % riippuen kohteesta. Mikäli oletetaan, että tehokkuuden parantamisella saatu keskimääräinen säästö olisi 33 % (26 TWh) ja sähkön hinta 9 snt/kWh, olisi rahallinen säästö yhteensä 2340 miljoonaa euroa. Rahan säästön lisäksi myös maailman ilmasto säästyisi 10,5 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöiltä. (SMC-Corporation)



KUVIO 2. Euroopan teollisuuden vuonna 2012 energiankulutus ja paineilman osuus siitä

Paineilma on teollisuudessa käytetyistä energiamuodoista kallein, sen "sähköstä-työhön" suhde on alle 10 %. Tästä syystä turhien kulutuskohteiden minimointi on hyvin tärkeää, ja tarpeellisten kulutuskohteiden paineilmankäytön optimointi erittäin kannattavaa. Vaih-

toehtona paineilmalle on usein sähkökäyttöiset laitteet ja työkalut. Kompressorin sopivuus suhteessa kulutukseen sekä oikea ohjaustapa ovat tärkeitä. Kuten aina energiatehokkuutta pohdittaessa, seuranta ja mittausdata ovat kriittisiä. Näiden avulla tiedetään alkutaso, muutosten vaikutus, ja järjestelmän toiminnan kokonaisuus selkeytyy. (Motiva)

7.2 Puhallusten tarpeellisuus ja tehostaminen

Mikäli käytetään paineilmapuhallusta jäähdytykseen tai puhdistukseen, tulee tutkia onko puhallus mahdollista toteuttaa matalapainepuhalluksella, tai esimerkiksi korvata jäähdytystä vaativa osa lämpöä kestäväällä versiolla. Mikäli paineilmaa on pakko käyttää, tulee optimoida puhallussuuttimen toiminta. Puhalluspistooleissa on suuria eroja kulutetun paineilmaavirran suhteen. Kehittyneemmät mallit tuottavat saman puhallusvaikutuksen matalammalla työpaineella ja pienemmällä ilmankulutuksella. (Motiva)

7.3 Sähkökäyttöiset vaihtoehdot

Etenkin sisätiloissa käytettävät paineilmatoimiset työkalut ovat potentiaalinen kohde sähkökäyttöisillä korvattaviksi. Sähkökäyttöisten työkalujen energiatehokkuus on usein paineilmatoimista parempi, mutta hinta korkeampi. Joissain työkaluissa sähkökäyttöisten laitteiden ominaisuudet ovat paineilmatoimista paremmat suoritettavaan työhön nähden, esimerkiksi vääntömomentin ja kierrosnopeuden säätöominaisuudet, sekä vaimeampi tärinä. Uutta paineilmaikäyttöistä laitetta hankittaessa tulisikin selvittää vastaavan sähkökäyttöisen laitteen edut, haitat, kustannukset, luotettavuus ja toimivuus. (Motiva)

7.4 Käyttöpaineen ja kulutuksen optimointi

Käyttöpaineen pito tarpeettoman korkeana alentaa kompressorin ominaistehoa, lisää paineilman kulutusta käyttökohteessa sekä lisää huoltokustannuksia. Olemassa olevan paineilmajärjestelmän osalta olisikin kannattavaa tarkastaa painetasot käyttöpisteissä ja varmistua, että ne eivät ole liian korkeat. Jos vaikuttaa siltä, että painetasoja olisi mahdollista alentaa, kannattaa se tehdä pienissä portaissa, tarkkaillen samalla vaikutuksia paineilmlaitteiden toimintaan. Mikäli osa käyttökohteista tarvitsee työpainetta huomattavasti

alempaa painetasoa, on syytä asentaa paineenalennusventtiili käyttökohteen yhteyteen. Yhden baarin lasku työpaineessa alentaa kompressorin sähkönkulutusta 5 - 8 %, mutta kun otetaan huomioon vuotojen ja muu paineilman kulutuksen vähentyminen, saattaa hyöty nousta jopa 20 %:iin. Toisaalta, jos kulutuksen lasku aiheuttaa sen, että kompressori alkaa käydä kevennyksellä usein, voivat säästöt olla huomattavasti pienempiä. (Penttinen 2009, 22)

Olemassa olevassa järjestelmässä myös kulutuksen tason todentaminen on helposti nähtävissä joko kompressorin omasta ohjausohjelmistosta tai sähkönkulutusseurannan avulla. Kulutuksen seuranta on erittäin tärkeää järjestelmän kokonaisenergiätehokkuuden seurannan kannalta. Taajuusmuuttajaohjatuilla kompressoreilla on muuttuva ominaisteho riippuen kuormituksesta. Ruuvikompressoreilla paras höytysuhde on usein 100 %:n kuormituksella, ja se heikkenee, mitä alemmas kuormitustaso laskee. (Motiva)

7.5 Vuodot

Vuodot ovat suuri kulutuskohde paineilmajärjestelmissä, ja niihin reagointi on erittäin tärkeää. Aina vuodon havaitessaan työntekijän tulisi ilmoittaa siitä eteenpäin, jotta vuotokohta saadaan korjattua. Tämän lisäksi tulisi kartoittaa mahdolliset pienet vuodot koko järjestelmän laajuisesti aina tasaisin väliajoin. Isoimmat vuodot yleensä kuulee äänen perusteella, mikäli tilassa ei ole melua. Toisaalta vuotoja saattaa olla myös tiloissa, joissa ihmisiä ei normaalioloissa oleskele, jolloin isokin vuoto saattaa pysyä pitkään huomaamatta. (Motiva)

Alla olevassa taulukossa (taulukko 2) on esitettyä erikokoisten reikien vuotomääriä, ja niiden aiheuttamia kustannuksia. Taulukon vuotoarvot on esitetty työpaineella 7 bar. Kustannuslaskelmat on laskettu käyttäen kompressorin ominaistehona TAKKin kompressorin keskimääräistä ominaistehoa 7,55 kW/(m³/min), ja sähkönhintana TAKKin maksamaa verotonta sähkönhintaa 7,8 snt/kWh. Kompressorin on normaalisti päällä yhdeksän tuntia päivässä, samaa arvoa on käytetty kustannuslaskelmissa.

TAULUKKO 2. Paineilman vuotojen rahallinen kustannus

Suuttimen halkaisija	Suuttimen poikkipinta-ala	Vuotoilmavirta	Kustannus
mm	mm ²	m ³ /min	€/päivä (9h)
0,1	0,008	0,0008	0,004
0,2	0,03	0,003	0,016
0,3	0,07	0,0067	0,036
0,5	0,2	0,0186	0,099
1	0,8	0,0742	0,393
1,5	1,8	0,167	0,885
2	3,1	0,296	1,569
3	7,1	0,668	3,540
4	12,6	1,19	6,307
5	19,6	1,86	9,858

7.6 Huolto ja kunnossapito

Kompressorin, jälkikäsitteilylaitteet sekä paineilmanverkosto ja -käyttölaitteet tulee huoltaa säännöllisesti, jotta ongelmilta vältytään. Käytännössä aina on kannattavaa nimetä joku vastuuhenkilö järjestelmän ylläpitäjäksi, jotta toimenpiteet tulisi varmasti tehtyä. Kustannukset saattavat olla isot, mikäli jokin kriittinen laite mene rikki huollon laiminlyönnin takia, ja koko laitos seisoo sen takia. Säännöllinen huolto pidentää laitteiden elinikää, mikä vähentää myös elinkaarikustannuksia. (Motiva)

7.7 Ohjaus ja säätö

Kompressorin oikea säätötapa vaikuttaa suuresti lopulliseen energiankulutukseen. Kohde, jossa paineilmankulutus on hyvin vaihtelevaa, tulee säätötavan olla hyvin kulutustarpeeseen mukautuva. Taajuusmuuttajaohjattu kompressorin on usein energiatehokas ratkaisu näissä kyseisissä tilanteissa, mutta kompressorin tuottoalueen on oltava hyvin

mitoitettu kulutusta vastaavaksi. Etenkin ruuvikompressorin ominaisteho on usein paras 100 %:n kuormituksella ja huonontuu mitä alemmas kuormitusaste laskee. On tärkeää, että kompressorin ei ole tuoton suhteen ylimitoitettu. Mikäli taajuusmuuttajaohjattu kompressorin käy jatkuvasti alhaisella osakuormituksella, on energiatehokkuus heikkoa. Jos kulutus on niin vähäistä, että kompressorin käy kevennyksellä tiheään, heikentyy energiatehokkuus vielä entisestään huomattavasti.

Tilanteissa, joissa paineilmankulutus on suuri ja todella vaihtelevaa, on usean kompressorin ratkaisu usein kannattavin. Kompressoreiden kannattaa olla erilaisia ja –kokoisia, jolloin eri kulutustilanteille löytyy kompressorin, joka kykenee energiatehokkaasti tuottamaan tarvittavan määrän paineilmaa. Useamman kompressorin järjestelmissä ohjaus nousee erittäin tärkeään asemaan, ja optimaalisesti viritetty keskusohjaus on yleensä paras ratkaisu. Ohjaus on tällöin hyvä säätää siten, että se kuormittaa kompressoreita mahdollisimman optimaalisella käyttöasteella, eli useimmiten siis mahdollisimman suurella käyttöasteella. Myös käyttötuntien mukaan kompressoreiden kuormituksen tasaaminen vähentää järjestelmän huollontarvetta ja parantaa luotettavuutta. (Penttinen 2009, 12-13)

7.8 Lämmöntalteenotto

Koska valtaosa kompressorin käyttämästä sähköenergiasta muuttuu lämpöenergiaksi, joka poistetaan jäähdytysilman tai –veden avulla pois järjestelmästä, on lämmöntalteenotto usein kannattavaa. Lämmöntalteenoton avulla voidaan saada noin 30-90 °C lämpöistä vettä tai ilmaa, riippuen laitteiston tehosta ja käytön tarkoituksesta. Lämmöntalteenotolla on toinenkin hyödyllinen tarkoitus: lämpimän ilman poisto kompressorihuoneesta. Kompressorin imuilman korkea lämpötila kasvattaa tehontarvetta tuotettua paineilmanvirta kohti. (Penttinen 2009, 13-14)

7.9 Muita toimenpiteitä

Kaikkien tiloissa työskentelevien tulisi olla tietoisia paineilman energiakustannuksista. Lisäksi paineilman kanssa työskentelevien henkilöiden tulisi tietää oikeanlaisista työta-voista. Näin toimien käyttäjät itse kykenevät vähentämään turhia käyttökohteita. Paineil-

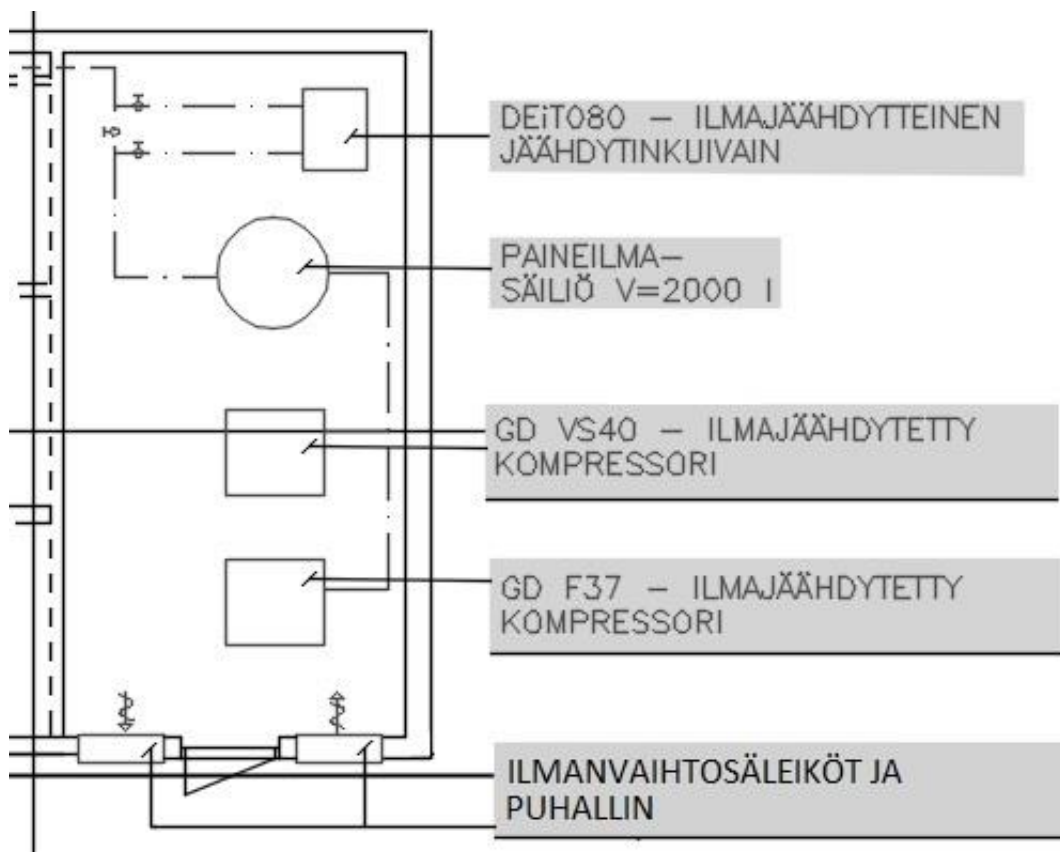
man suodatus lisää painehäviöitä, mutta se on tarpeellista, jotta paineilmalaitteet ja –työkalut toimivat oikein ja pysyvät ehjinä. Liiallinen suodatus lisää kustannuksia tuomatta höytyjä, joten ilmanlaadun tarkka määrittäminen, ja vain sille tasolle suodatus, on kannattavaa. (Motiva)

T-haarojen välttäminen on suotavaa, kun putkissa liikkuu isoja ilmavirtoja, sillä niissä syntyvä turbulenssi aiheuttaa ison painehäviön. Etenkin T-haara, jossa tapahtuu kahden ilmavirran törmäys, on ongelmallinen. Lisäksi letkut aiheuttavat suuren painehäviön. Letkujen vaihtaminen kovaan putkeen voi mahdollistaa järjestelmän työpaineen alentamisen. (van Ormer, H.)

8 AIKUISKOULUTUSKESKUKSEN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ

8.1 Kompressorihuone

Kompressorihuone sijaitsee kiinteistön toisessa ääripäässä, A-talon yhteydessä. Kulku tilaan tapahtuu ulkokautta. Tilassa ollessa on käytettävä kuulosuojaimia, niitä löytyy sisäpuolelta oven pielestä. Tilan ilmanvaihto hoituu oven molemmin puolin olevilla isoilla säleiköillä. Toisessa sijaitseva puhallin puhaltaa ilmaa sisään, toinen avautuu ja sulkeutuu ilmanpuhallusmäärän mukaan. Puhaltimen ja säleikköjen toiminta säätyy kompressorihuoneessa sijaitsevan lämpötila-anturin mukaan siten, että lämpötila pysyy kesäisin mahdollisimman viileänä ja talvisin yli +5 °C-asteessa.



KUVA 6. Kompressorihuoneen pohjakuva

8.2 Paineilman tuotto

Paineilman pääkompressorina on Gardner Denver ruuvikompressori VS 40. Normaalilaikojen ulkopuolista käyttöä varten varakompressorina Tamrotor ruuvikompressori F37 - Enduro. Nykyinen varakompressori on aiemmin toiminut pääkompressorina. Näiden lisäksi osassa tiloja on pieniä varakompressoreita, joiden avulla varmistetaan toimintakyky tilanteissa, joissa pääjärjestelmä ei toimi.

Gardner Denver VS 40 on taajuusmuuttajaohjattu öljyjäähdytteinen yksivaiheinen ruuvikompressori. Se on käyttöön otettu vuonna 2004 korvaamaan nykyinen varakompressori. VS 40:n suurin sähköteho 7,5 bar käyttöpaineella on 40 kW, ja sen paineilman tuotantoalue on 1,23 – 5,8 m³/min. Kompressorin välityksiä on muokattu kulutusta vastaavaksi, normaalin VS 40 -kompressorin ilmantuotto maksimiteholla olisi 6,8 m³/min ja sähköteho 46 kW.



KUVA 7. Vasemmalla pääkompressori, oikealla varakompressori

8.3 Jälkikäsittely

Kompressoritilassa ei ole muuta jälkikäsittelyä paineilmalle kuin öljynerotus heti kompressorien jälkeen sekä paineilmankuivain DEiT080. Kuivaimen sijainti kompressorihuoneessa näkyy kuvassa 8. Kompressorissa itsessään on sisäänrakennettuna öljynsuodatus ja tarpeelliset esi- ja jälkisuodatukset. Suuri osa käytettävistä laitteista ei tarvitse korkealaatuisempaa paineilmaa kuin mitä kompressorin, öljynsuodatin ja jäähdytin putkistoon tuottavat. Korkeampilaatuisempaa paineilmaa vaativissa pisteissä on erilliset lisäsuodattimet liitännäkohdassa, esimerkiksi maalausruiskuissa. Kompressoritilasta löytyy myös paineilmasäiliö, joka sijaitsee kompressoreiden ja jäähdytyskuivaimen välissä. Paineilmasäiliön tilavuus on 2 m³. Se toimii omalta osaltaan myös ilmanjäähdyttimenä ja vedenerottimena.



KUVA 8. Vasemmalla jäähdytinkuivain DEiT080, oikealla paineilmasäiliö

8.4 Ohjaus ja säätö

Talon kiinteistöautomaation aikaohjelma antaa käyntiluvat paineilma-verkon pääkompressorille. Paineilmaa on saatavilla pääkompressorilta automaattisesti kello 07-16 välillä ja näiden aikojen ulkopuolella varakompressorin tuottamana. Pääkompressorin aikaohjelmaa voidaan tarvittaessa muuttaa ilta- ja viikonloppukoulutuksien mukaan. Aikaohjelman muutoksista ja pääkompressorin käytöstä huolehtii kiinteistöhuolto.

Kompressorin säätö tapahtuu ennalta määrätyn painevälin avulla, eli yrittää pitää työpaineen tasaisena 7,2-7,5 bar välillä. Pienin paineilmavirta, minkä kompressorin pystyy tuottamaan, on 1,23 m³/min. Kulutuksen tippuessa sen alle, kompressorin siirtyy kevennykselle, kunnes painetaso laskee alarajalle. Alla olevassa taulukossa (taulukko 3) esitettyinä säätöarvot joihin kompressorin toiminta pääpiirteissään perustuu.

TAULUKKO 3. Pääkompressorin säätöraajat

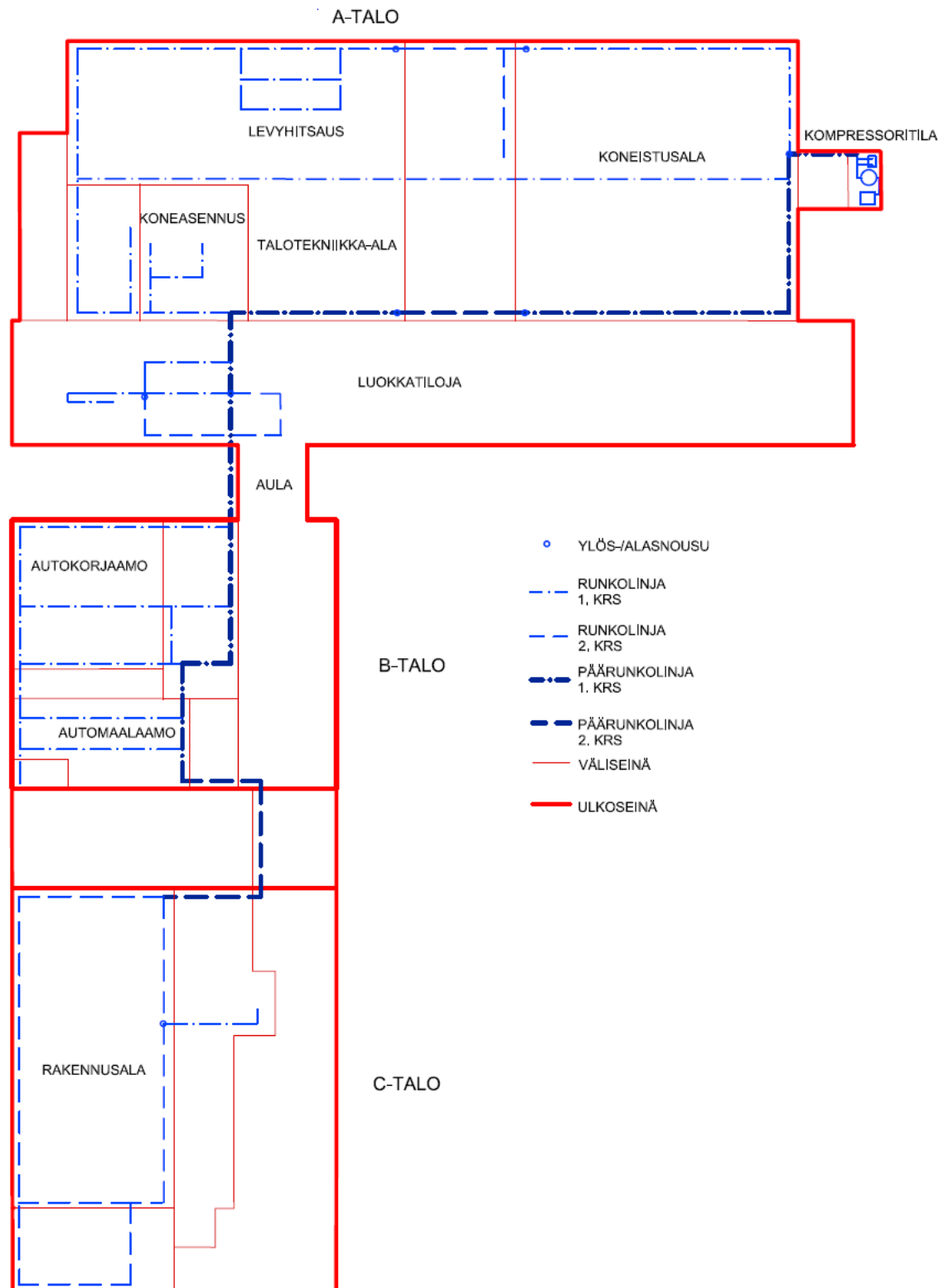
Malli	Gardner Denver VS 40-7,5 EANA
Käyttöajat	07:00 - 16:00
Käyttöpaine	7,2 Bar - 7,5 Bar
Paineilman tuotto	1,23 - 5,8 m ³ /min
Sähköteho tuotolla	9,6 - 40 kW
Pyörimisnopeus	883 - 2458 RPM

Varakompressorin käyttöönotto tapahtuu manuaalisesti kompressorihuoneesta käsin. Sen käyttöajat ovat arkisin kello 05 - 07 ja 16 - 23 sekä viikonloppuisin ja arkipäivinä kello 05 - 23. Tarkat ohjeet varakompressorin käytöstä löytyvät kompressorin kyljestä. Käytännössä kompressorin käynnistetään painamalla vihreästä napista ja sammutetaan vastaavasti punaisesta. Ohjeissa painotetaan, että ongelmatilanteissa mihinkään ei saa koskea ja päivitykseen ei saa soittaa. Ongelmista tulee tehdä ilmoitus kiinteistöhuollolle seuraavana arkipäivänä.

8.5 Paineilmaverkko

Paineilma jaetaan tarpeellisiin paineilmapisteisiin yhdistelmäverkon avulla. Kaikki kiinteät putket ovat saumatonta hitsattua rautaputkea. Suurin osa putkista kulkee korkealla hallien seinillä, joista tuodaan alas käyttöpisteille ulosotto. Ulosottopisteitä on useita erilaisia. Osassa on vedenerottimella varustettu haaroitin, josta pikaliittimien avulla saadaan paineilma vedettyä laitteille ja työkaluille. Liitoskohtien määrä vaihtelee ulosotoittain. Toisissa paikoissa alas tuodun putken päässä on pelkkä pikaliitin, jonka perään on usein kytketty letkukela. Letkukelat ovat käteviä, kun paineilman käyttöpiste liikkuu laajalla alueella. Niiden huono puoli on niiden aiheuttamat suuret painehäviöt.

Alla on yksinkertaistettu hahmotelma siitä, miten runkoverkko kulkee rakennusten läpi (KUVA 9). Ulosottopisteitä ei kuvaan ole piirretty, mutta kuvasta saa käsityksen verkon laajuudesta ja monimutkaisuudesta.



KUVA 9. TAKKin paineilma-verkoston pohjakuva

9 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN TUTKIMUKSET JA TULOKSET

9.1 Käytetyt tutkimusmenetelmät

Kompressorin käyttöyksikön sekä sähkönkulutusmittareiden avulla saatiin selville kriittisiä tietoja järjestelmän toiminnasta. Kompressorin ohjaustaululta saatiin luettua tuoton määrä prosentteina, ja käyttöajan ulkopuolella sen avulla saatiin laskettua vuotoilman määrä. Vuotoilmaan kuluvan energian määrä saatiin selville mittaamalla sähkönkulutus kyseisellä ajanjaksolla. Kompressorin kevennysjaksot tuli huomioida laskelmissa, koska silloin kompressori ei tuottanut paineilmaa, mutta kulutti sähköä. Tulokset saatiin, kun havaittiin minkälaisissa jaksoissa kompressori tuottaa paineilmaa suhteessa kevennysjaksoihin. Tämän jälkeen pystyttiin laskemaan, kuinka paljon paineilmaa kompressori tuotti vuotojen ansiosta. Tämän lisäksi käyttäjien kokemukset ja tietämys laitteiston jokapäiväiseen käyttöön liittyen selvitettiin käyttäjäkyselyiden avulla. Vuotojen tarkempi paikannus suoritettiin käyttöaikojen ulkopuolella käyttämällä liitoksiin suihkutettavaa vuodonilmaisuainetta. Vuotomäärien osastokohtainen määrittäminen tehtiin sulkemalla runkolinjoja ja mittaamalla muutosta kompressorin tyhjäkäyntimäärissä.

9.2 Mitta- ja tutkimuslaitteisto

9.2.1 Sähkönkulutuksen mittalaitteet

Opinnäytetyön alkuvaiheessa tilattiin Insta Automationilta kompressorin ja jäähdytinkuivaimen sähkönkulutusmittaukset. Mittaukset kestivät viikon per laite. Mittauslaitteina oli sähkönlaadunanalysaattori Gossen Metrawatt Mavowatt 70 ja virtamittauspää Dranflex 3000XL.

Tämän lisäksi opinnäytetyön loppuvaiheessa kompressorin sähkönkulutusta alettiin seurata aktiivisemmin Efergy e2 -sähkönkulutusmittarin avulla. Kyseisen mittarin anturi toimi myös langattomana lähettimenä. Se kytkettiin kompressorin syöttökaapeleihin sähkökeskukseen. Langattoman signaalin vastaanotti näyttölaite, joka tallensi mittausdataa, ja jonka avulla pystyi tarkastelemaan yksinkertaisia mittaustuloksia. Mittausdatan sai siirrettyä näyttölaitteelta tietokoneelle USB-kaapelin avulla.



KUVA 10. Efergy e2 anturi/lähetin kiinnitettynä syöttökaapeleihin sekä vastaanottolaite

9.2.2 Painemittari

Painemittarina käytettiin SMC PPA100 Compact Manometer -mittaria. Painemittarille rakennettiin adapteri, jonka avulla sen sai yhdistettyä pikaliittimiin kaikkialla verkossa. Mittarin mitta-alue on 0 – 10 bar, näyttötarkkuus 0,1 bar, ja virhemarginaali ± 2 %.



KUVA 11. Painemittari pikaliitinadapterin kanssa sekä vuodonilmaisuaaineet

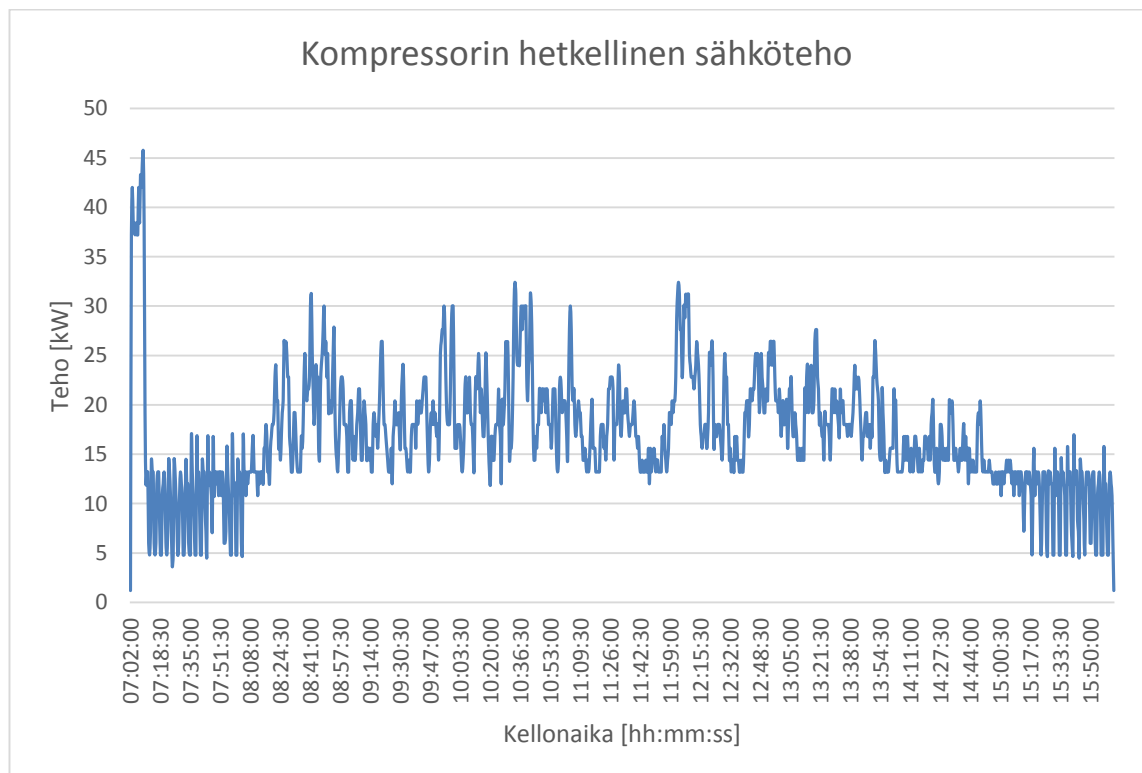
9.2.3 Vuodoilmaisuaine

Vuodonilmaisuaineena käytettiin Würth vuodonilmaisuainetta, 400 ml spray tölkeissä (KUVA 11). Ainetta suihkutetaan vuotokohtaan, jonka jälkeen vuotava ilma alkaa muodostaa kuplia. Aine suojaa putkistoa korroosiolta, eikä putkien pintoja tarvitse puhdistaa käytön jälkeen.

9.3 Sähkökulutuksen mittaukset

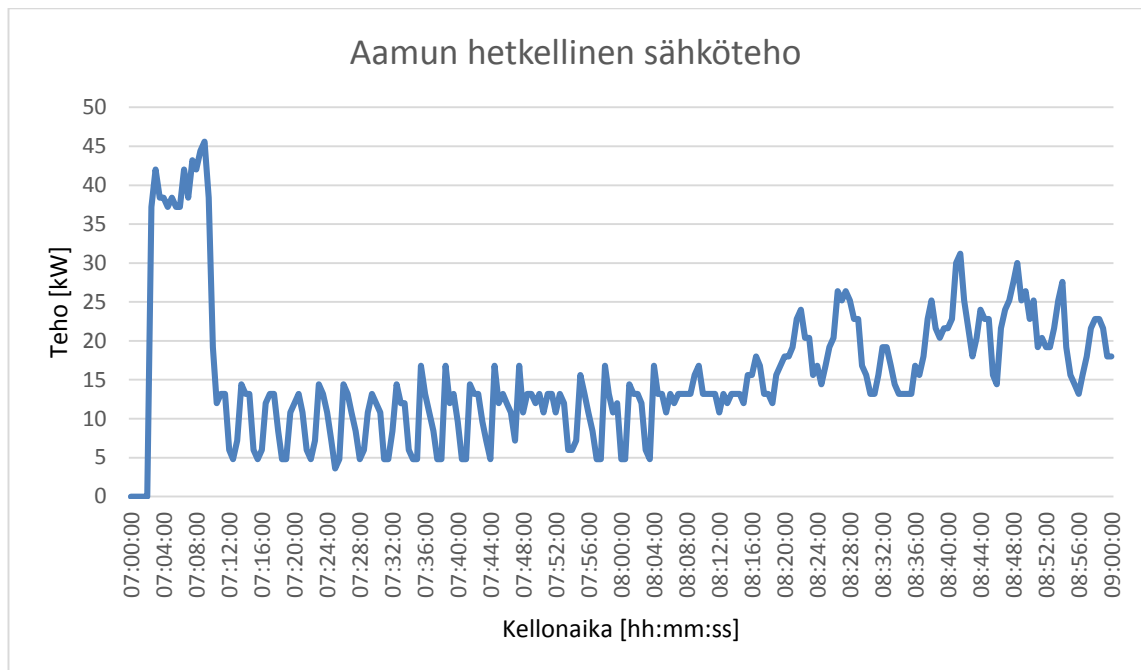
9.3.1 Mittaustulokset

Kompressorin ja jäähdytyskuivaimen sähkökulutuksen kävi mittaamassa ammattilainen Insta Automationilta, ja häneltä saatuun mittausdataan perustuu suurin osa kustannuslaskelmista. Mittausdatana saatiin 30 sekunnin mittausvälillä kertyvä kumulatiivinen sähköenergiankulutus kilowattitunteina. Energiankulutuksesta saatiin laskettua hetkellinen teho. Efergy e2 sähkömittarin avulla sai dataa vain tunnin tarkkuudella, joten sen avulla ei pysty tarkkoja laskemia suorittamaan, mutta yleiseen seurantaan se on hyödyllinen.



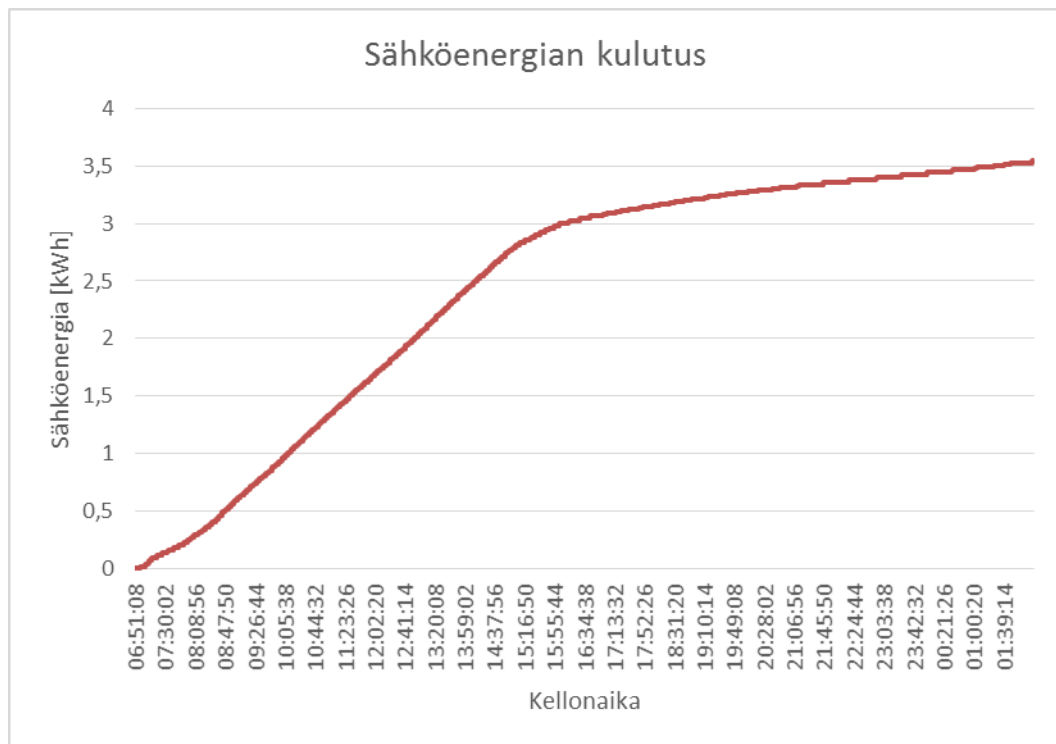
KUVIO 3. Kompressorin sähkökulutus keskiyrtöpäivänä

Kuten kuvion 3 kuvaajasta näkyy, paineilman käyttö ajoittuu suurimmaksi osaksi klo 08:00 – 15:00 välille. Aamulla kompressorilla kestää kahdeksan minuuttia nostaa verkko työpaineeseen, koska se on yön aikana vuotanut käytännössä ympäristön paineeseen. Kyseiset kahdeksan minuuttia kompressorin toimii täydellä teholla. Tämän jälkeen seuraavat 50 minuuttia menee lähes täysin tyhjäkäynnillä, kunnes aktiivikäyttö alkaa kello 08:00. Loppupäivästä on huomattavissa sama efekti, paineilman käyttö loppuu 15:00 jälkeen lähes kokonaan ja kompressorin jää käymään tyhjäkäynnille lähinnä vuotoja paikkaamaan.



KUVIO 4. Kompressorin sähkönkulutus keskiarvoaamuna

Aamun sähkönkulutuksesta nähdään tarkasti, että kompressorin nostettua painetasen käyttöpaineseen, seuraa yli 20 minuutin ajanjakso, jossa sähkönkulutus on todella tasaisen jaksoittaista. Kyseisen jakson avulla pystytään määrittämään kokonaisvuotojen määrä laskennallisesti. Kokonaisvuotojen määritysteksti löytyy kohdasta 9.3.3 ja tarkat laskelmat liitteestä 1. Sähkönkulutus kasvaa hieman klo 07:36 lähtien, mutta kuvaajalta on silti havaittavissa tasainen jaksoisuus. Todennäköisesti kyseisellä hetkellä on avattu jokin sulkuventtiili, tai verkostoon on kytketty jokin jatke, jolla syötetään laitteelle/työkaluille paineilmaa. Tämä toimenpide on lisännyt vuotojen määrää hieman, mikä näkyy kuvaajassa.



KUVIO 4. Jäähdytyskuivaimen sähkönkulutus

Jäähdytyskuivaimen sähkönkulutus oli huomattavan pientä, kuten kuvaajasta näkyy. Kompressorin ollessa päällä kuluu sähköenergiaa yhdeksän tunnin aikana noin kolme kilowattituntia, ja kompressorin ollessa pois päältä kuluu energiaa vain 0,05 kilowattituntia tunnissa.

9.3.2 Paineilmajärjestelmän kokonaisenergiakustannukset

Kompressorin mittaukset kestivät maanantaiaamusta 19.10 kello 08:23 seuraavan viikon maanantaihin 26.10 kello 09:35. Jotta saatiin tasan viikon mittaisen mittauksen kokonaisenergiankulutus, on vähennettävä mittauksesta viimeiset 73 minuutin sähkönkulutus kokonaismäärästä. Jäähdytyskuivaimen mittauksista ei saatu käyttöön yhtä laajaa dataa, mutta sen osuus kokonaiskulutuksesta on vain 2,5 %, joten suurta merkitystä ei laskelmien kokonaistuloksiin tule siitä, mikäli sen mittausajanjakso ei ole aivan tasan viikon mittainen.

Laskelmissa käytetyt arvot: Sähkön hinta 7,8 snt/kWh, järjestelmä on päällä 9 tuntia päivässä, 5 päivää viikossa ja keskimäärin 48 viikkoa vuodesta. Alla kokonaiskulutuksen mittaustulokset ja niiden pohjalta tehdyt kustannuslaskelmat (taulukko 4).

TAULUKKO 4. Paineilmajärjestelmän sähkönkulutus ja energiakustannukset

	Energia kWh	Hinta €
Viikossa		
Kompressori	728	56,78
Jäähdytys- kuivain	20,8	1,62
Vuodessa		
Kompressori	34944	2725,6
Jäähdytys- kuivain	998	77,8
Yhteensä	35942	2803,4

Kompressorin valmistajan antamien tietojen sekä mittausdatan avulla saatiin myös laskettua kuinka suuri ero kompressorin sähköstä paineilmaksi hyötysuhteessa on riippuen kuormitusasteesta. Kuten alla olevassa taulukossa (taulukko 5) näkyy, kompressorin toimiessa minimiteholla, kuluu paineilmaan 13,6 % enemmän sähköä kuin täydellä kuormalla. Verrattuna päivän aktiivajan kuormitukseen, sähköä kuluisi täydellä teholla 9 % vähemmän.

TAULUKKO 5. Kompressorin ominaisteho

	m ³	kW	kW/(m ³ /min)	Huom!
Täydellä kuormalla	5,82	40	6,87	9 % vähemmän kuin päivän aktiivikäytön aikana
Minimikuor- malla	1,23	9,6	7,80	13,6 % enemmän kuin täydellä kuormalla
Päivän aktii- vikäyttö	2,37	17,9	7,55	Olettaen että tehon ja paineilman tuoton suhde on lineaarinen
Tyhjäkäynti	0,98	10,1	10,31	Todella huono energiategokkuus johtuen kevenysjaksoista

9.3.3 Vuotojen määrä ja kustannukset

Mittausdatasta huomattiin, että järjestelmää ei käytetä enenkään aamulla käynnistyksen jälkeen. Pystyttiin havainnoimaan tasainen jaksollisuus, jolla kompressori syöttää paineilmaa verkkoon ja siirtyy kevennykselle. Koska kukaan ei käytä paineilmaa heti käynnistymisen jälkeen, voidaan olettaa, että järjestelmä kuormittava tasainen kulutus koostuu pelkästään vuodoista. Vuotojen määrän laskemiseksi pitää tietää kuinka suuren osan ajasta kompressori käy tuotolla, sekä kuinka suuri on sähköteho tuotolla käydessä. Lisäksi pitää tietää kompressorin ominaisteho. Ominaisteho on riippuvainen kuormitusasteesta, kuten taulukossa 5 tulee ilmi. Laskelmissa on käytetty keskiarvoa 7,6 kW/(m³/min). Alla on tulokset laskelmista, laskelmat kokonaisuudessaan löytyvät liitteestä 1.

TAULUKKO 6. Vuotojen kokonaismäärän määrittämistä varten lasketut arvot

	Osuus ajasta	Teho keskimäärin	Kompressorin ominaisteho
	%	kW	kW/m ³ /min
Kevennyksellä	39,9	5,16	
Kuormituksella	60,1	12,4	7,6

Vuotojen kokonaismäärä = (Kuormituksen osuus ajasta * Kuormituksen aikaisen tehon keskiarvo) / (Kompressorin ominaisteho)

$$V_{\text{vuodot}} = (0,601 * 12,4 \text{ kW}) / (7,6 \text{ kW/m}^3/\text{min}) = 0,98 \text{ m}^3/\text{min}$$

Vuotojen kokonaismäärä on siis lähes kuutiometri minuutissa, eli päivän aikana paineilmaa vuotaa yhteensä noin 530 kuutiota.

TAULUKKO 7. Vuotojen aiheuttamat kokonaiskustannukset

	Teho	Aika	Vuotojen osuus	Kustannukset		
	kW	h	%	€/päivä	€/viikko	€/vuosi
Aktiivikäyttö	17,9	7	41,4	9,77	48,87	2345,62
Aamu + iltapäivä	10,1	2	90	1,58	7,88	378,14
Yhteensä	16,2	9	52,2	11,35	56,75	2723,76
Vuodot				5,46	27,32	1311,41

Vuotojen kokonaiskustannukset ovat toisin sanoen lähes puolet paineilmajärjestelmän kokonaisenergiakustannuksista. Suuri osa jatkeletkuista otetaan irti verkosta päivän lopussa, eikä aamulla kompressorin käynnistyessä verkkoon ole kytkettynä kuin isot paineilmakäyttöiset laitteet. Etenkin työkalut ja letkujen liitokset aiheuttavat usein vuotoja, eikä niiden vaikutusta valitettavasti näy tehtyjen mittausten avulla. Mikäli kyseiset lisävuodot otetaan huomioon, voidaan arvioida vuotojen aiheuttavan kokonaisuudessaan yli puolet kokonaiskulutuksesta.

9.4 Automaation tarkastus

Kiinteistön keskusautomaatio käynnisti ja sammutti kompressorin aikataulujen mukaan. Kompressorin oma ohjausyksikkö sääti kompressorin toimintaa. Automaation merkitys korostuu lähinnä järjestelmissä, joissa on käytössä usea kompressori. Kompressorin kevennysjaksotus, eli aika jonka toimittuaan kevennyksellä kompressori sammuttaa itsensä, oli säädetty 5 minuuttiin. Tämä on järjestelmän tämän hetkessä toiminnassa järkevä määre. Yksi minuutti on lyhin aika, jonka pystyisi asettamaan, mutta tämän hetken vuotomäärän takia ei kompressori ehtisi missään välissä olla sammuksissa yli minuuttia pidempään. Käynnistykset kuluttavat kompressoria, eikä liian lyhyiden taukojen takia kannata antaa kompressorin pysäyttää itseään.

9.5 Vuotokohtien kartoitus

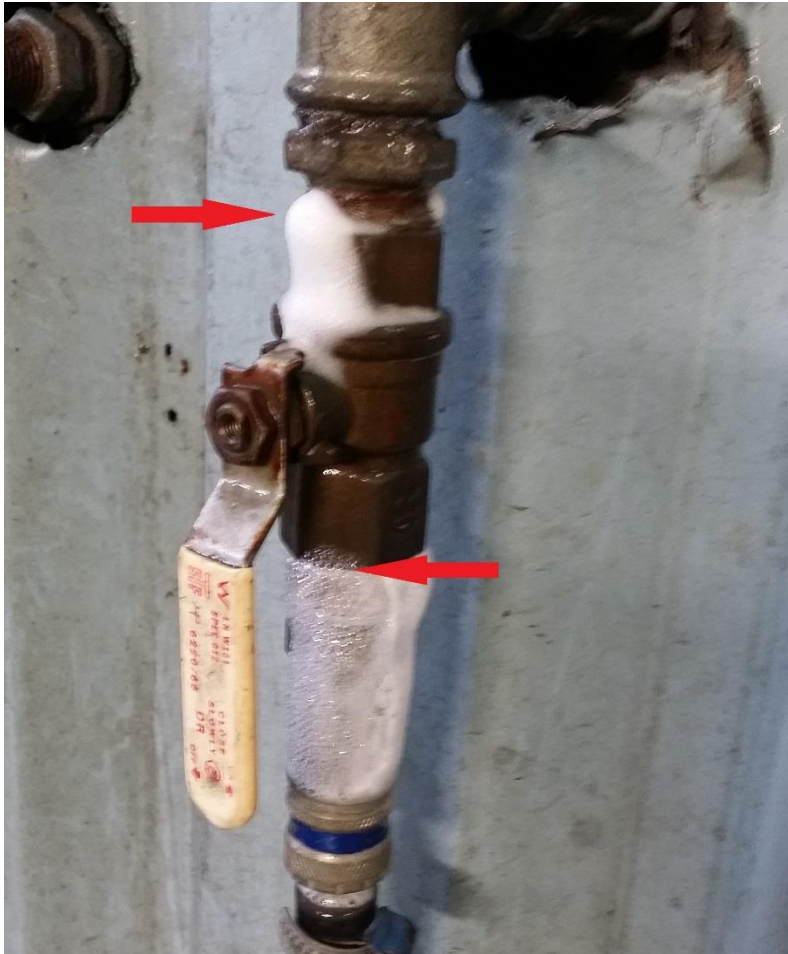
Vuodot kartoitettiin käyttämällä vuodonilmaisuuspraytä, joka vuotokohtaan suihkutettaessa alkaa kuplia. Näin pystyttiin paikantamaan vuotokohdat erittäin tarkasti. Mahdolliset vuotokohdat ylhäällä kulkevilla runkojohdoissa sekä alastulojen liitoskohdissa jäivät huomaamatta. Vuotokartoitus suoritettiin iltapäivällä ja paineilman käyttö oli erikseen kielletty kyseisenä ajankohtana. Kompressorin käynnistysaikataulua säädettiin siten, että paineentuotto pysyi päällä kello 16:00 jälkeenkin. Vuotojen osastokohtaista määrää tarkasteltiin sulkemalla rakennusosia yksi kerrallaan, ja mittaamalla kompressorin sähkönkulutuksen muutosta. Alla on taulukko 8 kartoituksen suorituksen aikataulusta.

TAULUKKO 8. Vuotokartoituksen kulku

Vuotokartoitus	
Klo	Toimenpiteet
Ennen mittauksia	Varmistetaan, että kompressorin sähkönkulutusmittaus toimii
15:00	Kävellään kiinteistön läpi ja varmistetaan, ettei kukaan käytä paineilmaa. Mennään C-taloon ja suoritetaan vuotokartoitus suihkeella.
16:00	Suljetaan C-taloon johtava paineilman pääsulku. Mennään B-taloon ja suoritetaan vuotokartoitus suihkeella.
17:00	Suljetaan B-taloon johtava paineilman pääsulku. Mennään A-taloon ja suoritetaan vuotokartoitus suihkeella.
18:00	Avataan kaikki sulut. Tarkistetaan kompressorihuoneen mahdolliset vuotokohdat, kompressorin ollessa päällä, sekä heti sammuttamisen jälkeen. Tallennetaan kompressorin sähkönkulutusmittauksen data tietokoneelle

Vuotokartoituksessa löydettiin yhteensä 42 vuotopaikkaa, useissa paikoissa oli kaksi tai useampi vuotokohtaa. Osa oli todella pieniä, osa jo todella kaukaa kuultavissa. Käytetty vuodonilmaisuusaine toimi hieman vaihtelevasti vuotokohdasta riippuen. Mikäli vuoto oli liian iso, ei kuplia ehtinyt muodostua, kun ilma puhalsi kaiken nesteen tieltään. Kyseiset vuodot onneksi pystyi usein kuulemaan selvästi. Mikäli vuoto osoitti alaspäin, neste valui liian nopeasti lattialle, jolloin vuotoa oli todella vaikea havaita, ellei ääntä kuulunut.

Osassa vuotoja vaahtoa tuli reippaasti, osassa vain pari kuplaa ennen kuin ilma pääsi puhaltamaan taas vapaasti. Alla kuva 12, jossa vuotomäärä oli melko pieni, mutta vaahtoa syntyi paljon.



KUVA 12. Sulkuventtiilin kierrellitokset vuotavat molemmista päistä (B3)

Vuotokohdista otettiin kuvat, ja niille annettiin tunnistekoodi. Vuotojen sijainti merkattiin yksinkertaistettuun pohjakuvaan, jonka avulla niiden paikallistaminen onnistuu nopeasti. Taulukko 9 seuraavalla sivulla sisältää listauksen vuotokohdan tunnistekoodista, sanallisen kuvauksen vuotokohdasta sekä arvion vuodon suuruudesta.

TAULUKKO 9. Löytyneet vuodot

Vuotokohdat		
Koodi	Kuvaus	Vuodon suuruus
	[A-talo – Koneasennus]	
A1	Paineenalennusventtiilin letkukelan puolen kierreliitos	pieni
	[A-talo – Levyhitsaus]	
A2	Sulkuventtiilin jälkeinen pikaliitin	kohtuullinen
A3	Ulosotolta lähtevä ylempi Y-haara pikaliitoksen kohdalta	iso
A4	Ulosotto vuotaa pohjasta	iso
A5	Hitsauspaikan pikaliitin	pieni
A6	Vierekkäisten hitsauspaikkojen pikaliittimet	pieni
A7	Ulosoton ylempi pikaliitin	iso
	[A-talo – Koneistus]	
A8	Ulosoton sulkuventtiili vuotaa kierreliitoksesta	pieni
A9	Usea letkun jatkeliitos	iso
A10	Ulosoton liittimet	iso
A11	Pistoolin liitos	kohtuullinen
A12	Ulosoton ulospäin osoittava pikaliitin	kohtuullinen
A13	Ulosottoa ennen olevan sulkuventtiilin ylempi kierreliitos	pieni
A14	Ulosoton pikaliittimen letkuliitos	kohtuullinen
A15	Päärungon sulkuventtiili vuotaa kammen takaa	kohtuullinen
A16	FEMCO HL-25 sorvi vuotaa jostain sisältä	kohtuullinen
A17	Ulosoton seinänmyötäisesti lähtevä letkuliitos	iso
A18	Kelaan menevä letkuliitos, sekä kelan letkunpään pikaliitin	kohtuullinen
A19	Ulosoton yläpuolinen kierreliitos sekä pikaliitin	kohtuullinen
A20	Ulosotolta lähtevät liitokset neljästä eri kohtaa	iso
	[B-talo – Automaalaamo]	
B1	Sulkuventtiilin ulompi kierreliitos	kohtuullinen
B2	Kaksi sulkuventtiiliä kierreliitoksestaan	pieni
B3	Sulkuventtiilin molemmat kierreliitokset	pieni
B4	Epäkeskoiomakoneen liitos	kohtuullinen
B5	Maalausruiskujen suodatusyksikkö vuotaa useasta liitoksesta	pieni
B6	L-haaran liitos	pieni
B7	Maalausruiskujen syötön T-haaran liitokset	pieni
B8	Maaliruiskulle lähtevän pikaliittimen kierreliitos	pieni
B9	Maalausruiskujen suodatusyksikkö vuotaa useasta liitoksesta	pieni
B10	L-haaran liitos	pieni
B11	Sulkuventtiilin alempi kierreliitos	pieni
	[B-talo – Autokorjaamo]	
B12	Oikeanpuoleisen pikaliittimen kierreliitos	pieni
B13	Nostimen letkuhaaroitin	iso
B14	Letkukelan pään pikaliitin	iso
B15	T-haaran oikeanpuoleinen liitos	pieni
B16	Magneettiventtiilin alta lähtevä letkuliitos	pieni
B17	Letkukelan yläpuolinen sulkuventtiili	pieni
B18	Letkukelan pään pikaliitin	pieni
B19	Paineilmapistooli, sekä letkun pikaliitin	kohtuullinen
B20	Kelalta lähtevä letku useasta kohtaa, sekä sitä syöttävä sulkuventtiili	kohtuullinen
B21	Jalkakytkimen liitokset	iso
	[C-talo – Rakennustekniikka]	
C1	Suodatinyksikön toisen säiliön kynsiliitos	kohtuullinen

Kyseiset vuodot olivat lähes poikkeuksetta kiinteissä paineilmakytkennoissä, koska letkujatkeet oli irrotettu päivän päätteeksi. Kyseiset letkut ovat erityisen vuotoherkkiä, joten on oletettavaa, että vuotojen kokonaismäärä on suurempi päivällä.

9.6 Painetasojen tarkastus

Painetasot olivat kompressorin tuottamalla työpaineen tasolla kaikkialla laitoksessa. Todellista käyttötilanteen painetta tapauksissa, joissa esimerkiksi kulmahiontakone olisi ollut letkun päässä kiinni käytössä, ei pystytty testaamaan käytössä olleilla välineillä. Virtaus aiheuttaa ohuessa letkussa suuren painehäviön, joten työkalun painevaatus saattaa jäädä saavuttamatta. Vaikutus korostuu mitä suurempi paineilmankulutus työkalulla/laitteella on.

9.7 Käyttäjäkysely ja sen tulokset

Ennen vuotokartoituksen tai painetasomittausten tekoa suoritettiin käyttäjäkysely. Kyselyn avulla selvitettiin paineilman käytön tämänhetkinen tilanne, sekä mahdolliset tulevaisuuden tarpeet ja ongelmakohdat. Suurimmaksi osaksi käyttäjät tiedostivat paineilman käytön tärkeimmät asiat, kuten vuotojen korjauksen ja paineilman käytön korkeat kustannukset. Kyselyn tulosten ollessa laajat, jaettiin ne alaotsikoiksi 9.7.1 – 9.7.4.

9.7.1 Tilat ja niiden muutokset

Osassa tiloja oli varakompressorikin, jotta mahdollisten ongelmatilanteiden aikana toiminta ei keskeytyisi kokonaan. Laitteistot olivat uusiutuneet tasaiseen tahtiin, ja tiloja on järjestelty uudelleen. Tämän seurauksena joissain tiloissa paineilmaa joudutaan vetämään letkuilla lattiaa pitkin yli kymmenenkin metriä. Kahdessa tilassa lattiassa oli kanaalit, joita hyväksikäyttäen paineilma saatiin laitteille ilman, että olisi kompastumisvaaraa. Yleisesti suurin käyttökohde paineilmalle oli puhalluspistoolit, joita löytyi joka tilasta. Puhalluksia käytetään lähinnä puhdistuksiin. Osa puhalluspistooleista oli jo korvattu vähemmän ilmaa kuluttavilla versioilla, etenkin paikoissa, joissa niitä käytetään keskivertoa

enemmän. Kokoon suhteutettuna suurin yksittäinen paineilmaa käyttävä tila oli automaalaamo, jossa ruiskumaalauksen lisäksi epäkeskohiomakoneet käyttävät valtavan määrän ilmaa päivän aikana. Kaiken kaikkiaan eniten paineilmaa kuluu levyhitsauspuolella, jossa etenkin kulmahiomakoneita käytetään paljon.

9.7.2 Sähköiset työkalut

Sähköisiin työkaluihin siirtymisvaihe on aluillaan joissain tiloissa, suurimmaksi osaksi tekniikan kehittymisen ansiosta. Esimerkiksi automaalaamon epäkeskohiomakoneet ollaan vaihtamassa sähköisiin sitä mukaa, kun vanhat paineilmalla toimivat versiot menevät rikki. Myös koneistushallissa on porakoneiden akkuteknologian kehityksen myötä siirrytty pois paineilmaa käyttävistä porakoneista töiden viimeistelyssä. Sähköisten laitteiden tekninen kehitys onkin suurin syy, miksi ne alkavat olla monella tapaa parempi vaihtoehto paineilmatoimisiin verrattuna.

Yksi asia, mitä en ennen käyttäjien haastatteluista tullut ajatelleeksi, on työkalujen katoaminen. Sähköiset työkalut ovat usein kalliimpia kuin paineilmaversiot, ja niitä pystyy käyttämään kotona kuka vaan. Paineilmatyökalut vaativat kompressorin toimiakseen, jolloin niitä ei juurikaan varasteta. Tilastoja työkalujen katoamisesta ei ole pidetty, mutta kovinkaan montaa ei tarvitse kadota ennen kuin paineilma tulee rahallisesti kannattavammaksi. Lisäksi kulmahiomakoneissa muita vaikuttavia tekijöitä on paineilmakäyttöisten versioiden pidempi käyttöikä sekä niiden hieman pienempi teho. Pienemmän tehon on havaittu vähentävän tapaturmia.

9.7.3 Tulevaisuuden tarpeet

Tulevaisuuden tarpeista ei ollut varmaa tietoa kenelläkään, lähes kaikkialla isommat laitteet tulevat pysymään käytössä vielä vuosikymmenen tai pari. Isoin muutos tulee todennäköisesti olemaan paineilman käytön vähentyminen sähkölaitteiden käytön lisääntyessä. Kompressorin maksimiteho on 40 kW ja kevennyksen raja 9,6 kW. Tällä hetkellä kompressori käy täydellä teholla ainoastaan kahdeksan minuutin ajan aamulla järjestelmän käynnistyessä, ja päivän aktiivikäyttöajan keskimääräinen teho on vain 17,9 kW. Kompressorin tuottoteho on siis ylimitoitettu tämän hetken tarpeisiin. Mikäli kompressorilla

olisi jatkuva sähkönkulutuksen seuranta, selviäisi mikä on todellisen käytön piikkiarvo. Käsitteenä on, ettei kompressori missään tilanteessa toimii kesellä päivää täydellä kuormituksella kuin korkeintaan hyvin hetkellisesti. Mikäli uusia paineilman käyttökoh- teita ei tule, ja sähköisiin työkaluihin siirtyminen käy toteen niiltä osin kuin on mahdol- lista, tulee paineilmajärjestelmän energiankulutus vielä vähenemään huomattavasti.

9.7.4 Käyttäjien parannusehdotukset

Parannusehdotuksia käyttäjiltä järjestelmän tämänhetkiseen kokoonpanoon tuli muu- tama. Automaalaamo arvostaisi, jos varakompressorin käynnistäminen etänä olisi mah- dollista, ja runkolinjoissa saisi olla nykyistä enemmän sulkuventtiileitä. Rakennuspuo- lella yhdelle seinälle toivottiin pari paineilman ulosottoa lisää, ja heillä kenties kokeillaan siirtyä sähkökäyttöisistä kulmahiomakoneista paineilmakäyttöisiin tiilien leikkauksessa. Muuten järjestelmän kokonaisuuteen oltiin hyvin tyytyväisiä.

10 TULOKSET

10.1 Vuotojen korjaus

Vuotojen määrä itsessään on tyypillinen järjestelmän laajuuteen suhteutettuna, hieman alle $1 \text{ m}^3/\text{min}$, mutta järjestelmän itsensä käyttö osoittautui yllättävän vähäiseksi. Tämä tarkoittaa sitä, että vuotojen määrä on suhteellisen iso osa kokonaiskulutuksesta. Vuotojen kustannukset ovatkin loppujen lopuksi noin 1300 €/vuosi, eli lähes puolet koko järjestelmän energiankulutuskustannuksista. Pikaliittimet ja letkujen liitokset ovat yleisin vuotokohde. Pieniä vuotoja oli todella paljon, ja niistä kertyy yhteensä melko iso osa kokonaisvuotomäärästä. Pienet vuodot kasvavat ajan myötä aina vain isommiksi, joten toimenpiteitä on kannattavaa tehdä ennakoivasti, eikä vasta sitten, kun rahaa on jo menetetty. Listaus kaikista löydetyistä vuotokohdista löytyy kohdasta 9.6 Vuotokartoitus. Ensimmäiseksi kannattaisi korjata ainakin isoimmat vuotokohdat. Lisäksi runkolinjojen vuotojen kartoitus esimerkiksi ultraäänimittarilla olisi kannattavaa. Korkealla sijaitsevista sulkuventtiileistä ja liitoksista on vaikea havaita vuotoja, elleivät ne ole erittäin suuria.

Vuotojen määrää kannattaa tutkia tasaisin väliajoin. Helpoin ja tarkin vaihtoehto olisi virtausmittarin asentaminen paineilman runkoputkeen jäähdytyskuivaimen jälkeen. Tällä saataisiin selville kokonaisvuotomäärä. Käytännössä sen avulla voitaisiin seurata vuotomäärän kasvua, ja sen ylittäessä tietyn raja-arvon, suorittaa vuotokohtien kartoitus ja korjaus. Valitettavasti mittarit isoihin putkikokoihin ja virtaamiin ovat kalliita, ja varsinaista suoraa säästöä laite ei tuota. Sähkönkulutusseurannan avulla ajoittainen vuotomäärien arviointi on mahdollista kohtuullisella vaivalla. Tämänhetkiset vuodot oletettavasti korjataan, sillä niiden aiheuttamat kustannukset ovat suuret. Korjauksen jälkeen voidaankin tehdä yön yli mittaus kompressorille, jotta saadaan selville kuinka paljon tyhjäkäynti kuluttaa sähköä korjausten jälkeen. Tämä voisi olla perustaso, johon myöhempiä kulutustasomittauksia verrataan. Kun kulutus kasvaa tarpeeksi, suoritetaan vuotokohtien kartoitus ja korjaus.

10.2 Kompressorin käynnissäoloaikojen säätö

Mikäli todellista tarvetta kompressorin käynnissä pitämiseksi ei löydy, on syytä miettiä käynnissäoloaikojen lyhentämistä. Jos talossa on vain muutama henkilö, jotka käyttävät paineilmaa ennen kello kahdeksaa tai kello kolmen jälkeen, ei välttämättä ole kannattavaa pitää kompressoria päällä vain heitä varten. Mikäli käyntiaikoja lyhennettäisiin tunnin verran päivässä, saisi sillä aikaan 175,7 € säästön vuosittaiseen energiakustannuksiin.

10.3 Kompressorin vaihto pienempään

Mikäli paineilman käyttö vähenee entisestään vielä paljon, on syytä kysellä laitetoimittajalta mahdollisuuksista vaihtaa hieman pienempään kompressoriin. Ruuvikompressori on energiankäytön suhteen tehokkaimmillaan, kun se toimii 100 %:n kuormituksella. Tällä hetkellä kompressori käy lähes kaksi tuntia päivästä minimikuormituksella ja loput päivästä keskimäärin 27 % kuormitusasteella. Sähköenergiantarve tuotettua paineilmapvirtaa kohti olisi lähes 10 % vähemmän, mikäli kompressori toimisi 100 %:n kuormituksella 27 %:n sijaan. Kohde on haastava, sillä paineilman kulutus on todella vaihtelevaa. Tällä hetkellä tilanne kuitenkin on se, että ainoa hetki jolloin kompressori käy täydellä teholla on aamulla heti käynnistyksen jälkeen. Käytännössä päivän aktiivinen hyötykäyttöaika paineilmankäytön suhteen on 08:30 – 15:00 väli.

10.4 Kompressorin sähkönkulutusmittaus

Sähkönkulutusmittaus kompressorille on erittäin suositeltavaa. Ilman sitä on lähes mahdotonta tietää kompressorin toiminnasta tai säästötoimenpiteiden vaikutuksista mitään. Investointi ei ole suuri, ja sen avulla saadaan tärkeää tietoa järjestelmän toiminnasta. Kun vuotojen korjaus on suoritettu, pystyy sähkönkulutusmittausten avulla tarkastelemaan, miten kompressori toimii sen jälkeen. Vuotojen poistuminen vähentää kompressorin tuottoa huomattavasti, joka käytännössä myös huonontaa ominaistehoa, jolla jäljelle jäänyt paineilmararve tuotetaan. Mikäli kuormitus laskee niin paljon, että kompressori alkaa siirtymään kevennykselle keskellä päivääkin, on vaihto nykyistä pienempään kompressoriin äärimmäisen suositeltavaa. Sähkökäyttöisten työkalujenkin vaikutuksen näkee mittausten avulla, jos muita kulutukseen vaikuttavia toimenpiteitä ei samaan aikaan tehdä.

10.5 Sähkökäyttöiset työkalut

Sähkökäyttöiset työkalut ovat usein huomattavasti kalliimpia kuin paineilmalla toimivat. Niiden kokonaisenergiatehokkuus on taas huomattavasti parempi, etenkin teknologian koko ajan kehittyessä. Käyttäjäkyselyssä selvisi, että joillain osastoilla ollaan sähkökäyttöisiin työkaluihin jo alettu siirtyä. Isoin tähän muutokseen johtanut tekijä on sähkökäyttöisten laitteiden ja akkuteknologian kehitys. Automaalaamon epäkeskohiomakoneet ovat yksi isoimpia paineilman kuluttajia, niitä on kahdeksan, joista yksi on jo korvattu sähköisellä versiolla. Suunnitelmissa on korvata ne kaikki sähkökäyttöisillä sitä mukaa kun ne hajoavat. Tämän vaikutus paineilman kokonaiskulutukseen on selkeä, ja heikentää osaltaan myös kompressorin energiatehokkuutta. Toisaalta täytyy pitää mielessä, että osa työkaluista, joita voitaisiin korvata sähkökäyttöisillä, on syytä pitää paineilmakäyttöisinä. Tämä siitä syystä, että sähkökäyttöisillä työkaluilla on vaara kadota herkästi, mikäli ne jätetään valvomatta päivittäin. Täytyisi olla todella iso hintaero paineilmakäyttöiseen työkaluun, jotta sähkökäyttöisen työkalun kokonaiskustannukset näissä tilanteissa tulisivat halvemmiksi.

10.6 Painetason alennus

Suurin osa työkaluista vaatii toimiakseen noin 6 bar:n paineen. Tällä hetkellä painetaso on kaikkialla järjestelmässä päivän aikana 7,3 – 7,5 bar:n välillä. On otettava huomioon, että kun putkessa ei ole virtausta, tai sitä on vähän, näyttää painemittari korkeaa lukemaa. Runkoputkisto on yleensä mitoitettu siten, etteivät sen aiheuttamat painehäviöt nouse yli 0,1 bar:n. Virtaus aiheuttaa sitä enemmän painehäviöitä, mitä suurempi virtausnopeus, pidempi virtausmatka, ja mitä enemmän mutkia tai osia sen reitillä on. Moni työkalu on käytössä siten, että se on liitetty paineilmaverkkoon usean letkujatkeen välityksellä. Mikäli työkalu käyttää suuria määriä ilmaa, kasvavat painehäviöt suuriksi ja todellinen paine työkalulla saattaa olla huomattavasti putkistopainetta alempi. Olisikin hyvä tehdä mitauksia, joissa painemittari kytketään työkalun ja paineilemälletkun väliin. Kun työkalua käytettäisiin, nähtäisiin painemittarilta kuinka alas painetaso tippuu letkun virtaushäviöiden ansiosta käytön aikana. Painehäviöiden minimoimisen avulla voidaan laskea kompressorin työpainetta. Yhden baarin paineenlasku vähentää kompressorin energiankulutusta 5-8 %, mutta säästöt saattavat olla huomattavasti suuremmat, kun otetaan huomioon vuotojen ja muiden turhien kulutuskohteiden kulutuksen vähentyminen.

10.7 Letkujatkeiden vaihto metalliputkiin

Letkujatkeiden painehäviöt käyttötilanteessa ovat suuret. Lepotilanteessa painetasot saattavat näyttää erittäin hyviltä, mutta virtaus aiheuttaa paineessa suuren laskun. Mitä lähemmäs työkalua tai laitetta pääsee kovalla putkella, sen parempi. Saumaton hitsattu teräs ja sen varusteet ovat halpoja. Kun painehäviöt minimoidaan, voidaan kompressorin painetasoa alentaa, ja sitä kautta saada säästöjä. Lisäksi vuotojen määrä todennäköisesti vähenee hieman, koska letkut ovat herkempiä vuotamaan kuin metalliputket.

10.8 Jäähdytyskuivaminen sammutus käytön ulkopuolella

Yksinkertainen keino saada pieniä säästöjä, on laittaa kuivaimen ja pistorasian väliin kelloajastus, joka sammuttaa kuivaimen aina yön ajaksi. Tämä tosin vaatisi myös sen, että runkolinjaan kuivaimen jälkeen asennettaisiin sulkuventtiili, joka menee kiinni aina kuivaimen sammussa. Tällä estettäisiin kostean ilman pääsy painesäiliöstä verkostoon yön aikana kuivaimen ollessa pois päältä. Kosteus on yleensä suurin ongelmien aiheuttaja hitsatuissa teräsputkissa. Järjestelmän paineet tosin laskevat hyvin nopeasti kompressorin sammussa, joten olisi mahdollista asettaa kuivain sammumaan esimerkiksi 2 tuntia kompressorin jälkeen, jolloin paineilmasäiliöstä ei pitäisi enää virrata ilmaa verkkoon. Kokonaissäästöt kyseisellä toimenpiteellä tosin ovat hyvin pienet. Kuivaimen osuus järjestelmän energiakustannuksista on vain 2,5 %. Mikäli kuivaimen sammuttaisi aina 16:00 – 06:00 väliseksi ajaksi, saisi säästöjä vain 20 € vuodessa. Käytännössä mahdolliset toteutettavat säästöt jäisivät siis 10 €/vuosi tuntumaan.

10.9 Runkolinjoihin liittyvät toimenpiteet

Seuraavat ehdotukset koskevat lähinnä tilannetta, jossa koko runkoverkosta aletaan uusimaan. Paineilmaverkko kulkee suurimmaksi osaksi järkeviä reittejä pitkin, mutta muutamia poikkeuksia löytyy. A-talon keskellä toisessa kerroksessa oleva sähköhalli ei enää käytä paineilmaa juuri ollenkaan, runkoputket kuitenkin kiertävät toisen kerroksen kautta vielä. Tästä syystä päärunkoputki joutuu myös kulkemaan piilossa sermien takana pitkän

matkaa, mikä vaikeuttaa ongelmien havaitsemista. Lisäksi A-talon keskeltä kulkeva runkoputki on katkaistu ja tulpattu keskeltä. Katkaisun on todennäköisesti pitänyt olla väliaikainen, mutta putkien uudelleenyhdistäminen on unohtunut. Kyseiseen runkolinjaan kytketyt laitteet eivät saakaan paineilmaa yhtä tehokkaasti kuin rengasverkosta yleensä.

B-talossa yksi ongelmakohdista löytyy automaalaamon kohdalta, jossa runkoputket kiertävät IV-konehuoneessa sijaitsevan jäähdytyskuivaimen läpi. Kuivain ei enää pitkään aikaan ole ollut käytössä. Lisäksi kuivaimen yhteydessä sijaitsee kolme isoa sulkuventtiiliä, joiden kierrelitokset vuotavat. Kyseinen osio kannattaisikin purkaa kokonaan ja yhdistää runkoputket suoraan automaalaamon puolella.

C-talossa runkolinjat kulkevat ihan hyvällä paikkaa, ainoat muutokset, mitä voisi tehdä, on kahden alastulon lisääminen hallin päätyseinälle, sekä yhden alastulon ottaminen tiilienleikkauspisteen kohdalta. Tällä hetkellä tiiliä leikataan sähkökulmahiomakoneilla rakennuksen ulkopuolella, ja käyttäjähaastattelua tehdessä tuli ilmi, että paineilmakäyttöiset kulmahiomakoneet olisivat parempi vaihtoehto ulkokäyttöön.

Lisäksi sulkuventtiilien paikat runkolinjoissa ovat välillä erittäin huonoissa paikoissa, vaikka lähellä olisi hyviäkin paikkoja. C-talon sulkeminen tehdään yhden toimiston välikatossa sijaitsevalla sulkuventtiilillä, vaikka runkolinja kulkee heti sen jälkeen tilavan IV-konehuoneen läpi. C-talossa rakennusalan työhallissa sijaitsevat myös kaksi sulkuventtiiliä haasteellisissa paikoissa. Kohta, jossa halliin tuleva runko jaetaan kulkemaan molempia seiniä pitkin kulkevaksi, on kaikkien muiden tekniikkojen takana. Tästä johtuen sulkuventtiileihin käsiksi pääsy on lähes mahdotonta.

10.10 Muita esille tulleita toimenpide-ehdotuksia

Mikäli verkkoa uusitaan tulevaisuudessa huomattavissa määrin, on sulkuventtiilien määrää syytä kasvattaa. Erityisen hyvä olisi, jos paineilma-verkon jokaisen renkaan pystyisi sulkemaan yksittäin. Lisäksi joka ulosoton yhteydessä pitäisi olla sulkuventtiili tarpeeksi matalalla, paikassa josta sen pystyy sulkemaan ilman apuvälineitä.

A-talossa oli koneistushallin keskellä muutama paineilman ulosotto pilarin kyljessä. Pilareihin oli jälkikäteen kiinnitetty nostimia, jonka seurauksena paineilmaputket oli irrotettu kannakoinnistaan. Putkien päästessä roikkumaan ja liikkumaan vapaana, aiheutuu runkoputken kiinnityskohtaan tarpeetonta rasitusta, joka ajan myötä väsyttää metallia.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön lähtökohtina oli kartoittaa tämänhetkinen tilanne, ja löytää keinoja energiatehokkuuden parantamiseen. Ensimmäisten sähkönkulutusmittausten jälkeen tajusimme Raimon kanssa, kuinka vähäistä järjestelmän energiankulutus on. Paineilman tuoton vaatimaan sähköenergiaan kuluu rahaa vain 2500 euroa vuodessa. Samalla aloin ymmärtää, että säästötoimenpiteiden ehdottaminen tulee olemaan haasteellista. Vaikka jollain muutoksella saisi aikaan esimerkiksi 10 prosentin säästön, mutta sen suorittaminen maksaisi 2000 euroa, olisi takaisinmaksuaika 8 vuotta. Moni toimenpide maksaa helposti enemmän, ja tuottaa pienempiä tuloksia.

Käyttäjät ja laitteiden ylläpitäjät olivat hyvin informoituja paineilman käyttöön liittyvistä tärkeistä asioista, ja vuotojen korjaamisen suhteen oltiin hyvin omatoimisia ja aktiivisia. Kompessorin ja jäähdytyskuivain olivat melko uusia, eikä kenelläkään tuntunut olevan ongelmia järjestelmän suhteen. Kokonaisuus vaikuttikin alkuun olevan todella hyvällä mallilla, mutta ensivaikutelmat eivät valitettavasti pitäneet aivan paikkaansa.

Paineilman kokonaiskulutusta tai kompressorin sähkönkulutusta ei seurattu millään tapaa. Järjestelmän toimiessa kokonaisuudessaan kuitenkin hyvin, ei tarkkaan tarkasteluun ollut mitään akuuttia tarvetta. Kompessorin ylimitoitus ei sinänsä aiheutakaan mitään haittaa järjestelmän kokonaistoiminnalle, ainoastaan kasvattaa sähkönkulutusta. Ellei paineilmankulutus ole vähentynyt valtavasti viimeisen 12 vuoden aikana, olisi ylimitoitus ollut mahdollista havaita jo vuonna 2004, kun kompressorin viimeksi vaihdettiin.

Käytön ollessa todella vähäistä paineilmanverkko laajuuteen nähden, on helppo ymmärtää, että pienet vuodot voivat aiheuttaa suhteellisen suuren osan kokonaiskulutuksesta. En kuitenkaan olisi odottanut, että puolet energiankulutuksesta on pelkistä vuodoista aiheutuvaa. Vuodot kannattaakin korjata niin pian kuin mahdollista, ja seurata tilannetta aktiivisesti. Jatkossa vuotojen määrän lisääntyminen on mahdollista havaita kohtuullisen helposti, mikäli sähkönkulutusta aletaan tarkkailla aktiivisesti.

Työn tavoitteisiin päästiin siinä mielessä, että epäkohtia löydettiin paljon. Rahallisesti kannattavia korjaustoimenpiteitä sen sijaan ei löytynyt kovin montaa. Vuotojen korjaus on laajin ja kannattavin toimenpide. Tämä tosin aiheuttaa myös sen, että kompressorin

ylimitoitus kasvaa entisestään, ja sen energiatehokkuus huononee. Kompressorin vaihdosta pienempään onkin syytä neuvotella laitetoimittajan kanssa. Nämä kaksi toimenpidettä ovat kenties ainoat taloudellisesti kannattavat. Muut löydetyt toimenpiteet on hyvä pohtia tarkemmin tilanteessa, jossa koko järjestelmä tai putkisto saneerataan.

LÄHTEET

Airila, Hallikainen, Kääpä, Laurila 1983. Kompressorikirja. Helsinki: KK laakapaino.

Bloch & Heinz, P. 2006. A practical guide to compressor technology. Hoboken (N.J.): Wiley-Interscience.

Ebel, F., ym. 2010. Pneumatics, electropneumatics fundamentals. Denkendorf: Festo Didactic.

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

Exair. Compressed Air Piping. Konsulttiyrityksen tietokantaa paineilmaputkiin liittyen. Luettu 23.2.2016. <http://www.exair.com/en-US/Primary%20Navigation/Knowledge%20Base/Air%20Data/Pages/CompressedAirPiping.aspx>

Gardner Denver Tamrotor Compressors. Ruuvikompressori VS 40 Käyttö- ja huolto-ohjeet, varaosat. Gardner Denver Oy. 1999.

Motiva. 2015. Energiatehokas paineilmajärjestelmä OSA 1 ja 2. Helsinki. Motiva Oy.

PATE-analyysi. 2006. Paineilman energia-analyysimalli. Helsinki. Motiva Oy

Penttinen, P. 2009. Teollisuuden paineilma-analyyseissä havaittujen säästötoimenpiteiden toteutusaste ja saavutettu säästö. Diplomityö. Helsinki. Aalto-yliopisto.

SMC Corporation. SMC energiansäästö. Luettu 17.2.2016. https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/corporative/content/energy_saving09/documentation/ES_cat_fi.pdf

Van Ormer, H. Four Areas To Look For Energy Saving In Compressed Air Systems. Compressed Air Best Practices Magazine. Luettu 23.2.2019. <http://www.airbestpractices.com/system-assessments/pipingstorage/four-areas-look-energy-savings-compressed-air-systems>

LIITTEET

Liite 1. Vuotojen kokonaismäärän ja energiankulutuksen laskelmat

1 (4)

Vuotojen kokonaismäärä- ja energiakustannuslaskelmat.					
Kellonaika	Ti	Ke	To	Pe	
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	
07:12:00	6	12	13,44	12	(Vasemmalla oleva data on neljän vertailukelpoisen aamun mittaustulokset, joiden avulla saadaan keskimääräinen kulutus laskettua. Tehon ollessa yli 9,6 kW toimii kompressori tuotolla, sen alle mennessä on kompressori ainakin osan ajasta kevennyksellä. 30 sekunnin mittaustarkkuus tarkoittaa sitä, että tehon suuruuden perusteella on arvioitava onko kompressori ollut suuremman vai pienemmän osan kyseisestä ajanjaksosta kevennyksellä vai tuotolla. Koska kompressori siirtyy kevennykseltä suoraan 10 - 17 kW teholle, on arviointi haasteellista.)
07:12:30	4,8	4,8	6,72	12	
07:13:00	7,2	4,8	4,44	7,2	
07:13:30	14,4	12	4,56	4,8	
07:14:00	13,2	13,2	16,8	4,8	
07:14:30	13,2	12	12,36	15,6	
07:15:00	6	10,8	12,36	13,2	
07:15:30	4,8	6	9	12	
07:16:00	6	4,8	4,44	9,6	
07:16:30	12	7,2	4,56	4,8	
07:17:00	13,2	14,4	12,36	4,8	
07:17:30	13,2	13,2	12,24	12	
07:18:00	8,4	10,8	12,36	13,2	
07:18:30	4,8	7,2	11,28	13,2	
07:19:00	4,8	4,8	5,64	10,8	
07:19:30	10,8	4,8	4,44	7,2	
07:20:00	12	14,4	6,72	3,6	
07:20:30	13,2	12	15,72	4,8	
07:21:00	10,8	13,2	12,36	15,6	
07:21:30	6	8,4	12,36	13,2	
07:22:00	4,8	6	6,72	12	
07:22:30	7,2	3,6	5,64	10,8	
07:23:00	14,4	9,6	3,36	7,2	
07:23:30	13,2	13,2	13,44	4,8	
07:24:00	10,8	13,2	12,36	2,4	
07:24:30	7,2	12	12,36	16,8	
07:25:00	3,6	6	10,08	13,2	
07:25:30	4,8	3,6	6,72	12	
07:26:00	14,4	6	3,36	9,6	
07:26:30	13,2	15,6	5,64	4,8	

(jatkuu)

07:27:00	10,8	12	15,72	4,8				
07:27:30	8,4	13,2	13,44	8,4				
07:28:00	4,8	7,2	12,36	14,4				
07:28:30	6	4,8	6,72	13,2				
07:29:00	10,8	3,6	5,64	12				
07:29:30	13,2	13,2	3,36	8,4				
07:30:00	12	13,2	14,64	3,6				
					Kes- kiarvo		Osuus ajasta	
Kevennyk- sellä [min]	7,5	7,25	8,25	6,5	7,375	min	0,399	*100%
Keskiarvo [kW]	5,44	5,20	5,22	4,80	5,16	kW		
Kuormituk- sella	11	11,25	10,25	12	11,125	min	0,601	*100%
Keskiarvo [kW]	11,95	12,46	12,85	12,34	12,40	kW		
Kompressorin ominaisteho on huonoimmillaan 7,8 kW/m ³ /min. Koska kompressori nostaa kuormituksen keven- nysjakson päättyessä lähemmäs 15 kW hetkellisesti, käytetään laskussa arvoa 7,6 kW/m ³ /min								
	Osuus ajasta	Teho keski- määrin	Kompres- sorin omi- naisteho					
	%	kW	kW/m ³ /min					
Kevennyk- sellä	39,9	5,16						
Kuormituk- sella	60,1	12,4	7,6					
Vuotojen kokonaismäärä = (Kuormituksen osuus ajasta * Kuormituksen aikaisen tehon keskiarvo) / (Kompressorin ominaisteho)								
$V_{\text{vuoto}} = (0,601 * 12,4 \text{ kW}) / (7,6 \text{ kW/m}^3/\text{min}) = 0,98 \text{ m}^3/\text{min}$								
Kompressorin sähkönkulutus ja energiakustannukset ensimmäisen ja viimeisen 30 min aikana joka päivä								
Teho	9,39	kW						

(jatkuu)

Sähkön hinta	0,078	€/kWh						
Kustannukset	0,732	€/tunti						
Jos joka päivä käyttöaika lyhentyisi 30min molemmista päistä, saisi vuodessa säästöä yhteensä								
1 tunti * 5 päivää * 48 viikkoa * 0,732 €/tunti = 175,68 €/vuosi								
Vuotojen määrä pysyy vähintään samana koko päivän ajan, todennäköisesti se vain lisääntyy mitä enemmän työkaluja ja jatkeletkuja siihen on liitettyä. Vuotojen aiheuttamat kokonaiskustannukset ovat siis huomattavan suuret kokonaisuudessaan.								
Koska päivän aktiivikäytön aikana kulutus on huomattavasti suurempaa kuin päivän ensimmäinen ja viimeinen tunti, toimii kompressori hieman paremmalla hyötysuhteella. Tästä johtuen vuotoihin hukkuva sähköenergia on lievästi pienempi per tunti kuin tyhjäkäynnillä toimiessaan.								
Aktiivikäyttöaika 08-15								
Tehon keskiarvo	17,90	kW						
Kompressorin ominaisteho	7,55	kW/m ³ /min						
Paineilman kulutus keskimäärin	2,37	m ³						
Aktiivikäytön kustannukset								
	17,9 kW * 7 h * 0,078 €/h = 9,77 €/päivä							
Viikossa	48,87	€						
Vuodessa	2345,62	€						
Vuotojen osuus	41,4	%						
Vuotojen kustannukset								
Päivässä	3,86	€						
Viikossa	19,30							
Vuodessa	926,20							

(jatkuu)

Käytön kokonaiskulutuksen kustannukset. Arvioidaan aamun ja iltapäivän tuntien kustannusten koostuvan 90 prosenttisesti vuodoista. Laskelmista jätettiin pois aamun kulutuspiikki, jotta saadaan realistisempi kuva tyhjäkäynnin energiankulutuksesta.						
	Teho	Aika	Vuotojen osuus	Kustannukset		
	kW	h	%	€/päivä	€/viikko	€/vuosi
Aktiivikäyttö	17,9	7	41,4	9,77	48,87	2345,62
Aamu + iltapäivä	10,1	2	9,0	1,58	7,88	378,14
Yhteensä	16,2	9	52,2	11,35	56,75	2723,76
Vuodot				5,46	27,32	1311,41

Liite 2. Käyttäjäkyselylomake**Tila / yksikkö:****Haastateltavat:****Mihin paineilmaa käytetään tiloissa + tulevaisuuden mahdolliset tarpeet? (Laitteet, työkalut, ilmanpaineen taso, yms. vaatimukset, jne)****Kuinka suurella käytöllä paineilma on tiloissa (Käyttöaste/ käyttöjaksot eri laitteilla, työkaluilla)****Järjestelmän toimivuus? (Ongelmia painetasojen kanssa, ilman laadun kanssa?)****Onko tietoa sähkötoimisista vaihtoehtoista työkaluille jotka tällä hetkellä toimivat paineilmalla?****Tyytyväisyys järjestelmän kokonaistoimivuuteen, muuta asiaa?**

Liite 3. Pääkompressori Gardner Denver VS40 tekniset tiedot

**Gardner
Denver**
Välilyhytyskompressori
29.03.2001

Tekniset tiedot

400V 50/60Hz		VS 40-7,5	VS 40-10	VS 40-13
Tuotto ja tehon tarve				
Normaali työpaine	bar	7,0	9,0	12,0
Tuotto max kierrosnopeudella normaalilla työpaineella	m ³ /min	6,50	5,73	4,60
Tuotto min kierrosnopeudella normaalilla työpaineella	m ³ /min	1,18	1,19	1,42
Akseliteho max. kierrosnopeudella norm. työpaineella	kW	46,0	43,0	41,0
Akseliteho min. kierrosnopeudella norm. työpaineella	kW	9,6	11,6	15,3
Max. työpaine	bar	7,5	10,0	13,0
Min. työpaine	bar	5,0	5,0	5,0
Min./Max. taajuus	Hz	24/111	30/111	36/93
Välitys		ihhna	hihna	hihna
Jäähdytys				
Sallittu ympäristön lämpötila	°C	0 - 40	0 - 40	0 - 40
Lähtevän paineilman lämpötilaero	°C	10	10	10
Ilmajäähdytteinen kompressori				
Jäähdytysilmavirta	m ³ /s	1,8	1,8	1,8
Jäähdytysilman max. painehäviö	Pa	60,0	60,0	60,0
Jäähdytysilman lämpötilan nousu	°C	19,0	19,0	19,0
Vesijäähdytteinen kompressori				
Jäähdytysveden virta	l/s	0,34	0,32	0,31
Vesi sisään / vesi ulos	°C	20/50	20/50	20/50
Minimipaine	bar	1,5	1,5	1,5
Öljyjäähdyttimen lämpöteho	kW	35,0	32,0	31,0
Jälkijäähdyttimen lämpöteho	kW	8,3	7,7	7,4
Sähkömoottori				
Päämoottori: F-luokka, IP55	kW	40,0	40,0	40,0
Kierrosnopeus min/max	rpm	700/3240	870/3260	1050/2720
Tuuletinmoottori	kW			
Kierrosnopeus	rpm			
Sulakkeet	A	100	100	100
Virta	A	85	85	85
Ohjausjännite	V	230/24	230/24	230/24
Yleiset tekniset tiedot				
Öljymäärä	l	11,0	11,0	11,0
Öljypitoisuus	mg/m ³	2,0	2,0	2,0
Kompressorin melu (Cagi Pneurop PMSNTC2.2, ±3dB)				
korilla	dB(A)	79	79	79
lisä-äänenvaimentimella	dB(A)	68	68	68
Kompressorin paino				
korilla	kg	685	685	685
lisä-äänenvaimentimella	kg	760	760	760

Liite 4. Varakompressorit Gardner Denver F37 - Enduro tekniset tiedot

Tekniset tiedot

TAMRDOR
COMPRESSORS
30.10.1992

F37- Enduro 220/380/415/660V 50Hz		8	10	13
Tuotto ja tehon tarve				
Normaali työpaine	bar	7	9	12
Tuotto normaalilla työpaineella	m ³ /min	5,90	5,35	4,75
Akseliteho norm.työpaineella	kW	37,9	37,9	37,9
Max.työpaine	bar	8	10	13
Tuotto max.työpaineella	m ³ /min	5,85	5,30	4,70
Min.työpaine	bar	3	3	3
Akseliteho tyhjällä ynnillä	kW	9,2	8,4	7,2
Ruuvircottorin pyörimisnopeus	rpm	5260	4830	3910
Jäähdytys				
Jäähdytysväliaine	A/W	ilma/vesi	ilma/vesi	ilma/vesi
Max.ympäristön lämpötila	°C	40	40	40
Lähtevän paineilman Δt	A/W	7/5	7/5	7/5
Ilmajäähdytteinen				
Jäähdytysilmavirta	m ³ /s	1,9	1,9	1,9
Jäähdytysilman kanavointi	mm	600x680	600x680	600x680
Max.jäähdytysilman painehäviö	Pa	60	60	60
Jäähdytysilman lämpötilan nousu	°C	16	16	16
Vesijäähdytteinen				
Jäähdytysveden virtaus	l/s	0,15	0,15	0,15
Sisääntulovesi/ulostulovesi	°C	15/65	15/65	15/65
Minimipaine	bar	1,5	1,5	1,5
Vesiliitännät		R ³ / ₄ ulko	R ³ / ₄ ulko	R ³ / ₄ ulko
Öljyjäähdyttimen lämpöteho	kW	30	30	30
Jäikijäähdyttimen lämpöteho	kW	6	6	6
Sähkömoottori				
Päämoottori:F- luokka, IP 54	kW	37	37	37
Nimellispyörimisnopeus	rpm	3000	3000	3000
Sulake(max.) (380/660V)	A	125/80	125/80	125/80
Max.virta (380/660V)	A	80/47	80/47	80/47
Yleiset tekniset tiedot				
Öljymäärä	l	12	12	12
Paineilmaliitäntä		R1 ¹ / ₄ ulko	R1 ¹ / ₄ ulko	R1 ¹ / ₄ ulko
Melutaso				
- ilman Novox- koria	dB(A)	82	82	82
- Novox- korilla	dB(A)	74	74	74
Kompressorin paino				
- ilman Novox- koria	kg	545	545	545
- Novox- korilla	kg	592	592	592
Mittapiirustus		3- 035 758	3- 035 758	3- 035 758