



PAINEILMAVERKON KUNNON KARTOITUS

Janne Mäenpää

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio

JANNE MÄENPÄÄ:
Paineilmaverkon kunnan kartoitus

Opinnäytetyö 48 sivua, joista liitteitä 11 sivua
Toukokuu 2015

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa paineilmaverkon energiatehokkuutta. Työ kohdistui enimmäkseen verkon vuotoihin kuluvan energian ja kustannusten määrään. Kohteena oli Tampereen seudun ammattiopiston Hervannan toimipiste.

Työssä tehtiin virtausmittauksia löydettyihin vuotokohtiin ja havainnollistettiin vuodoista aiheutuvat vuotuiset kustannukset. Työhön kuului myös paineilmaverkon läpikäynti ja kompressoreiden toiminnan tarkastus.

Mittauksilla saatiin kartoitettua suurimmista vuodoista aiheutuva ilman kulutus. Verkon paineilmaputket olivat vielä käyttökelpoisia, mutta niiden käyttöikä alkaa olla lopussa. Kompressoreiden pintapuolisella tarkastuksella saatiin selville jatkotoimenpiteiden tarve. Paineilmaverkosta piirrettiin kuvat Microsoft Office visio -ohjelmalla helpottamaan työn kulkua sekä myöhemmin käytettäväksi löydettyjen vuotokohtien paikantamisessa.

Energiatehokkuuden parantamiseksi ja kustannusten vähentämiseksi tilanne vaatii jatko-toimenpiteitä ainakin vuotojen ja kompressorien ohjauksen osalta. Koko järjestelmän peruskorjausta on aiheellista miettiä lähivuosien kuluessa toiminnan takaamiseksi.

Asiasanat: paineilma, paineilmaverkko, energiatehokkuus, vuodot, kustannukset

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Machine Automation

JANNE MÄENPÄÄ:
Survey of a Compressed Air Network

Bachelor's thesis 48 pages, appendices 11 pages
May 2015

The objective of this thesis was to survey the energy efficiency of a compressed air network. The focus of work was mostly on the deficit caused by leaks in the network and operating costs. The target was an office of Hervanta vocational college in Tampere region.

In the work current measurements were done on the leaks that had been found and the costs caused by the leaks were illustrated. The compressed air network was also inspected visually and the functionality of compressors was checked.

With the measurements the air consumption caused by the biggest leaks was surveyed. The compressed air piping of the network was still useful but due to the pipes age service life begins to be in the end. Through the superficial inspection of compressors a need for the extension measures was found out. Pictures of the compressed air network were drawn with the Microsoft Visio program to facilitate the progress of the work to be used later in the locating of the leaks that were found.

To improve energy efficiency and to reduce costs the situation requires further measures at least for the leaks and control of compressors. It is justified to think about the renovation of the whole system in the course of the next few years to guarantee operation.

Key words: compressed air, compressed air network, energy efficiency, leaks, costs

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TAMPEREEN SEUDUN AMMATTIOPISTO.....	8
3	KOMPRESSORIT.....	9
3.1	Kompressorityypit	9
3.1.1	Ruuvikompressori	9
4	PAINEILMAVERKKOTYYPIT	10
4.1	Suora verkko	10
4.2	Rengasverkko.....	10
4.3	Yhdistelmäverkko	11
5	PAINEILMAPUTKET	12
5.1	Tärkeimmät ominaisuudet ja materiaalit	12
6	PAINEILMAN JÄLKIKÄSITTELY	13
6.1	Paineilman epäpuhtaudet	13
6.2	Paineilman kuivaaminen.....	13
6.2.1	Jälkijäähdytin	14
6.2.2	Jäähdytyskuivain.....	14
6.2.3	Adsorptiokuivain.....	15
6.2.4	Absorptiokuivain.....	16
6.2.5	Ylipuristus	17
6.3	Öljyn suodatus	17
7	PAINEILMAJÄRJESTELMÄN TALOUDELLISUUS.....	19
7.1	Kustannukset.....	19
7.2	Vuodot	19
7.3	Energiansäästö	20
8	Tredun Hervannan yksikön paineilmajärjestelmä	21
8.1	Kompressorikeskus	21
8.2	Paineilman jälkikäsitteily.....	23
8.3	Paineilmaputket	24
8.4	Paineilmaverkko	26
9	PAINEILMAVERKOSTON KARTOITUS	27
9.1	Alkutiedustelu	27
9.2	Mittalaitteisto	27
9.3	Mittaukset	28
9.3.1	Yksittäinen mittaustulos ja vuodosta aiheutuva kustannus.....	29
9.4	Laskelmat.....	30
9.4.1	ANR	30

9.4.2	Yksittäisestä vuodosta aiheutuva kustannus	30
9.4.3	Vuodoista aiheutuvat kokonaiskustannukset	31
9.5	Verkon tarkastus	32
9.6	Kompressoreiden ohjauksen tarkastus	33
10	KEHITYSEHDOTUKSET	35
10.1	Vuotojen korjaukset	35
10.2	Kompressorien ohjaus	35
10.3	Putkistojen uusinta	35
10.4	Muuta huomioitavaa	35
11	POHDINTA	36
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	38
Liite 1.	Tamrock 250 E tekniset tiedot	38
Liite 2.	Tamrock F18 ja F37 tekniset tiedot	39
Liite 3.	Virtausmittarin tekniset tiedot	40
Liite 4.	Mittausdata	41
Liite 5.	Mittaukset	43
Liite 6.	C-rakennuksen paineilmaverkko	45
Liite 7.	D-rakennuksen paineilmaverkko	46
Liite 8.	E-rakennuksen paineilmaverkko	47
Liite 9.	Vi-rakennuksen paineilmaverkko	48

LYHENTEET

ANR	Conditions de l'atmosphère normale de référence
PP	Polypropeeni
RH	Relative humidity
Tredu	Tampereen seudun ammattiopisto
Vi	Valimoinstituutti

1 JOHDANTO

Paineilman energiatehokkuudella on merkittävä vaikutus yritysten vuosittaisissa kustannuksissa. Energiatehokkuutta parantamalla yrityksissä on saatu säästöjä vuotuisessa paineilman kulutuksessa 1000–100 000 euroon. Vielä on kuitenkin paljon yrityksiä, joissa näitä säästömahdollisuuksia ei ole huomattu.

Tämän opinnäytetyön aihe on rajattu koskemaan paineilmaverkon vuotoja, sen yleiskuntoa sekä kompressoreiden toiminnan tarkastusta. Työn pääpaino on paineilmaverkon vuodot ja niistä aiheutuvat vuotuiset kustannukset.

Tavoitteena oli selvittää työn tilaajalle säästömahdollisuudet pelkästään jo vuotojen minimoimisella. Työn kohteena on Tredun Tampereen Hervannassa sijaitseva toimipiste ja tähän työhön on otettu kohteeksi sen viisi rakennusta. Työssä tehtiin kartoitus näiden rakennusten paineilmaverkkoon ja havainnollistettiin löydetyistä vuodoista aiheutuvat vuotuiset kustannukset. Kompressoreille tehtiin pintapuolinen tarkastus, jossa selvisi niiden tarvitsemat jatkotoimenpiteet.

2 TAMPEREEN SEUDUN AMMATTIOPISTO

Tredu tarjoaa laajaa monen eri alan koulutusta nuorille ja aikuisille. Se on aloittanut toimintansa 1.1.2013 Pirkanmaan koulutus konsernikuntayhtymän lakkauttamisen jälkeen, jolloin koulutustehtävä ja toiminnot siirrettiin hoidettavaksi Tampereen kaupungille isäntäkuntamallilla. Ensimmäisenä lukukautena Tredussa aloitti noin 8000 nuorta ja melkein 10 000 aikuista. Tällä hetkellä nuorten koulutuksessa on noin 8000 opiskelijaa ja aikuisten koulutuksessa saman verran. (Tredu, 2015)

Tredulla on 20 toimipistettä ja ne sijaitsevat Tampereella, Ylöjärvellä, Nokiolla, Kangasalla, Lempäälässä, Orivedellä, Ikaalisissa, Virroilla sekä Pirkkalassa. Koulutuspalveluja on tarjolla Pirkanmaan lisäksi myös muualla Suomessa. (Tredu, 2015)

Perustutkintoja on 32, ammattitutkintoja 36 ja erikoisammattitutkintoja 15. Lisäksi tarjolla on kotikansainvälistymistä ja kansainvälisiä opintopolkuja sekä myös valmentavaa koulutusta maahanmuuttajille. (Tredu, 2015) Alla on kuva Tredun käyttämästä logosta.



KUVA 1. Tredun logo (Tredu, 2015)

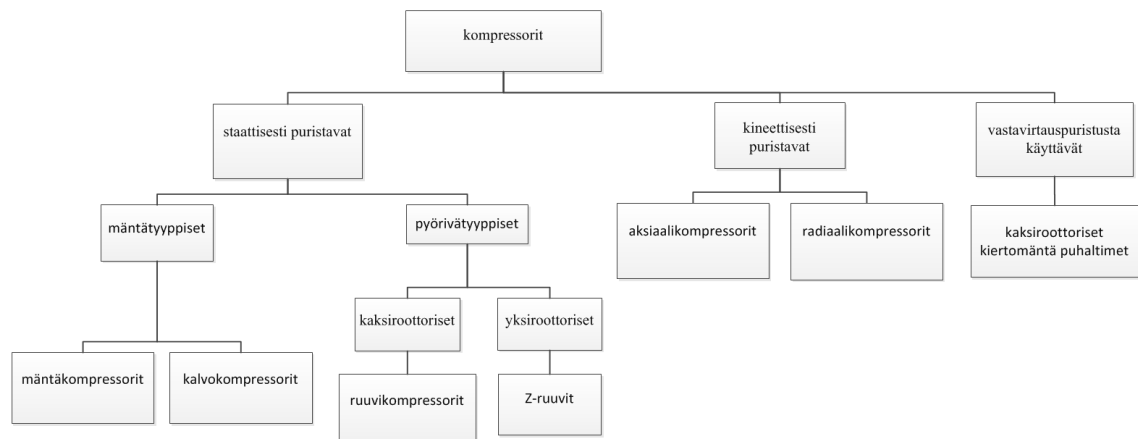
3 KOMPRESSORIT

3.1 Kompressorityypit

Kompressorilla tarkoitetaan laitetta, jolla saadaan kaasumaisen väliaineen painetta nostettua niin, että loppupaine on vähintään kaksinkertainen imupaineeseen verrattuna. (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 43)

Kompressorityypit voidaan jakaa kolmeen ryhmään puristuksen perusteella.

Nämä eri kompressorityypit on ryhmitelty kuviossa 1. Tässä työssä käytettävät kompressorit ovat ruuvikompressoreita, joten muihin kompressoreihin ei keskitytä tässä työssä tämän tarkemmin.



KUVIO 1. Kompressoreiden sukupuu

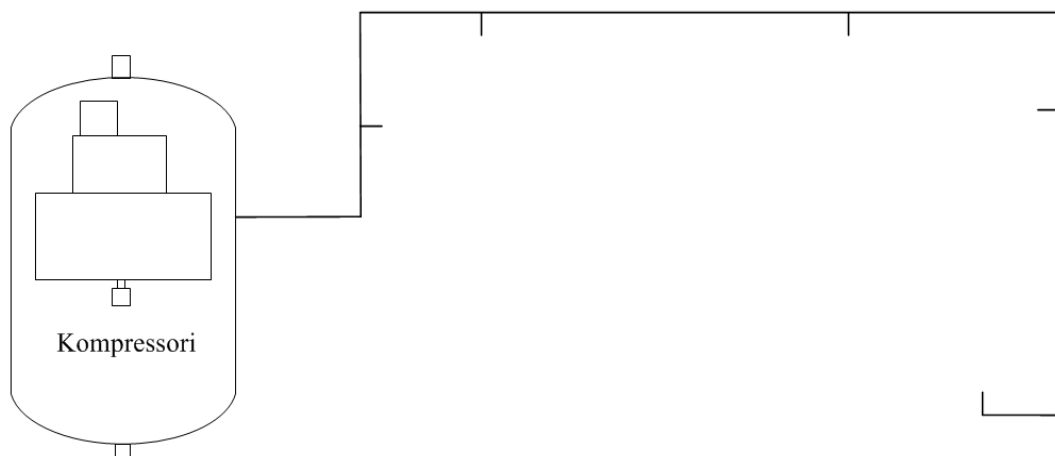
3.1.1 Ruuvikompressorit

Kompressoriyksikön puristustila koostuu kahdesta toistensa kanssa rynnössä olevasta roottorista, joita runko ympäröi. Ilma imetään roottoreiden hampaiden väliin rungossa olevan imuaukon kautta roottoreiden urien ollessa imuaukon kohdalla. Roottoreiden pyöriessä hampaiden ryntökohta siirtyy ja yhteys imuaukkoon loppuu. Ilma jää suljettuun tilaan ja seuraavan pyörinnän kuluessa hampaiden välinen tilan muodostama tilavuus pienenee ja imetty ilma puristuu. Paineilma virtaa säiliöön poistoaukon kautta, kun haluttu puristus on saavutettu. (Tamrock compressed air 1985, 4)

4 PAINEILMAVERKKOTYYPIT

4.1 Suora verkko

Suora verkko on rakenteeltaan yksinkertainen ja se sopii parhaiten käytettäväksi pieniin järjestelmiin, joissa ilman tarve on ulosottopisteissä suunnilleen samansuuruinen ja epä-säännöllinen. Rakenteelle ominaisesti verkossa käytetään vain yhtä etenevää putkea, josta haaroitetaan ulosottoputket käyttökohteisiin. Putken kokoa voidaan pienentää edessä verkoston loppupäätä kohti. Huonona puolena tällaisessa rakenteessa on, kun etenevä putki suljetaan jostain kohdasta, niin koko loppuverkon toiminta lakkaa. Ongelmaksi voi muodostua myös verkon laajentaminen, koska painehäviöt voivat nousta liian suuriksi. Verkkoon on mahdollista asentaa lisäpainesäiliö, jonka avulla voidaan verkkoon saada satunnaisesti suuria ilmamääriä. Tämä voi olla yksi ratkaisu painehäviöitä vastaan verkkoa laajennettaessa. (Ellman, Hautanen, järvinen, Simpura 2002, 60) Suoran verkon rakenne on esitetty kuviossa 2.

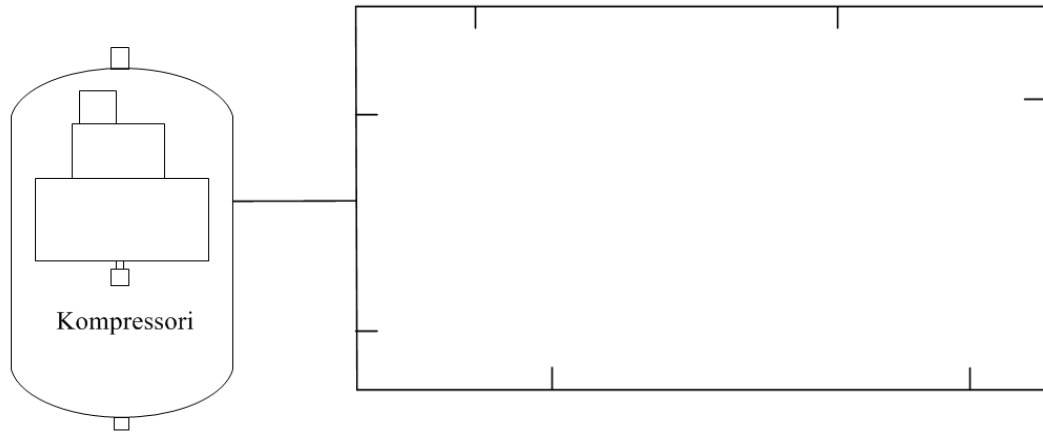


KUVIO 2. Suora verkko

4.2 Rengasverkko

Rengasverkon rakenne on hieman monimutkaisempi ja se on kalliimpi toteuttaa, kuin suora verkko. Rakenne mahdollistaa ilman syötön kulutuspiisteeseen kahdesta suunnasta. Tällä saavutetaan suurellakin paineilman kulutuksella tasainen jakelu. Tämä on yle-

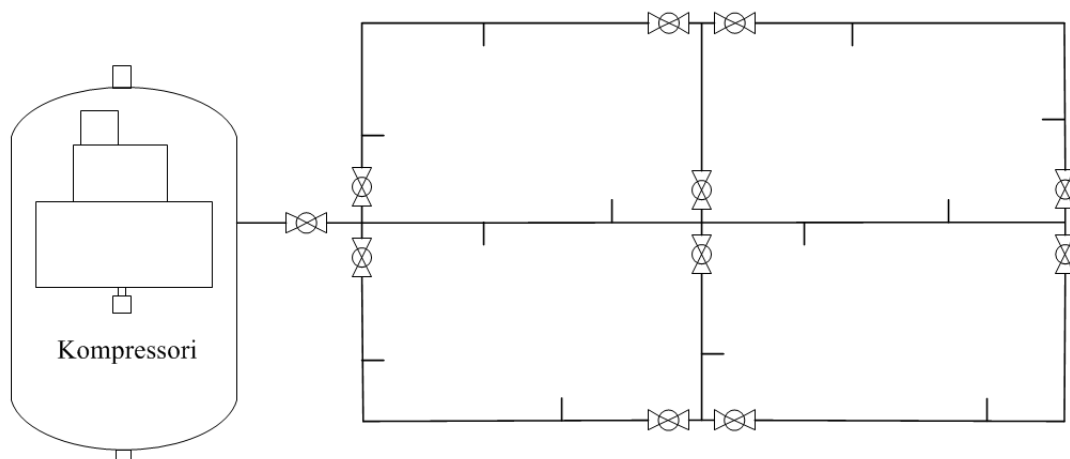
sin käytettävä verkko tyyppi runkoverkkoa muodostettaessa ja se sopii hyvin suurin ja laajoihin järjestelmiin. Rengasverkon rakenne on esitetty kuviossa 3. (Ellman ym. 2002, 60)



KUVIO 3. Rengasverkko

4.3 Yhdistelmäverkko

Yhdistelmäverkko koostuu rengasverkosta, jonka eri osia on yhdistetty pitkittäin ja poikittain kulkevilla putkilla. Sulkuventtiileitä asentamalla sopiviin paikkoihin saadaan verkon osa suljettua, jos sitä ei käytetä tai sille halutaan tehdä huolto- tai korjaustöitä. Vuotojen paikantaminen on myös näin helpompaa. (Ellman ym. 2002, 60) Rengasverkon tapaan on yhdistelmäverkko myös hyvin yleisesti käytettävissä oleva verkko tyyppi. Yhdistelmäverkon rakenne on esitetty kuviossa 4.



KUVIO 4. Yhdistelmäverkko

5 PAINEILMAPUTKET

5.1 Tärkeimmät ominaisuudet ja materiaalit

Paineilmaputkia valittaessa tärkeimpiä ominaisuuksia on helppo asennettavuus, korroosionkestävyys, paineen ja lämpötilan kesto. Hankintakustannukset määräytyvät putkelle asetettujen vaatimusten mukaan. Vaatimustasoon vaikuttavat käyttöympäristö. (Ellman ym. 2002, 64)

Yleisimmin paineilmaverkossa käytettävä putkimateriaali on saumaton hitsattava teräsputki. Tämä ei kuitenkaan ole hyvä vaihtoehto jos käytetään öljytöntä kompressoria, hyvin tehokkaita öljynsuodattimia eikä käytössä ole paineilman kuivainta. Tällaisissa tapauksissa suositellaan käytettäväksi ruostumatonta materiaalia, koska muuten putkiston sisäpuolinen korrosio pääsee tuhoamaan verkon nopeasti. (Ellman ym. 2002, 64)

Galvanoitua putkea voidaan käyttää korroosioalttiissa ympäristössä käytettäessä kierretai laippaliitoksia. Näiden liitosten ongelma on kuitenkin vuotoherkkyys ja hinta. Galvanoituja putkia voidaan liittää myös hitsaamalla mutta tällöin menetetään korroosiosuoja sauman kohdalta. (Ellman ym. 2002, 64)

Muovi sopii myös paineilmaputken materiaaliksi. Sen hyvä ominaisuus on ruostumatomuus ja huonona ominaisuutena voidaan pitää UV-säteilyn kestoja sekä paineen kestävyyden vaihtelua lämpötilan mukaan. Putkien yhteen liittäminen tapahtuu hitsaamalla tai tähän tarkoitetuilla liittimillä. Lämpölaajeneminen on muoviputkelle ominaista ja se on otettava asennuksessa huomioon. (Ellman ym. 2002, 64)

Kupariputkea on mahdollista käyttää paineilma putkena, mutta se on kalliimpi vaihtoehto kuin muut. Hyvin korroosioalttiissa ympäristössä jää usein ainoaksi vaihtoehdoksi käyttää putkimateriaalina ruostumatonta tai haponkestävää putkea. Oikein tehdyillä liitoksilla nämä putket kestävät hyvin korroosiota. (Airila ym.1983, 102)

6 PAINEILMAN JÄLKIKÄSITTELY

6.1 Paineilman epäpuhtaudet

Paineilmaverkon vuodot voivat aiheutua osittain paineilman epäpuhtauksista, joten sitä tulee jälkikäsitellä niiden välttämiseksi verkossa. Tietynlaiset epäpuhtaudet pääsevät kulkeutumaan aina paineilmajärjestelmään kompressorin imu-suodatuksesta huolimatta. Paineilmajärjestelmässä tyypillisesti esiintyviä epäpuhtauksia ovat nestemäinen vesi, öljy sekä kiinteät hiukkaset. (Ellman, Hautanen, järvinen, Simpura 2002, 52)

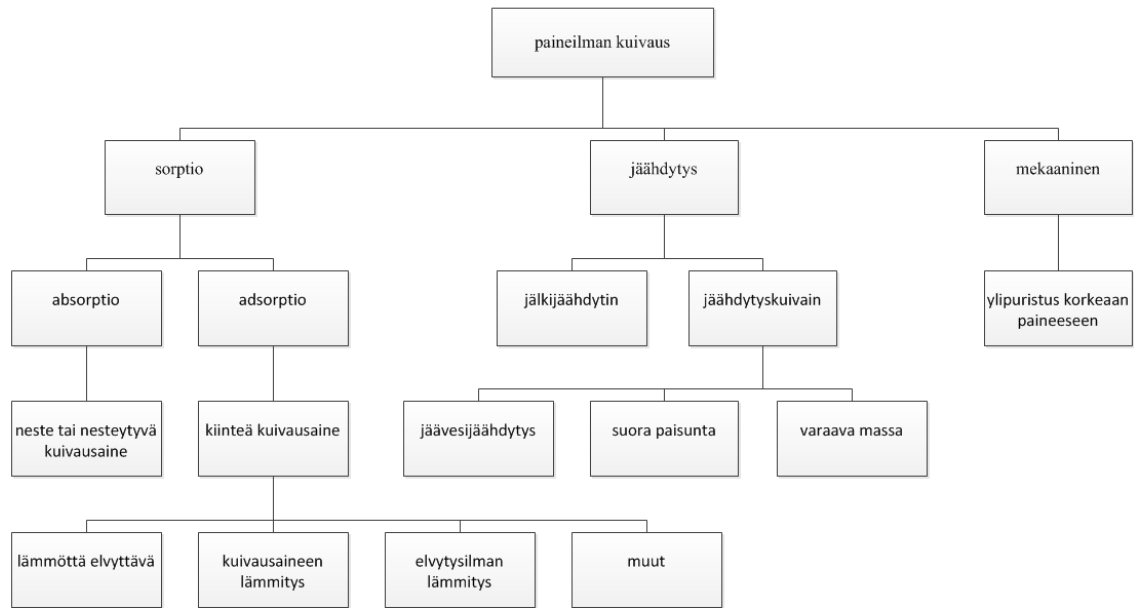
Suurin ongelma on nestemäisessä muodossa oleva vesi, joka paineilmajärjestelmään päästessään voi ruostuttaa putkistoa putkiston materiaalista riippuen. Se haittaa myös toimilaitteiden toimintaa. Veden pääsy järjestelmään alkaa siitä kun kosteus kulkeutuu ilman mukana kompressorin läpi. Puristuksen jälkeen vesi on höyrymäisessä muodossa korkeasta lämpötilasta johtuen ja ilman lämpötilan laskiessa osa vesihöyrystä tiivistyy vedeksi. Vedestä päästään eroon kuivattamalla ilmaa erilaisilla menetelmillä. (Ellman ym. 2002, 52)

Öllyvoidellusta kompressorista kulkeutuu aina öljyä paineilman mukana paineilmajärjestelmään. öljymäärät jäävät usein pieniksi, eikä tästä synny usein varsinaista haittaa käyttökohteissa. Suodattamalla päästään eroon osasta öljyä, mutta täysin öljytöntä paineilmaa tarvittaessa on käytettävä öljyttömiä kompressoreita. (Ellman ym. 2002, 52)

Järjestelmään kulkeutuvat hiukkaset ovat usein pieniä ja osa niistä saadaan poistettua lauhteenpoistimilla. Loput hiukkaset saadaan poistettua suodattamalla ilma tarpeen mukaan. (Ellman ym. 2002, 52)

6.2 Paineilman kuivaaminen

Paineilman kuivauksessa käytetään sorptio, jäädytys ja mekaanista menetelmää. Kuvi-
ossa 5 on esitetty nämä kuivauksen eri menetelmät ja niiden alakohdat.



KUVIO 5. Sukupuu paineilman kuivauksesta

6.2.1 Jälkijäähdytin

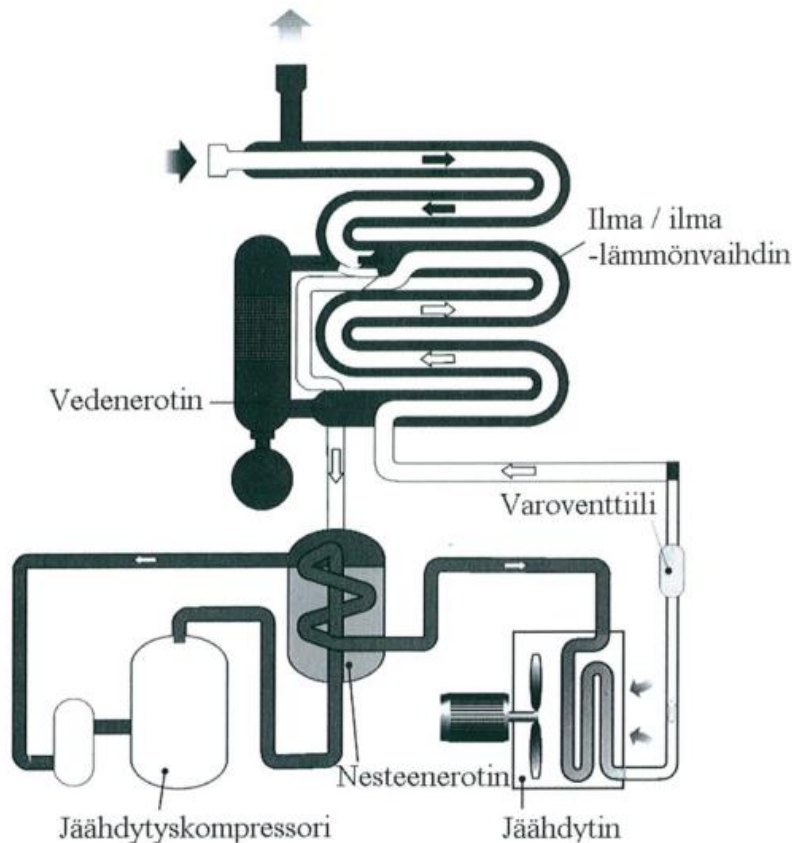
”Jälkijäähdytin on toiminnaltaan lämmönvaihdin, joka jäähdyttää paineilman puristuksen jälkeen ja erottaa siitä vettä.” (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 53)

Jälkijäähdytin sijoitetaan heti kompressorin jälkeen ja se on tavallisesti liitetty osaksi kompressoriyksikköä. Jäähdyttämiseen käytetään vettä tai ilmaa ja vedenpoisto tällä menetelmällä on 80–90 % tulevan ilman absoluuttisesta kosteudesta. Jäähdyttimen jälkeen paineilman lämpötila on noin 10 °C jäähdyttävää väliainetta korkeampi. (Ellman ym. 2002, 53)

6.2.2 Jäähdytyskuivain

Jäähdytyskuivaimen rakenteeseen kuuluu kaksi kiertopiiriä. Järjestelmässä kuivattava ilma kulkee lämmönvaihtimen sekä vedenerottimen läpi ja jäähdytykseen käytettävä kylmäaine kulkee omassa jäähdytyspiirissään. Tässä menetelmässä tuleva lämmin ilma jäähtyy kulkiessaan lämmönvaihtimen kautta vedenerottimeen, johon osa ilman sisältämästä kosteudesta jää. Kuivattava ilma johdetaan edelleen jäähdytyspiirin putkea ympäröimään vaippaan, jossa ilma jäähtyy vielä lisää aina noin +2 °C lämpötilaan. Tällä saa-

daan ilmassa jäljellä oleva kosteus kondensoitumaan ja vesi poistettua vedenerottimen avulla. Lopulta kuivattu kylmä ilma johdetaan tuloilmaputkea ympäröivään vaippaan, jolloin ilma lämpenee ja se poistetaan järjestelmään ylhäältä. (Ellman ym. 2002, 53–54) Jäähdytinkuivaimen toiminta on esitetty kuviossa 6.

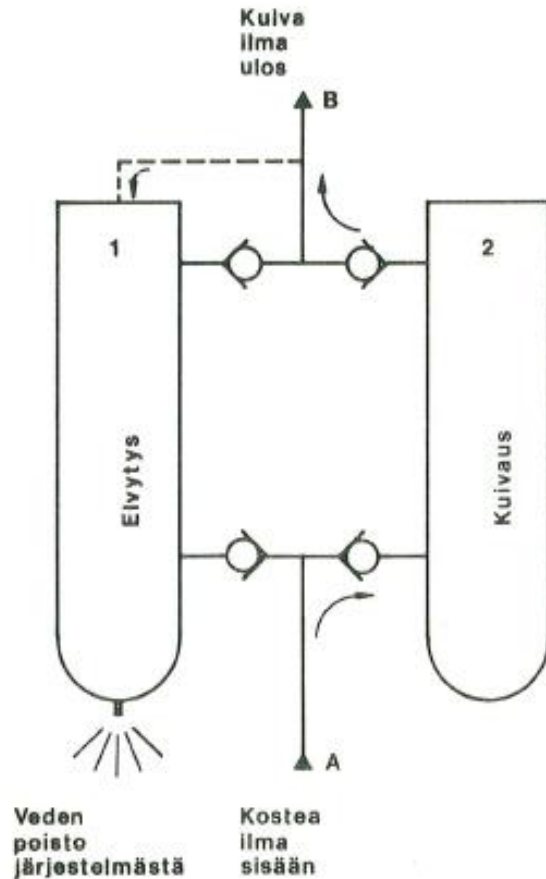


KUVIO 6. Jäähdytyskuivaimen toiminta (Ellman ym. 2002, 54)

6.2.3 Adsorptiokuivain

”Adsorptiokuivaaminen perustuu kiinteän tai nestemäisen aineen kykyyn sitoa vesimolekyylejä pinnalleen.” (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 55)

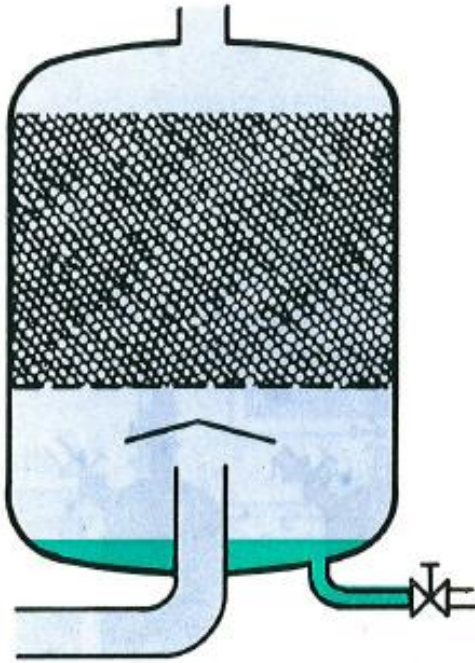
Kuivain koostuu yleensä kahdesta rinnakkaisesta kuivausainesäiliöstä. Paineilma ohjataan kuivausainesäiliöön ja sitä kautta järjestelmään. Käytössä olevan kuivausaineen kyllästyttyä johdetaan osa paineilmasta toiseen kuivausainesäiliöön, jolloin kyllästynyttä kuivausainetta saadaan kuivatettua lämpimän ilmavirtauksen tai sähkövastusten avulla. Käytettäessä tietynlaisia kuivausaineita paineilma soveltuu käytettäväksi myös ulkotiloissa. (Ellman ym. 2002, 55) Adsorptiokuivaimen toiminta on esitetty kuviossa 7.



KUVIO 7. Adsorptiokuivaimen toiminta (Airila ym. 1983, 59)

6.2.4 Absorptiokuivain

Absorptiokuivaus on kemiallinen menetelmä, jossa paineilma kulkee kuivausainekerroksen läpi. Veden tai vesihöyryn joutuessa kosketuksiin kuivausaineen kanssa poistuu vesi kuivausaine-vesiseoksena. Seos poistetaan säännöllisesti käsin tai automaattisesti ja kuivausainetta lisätään tarpeen mukaan noin 2–4 kertaa vuodessa. Öljysumu ja öljyhiukkaset suodattuvat myös absorptiokuivaajassa. Näiden suuret määrät kuitenkin haittaavat kuivaimen toimintaa ja tästä syystä sen eteen on hyvä asentaa öljynsuodatin. Absorptiokuivaimen etuna on helppo asennettavuus, lisäenergiaa ei tarvita lainkaan ja vähäinen mekaaninen kuluvuus, koska se ei sisällä liikkuvia osia. (Johansson, Kauhanen 1979, 47) Tämä kuivausmenetelmä on vanha ja yleisimmin käytössä vain pienissä sovelluksissa, kuten ajoneuvojen paineilmajarrujärjestelmissä. Absorptiokuivaimen toiminta on esitetty Kuviossa 8.



KUVIO 8. Absorptiokuivaimen toiminta (Johansson, Kauhanen 1979, 47)

6.2.5 Ylipuristus

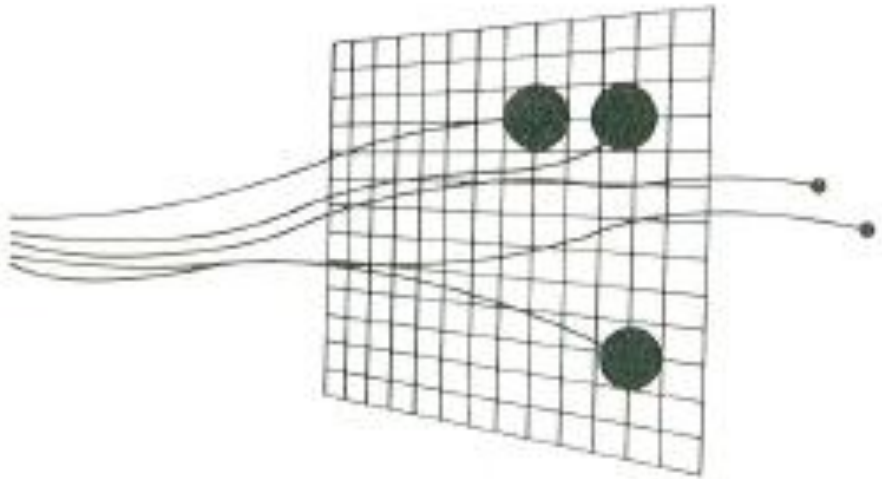
Paineilma jäädytetään huomattavasti käyttöpainetta korkeammassa paineessa ja tiivistynyt kosteus poistetaan. Tämän jälkeen ilman annetaan laajeta käyttöpaineeseen, jolloin paineilman suhteellinen kosteus laskee eikä vedeksi tiivistymistä enää tapahdu. Tämä menetelmä on vanha ja energiakustannuksellisista syistä sitä käytetään vain pienissä järjestelmissä tai toiminnan ollessa hyvin jaksottaista. (Airila, Hallikainen, Kääpä, Laurila 1983, 56)

6.3 Öljyn suodatus

Paineilmassa öljyä voi esiintyä kolmessa eri olomuodossa, nesteinä, sumuna ja kaasuna. Vaikeimpia näistä on poistaa öljysumua ja kaasuja. (Ellman ym. 2002, 56) Öljyn suodattamiseen on käytössä kolme erilaista suodatustekniikkaa:

- mekaaninen suodatus
- yhdistymissuodatus
- adsorptiosuodatus

Mekaanisen suodatuksen toimintaperiaate perustuu siihen, että partikkelit ohjataan niitä pienemmän verkon tai reiän läpi jolloin reikää suuremmat partikkelit suodattuvat pois. Tällä suodatuksella ei juurikaan saada suodatettua öljyhöyryjä ja kaasuja. Hyvin tiheällä suodattimella painehäviö kasvaa nopeasti. Suodattimen pinta-alaa kasvattamalla saadaan painehäviöitä pienennettyä, mutta sen koko kasvaa nopeasti epäkäytännölliseksi. Tätä menetelmää käytetäänkin usein vain esisuodatuksena. (Ellman ym. 2002, 56) Mekaanisen suodatuksen toimintaperiaate on esitetty kuviossa 9.



KUVIO 9. Mekaaninen suodatus. (Airila, Hallikainen, Kääpä, Laurila 1983, 65)

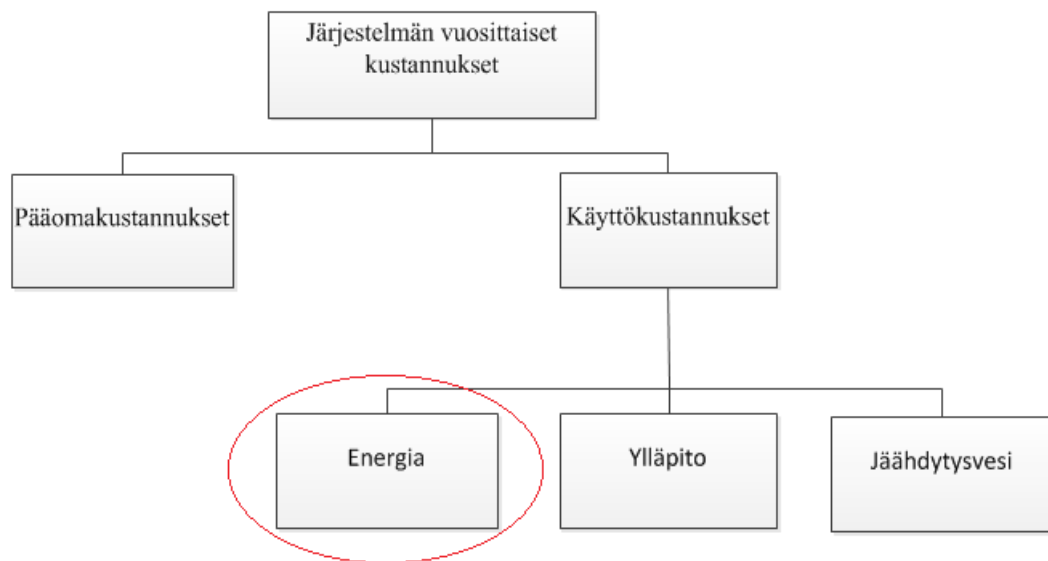
Yhdistymissuodatin koostuu eripaksuisten ja erisuuntaisten hyvin hienojen kuitujen muodostamasta kerroksesta. Ilmavirta kulkee kerroksen läpi, jolloin pienet öljypisarat törmäävät kuituihin yhdistyen suuremmiksi pisaroiksi. Painovoiman avulla suuret pisarat valuvat alas pitkin kuitukerrosta jolloin ne suodattuvat ilmavirrasta. Suodattimeen kulkeutuvat kiinteät partikkelit jäävät kiinni kuituihin. Tämä aiheuttaa paine-eron kasvua, jolloin suodatin tulee vaihtaa. (Airila ym. 1983, 65)

Adsorptiosuodatuksen toiminnassa käytetään hyväksi adheesioita, jonka avulla epäpuhtaudet saadaan sidottua kiinteään adsorptioaineeseen. Adsorptioaineena käytetään yleensä aktiivihiiltä. Ennen suodatinta ilmasta on kuitenkin suodatettava kosteus ja öljyisyys. Tällä varmistetaan adsorptioaineen kyky sitoa höyry- ja kaasumaiset hiilivedyt. Aineen vaihtoajankohta määräytyy sen kyllästymisen mukaan, joten tämänkin takia kosteuden ja öljyisyyden suodatus on tärkeää. (Ellman ym. 2002, 56)

7 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN TALOUDELLISUUS

7.1 Kustannukset

Paineilmajärjestelmän vuosittaiset kustannukset koostuvat kuviossa 10 esitetyistä tekijöistä. Tässä työssä keskitytään kuitenkin vain energiaan ja siitä aiheutuviin kustannuksiin. Tarkemmin ottaen energiaan, jota kuluu johtuen turhasta paineilman kulutuksesta kuten vuodoista.



KUVIO 10. Sukupuu Paineilmajärjestelmän vuosittaisista kustannuksista

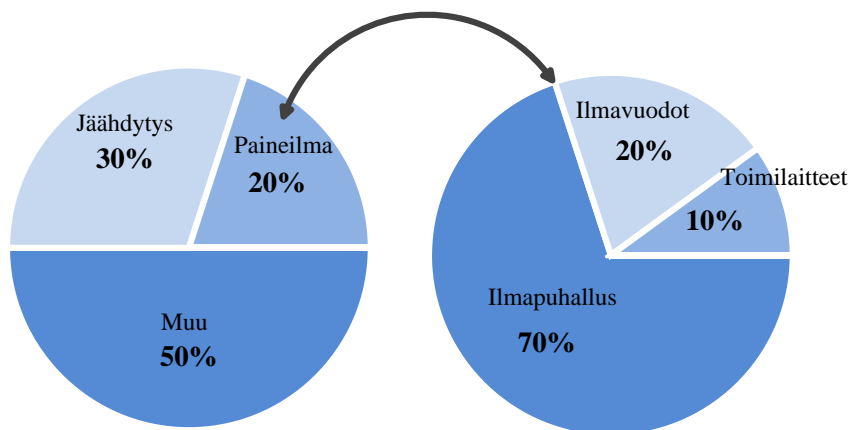
7.2 Vuodot

Taloudellisuutta mietittäessä yksi kustannuksia tuottavia tekijöitä ovat vuodot. Vuosittain vuodoista voi muodostua huomattavia kustannuksia turhan energiankulutuksen muodossa. Vuotojen havaitseminen ja paikallistaminen voi olla kuitenkin vaikeaa. Suurimmat vuodot voidaan havaita kuulolla ja pienempien vuotojen tarkasteluun voidaan käyttää ruiskutettavia, vaahtoavia aineita ja erilaisia mittareita kuten ultraäänivuotomitareita tai virtausmittareita. Yleisimpiä vuotokohtia paineilmajärjestelmässä ovat putki-liitokset, venttiilit, liittimet, verkkoon liitetyt työkalut, lauhteen poistimet, huonosti suljetut tai vuotavat venttiilit ja sulut. (Ellman ym. 2002, 67)

7.3 Energiansäästö

Tällä hetkellä jokaisella toimialalla on halu pienentää kustannuksia ja yksi tapa siihen on energiansäästö. Keskimääräisellä yrityksellä energiaa menee hukkaan vuosittain jopa 20 % käyttämästään energiasta. (Energiansäästö: SMC) Tähän työhön liittyen on paineuduttu kuitenkin vain paineilman käyttöön liittyviin energian säästöihin.

Tutkimusten mukaan Euroopassa on yli 320 000 paineilmajärjestelmää käyttävää tuotantolaitosta. Teollisuuden vuotuiseksi sähkönkulutukseksi Euroopassa on arvioitu 400 TWh, joka voidaan jakaa kolmeen pääalueeseen: jäähdytykseen, paineilmaan ja muihin. Näiden laitosten paineilman tuottamiseen vaadittava sähköenergian määrä on noin 20 % teollisuuden kokonaiskulutuksesta. Tavallisessa laitoksessa 70 % tuotetusta paineilma- ta käytetään puhallussovelluksiin, 10 % toimilaitteiden käyttämiseen ja loput 20 % menee hukkaan vuotoina. Useimmiten paineilmajärjestelmät toimivat energiatehokkuuden kannalta huonosti ja panostamalla energiatehokkuuteen saavutetaan poikkeuksetta 5–50 % säästöt. Kuviossa 11 on vielä esitetty sähkönkulutuksen jakaantuminen. Säästöjen suuruuden havainnollistamiseksi tehdään pieniä laskelmia. Oletetaan että käyttämällä tehokkaampia paineilmajärjestelmiä saavutetaan keskimäärin 33 % säästö. Tämä tarkoittaa, että vuotuinen säästö Euroopan sähkönkulutuksessa on 26 TWh ja keskimääräinen sähkön hinta on 0,09 €/kWh. Tämä tarkoittaa, että kokonaissäästöt energian kulutuksessa pelkkien paineilmajärjestelmien osalta ovat jopa 2340 miljoonaa euroa. Tämän lisäksi estettäisiin 10,5 tonnin hiilidioksidipäästöt ilmakehään. (Energiansäästö: SMC)



KUVIO 11. Teollisuuden sähkönkulutuksen jakaantuminen Euroopassa

8 Tredun Hervannan yksikön paineilmajärjestelmä

8.1 Kompressorikeskus

Kompressorikeskukselta lähtee kaksi runkoputkea, jotka kulkevat maan alla. Yksi putkista on vedetty C-rakennukseen, jonka kautta se kulkee B-rakennukseen. Toinen putki kulkee D-rakennukseen ja siitä edelleen E/Valimo rakennuksen kautta F-rakennukseen. Paineilmaverkon paineistaminen hoidetaan pääasiassa kolmella noin 30 vuotta sitten hankitulla Tamrock merkkisellä ruuvikompressorilla, joita ohjataan vuorottelukeskusten avulla. Kompressorin 1 on malliltaan F18 (kuva 2). Sen sähkömoottorin nimellisteho on 18,5 kW ja tuotto 7 barilla 50l/s. Tarkemmat kompressorien tekniset tiedot löytyvät liitteistä 1–2.



KUVA 2. Kompressorin 1 Tamrock F18 (Kuva: Janne Mäenpää 2015)

Kompressorit 2 on malliltaan F37. Moottorin nimellisteho on 37 kW ja tuotto 7 barilla 89 l/min (kuva 3).



KUVA 3. Kompressorit 2 Tamrock F37 (Kuva: Janne Mäenpää 2015)

Kompressorit 3 on malliltaan 250E. Moottorin nimellisteho on 45 kW ja tuotto on 7 barilla 118l/s (kuva 4).



KUVA 4. Kompressorit 3 Tamrock 250E (Kuva: Janne Mäenpää 2015)

8.2 Paineilman jälkikäsittely

Paineilman kuivaaminen hoidetaan alla olevassa kuvassa olevalla Parker HIROSS PST 140 ilmakuivaimella. Kuivain toimii automaattisesti, joten sille ei tarvitse tehdä säätöjä. Kompressorien ja kuivaimen välissä on öljynsuodatin (kuva 6) ja toinen suodatin on sijoitettu heti ilmakuivaimen jälkeen (kuva 7).



KUVA 5. Ilmakuivain (Kuva: Janne Mäenpää 2015)




KUVA 6. Öljynsuodatin (Kuva: Janne Mäenpää 2015)

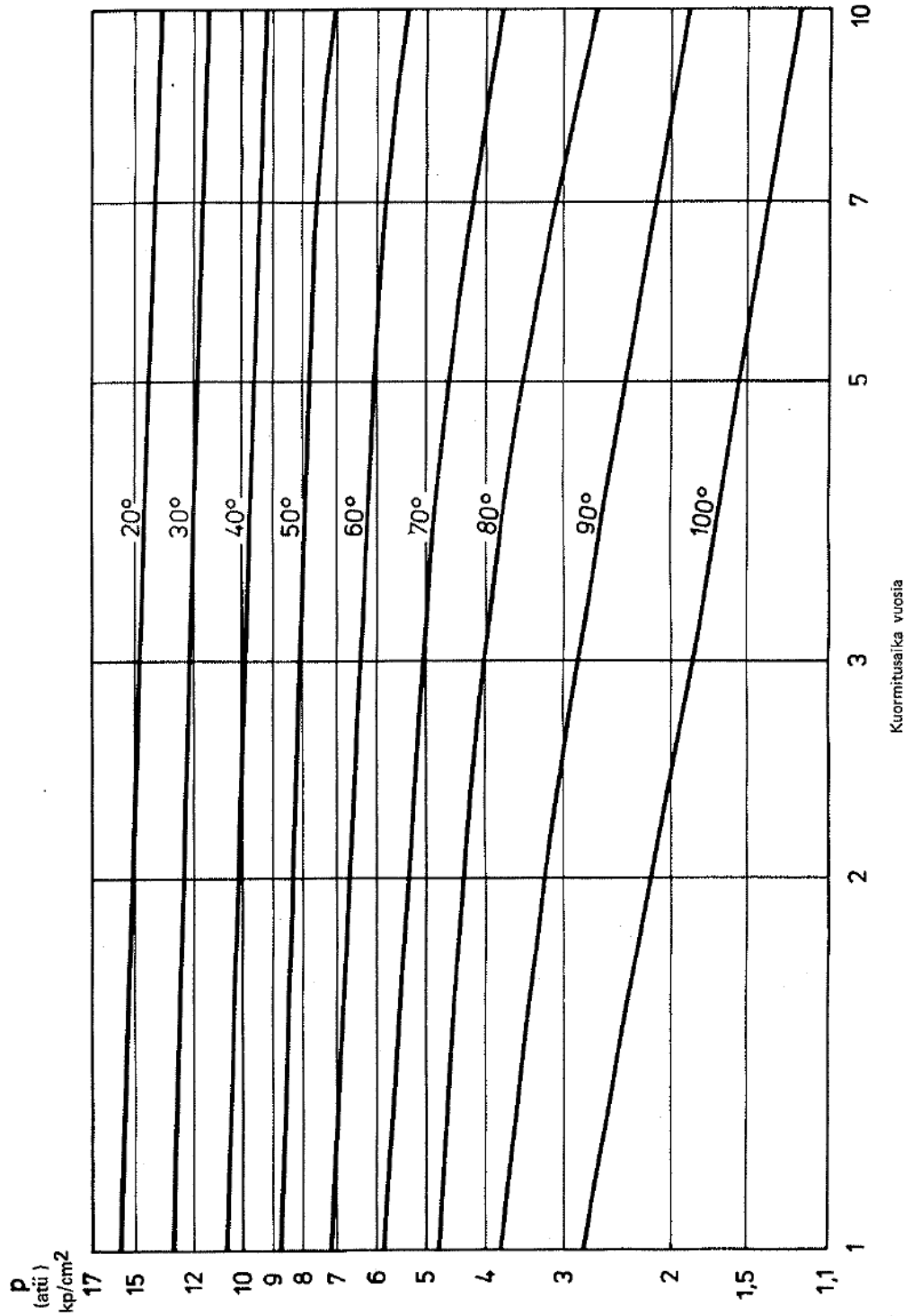


KUVA 7. Suodatin (Kuva: Janne Mäenpää 2015)

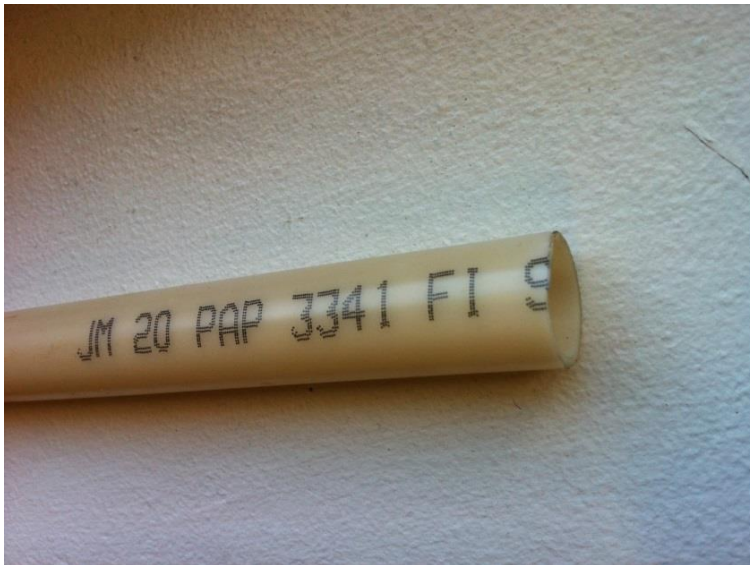
8.3 Paineilmaputket

Paineilmaverkko on rakennettu noin 30 vuotta sitten ja sen putkisto muodostuu polypropeeni putkista (kuva 8), jotka on hitsattu yhteen lämpöpeiliä käyttämällä. Kuviosta 12 käy ilmi, että paineen ollessa 7 baria ja lämpötilan 50 °C astetta on kuormitusaika putkelle 10 vuotta ilman varmuuskerrointa. Jos kuvion 12 käyriä jatketaan pidemmälle, saadaan 20 °C asteessa ja 7 barin paineella kuormitusajaksi noin 35 vuotta. Tässä on kuitenkin oletettu, että käyrä ei jyrkkene huomattavasti 10 vuoden jälkeen, joten todellisuudessa kuormitusaika voi olla lyhyempi. Lämpötila heikentää PP-putken paineen kestävyttä ja voimakas lämpölaajeneminen on huomioitava asennettaessa. Putkien altistumista UV-säteilylle tulisi välttää, koska se heikentää materiaalin kestävyttä. Paineilmaverkosta piirrettiin kuvat Microsoft Office Visio -ohjelmalla helpottamaan työn kulua ja käytettäväksi vuotojen paikantamisessa myöhemmin.

	<p>TEKNINEN NEUVONTA PP - PUTKIEN KUORMITETTAVUUS NP 10 Paineen riippuvuus lämpötilasta ja ajasta Aine: vesi</p>	<p>Ryhmä G Sivu 10 Pvm. 1.8.75 Liittyy LV1 Korvaa:</p>
---	--	--



KUVIO 12. Polypropeeni putkien kuormitettavuus (Teknolon Oy 1975)



KUVA 8. Ø 20mm Paineilmaputki (Kuva: Janne Mäenpää 2015)

8.4 Paineilmaverkko

Paineilmaverkko on tyypiltään suora ja sen runkoputkena toimii ulkohalkaisijaltaan 64 mm oleva polypropeeni putki. Runkoputkista paineilman jakelu on haaroitettu ulkohalkaisijaltaan 20 mm olevalla polypropeeni putkella. Kuvassa 9 on E-rakennuksessa sijaitseva käyttämätön haaroitus, jonka päässä on pikaliitin. Jakelu hoidetaan tästä eteenpäin tilanteen mukaan erilaisilla paineilmaletkuilla ja liittimillä.



KUVA 9. Putken haaroitus (Kuva: Janne Mäenpää 2015)

9 PAINEILMAVERKOSTON KARTOITUS

9.1 Alkutiedustelu

Työssä tehtiin haastatteluita, joilla oli tarkoitus selvittää henkilökunnan ajatuksia paineilmajärjestelmän toimivuudesta. Haastattelut sujuivat hyvin ja niillä saatiin kerättyä hyödyllistä tietoa järjestelmästä. Tästä oli paljon apua työn etenemisen kannalta.

9.2 Mittalaitteisto

Tässä työssä suoritettavat mittaukset tehtiin SMC PFMB7102-F04-F virtausmittarilla (kuva 10). Mittari asennetaan mitattavalle kohteelle menevän putken tai letkun väliin erilaisten liittimien avulla. Ennen asennusta on varmistettava, että mitattavalle laitteelle tulevan putkiston paine on katkaistu ennen mittarin asennuskohtaa. Mittausdata saatiin siirrettyä mittauksen jälkeen tietokoneelle, jolla dataa pystyttiin tarkastelemaan. Mittarin lukualue on 10–1000 l/min. Mittarin tarkemmat tekniset tiedot löytyvät liitteestä 3.



KUVA 10. Virtausmittari (Kuva: Janne Mäenpää 2015)

9.3 Mittaukset

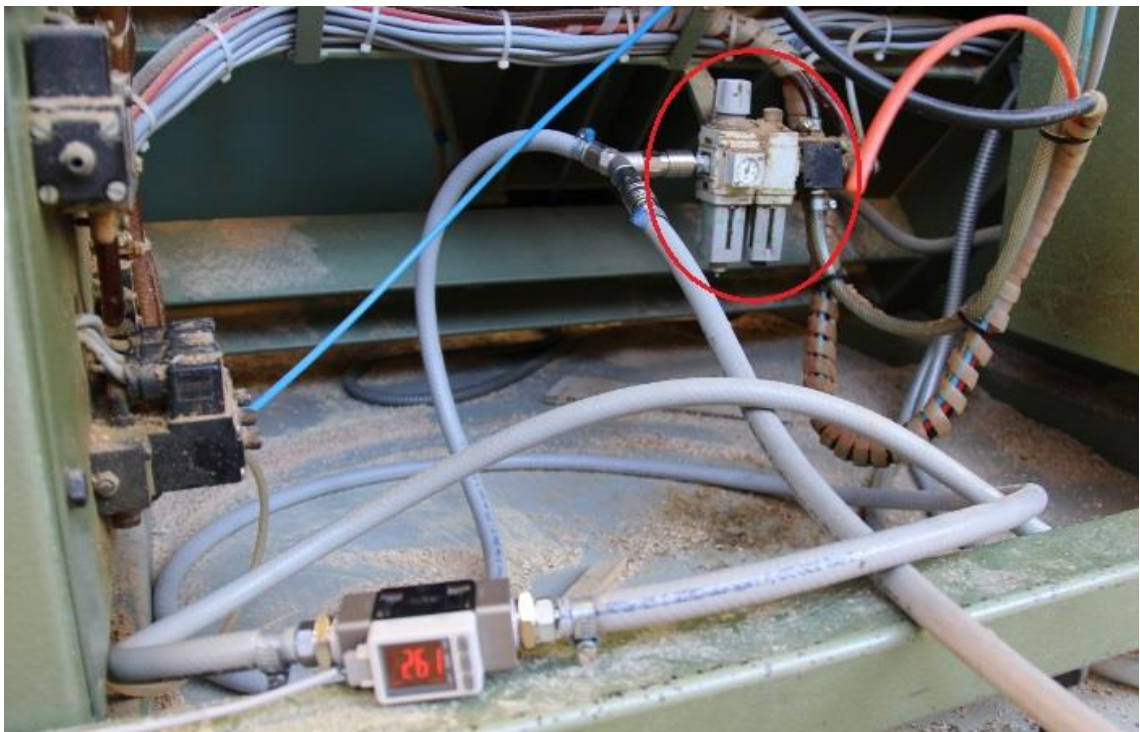
Ensin kaikki viisi rakennusta kierrettiin läpi ja kartoitettiin linjaston yleiskuntoa ja mahdollisia vuotokohtia. Kartoituksen perusteella valittiin kohteet, joissa mittauksia suoritettiin. Kuvassa 11 on alueen rakennukset, joista kartoitettavia olivat B – E/Valimo. Mittaukset suoritettiin kohteiden ollessa käyttämättöminä ja yhteensä niitä tehtiin 14 kappaletta. Mittarin lukualueesta johtuen alle 10 l/min jäävien vuotojen suuruudeksi on arvioitu 5 l/min. Kaikkia havaittuja vuotoja ei pystytty mittaamaan, joten niiden vuotomäärää ei tiedetä. F-rakennuksessa ei ollut paineilmaverkko käytössä. Verkkoon kokeiltiin laittaa paine, eikä vuotoja ollut havaittavissa. B-rakennuksessa ei myöskään havaittu vuotokohtia.



KUVA 11. Alueen rakennukset (Tredu, 2015)

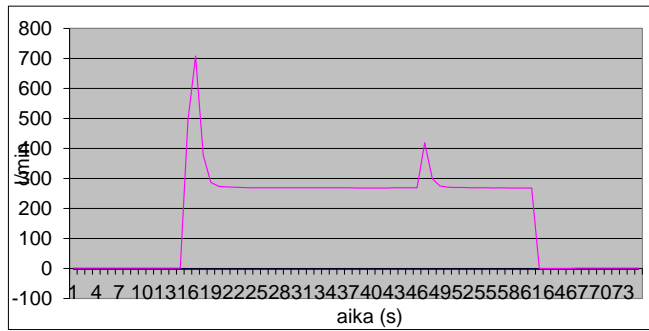
9.3.1 Yksittäinen mittaustulos ja vuodosta aiheutuva kustannus

Tähän on otettu esimerkki yhdestä mittauksesta saatu tulos, jolla tutkittiin kuinka monta litraa minuutissa kaksi puuntyöstökoneetta vuotaa ilmaa niiden ollessa käyttämättöminä. Mittaus tehtiin siten, että koneille menevän paineettoman letkun väliin asennettiin virtausmittari, jonka jälkeen paine kytkettiin päälle noin minuutin ajaksi. Mittauksen jälkeen paine kytkettiin taas pois päältä mittarin irrottamisen ajaksi. Kuva 12 on otettu kyseisestä mittaustilanteesta, jota oli mukana tekemässä SMC Pneumatics Finland Oy. Vuotoon oli tässä tapauksessa syynä rikkiäinen paineensäädin, joka on ympyröitynä punaisella alla olevassa kuvassa.



KUVA 12. Virtausmittaus (Kuva: Janne Mäenpää 2015)

Kuviosta 13 näkyy kuinka virtauksessa tuli piikki, kun koneille menevään letkustoon laitettiin paine. Letkuston täytyttyä virtaus vakiintui arvoon 269 l/min. Mittauksen aikana paineen syöttö toiselle mitattavista koneista suljettiin ja avattiin hetken kuluttua uudelleen. Syötön avaaminen näkyy pienempänä piikkinä kuvaajassa. Kuvaajasta sekä mittausdatasta selvisi, että syötön sulkeminen ei vaikuttanut virtaukseen. Tämä tarkoittaa, että toisessa koneessa ei ollut merkittävää vuotoa tämän ollessa käyttämättömänä. Mittausdata löytyy liitteestä 4.



KUVIO 13. Virtauksen määrä ajan suhteen

9.4 Laskelmat

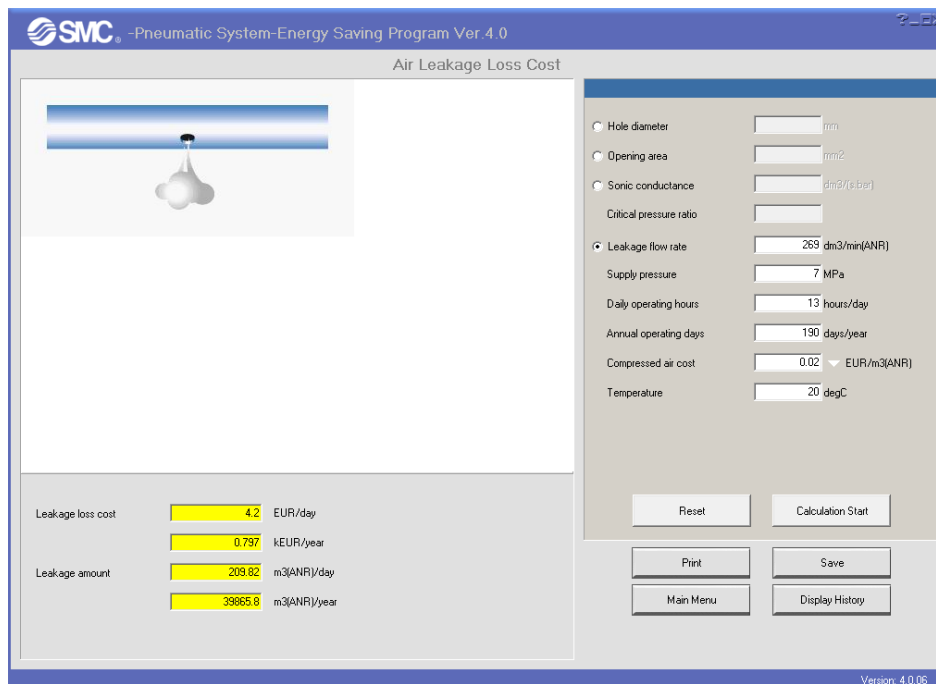
Laskemiseen on käytetty SMC:n Pneumatic System -Energy Saving Program Ver.4.0 ohjelmaa (kuvio 14). Laskelmissa verkon paine on 7 bar ja käyttöaika 13 tuntia vuorokaudessa 190 päivän ajan vuodessa. Ilman tuottaminen maksaa yleensä sähkön hinnasta ja kompressorista riippuen 1–3 senttiä/1000l ANR-ilmaa. Näissä mittauksissa on käytetty 2 senttiä/1000 litraa ANR.

9.4.1 ANR

ANR tarkoittaa virtausta, jonka ilma on muutettu normaalipaineiseksi, huoneenlämpöiseksi ja normaalissa kosteudessa olevaksi. Tulokset ovat vertailukelpoisia, kun ne esitetään tässä muodossa. ANR arvot: Paine 101,3 kPa, lämpötila 20 °C ja kosteus 65 % RH (relative humidity). (Keski-Honkola, P., luettu 12.3.2015)

9.4.2 Yksittäisestä vuodosta aiheutuva kustannus

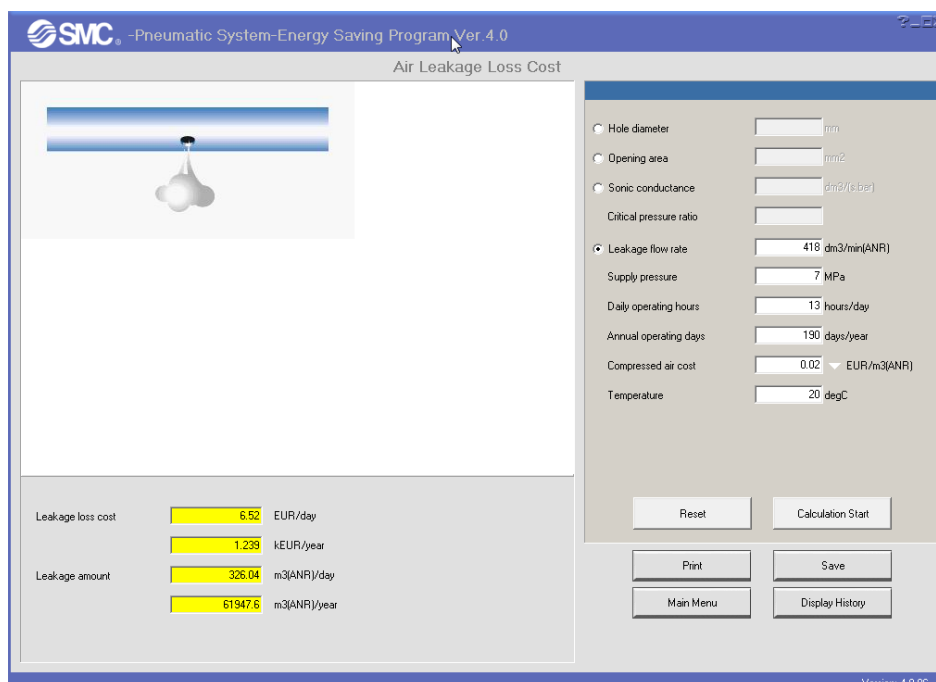
Edellä esitetystä mittauksesta on laskettu tuloksen perusteella vuodosta aiheutuva vuosittainen kustannus (kuvio 14). Tulokseksi saatiin 797 € ja päivässä 4,20 €. Jos kyseessä olisi kohde, jossa kompressorit kävisivät 24 tuntia päivässä ympäri vuoden, olisi tämä luku huomattavasti suurempi.



Kuvio 14. Vuodon kustannukset (Kuvio: Janne Mäenpää 2015)

9.4.3 Vuodoista aiheutuvat kokonaiskustannukset

Vuotokohtia havaittiin yhteensä 19 kappaletta (liite 5) ja niistä aiheutuva ilman kulutus on 418 l/min. Laskelmien mukaan vuodoista aiheutuu vuosittain 1239 € kustannukset ja päivässä 6,52 € (kuvio 15). Vuotokohdat on paikallistettavissa liitteiden 5–9 avulla.



KUVIO 15. Vuodoista aiheutuvat vuotuiset kustannukset

9.5 Verkon tarkastus

Verkon runko- ja jakeluputkistolle ei pystytty tekemään perusteellista vuotojen kartoitusta siihen tarvittavan laitteiston puuttumisesta johtuen. Verkko käytiin kuitenkin silmäääräisesti läpi ja sen yleinen kunto saatiin näin selville. Putkistosta löytyi kaksi vuotokohtaa, joista toinen alla olevassa kuvassa. Putket ovat alkaneet iän myötä myös notkua. Kuvissa 14–15 on esimerkki tällaisesta tilanteesta. Notkoihin kerääntyy vettä, joka haittaa järjestelmän toimintaa.



KUVA 13. Putkiston vuoto (Kuva: Janne Mäenpää 2015)



KUVA 14. Notkahtanut putki (Kuva: Janne Mäenpää 2015)



KUVA 15. Notkahtanut putki 2 (Kuva: Janne Mäenpää 2015)

9.6 Kompressoreiden ohjauksen tarkastus

Kompressorien ohjauksen toimintaa selvitettiin kokeilemalla miten ne käyttäytyvät vuorottelukeskukseen eri painikkeista (kuva 15). Kompressorit käyvät tuotolla, kun verkon paine laskee 6,8 bariin ja nostavat paineen 7,5–8,0 bariin. Paineen noston jälkeen ne käyvät kevennyksellä, kunnes verkon paine on taas tippunut 6,8 bariin. Eri painikkeista ei tunnu olevan juurikaan vaikutusta käyttöön. Ainoastaan kun alariviltä on kytkettyä useampi kuin yksi painike niin kompressoreiden toiminta on kiivaampaa. Varsinaista vuorottelua ei ollut havaittavissa missään tilanteessa vaan kaikki kolme kompressoria kävivät tuotolla ja kevennyksellä samaan aikaan. Muuta huomioitavaa on, että 3 kompressorin painemittari näyttää 0,5 baria enemmän kuin kahden muun kompressorin painemittarit. Tässä käytetyt painelukemat on otettu 1 ja 2 kompressoreiden mittareista.



KUVA 15. Vuorottelukeskuksen käyttöpaneeli (Kuva: Janne Mäenpää 2015)

Painonapeilla ohjataan kuvassa 16 olevia releitä, joiden avulla kompressorien ohjaus tapahtuu. Kytkennoistä ei ollut saatavilla piirustuksia, joten ohjauksen todellinen toimintaperiaate jäi epäselväksi.



KUVA 16. Vuorottelukeskuksen sisältö (Kuva: Janne Mäenpää 2015)

10 KEHITYSEHDOTUKSET

10.1 Vuotojen korjaukset

Löydetyt vuodot ovat melko helposti korjattavissa, eikä korjauksista tulisi aiheutumaan huomattavia kustannuksia. Vuotokohdat on paikallistettavissa tämän raportin avulla liitteistä 5–9. Putkien vuotojen korjaukset saattavat olla hieman haastavampia, mutta se olisi kuitenkin suositeltavaa.

10.2 Kompressorien ohjaus

Kompressorien ohjaus vaatisi laajempaa kartoitusta. Oikeanlaisella vuorottelulla niiden käyttöä saataisiin taloudellisemmaksi. Kompressorit alkavat olla myös vanhoja, joten niiden uusimista tulisi harkita paineilmajärjestelmän peruskorjauksen yhteydessä.

10.3 Putkistojen uusinta

Rakennusten paineilmaputket ovat jo 30 vuotta vanhat. Kuvion 12 (s.25) käyriä jatkamalla saatiin putkien kuormitusajaksi 20 °C asteessa ja 7 barin paineella noin 35 vuotta, joten koko verkoston peruskorjaus olisi ajankohtaista viiden vuoden kuluessa.

10.4 Muuta huomioitavaa

Sulkuventtiileitä on verkossa vähän ja niitä lisäämällä saataisiin ilmankulutusta pienennettyä. Tämä tietenkin edellyttäisi sitä, että niitä myös käytettäisiin. Esimerkiksi jokaiselle käyttökohteelle voisi olla oma sulku, joka avattaisiin ja suljettaisiin aina tarpeen mukaan. Myös huoltotoimenpiteet olisi huomattavasti helpompi tehdä, kun pelkästään huollettava osa verkosta saataisiin suljettua. Käyttämättömät paineilmatyökalut tulisi myös irrottaa verkosta aina käytön loputtua, että ilmaa ei kulu hukkaan sitä kautta.

11 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa paineilmaverkon vuotojen määrä ja laskea niistä aiheutuvat kustannukset. Lisäksi työhön otettiin verkon putkien kunnan ja kompressoreiden toiminnan tarkastus.

Aluksi tarkoitus oli, että saataisiin mitattua koko verkon putkistoissa hukkaan menevän ilman määrä. Tämä jäi kuitenkin toteuttamatta tähän tarkoitettuun laitteiston puuttumisen vuoksi sekä aikataulun tuomien rajoitusten takia. Uudessa suunnitelmassa päädyttiin tekemään virtausmittauksia käyttökohteissa havaittuihin vuotokohtiin. Mittauksilla saatiin kartoitettua käyttökohteiden vuotojen määrä ja tulosten perusteella saatiin laskettua vuodoista aiheutuvat vuosittaiset kustannukset. Löydetyt vuodot olivat suurimmaksi osaksi melko pieniä, joten niistä aiheutuvat vuosittaiset kulut jäivät odotettua vähäisimmiksi. Vuotojen koon takia käytetyn mittarin lukualue oli myös liian iso osalle mittauksista.

Paineilmaverkon putkisto käytiin läpi silmämääräisesti ja siinä havaittiin kaksi vuotoa sekä useita notkahdus kohtia. Vuotojen suuruutta ei päästy tutkimaan tarkemmin niiden hankalan sijainnin takia, mutta äänen voimakkuudesta voi päätellä niiden olevan merkittäviä. Putket vaatisivat korjausta vuotojen osalta ja myöhemmin ne tulisi uusida laajemmin peruskorjauksen yhteydessä.

Kompressoreiden tarkastus jäi pintapuoliseksi, mutta sen perusteella ne ovat toimivia. Vuorottelukeskuksen toiminta on kuitenkin epäselvä ja se vaatisi laajempaa tarkastusta jatkotoimenpiteiden tekemiseksi.

Taloudellisuutta ajatellen helpoin ja halvin tapa lähteä pienentämään kustannuksia on korjata löydetyt vuodot. Seuraavaksi kannattaisi kartoittaa kompressoreiden ohjauksen vaatimat korjaukset. Suurimpia toimenpiteitä kannattaa kuitenkin miettiä tehtäväksi peruskorjauksen yhteydessä, joka on ajankohtaista lähivuosina.

Työn aihe oli mielenkiintoinen, mutta aihe oli täysin uusi ja se aiheutti jonkin verran haasteita. Niistä huolimatta tuloksia saatiin aikaan ja työ eteni hyvin päätökseen.

LÄHTEET

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

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

Energiansäästö: SMC. Luettu 17.2.2015.

https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/corporative/content/energy_saving09/documentation/ES_cat_fi.pdf

Johansson, G. & Kauhanen, J. 1979. Pneumatiikan perusteet. Esslingen: Festo Didactic.

Keski-Honkola, P, Tuote spesialisti, sähköpostiviesti, petri.keski-honkola@smc.fi, luettu 12.3.2015

PP – putkien kuormitettavuus. Teknolon Oy. 1975

Tamrock compressed air käyttöohjekirja. Tampere: Tampella industrial. 1984

Tredu. Luettu 29.1.2015. <http://www.tredu.fi/tredu.html>

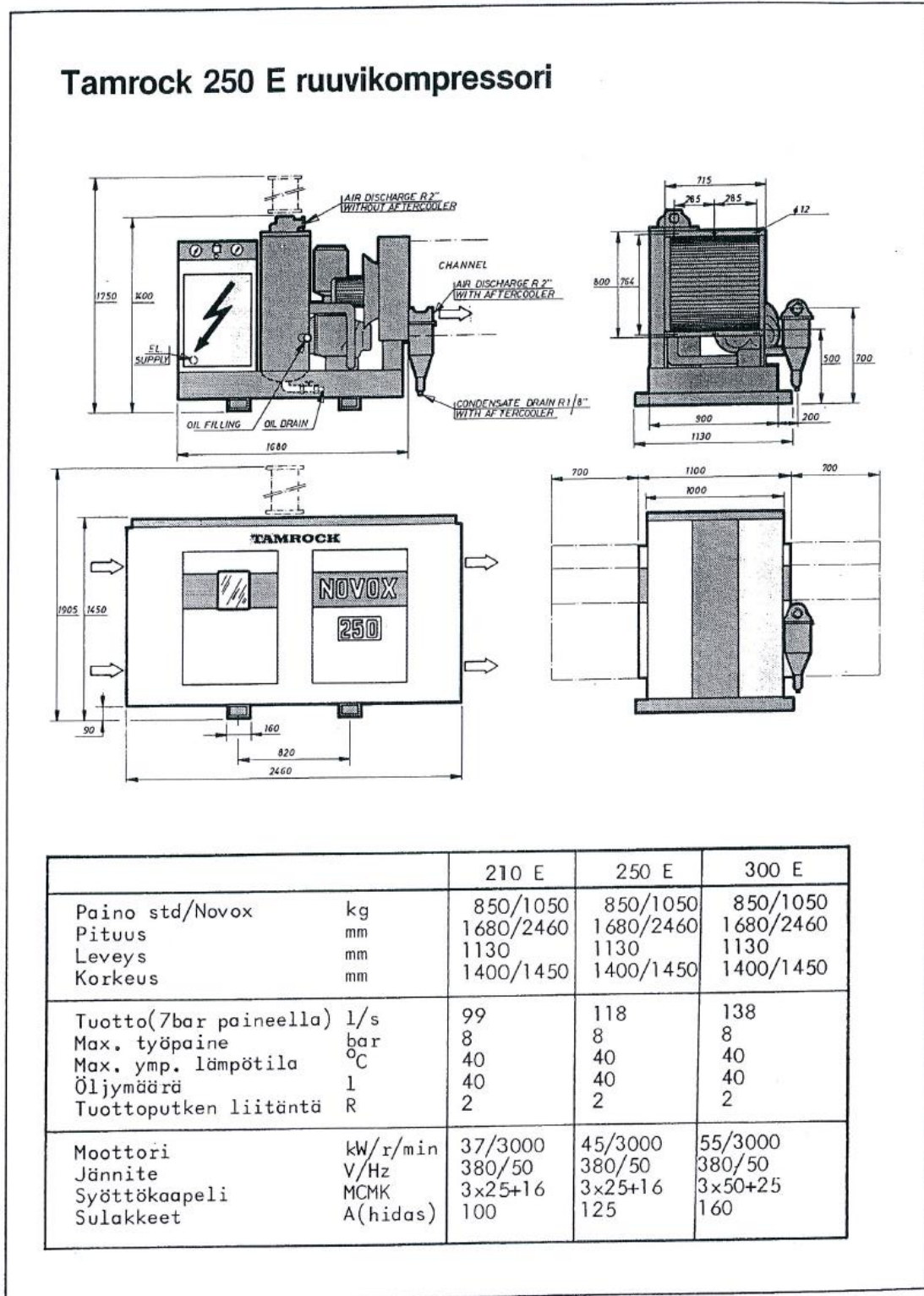
Virtausmittarin tekniset tiedot. Luettu 22.4.2015.

https://content2.smcetech.com/pdf/PFMB-A_EU.pdf

LIITTEET

Liite 1. Tamrock 250 E tekniset tiedot.

Tamrock compressed air käyttöohjekirja



Liite 2. Tamrock F18 ja F37 tekniset tiedot

Tamrock compressed air käyttöohjekirja

Tekniset tiedot							
KOMPRESSORIN TYYPPI		F11, F11/10	F15, F15/10	F18, F18/10	F22, F22/10	F30, F30/10	F37, F37/10
1. KOMPRESSORI							
Maksimipaine	bar	8/10	8/10	8/10	8/10	8/10	8/10
Tuotto (7 barilla/9 barilla)	m ³ /min	1,85/1,53	2,50/2,08	3,00/2,70	3,40/3,10	4,50/4,15	5,35/5,00
Kehänopeus (ruuviroottori)	l/s m/s	31/27 14,7/13,4	42/37 19,9/18,1	50/45 24,0/21,9	57/52 26,9/24,5	75/69 35,0/31,9	89/83 41,9/38,2
2. SÄHKÖMOOTTORI							
Nimellisteho	kW	11	15	18,5	22	30	37
Teho F-luokan eristeillä	kW	12,6	17,2	21,2	25,3	34,5	42,5
Suojausluokka		IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54	IP 54
Rakennelaji		B 5	B 5	B 5	B 5	B 5	B 5
Pyörimisnopeus	1/min	1450	1455	1460	2930	2940	2940
Nimellisvirta	A	22,5	30	37	42	58	70
Max. virta (15% ylikuorma)	A	25,8	34,5	42,5	48,3	66,7	80,5
3. JÄÄHDYTYKSI							
Jäähdytysväliaine		ilma	ilma	ilma	ilma	ilma	ilma
Max. ympäristön lämpötila	°C	40	40	40	40	40	40
Hyödynnettävä lämpöteho	kW	10	14	17	20	28	35
Jäähdytysilmavirta	m ³ /h	3600	3600	3600	7200	7200	7200
Jäähdytysilman lämpötilan nousu	°C	10	13	16	10	13	16
Lähtevän paineilman Δt	°C	6	7	6	7	6	7
Lämmöntalteenotto-kanavan enim.pituus	m	20	20	20	10	10	10
4. PAKETTI							
Mitat (lev. x kork. x syv.)	mm	670x1850x845	670x1850x845	670x1850x845	670x1850x845	670x1850x845	670x1850x845
Paino	kg	400	425	450	470	510	530
Öljymäärä	l	12	12	12	12	12	12
Öljyn minimimäärä	l	9	9	9	9	9	9
Lähtevän paineilman öljypit.	③ mg/m ³	4	5	6	8	10	10
Öljynkulutus	③ g/100 h	50	80	120	180	250	300
Melu 1 m	② dB(A)	72	72	74	82	83	83
Melu (+ Novox-modulit) 1 m	② dB(A)	68	68	69	74	75	75
Paineilmaliitäntä		R 3/4" / NS 32	R 3/4" / NS 32	R 1 1/4" / NS 40	R 1 1/4" / NS 40	R 1 1/4" / NS 50	R 1 1/4" / NS 50
Sähköliitäntä (Cu-kaapeli)							
380 V	mm ²	3x4	3x6	3x10	3x10	3x16	3x25
Sähköliitäntä (sulakkeet)							
hidas 380 V	A	50	63	80	80	125	160
Lämpöreleen asetusarvo	A	14,9	20,0	24,5	27,9	38,5	46,4
380 V							
Tähti-kolmio -aikareleen asetusarvo	s	3	3	3	3	3	3
Pysäytyskäytön aikareleen asetusarvo	min	2 5	2 5	2 5	2 5	2 5	2 5
Lauhteenpoiston pulssireleen asetusarvo — tauko	min	1,5...2	1,5...2	1,5...2	1,5...2	1,5...2	1,5...2
— pulssi	s	4...5	4...5	4...5	4...5	4...5	4...5
① ISO 1217 Paketin yli ② ISO 2151 ③ Käyntilämpötila 75°C <i>III TYPE 250 EANA</i> <i>117 2/5 / 6 m³ min</i>							

Liite 3. Virtausmittarin tekniset tiedot

https://content2.smcetech.com/pdf/PFMB-A_EU.pdf

Series PFMB7

Refer to "Handling Precautions for SMC Products" for Flow Switch Precautions and the Operation Manual in our website for Specific Product Precautions.

Specifications

Model		PFMB7201	PFMB7501	PFMB7102	
Fluid	Applicable fluid ^{Note 1)}	Air, N ₂ (Air quality grade is JIS B 8392-1 1.1.2 to 1.6.2, ISO8573-1 1.1.2 to 1.6.2.)			
	Fluid temperature range	0 to 50°C			
Flow	Detection method	Thermal type			
	Rated flow range	2 to 200 L/min	5 to 500 L/min	10 to 1000 L/min	
	Set flow rate range	Instantaneous flow	2 to 210 L/min	5 to 525 L/min	10 to 1050 L/min
		Accumulated flow	0 to 999,999,999 L	0 to 999,999,990 L	
	Minimum setting unit	Instantaneous flow	1 L	1 L/min	10 L
		Accumulated flow			
Accumulated valve hold function ^{Note 2)}	Interval of 2 or 5 minutes can be selected.				
Pressure	Rated pressure range	0 to 0.75 MPa	0 to 0.8 MPa		
	Proof pressure	1.0 MPa	1.2 MPa		
	Pressure loss	Refer to "Pressure Loss" graph.			
Electrical	Pressure characteristics ^{Note 3)}	±5%F.S. (0 to 0.75 MPa, 0.35 MPa reference)	±5%F.S. (0 to 0.8 MPa, 0.6 MPa reference)		
	Power supply voltage	12 to 24 VDC ±10%			
	Current consumption	55 mA or less			
Accuracy ^{Note 11)}	Protection	Polarity protection			
	Display accuracy	±3%F.S.			
	Analogue output accuracy	±3%F.S.			
	Repeatability	±1%F.S. (±2%F.S. when response time is set to 0.05 seconds.)			
	Temperature characteristics	±5%F.S. (0 to 50°C, 25°C reference)			
	Switch output	NPN open collector PNP open collector			
Switch output	Output mode	Select from Hysteresis, Window comparator, Accumulated output or Accumulated pulse output modes.			
	Switch operation	Select from Normal or Reversed output.			
	Maximum load current	80 mA			
	Maximum applied voltage (NPN only)	28 VDC			
	Internal voltage drop (Residual voltage)	NPN output type: 1 V or less (at load current 80 mA) PNP output type: 2 V or less (at load current 80 mA)			
	Response time ^{Note 4)}	Select from 0.05 sec., 0.1 sec., 0.5 sec., 1 sec., or 2 sec.			
	Hysteresis ^{Note 5)}	Variable from 0			
	Protection	Short circuit protection			
	Output type	Voltage output: 1 to 5 V, Current output: 4 to 20 mA			
	Analogue output ^{Note 6)}	Impedance	Output impedance: Approx. 1 kΩ		
Response time ^{Note 7)}		Max. load impedance at power supply voltage 24 V: 600 Ω, at power supply voltage 12 V: 300 Ω			
External input ^{Note 8)}	External input	Input voltage: 0.4 V or less (reed or solid state) for 30 msec. or longer			
	Input mode	Select from Accumulated flow external reset or Peak/Bottom reset.			
Display	Reference condition ^{Note 9)}	Select from Standard condition or Normal condition.			
	Display mode	Select from Instantaneous flow or Accumulated flow.			
	Unit ^{Note 10)}	Instantaneous flow	L or ft ³ can be selected.		L or ft ³ can be selected.
		Accumulated flow	-10 to 210 L/min (Displays [0] when the value is within the -1 to 1 L/min range.)		
	Displayable range	Instantaneous flow	-25 to 525 L/min (Displays [0] when the value is within the -4 to 4 L/min range.)	-50 to 1050 L/min (Displays [0] when the value is within the -9 to 9 L/min range.)	
		Accumulated flow	0 to 999,999,999 L		
Minimum display unit	Instantaneous flow	1 L	1 L/min	10 L	
Environmental	Display	Display method: LED Display colour: Red/Green Display: 3 digit 7 segment			
	Indicator LED	LED ON when switch output is ON. (OUT1: Green, OUT2: Red)			
Standard	Enclosure	IP40			
	Withstand voltage	1000 VAC for 1 minute between terminals and housing			
	Insulation resistance	50 MΩ or more (500 VDC measured via megohmmeter) between terminals and housing			
	Operating temperature range	Operation: 0 to 50°C, Storage: -10 to 60°C (No condensation or freezing)			
Piping	Operating humidity range	Operation, Storage: 35 to 85%RH (No condensation or freezing)			
	Piping specifications	CE, UL (CSA), RoHS	CE, RoHS		
Main materials of parts in contact with fluid ^{Note 12)}	Piping entry direction	Straight, Bottom			
		FKM, Stainless steel 304, PPS, PBT, Brass (Electroless nickel plating), HNBR, Si, Au, GE4F	ADC, PPS, Stainless steel 304, Au HNBR, Si, GE4F		
Weight	Body	Rc1/4, NPT1/4/Straight: 70 g Bottom: 85 g G1/4/Straight: 115 g Bottom: 130 g ø8 One-touch fitting/Straight: 50 g Bottom: 65 g	100 g		
	Flow adjustment valve	+45 g			
	Lead wire	+35 g			
	Bracket	+20 g			
	Panel mount adapter	+15 g			
DIN rail mounting bracket	+65 g				

Note 1) Refer to "Example of Recommended Pneumatic Circuit" on Features 2.
 Note 2) When using the accumulated value hold function, use the operating conditions to calculate the product life, and do not exceed it. The maximum access limit of the memory device is 1 million cycles. If the product is operated 24 hours per day, the product life will be as follows:
 • 5 min interval: Life is calculated as 5 min x 1 million = 5 million min = 9.5 years
 • 2 min interval: Life is calculated as 2 min x 1 million = 2 million min = 3.8 years
 If the accumulated flow external reset is repeatedly used, the product life will be shorter than calculated life.
 Note 3) Do not release the OUT side piping port of the product directly to the atmosphere without connecting piping. If the product is used with the piping port released to atmosphere, accuracy may vary.
 Note 4) The time from when the flow is changed by a step input (when the flow rate changes from 0 to the maximum flow instantaneously) until the switch output turns ON (or OFF) when set at 90% of the rated flow rate.

Note 5) If the flow fluctuates around the set value, the width for setting more than the fluctuating width needs to be set. Otherwise, chattering will occur.
 Note 6) When using a product with an analogue output
 Note 7) The time from when the flow is changed as a step input (when the flow rate changes from 0 to the maximum flow instantaneously) until the analogue output reaches 90% of the rated flow rate.
 Note 8) When using a product with an external input
 Note 9) The flow rate given in the specification is the value at standard condition. To convert the units from standard condition to normal condition, use the following conversion calculation:
Flow rate at standard condition x 0.927 = Flow rate at normal condition
 Note 10) Setting is only possible for models with the unit selection function.
 Note 11) Refer to "Straight Piping Length and Accuracy" on page 4 for details.
 Note 12) Refer to "Construction/Fluid Contact Parts" on page 5 for details.



Liite 4. Mittausdata

Elapsed time Seconds	Chan 3 l/min
0.00	1
1.00	1
2.00	1
3.00	1
4.00	1
5.00	1
6.00	1
7.00	1
8.00	1
9.00	1
10.00	1
11.00	1
12.00	1
13.00	1
14.00	1
15.00	492
16.00	708
17.00	378
18.00	287
19.00	274
20.00	272
21.00	271
22.00	270
23.00	269
24.00	269
25.00	269
26.00	269
27.00	269
28.00	269
29.00	269
30.00	269
31.00	269
32.00	269
33.00	269
34.00	269
35.00	269
36.00	269
37.00	268
38.00	268
39.00	268
40.00	268
41.00	268
42.00	269
43.00	269
44.00	269
45.00	269
46.00	419
47.00	299

48.00	275
49.00	271
50.00	270
51.00	270
52.00	269
53.00	269
54.00	269
55.00	268
56.00	269
57.00	268
58.00	268
59.00	268
60.00	268
61.00	0
62.00	0
63.00	0
64.00	0
65.00	0
66.00	1
67.00	1
68.00	1
69.00	1
70.00	1
71.00	1
72.00	1
73.00	1
74.00	1

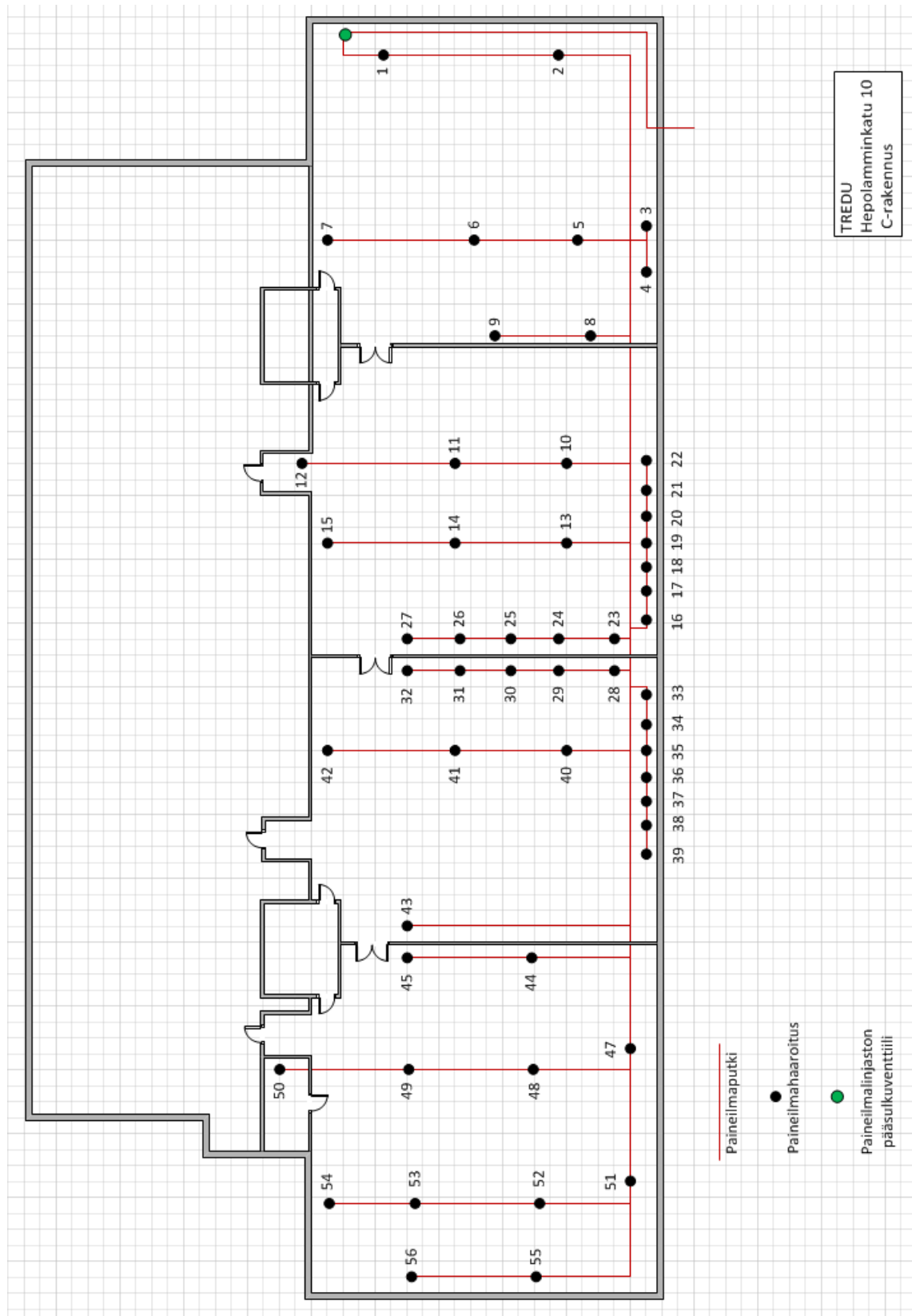
Liite 5. Mittaustulokset

vuoto	mittauskohde	tulos l/min
1	C-rakennus • 52 Laguna jyrsinkone vuotava paineensäädin	5
2	C-rakennus • 23 Paineensäädin tuloliitin vuotaa, putki vuotaa lähtöliittimen jälkeen	?
3	C-rakennus • 25 suodatin liitos vuotaa	?
4	C-rakennus • 28 Paineensäädin Painemittarin liitin vuotaa	?
5	D-rakennus • 1 Vuotava putki	?
6	D-rakennus • 35 työkalumittain vuotava paineensäädin	5
7	D-rakennus koneistamo • 35 Lagun FTV 5-SP jyrsinkone No 48731 vuotava paineensäädin	5
8	E-rakennus • 5 Vuotava paineilmapistooli	5
9	E-rakennus • 16 CNC-kone 2 vuotavaa sylinteriä	50
10	E-rakennus • 15 Vuotava liitin	5
11	E-rakennus • 14 monikaraporakone vuotava paineensäädin ja suuntaventtiili (Koneen ollessa virrallisena myös koneen päällä oleva säätöpyörän liitos vuotaa)	269

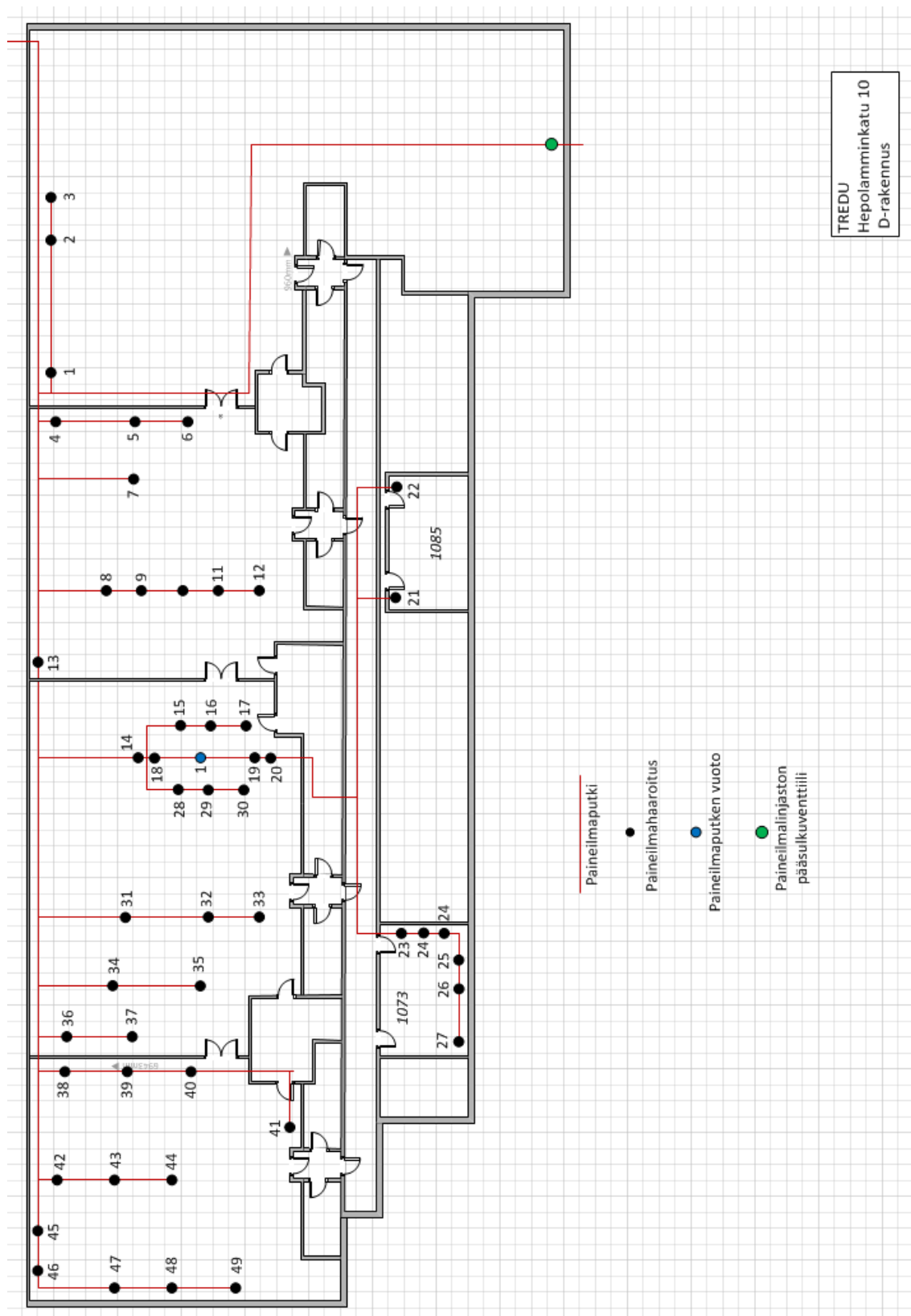
(Jatkuu)

vuoto	mittauskohde	tulos l/min
12	E-rakennus • 30 Blum minipress puuntyöstökone Vuotava liitin	5
13	E-rakennus • 43 RUPES letkukela vuotava liitin	5
14	E-rakennus • 46 RUPES letkukela työkalun vuotava liitin	5
15	E-rakennus • 51 Vuotava liitin letkun alku- ja loppupäässä	22
16	E-rakennus • Vuotava putki	?
17	Vi-rakennus • 16 vuotava magneettiventtiili	18
18	Vi-rakennus • 23 vuotava liitin ja työkalu	14
19	Vi-rakennus •34 vuotava letku	5

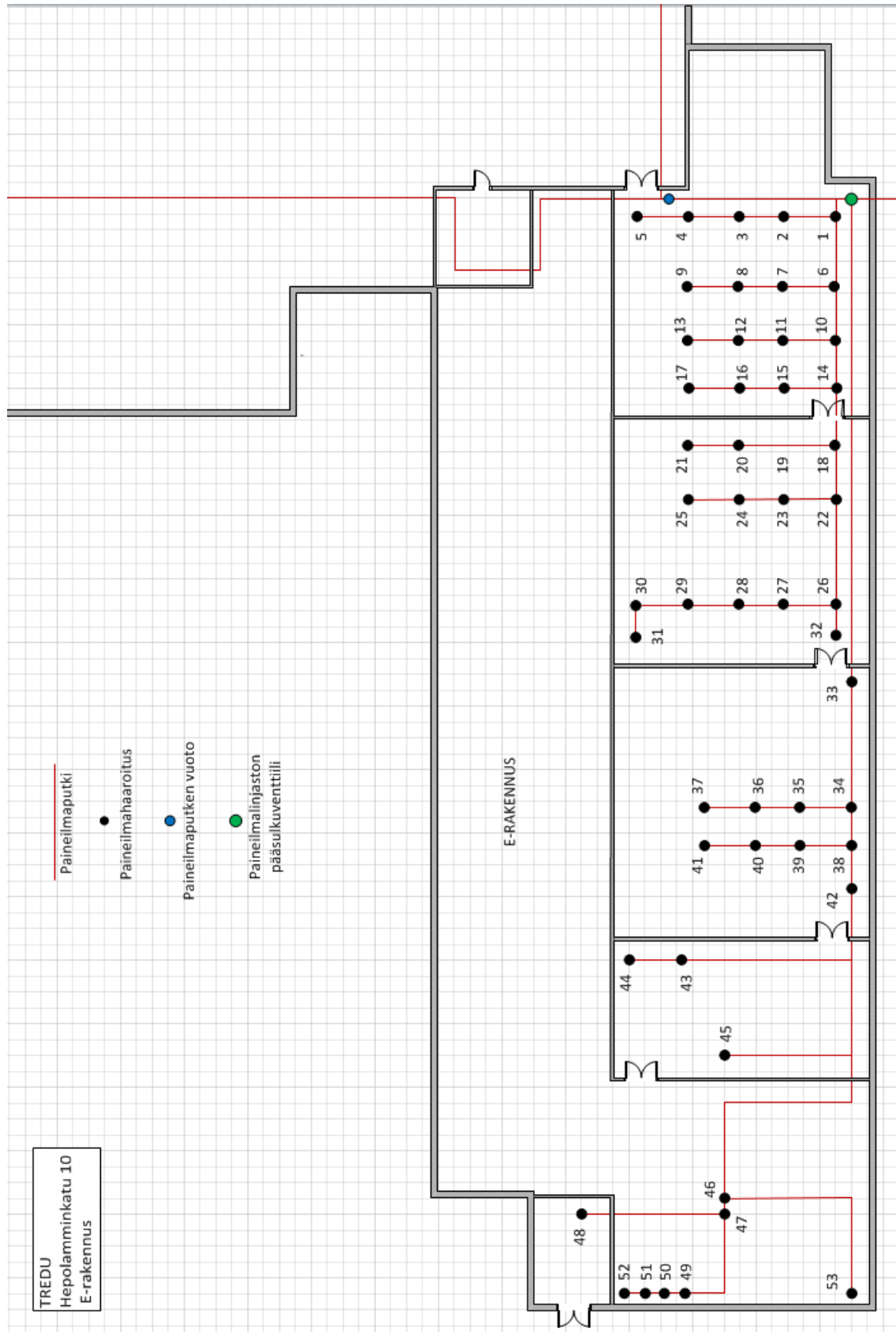
Liite 6. C-rakennuksen paineilmaverkko



Liite 7. D-rakennuksen paineilmaverkko



Liite 8. E-rakennuksen paineilmaverkko



Liite 9. Vi-rakennuksen paineilmaverkko

