



Paineilman käytön vähentäminen paperikoneilla

Joe Salonen

OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2021

Konetekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

SALONEN, JOE:

Paineilman käytön vähentäminen paperikoneilla

Opinnäytetyö 48 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Helmikuu 2021

Opinnäytetyön tavoitteena oli paineilman käytön vähentäminen toimeksiantajan, UPM Specialty Papers Jämsänkosken, kahdella paperikoneella. Aihe rajattiin paineilman käytön vähentämiseen paperikoneilla, joten massaosastoa ja jälkikäsittelyä ei huomioitu. Paineilmaa kutsutaan yleisesti teollisuuden kalleimmaksi energiamuodoksi, ja siksi sen käyttö halutaan minimoida. Osastolla paineilman käyttö on runsasta ja verkosto suuri. Työssä tutkittiin nykyisiä paineilmaa käyttäviä toimilaitteita, niiden korvaamista jollain toisella teknisellä ratkaisulla, kompressoreiden toimintaa sekä kartoitettiin vuotoja. Työssä viitekehystenä käytettiin Motiva Oy:n PATE-analyysiä.

Työ alkoi tutustumalla paineilmajärjestelmään sekä siihen kuuluviin komponentteihin. Listattiin pneumaattiset toimilaitteet sekä selvitettiin järjestelmän tuotosta vastaavat kompressorit sekä niiden ominaisenergiatehokkuudet. Työ vaati myös paineilman jälkikäsittelyn tutkimista. Vuotoäänimittauksella kartoitettiin ja listattiin vuotavat kohteet.

Osastolta löydettiin perusteltuja kehityskohteita. Vuotokohteiden kartoituksessa löydettiin vuotavia letkuja ja toimilaitteita, jotka on korjattava, sillä vuotojen minimoimisella on suuri vaikutus paineilman kulutukseen. Paperikoneilla oli muutamia kappaleita avoputkella toteutettuja puhalluksia, jotka vaativat suuttimen tehostamaan paineilman käyttöä. Joitakin sähkökaappien jäähdytyksiä oli toteutettu suoralla paineilmapuhalluksella, ja niille löydettiin vaihtoehtoisia ratkaisuja. Huomattiin myös, että pneumaattisten toimilaitteiden päivittämisellä hydrauliseksi tai sähkömekaaniseksi voidaan parantaa energian käytön hyötysuhdetta. Pneumaattisiin viiranohjaimiin voidaan lisätä mekaaninen takaisinkytkentä vähentämään ylimääräisiä liikkeitä, jolloin saadaan vähennettyä paineilman käyttöä. Kaikkia toimilaitteita ei voida kuitenkaan pneumatiikan tuomien hyötyjen vuoksi muuttaa, joten niiden käyttöä täytyy optimoida.

Asiasanat: paineilma, pneumatiikka, paperikone

ABSTRACT

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

SALONEN, JOE:
Reducing the Use of Compressed Air in Paper Machines

Bachelor's thesis 48 pages, appendices 1 page
February 2021

The aim of the thesis was to reduce the use of compressed air in two paper machines at UPM Specialty papers Jämsänkoski. The topic was limited to paper machines, so mass department and post-processing department were not included.

Compressed air is commonly referred to as the most expensive form of energy in industry, and therefore its use is to be minimised. Compressed air is widely used in the department and the network of pipes is large. The study investigated the pneumatic actuators using compressed air, their replacement with another technical solution, the operation of the compressors and the mapping of leaks. Motiva Oy's PATE-analysis was used as a guideline in the study.

The study began with an introduction to the compressed air system and its components. Pneumatic actuators were listed and the compressors responsible for the output of the system and their specific energy efficiencies were investigated. The work also required the study of compressed air post-processing. Leaking objects were identified with sonic industrial imager and were listed.

Good targets for development were found in the department. Leaky hoses and actuators, that had to be repaired, were found in the mapping of leaks, as minimising leaks has a major impact on compressed air consumption. The paper machines had a few pieces of open tube blows that required a nozzle to reduce the use of compressed air. Some cooling of electrical cabinets had been carried out by direct compressed air blowing, and alternative solutions were found for these. It was also found that upgrading pneumatic actuators to hydraulic or electromechanical can improve energy efficiency. Mechanical feedback can be added to the pneumatic wire guides to reduce extra movement, reducing the use of compressed air. However, not all actuators can be changed because of the benefits of pneumatics, so their use must be optimised.

Key words: compressed air, pneumatics, papermachine

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	UPM JÄMSÄNKOSKI	6
3	PAINEILMA.....	7
	3.1 Paineilman käyttö.....	7
	3.2 Laitteet	8
	3.3 Paineilman tuottaminen.....	8
	3.3.1 Staattisesti puristavat kompressorit	10
	3.3.2 Pyörivätyyppiset kompressorit.....	11
	3.3.3 Kineettisesti puristavat kompressorit	12
	3.3.4 Jälkikäsittely	12
	3.4 Coanda-ilmiö.....	15
4	PATE-ANALYYSI.....	18
	4.1 Analyysiprosessi	18
	4.2 Mittaukset.....	21
5	PAINEILMAJÄRJESTELMÄ	23
	5.1 Paineilman tuotanto	23
	5.2 Verkosto.....	26
6	VUOTOJEN KARTOITTAMINEN.....	27
	6.1 Automaattiventtiilit	28
	6.2 Letkuvuodot	29
	6.3 Jakokaapit.....	29
	6.4 Letkukelat.....	30
	6.5 Yhteenveto vuotomittauksesta	31
7	PAINEILMALAITTEIDEN KORVAAMINEN.....	32
	7.1 Viirojen kiristimet ja ohjaimet.....	32
	7.2 Jäähdytykset	34
	7.3 Puhallukset	36
	7.4 Muut laitteet	37
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	40
	LÄHTEET	42
	LIITTEET	45
	Liite 1. Vuotokohteet	45

1 JOHDANTO

Teollisuudessa on havahduttu ylimääräisten kulujen ja päästöjen vähentämiseen entistä tarkemmin 2010-luvulla. Paineilma on erinomainen kohde aloittaa säästäminen, sillä sen tuottaminen on energiatehontaa ja syö paljon sähkövirtaa. Paineilmaa onkin yleisesti kutsuttu teollisuuden kalleimmaksi energiamuodoksi. Paineilmaa on yleensä helposti saatavilla, joten sen kustannuksia ei monestikaan ajatella koko toimilaitteiden ja kompressorien elinkaaren aikana. Paineilman käyttöön perehtymällä ja sen aktiivisella vähentämisellä saadaan suuria säästöjä tehtaiden kustannuksiin ja tämän avulla tuotantoa kustannustehokkaammaksi.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia UPM Jämsänkosken kahden paperikoneen paineilman käyttöä ja löytää niihin teknisiä ratkaisuja paineilman käytön vähentämiseksi. Erityisesti keskityttiin löytämään vaihtoehtoisia ratkaisuja nykyisiin pneumaattisiin toimilaitteisiin sekä kartoittamaan vuotoja. Työssä käytettiin viitekehysenä Motiva Oy:n PATE -analyysiä, joka on teollisuuden yrityksiltä sekä kauppa- ja teollisuusministeriöltä saadun palautteen perusteella aloitettu projekti paineilman käytön vähentämiseen teollisuudessa.

Koska paperikoneella on suuri määrä pneumaattisia toimilaitteita ja paineilmapuhalluksia, työssä keskityttiin löytämään vaihtoehtoisia ratkaisuja mahdollisimman paljon sekä erittelemään niiden hyviä ja huonoa puolia. Tulevaisuudessa paineilman käytön vähentämiseen liittyvien investointien ja muutosten tullessa ajankohtaiseksi voi työtä käyttää päätöksien apuna.

2 UPM JÄMSÄNKOSKI

Työ tehtiin toimeksiantona UPM-Kymmene Oyj:n Jämsänkosken paperitehtaan Specialty Papers osastolle. UPM-Kymmene Oyj on suomalainen paperi- ja biomateriaaliyritys. UPM tuottaa monenlaisia metsäteollisuuden tuotteita kuten paperia, selluloosaa ja vaneria. Yhtiö on myös suuri sähköntuottaja Suomessa. UPM:llä on toimintaa ympäri maailmaa. (Nordnet, 2020) Nykyisin UPM koostuu kuudesta liiketoiminta-alueesta; Communication Papers, Specialty Papers, Energy, Biorefining, Raflatac ja Plywood. UPM on jokaisella liiketoiminta-alueellaan vahvassa asemassa markkinoilla. Taloudellisen tuloksen ja kestäväen kehityksen osalta yhtiö on johtava. (UPM, 2020a)

Jämsänkosken paperitehdas on perustettu vuonna 1903. Vuonna 2021 tehtaalla on kolme paperikonetta, ja vanhin käynnissä oleva paperikone käynnistynyt vuonna 1960. Tehdas tuottaa päällystämätöntä aikakauslehtipaperia, sanomalehtipaperia sekä tarra- ja pakkauspaperia. (UPM, 2020c)

Specialty Papers liiketoiminta-alue tuottaa tarramateriaaleja maailmanmarkkinoille, sekä toimisto- ja joustopakkausmateriaaleja Aasian markkinoille. (UPM, 2020b). Toimitusjohtaja Jussi Pesonen kertoo vuosikertomuksessa, että erityisesti tarramateriaalit ovat kehittyviä markkinoita päivittäistavaroiden voimakkaasta kysynnästä ja verkkokaupan kasvusta johtuen.

3 PAINEILMA

Paineilma on paineistettua ilmaa, joka tuotetaan kompressorilla. Ylipaineiseksi ilmaksi kutsutaan ilmaa, jonka paine on enemmän kuin ilmakehän aiheuttama paine 1 bar absoluuttista painetta. Taas alipaineiseksi ilmaksi kutsutaan paineilmaa, jonka paine on alle ilmakehän aiheuttaman paineen. Kumpaakin näistä kutsutaan paineilmaiksi, sillä niissä ilmaa on paineistettu, joko yli- tai alipaineiseksi. (Fonselius ym. 1997, 19).

Seuraavissa luvuissa käydään läpi paineilman käyttöä, laitteistoa ja tuottamista. Luvussa käydään läpi myös kompressorityypit, joita tehdasosastolla on käytössä.

3.1 Paineilman käyttö

Paineilman avulla käytetään monia erilaisia toimilaitteita. Toimilaitteiksi kutsutaan työtä tekeviä laitteita, esimerkiksi moottoreita ja sylintereitä. Pneumatiikka on nimitys paineilmaa käyttävälle tekniikalle. Paineilmalla toimivat laitteet soveltuvat käyttöön parhaiten silloin, kun:

- käsitellään keveitä kappaleita
- vaaditaan nopeita liikkeitä
- liikkeet tapahtuvat rajalta rajalle
- vaaditaan pehmeää tartuntaa ja siirtoa
- vaaditaan hygieenistä järjestelmää
- toimitaan palo- tai räjähdysalttiissa ympäristössä.

Paineilmaa on teollisuusympäristöissä yleensä helposti saatavilla ja paineilmlaitteet ovat suhteellisen edullisia. Se on myös melko vaaratonta ja siistiä, sopii hyvin riskialttiisiin ympäristöihin. Paineilma on helposti kuljetettavissa ja varastoitavissa. Myös paineilmajärjestelmän huolto on yksinkertaista verrattuna hydraulijärjestelmiin. (Fonselius ym. 1997, 7–10). Työssä kohteena olevat paperikoneet ovat tarkkoja puhtaudesta joten tietyissä kohteissa pneumatiikkalaitte on perusteltu. Myös paperikoneiden nopea toiminta, noin 1000m/min, vaatii nopeita liikkeitä, jossa paineilma on parhaimmillaan.

Paineilman huonoja puolia on sen huono tehonsiirron hyötysuhde ja kokoonpuristuvuus, jolloin raskaiden taakkojen siirto ei onnistu. Paineilmalla ei voi tuottaa jäykkiä väliasentoja ilman erikoistekniikkaa. (Fonselius ym. 1997, 7–10).

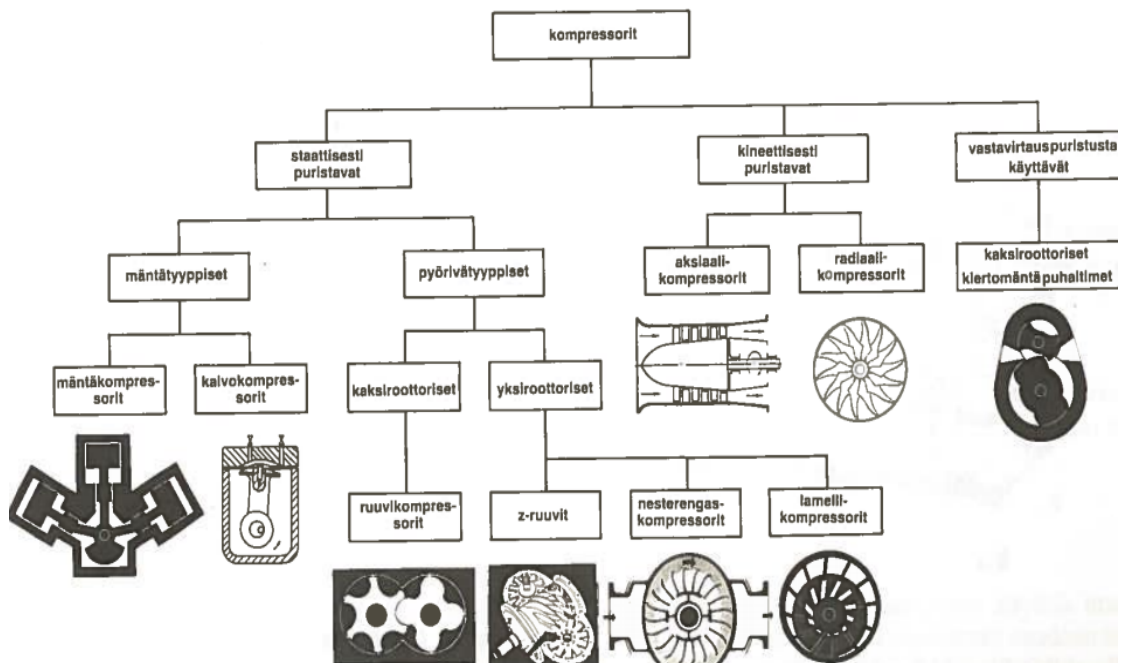
3.2 Laitteet

Toimilaite on yleisnimitys pneumatiikassa laitteille, jotka tekevät halutun työn. Paineilmalla toimivia toimilaitteita on mm. sylinterit ja moottorit. Pneumaattiset sylinterit ovat pääsääntöisesti yksi- tai kaksitoimisia, mutta erikoisvariaatioita erilaisiin sylintereihin löytyy runsaasti. Pneumaattisia sovelluksia toimilaitteista on runsaasti ja poikkeuksetta toimilaite voidaan räätälöidä hoitamaan työ pneumaattisesti. Esimerkiksi jarrut, tarttumat ja kuljettimet ovat yleisiä sovelluksia pneumatiikan toimilaitteista. (Fonselius ym., 1997, 7–10,19).

Pneumaattisia laitteita suositetaan kohteissa, joissa tarvitaan pehmeää kosketusta. Paineilmalla voimat eivät ole suuria verrattuna hydraulikkaan. Koska ilma on kokoonpuristuvaa, soveltuu se esimerkiksi iskunvaimennukseen. Pneumaattikkaa hyödynnetään myös kohteissa, joissa tarvitaan nopeita liikkeitä. Paineilma on puhdasta, joten se soveltuu käytettäväksi lääke- ja elintarviketeollisuudessa. (Fonselius ym., 1997, 7–10,18)

3.3 Paineilman tuottaminen

Paineilmaa tuotetaan laitteilla, joita kutsutaan yleisnimellä kompressoreiksi (Fonselius ym., 1997, 19). Kompressorityyppejä on monenlaisia ja niiden ominaisuudet vaihtelevat tuotto- ja painemäärien mukaan. Kuvassa 1 on esitelty tyypillisimmät kompressorityypit sukupuujaottelulla. Kompressorityypit voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin toimintaperiaatteensa mukaan: staattisesti puristavat, kineettisesti puristavat sekä vastavirtauspuristusta käyttävät (Airila ym., 1983, 25). Osastolla käytössä olevista kompressoreista esitellään luvussa 3.3.2 staattisesti puristavat ja 3.3.3 luvussa kineettisesti puristavat kompressorit. Luvussa 3.3.1 esitellään mäntätyyppiset kompressorit, jotka ovat yleisimpiä siirrettäviä ja yksityisessä käytössä olevia paineilman tuottamiseen tarkoitettuja laitteita.



KUVA 1. Konepressorityyppien esittely. (Airila ym., 1983, 25).

Koneessoreille imettävä ilma on lähtökohtaisesti aina epäpuhdasta, joten paineilmaverkolle asetettujen vaatimusten mukaisesti sitä pitää käsitellä. Suurimpia haittoja paineilmassa on kosteus (vesi), öljy, hiukkaset, virukset ja bakteerit. Ilman käsittelyyn kuuluu imuilman suodatus, paineistetun ilman kuivaus, suodatus sekä öljynerotus. (Airila ym., 1983, 46–48). Paineilman laatustandardi ISO 8573-1:2010 määrittelee paineilman laatuluokan sen puhtauden mukaan. Taulukossa 1 on esitelty laatuluokat, jotka määräytyvät ilmassa olevien partikkelien määrien, ilman kosteuden ja öljyisyyden mukaan. Jokaiselle laatuluokalle on määritelty raja-arvot.

TAULUKKO 1. Paineilman laatustandardin luokitus. (Sarlin Oy, n.d.a.)

PAINEILMAN LAATU ISO 8573-1:2010 STANDARDIN MUKAAN							
Paineilman laatuluokka	KIINTEÄT PARTIKKELIT				VESI		ÖLJY
	Partikkeleiden maks. määrä/m ³			Massapitoisuus mg/m ³	Paineenalainen kastepiste	Neste g/m ³	Öljysumu, -neste ja -höyry mg/m ³
	0,1...0,5 µm	0,5...1 µm	1...5 µm				
0	Laitteiden käyttäjän tai toimittajan määrittelemä ja tiukempi kuin luokka 1.						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5 ... 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5...5	-
9	-	-	-	-	-	5...10	-
x	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

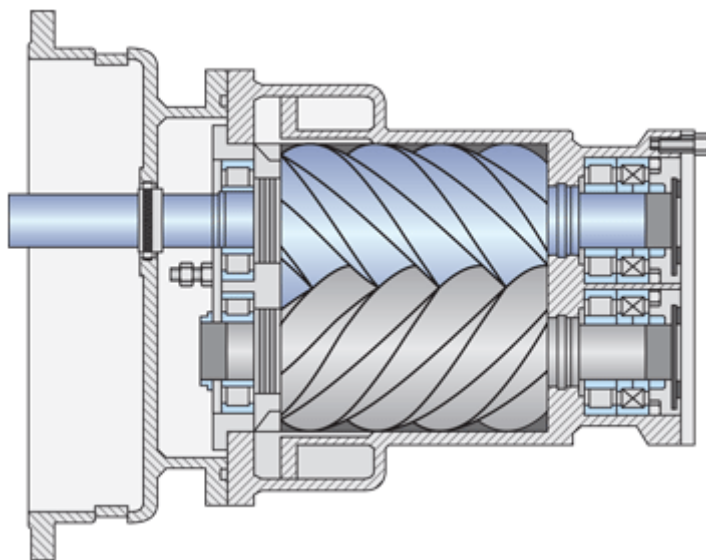
3.3.1 Staattisesti puristavat kompressorit

Staattisesti puristaviin kompressoreihin kuuluvat mäntä- ja pyörivätyyppiset. Mäntätyyppiset kompressorit toimivat mäntä- tai kalvotyypillisesti. Näiden tuottoalue alkaa 1 l/s ja jatkuu aina useaan kymmeneen kuutioon sekunnissa. Myös laaja painealue kuuluu vahvuuksiin: 1 barista yli 1000 barin paineisiin. Koska mäntätyyppiset kompressorit taipuvat näin laajalle alueelle, on niiden rakenneratkaisuissa paljon eroja. Mäntäkompressorit ovat yleinen tekniikka pienempikoisiin kompressoreihin. Niitä käytetään yleisesti kodin paineilman tuotossa sekä liikuteltavissa kompressoreissa. (Airila, 1983, 26–30)

Kalvokompressorit ovat muunnos mäntäkompressoreista, joissa mäntä ja kampaiksi on korvattu kalvon, kiertokangen ja epäkeskon mekaniikalla. Mekaanista kalvokompressoria käytetään pääasiassa tuottamaan öljytöntä paineilmaa pieniä määriä. Yksivaiheisessa kalvopuristuksessa saadaan noin 3–10 barin paine, kun taas monivaiheisessa puristuksessa jopa yli 1000 barin paine. (Airila, 1983, 26–30)

3.3.2 Pyörivätyyppiset kompressorit

Pyörivätyyppisiin kompressoreihin kuuluvat ruuvikompressorit ja lamellikompressorit. Ruuvikompressorit ovat kehitetty 1930-luvulla ruotsalaisen A. Lysholmin toimesta tuottamaan öljytöntä ilmaa. Ruuvikompressorin nimi tulee kahdesta toisiinsa nähden rynnössä olevasta roottorista, jotka puristavat ilman toistensa väliin (kuva 2). Tuottoa voidaan säätää kolmella erilaisella tavalla: käyntinopeuden säädöllä, imuvirtauksen kuristuksella sekä luisti- tai kiertoventtiilisäädöllä. Öljyttömässä ruuvikompressorissa vain käyntinopeuden säätö sekä takaiskierrätys säätö vähäiseen imuilman kuristamiseen yhdistettynä onnistuu. (Airila, 1983, 30–35). Ruuvikompressorin hyötynä on tasainen tuotto jopa 60 000 Nm³/h asti ja suuri painealue 0,8–25 bar (Jyväskylän koulutuskuntayhtymä, n.d.). Ruuvikompressoreiden osuus teollisuudessa on Fonseliuksen mukaan jopa yli 90 % (1997, 40). Työssä kohteena olevassa järjestelmässä on neljä kappaletta Atlas Copco:n ZR5-53 -ruuvikompressoria, sekä yksi Zr4 -ruuvikompressor.



KUVA 2. Ruuvikompressor, jossa näkyvät toisiinsa nähden rynnössä olevat roottorit. (Bowman, 2017)

Lamellikompressorin toiminta perustuu epäkeskeisesti pesässä sijaitsevasta roottorista, jossa on uriin sijoitetut radiaalisesti liikkuvat siivekkeet. Siivekkeet painautuvat keskipakoisvoiman ansiosta pesän ulkoreunoihin ja siipien väliin

jääviin onkaloihin paineistuu ilmaa. Paineistus perustuu tilavuuden pientymiseen roottorin pyöriessä epäkeskoisesti. Lamellikompressorin tuottoa voidaan säätää imuvirtausta kuristamalla. Pienitehoisia lamellikompressoreita saa öljytömänä, mutta yleisin 8 barin paineella toimiva kompressorit toimii öljysuihkutuksella. (Airila ym., 1983, 35–36).

3.3.3 Kineettisesti puristavat kompressorit

Kineettisesti puristavia kompressoreita on kahta päätyyppiä, aksiaalinen ja radiaalinen. Yleisempi nimitys kineettisesti puristaville kompressoreille on turbokompressorit. Turbon paineen tuotto toteutetaan monessa vaiheessa, radiaalisessa yhden vaiheen painesuhteen ollessa 3–5 ja aksiaalisessa vain hieman suurempi kuin yksi. Aksiaalisessa kompressorissa täytyy tämän vuoksi olla jopa kymmeniä vaiheita, jotta voidaan tuottaa tarpeeksi painetta teollisuuden käyttöön.

Turbokompressoreilla voidaan tuottaa suuria ilmamääriä, mutta korkeita paineita ei saavuteta. Myöskään tuottopuolta ei voi kuristaa liikaa, sillä turbon siivikkeet alkavat ”sakkaamaan” ja virtauksen suunta kääntyy. Sakkausraja ilmoitetaan kompressorin ominaiskäyrässä. (Airila ym., 1983, 37–38).

3.3.4 Jälkikäsitteleminen

Kompressorilla tuotetussa paineilmassa on aina mukana epäpuhtauksia ja kosteutta, kuten luvussa 3.3 mainittiin. Imuilman suodatus ja tuotetun paineilman jälkikäsitteleminen on tärkeää, jotta paineilmajärjestelmä ja sen laitteet toimivat niille asetetuilla vaatimuksilla.

Koneautomaation pneumatiikka -kirjassa (Fonselius ym., 1997, 47–55) kerrotaan suurimpien haittojen syntyvän öljystä, vesihöyrystä, hiukkasista, bakteereista ja viruksista. Ilmasta saadaan poistettua suodattimien avulla kiinteät epäpuhtaudet, mutta kosteuden ja öljyn poistoon vaaditaan teknisempiä ratkaisuja. Paineistettua ilmaa pitää käsitellä, jotta siitä saadaan tarpeeksi laadukasta tarvittaviin vaatimuksiin. Paineilman käsittely aiheuttaa aina painehäviöitä, joten

sen ylimitoittaminen ja liian laadukkaan ilman tuottaminen aiheuttaa lisäkustannuksia. Toisaalta puhdas paineilma säästää toimilaitteita, jolloin niiden käyttöaste on korkeampi ja huoltokustannukset putoavat. Tämän takia on tärkeää saada jälkikäsitteily mitoitettua siten, että ei tuoteta liian puhdasta paineilmaa, mutta järjestelmälle asetettujen vaatimukset täyttävää.

Ilmassa olevan suhteellisen kosteuden osuus lisääntyy, kun ilmaa paineistetaan. Varsinkin kesällä lämmin imuilma sisältää paljon absoluuttista kosteutta, jolloin puristaessa se tiivistyy vedeksi. Siksi paineilma kuivataan siten, että sen kastepiste on tarpeeksi matala, ja paineilmasta ei tiivisty vettä järjestelmään. Kaksi yleisintä kuivaustapaa ovat adsorptiokuivaus ja jälkijäähdytys. (Airila ym., 1983, 55–63).

Adsorptiokuivauksessa ilma kulkee huokoisen, vesimolekyylejä itseensä sitovan elvytettävissä olevan kuivausaineen läpi. Tyypillisimmät kuivausaineet ovat silicageeli, aktivoitu alumiinioksidi sekä molekyyliseula. Myös suolapellettejä tai nestemäistä glykolia käytetään kuivausaineena. Kuivausaine voidaan elvyttää kuivalla paineilmalla tai sähkövastuksella lämmittämällä. Kuivausaineen liikaantuaessa, on se vaihdettava. Adsorptiokuivaus on välttämättömyys, kun paineilmaa käytetään ulkotiloissa. Tällä menetelmällä kastepiste saadaan riittävän alhaiseksi, jolloin kosteus ei jäädy talvipakkasilla. (Airila ym., 1983, 59–61).

Jäähdytyskuivauksessa paineilma jäähdytetään lämmönvaihtimessa, jolloin kastepisteen laskiessa vettä tiivistyy ilmasta pois. Ilman lämmettyä uudestaan sen absoluuttinen ja suhteellinen kosteus pienenevät. Jäähdytyskuivaus on yleensä riittävä, kun paineilmaverkko sijaitsee kokonaisuudessaan sisätiloissa. (Airila ym., 1983, 56–59).

Öljyn erottaminen paineilmasta suoritetaan joko mekaanisesti, yhdistymis-suodatuksena tai adsorptiolla. Tarvittavan suodatuslaadun saavuttamiseksi voidaan näitä käyttää yksinään tai kaikkia yhdessä. (Airila ym., 1983, 63–64).

Mekaanisessa suodatuksessa partikkelin pääsy eteenpäin estetään verkoilla tai rei'illä. Suodatus toteutetaan paperisuodattimilla tai paksuksi pakatuilla suoda-

tinaineilla. Tämä tekniikka suodattaa suurimmat öljypartikkelit, mutta verkon silmäkoon tai reikien pienentyessä virtausvastus ja painehäviöt kasvavat järjestelmässä. (Airila ym., 1983, 65).

Yhdistymissuodatuksessa öljysumupisararat yhdistyvät suuremmiksi, kun ilmavirta kulkee ohuiden kuitujen muodostaman kerroksen läpi. Paineilma kulkee kuitujen läpi helposti suhteellisen alhaisen ominaispainonsa ja massavoimansa turvin, kun taas massavoimiltaan suuremmat ilman sisältämät partikkelit törmäävät kuituihin. Kun öljypartikkelit jäävät kuituihin kiinni, yhdistyvät ne pikkuhiljaa toisiinsa ja lopuksi painovoiman ansiosta putoaa alaspäin, pois elementiltä. Kiinteät partikkelit, kuten savu tai pöly, tarttuvat suodatinelementtiin helposti kiinni ja aiheuttavat tukoksia kerroksien välissä. Näin ollen elementti täytyy vaihtaa määräajoin. Yhdistymissuodatuksella saadaan suurin osa nestemäisestä öljystä ja öljysumusta suodatettua, jopa 99,99998 % varmuudella. Tosin höyry- ja kaasumaiset hiilivedyt pääsevät läpi. Ne suodatetaan aktiivihiiisuodattimella. (Airila ym., 1983, 65).

Adsorptiosuodatus on periaatteeltaan sama kuin adsorptiokuivauksessa. Siinä partikkelit sidotaan adheesiota hyväksikäyttäen kiinteään adsorptioaineeseen. Yleisimmin käytetty adsorptioaine paineilmalla on aktiivihiihi. Aktiivihiihen raekoko suodattimissa on hyvin pieni, noin 70 µm. Koska likapartikkelit sitoutuvat adsorptioaineeseen, ei suodattimen paine-ero kasva merkittävästi suodattimessa. Aktiivihiiisuodatus vaatii kuivaa ilmaa, joten kosteus ja öljysumu on suodatettava sitä ennen pois. (Airila ym., 1983, 65–66).

Kun paineilman täytyy olla täysin steriiliä, kuten sairaaloissa ja lääkeaineteollisuudessa, käytetään steriilisuodattimia. Steriilisuodattimet ovat kemiallisesti, biokemiallisesti ja biologisesti neutraaleja. Steriilisuodattimet vaativat erittäin pienihuokoista kalvoa, huokoskoon ollessa 0,2–0,45 µm (Aittomäki ym., 2002, 137–144).

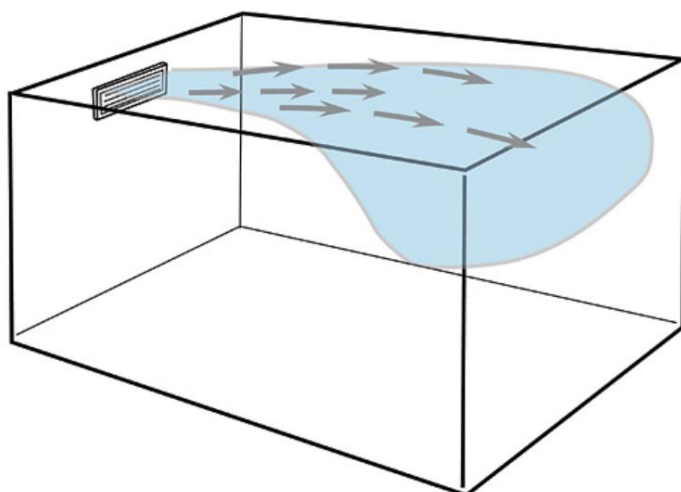
3.4 Coanda-ilmiö

Coanda-ilmiö on romanialaisen insinööri Henri Coandă:n löytämä ilmiö, joka selittää fluidien, eli kaasujen ja nesteiden, käyttäytymisen pintojen läheisyydessä. Ilmiötä on alettu hyväksikäyttää esimerkiksi paineilmapistooleissa, jotta paineilman käyttöä saadaan vähennettyä. Ilmiössä fluidi alkaa kulkeutua pintaa pitkin aiheuttaen kitkaa. Tämä kitka vetää fluidia pintaa vasten. Ilmiö on havainnollistettu kuvassa 3, jossa vesihanasta valutettu vesi ajautuu lusikan pintaan eikä roiski ympäriinsä.



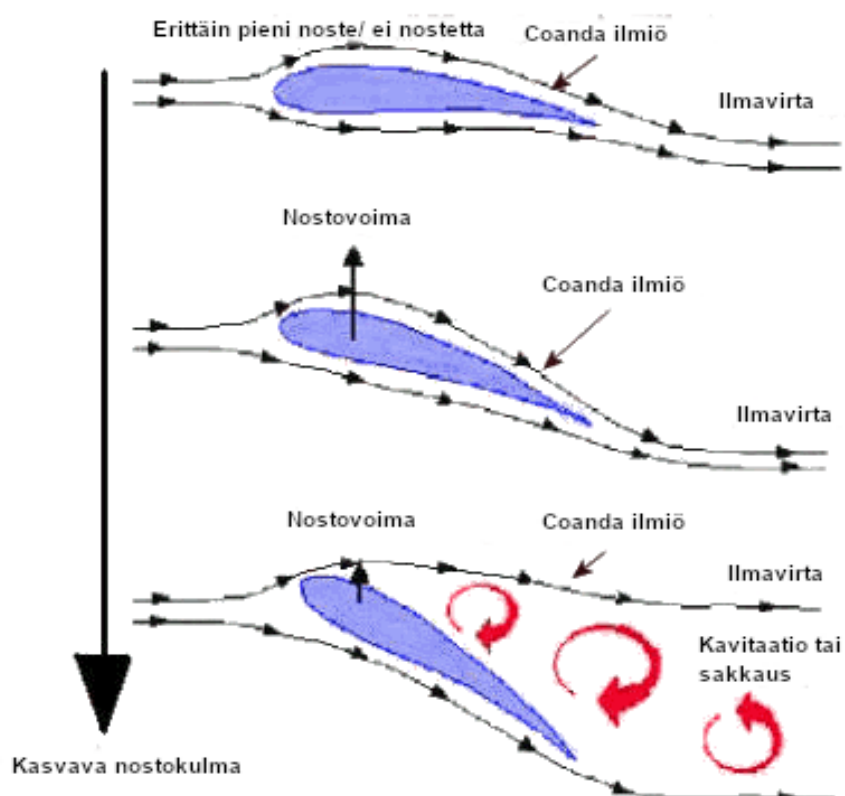
KUVA 3. Coanda-ilmiön ansiosta vesi ajautuu lusikan pintaan eikä roiski ympäriinsä (National Aeronautics and Space Administration, 2010).

Kodeissa ilmiö on havaittavissa ilmalämpöpumpuissa, jossa jäähdytetty tai lämmitetty ilma saadaan koko tilaan puhaltamalla ilma seinä- ja kattorakenteita pitkin. Kuvassa 4 on esitetty, kuinka ilmastoinnista puhallettava ilma kulkeutuu kattorakenteita pitkin huoneen perimmäiseenkin nurkkaan.



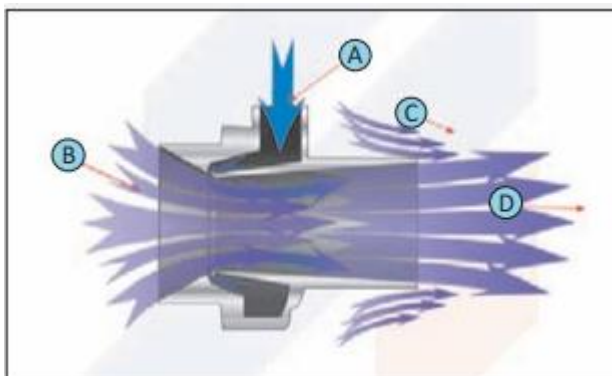
KUVA 4. Tuuletusilma kulkeutuu kattorakenteita pitkin koko huoneeseen.
(Richardson, 2014)

Coanda-ilmion hyväksikäyttö on kuitenkin yleisintä lentokoneiden suunnittelussa. Ilmiön avulla ilmavirta kiinnittyy lentokoneen siivessä olevan laipan pintaan ja sen kulmaa muuttamalla voidaan lisätä nostovoimaa (Kuva 5).



KUVA 5. Nosteen syntyminen lentokoneen siivessä Coanda-ilmion takia. (S & C Thermofluids Ltd, 2014, muokattu)

Pneumatiikassa ilmiötä hyödynnetään virtausvahvistimissa. Kun paineilmakäyttöisestä suuttimesta ulostuleva ilma pyrkii seuraamaan kaarevaa pintaa, pienemmästä paineesta tulevaa ilmaa voidaan lisätä ylipaineistetun ilman sekaan. Tekniikalla voidaan tuottaa jopa 17-kertainen ilmamäärä suhteessa paineistetun ilman määrään. Ilmiön käyttöä on havainnollistettu kuvassa 6. (Virtaustekniikka, n.d.c.).



KUVA 6. Pneumaattinen virtausvahvistin, jossa hyödynnetään Coanda-ilmiötä. (Virtaustekniikka, n.d.c.).

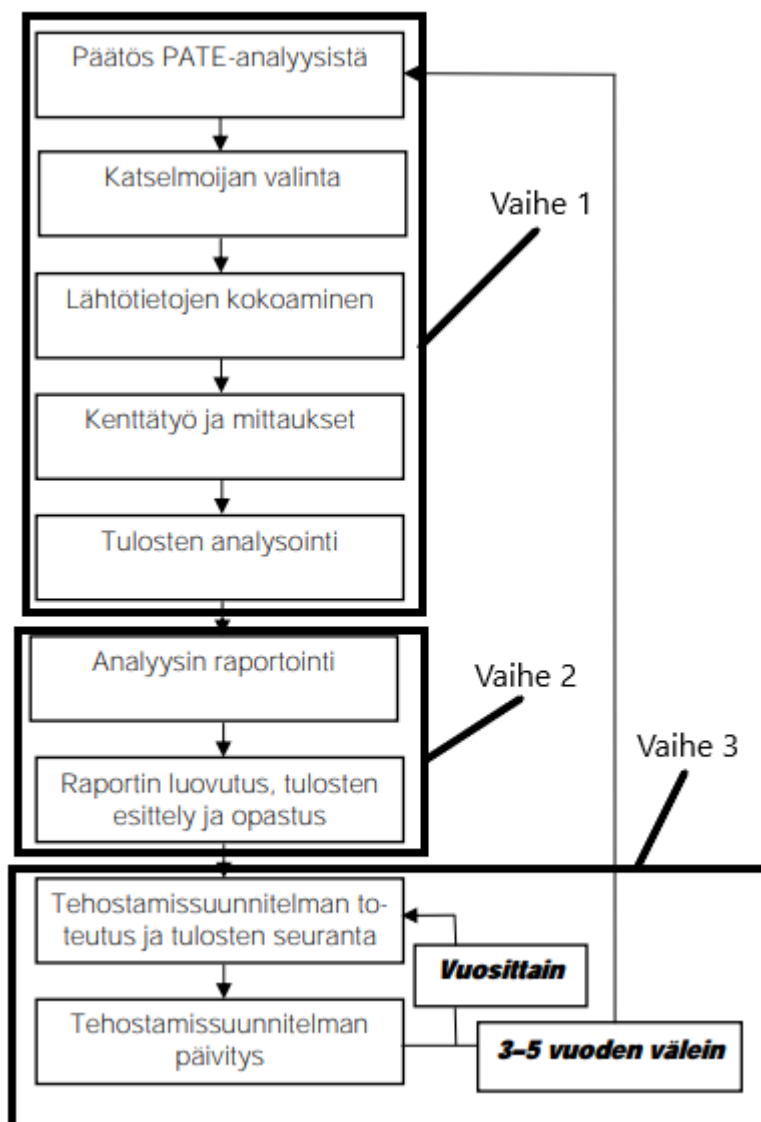
4 PATE-ANALYYSI

PATE-Analyysi on Motiva Oy:n vuonna 2003 käynnistämä projekti. Projekti sai alkunsa teollisuudelta ja kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosastolta saadun palautteen perusteella. Tavoitteena on säästää paineilman energiakustannuksissa suurissa teollisuusympäristöissä sekä kunnossapidon ja käytettävyyden parantaminen. Tässä ohella tarkoitus oli oppia, kerätä ja jalostaa tietoa teollisuuden paineilman käytöstä ja saadun tiedon perusteella jakaa sitä kaikille teollisuusyrityksille. Projektin alkaessa mukana oli neljä prosessiteollisuuden tehdasta ja seitsemän pk-teollisuuden yritystä. Tämän projektin tarkoitus oli keskittyä paineilman käytön vähennykseen ja tutkia yrityksen tarpeita paineilmalle. Projektin lopputuloksena syntyi analyysimalli, joka voidaan suorittaa muissa teollisuusyrityksissä. Analyysin tavoite on löytää ratkaisuja energian vähentämiseen paineilmalaitteissa ja -tuotannossa. (Motiva Oy, 2006, 3).

PATE-analyysi on suunniteltu erityisesti sellaisiin paineilmajärjestelmiin, joissa on vähintään kaksi kompressoria, joiden yhteinen sähköteho on vähintään 100 kW tai sähköenergiankulutus vähintään 200 MWh/a. (Motiva Oy, 2006, 7). Tässä työssä oleva paineilmajärjestelmä täyttää nämä vaatimukset, joten analyysin tekeminen kohteeseen on suositeltua.

4.1 Analyysiprosessi

Prosessi voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Koko prosessin tarkoitus on tarkastella kriittisesti paineilman käyttöä ja tarvetta. Prosessin ensimmäinen vaihe alkaa päätöksestä toteuttaa analyysi paineilmajärjestelmässä ja analyysille valitaan vastuuhenkilö. Vastuuhenkilö kokoaa järjestelmän lähtötiedot: paineilmajärjestelmän ja -tuotannon koko, kulutuskohteet ja -määrät sekä paineilman tarpeellisuus. Toimilaitteita analysoitaessa on tarkasteltava mahdollisuus toimintaan jollain muulla, energiatehokkaammalla, toimintaperiaatteella. Prosessin kenttätyössä käydään läpi verkostovuodot ja paineilman käyttökohteet. Viimeiseksi analyysissä tarkastellaan paineilman tuotanto sekä sen energiatehokkuus. (Motiva Oy, 2006, 8–10). Tässä työssä toimittiin juuri analyysin suosittelulla tavalla. Prosessin kulkukaavio esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. PATE-analyysiprosessin kulkukaavio. Muokattu. (Motiva Oy, 2006, 8).

Prosessin toinen vaihe käsittää muutosehdotukset ja investointitarpeet. Energiatehokkuuteen vaikuttavat toimet raportoidaan johtopäätöksineen ja perusteluineen, vaikka säästöpotentiaalia ei löytyisikään. Raportissa lasketaan, paljonko ehdotettujen toimien energiansäästö on ja investoinneille takaisinmaksuaika. Raporttiin lisätään myös tiedot käyttö- ja kunnossapidosta, ja miten siinä otetaan huomioon paineilman energiatehokkuus. Vuotokartoituksen lisääminen vuosihuolto-ohjelmaan on hyvä esimerkki kunnossapidolliselle toiminnalle paineilman energiatehokkuuden lisääjänä. (Motiva Oy, 2006, 8–10). Kehitysideoiden toteuttamisessa Motiva julkaisussaan (2006, 9) painottaa ottamaan yhteyttä paineilmanverkosta vastuussa olevaan henkilöön, sillä asia ilmaistaan ulkopuolisen auditoijan silmin. Tässä työssä kohteena olevan UPM Jämsänkosken re-

surssit riittävät kuitenkin toimimaan sisäisesti, vaikka analyysille ja kehitysideoille vastuuhenkilö on nimetty. Tämä helpottaa analyysiä ja prosessia, sillä oma paineilmaverkko ja siinä olevat laitteet ovat tuttuja.

Kolmannessa vaiheessa seurataan saavutettua hyötyä ja pidetään huolta siitä, että järjestelmä pysyy energiatehokkaana. Tämä vaihe on hyvä toistaa vuosittain, jotta energiakustannukset pysyvät hallinnassa. Koko analyysiprosessi on hyvä suorittaa noin 3-5 vuoden välein tai jos järjestelmää muutetaan suuresti. Vaiheen onnistuminen vaatii vastuuhenkilön aitoa kiinnostusta asiaan, jotta jo aikaisemmin tehtyä työtä ei unohdeta. Järjestelmän pitäminen energiatehokkaana vaatii aktiivista työtä, mutta palkintona tästä saadaan kustannustehokas verkosto. (Motiva Oy, 2006, 8–10).

Koko prosessista kasataan raportti paineilmajärjestelmän hallitsijalle ja kannustetaan kehitysideoihin. Taulukko 2 sisältyy raporttiin. Siinä esitellään säästöpotentiaalia ja investointien kokonaiskustannuksia. Investointeihin yritys voi saada jopa 20 % tuen TE-keskukselta. Energiainvestointitukihakemus on tehtävä kuitenkin ennen investointeja. (Motiva Oy, 2006, 9–10)

TAULUKKO 2. Raporttiin sisällytetty taulukko säästöpotentiaalista ja kokonaisinvestoinneista. (Motiva Oy, 2006, 22)

Nykyinen paineilman kulutus		Säästöpotentiaali			Kokonaisinvestointi		
Vuosi							
Sähköenergia		Sähköenergia					
x	MWh/a	x	MWh/a	x	%	x	EUR
x	EUR/a	x	EUR/a	x	%		
		x	tCO ₂	x	%		
		Lämpöenergia					
		x	MWh/a			x	EUR
		x	EUR/a				
		x	tCO ₂				
		Vedenkulutus					
		x	m ^{3/a}			x	EUR
		x	EUR/a				
Kulutukset yhteensä		Säästöt yhteensä			Investoinnit yhteensä		
		x	EUR/a				
x	EUR/a	x	tCO ₂			x	EUR

4.2 Mittaukset

Analyysissä suoritettavat mittaukset, mittaustavat, mittausjaksot ja -kohteet sekä tarve on esitelty taulukossa 3. Mittaukset analysoivat järjestelmää, ja niiden pohjalta voidaan arvioida investointitarpeita. (Motiva Oy, 2006, 11)

TAULUKKO 3. Mittauskohteet, -jaksot sekä tarpeet. (Motiva Oy, 2006 s. 11)

<i>Mittaus</i>	<i>Mittaustapa</i>	<i>Mittausjakso/-kohde</i>	<i>Tarve</i>
<i>Kompressorin sähkötehomittaus</i>	Seuranta-mittaus	Työaika, tauko-aika ja seisokki-aika	Välttämätön
<i>Kompressorien toimintarajat</i>	Kertamittaus	Kompressoreittain (käynnistys ja kevennyspaine)	Välttämätön
<i>Verkostopaine</i>	Seuranta-mittaus	Kompressorin tuottopaine, paine jälkikäsittelyn jälkeen, Kriittiset pisteet (esim. verkoston kaukaisin piste)	Suosittel-tava
<i>Ilmavirta</i>	Seuranta-mittaus	Päähaara ja merkittävät sivuhaarat	Suosittel-tava
<i>Kompressorihuoneen/imuilmaman lämpötila</i>	Seuranta-mittaus	Seurantamittaus huoneilmasta/imuilmasta	Välttämätön
<i>Kuivaimelle menevän paineilman lämpötila</i>	Kertamittaus	Kompressoreittain	Välttämätön
<i>Kuivaimen sähköenergian käyttö</i>	Kertamittaus	Toimintajakson ajan	Suosittel-tava
<i>Kastepiste</i>	Kertatarkistus	Kuivaimen näyttö	Välttämätön
<i>Ilma-/vesijähdytyksen häviö-lämpö</i>	Kertamittaus	Lämmöntalteenoton toimintatarkastus sekä LTO:n potentiaalinen selvitys	Välttämätön

UPM Jämsänkoscella kompressoreiden säädöstä ja seurannasta huolehtiva Sarlin Oy toimittaa vuosittain raportin mittauksista ja tiedot ovat saatavilla heiltä. Mittauskohteiden seuranta on tämän huoltosopimuksen avustuksella hyvällä mallilla. Sarlin myös aktiivisesti tehostaa kompressoreiden toimintaa sekä ilmoittaa häiriötilanteista. Painemittausten kriittisten pisteiden lisäys sekä ilmavirtamittaus suurimpien toimilaitteiden yhteyteen on suositeltavaa. Tämä auttaa havaitsemaan järjestelmän vuotoja sekä kehittämään järjestelmää energiatehokkaammaksi.

Jotta voidaan varmistua ilmamäärän ja -paineen oikeellisuudesta, tarvitaan laitteiden suunnittelutietoja. Suunnittelutiedoista voidaan laskea järjestelmän tarvitsema paineilman määrä ja paine. Kun järjestelmän tarvitseman paineilman ja tuotetun paineilman erotus on pieni, on kyseessä optimaalisesti säädetty paineilmajärjestelmä. Mittaukset helpottavat todellisen paineilmankulutuksen seuranta ja tuoton säätämistä.

5 PAINEILMAJÄRJESTELMÄ

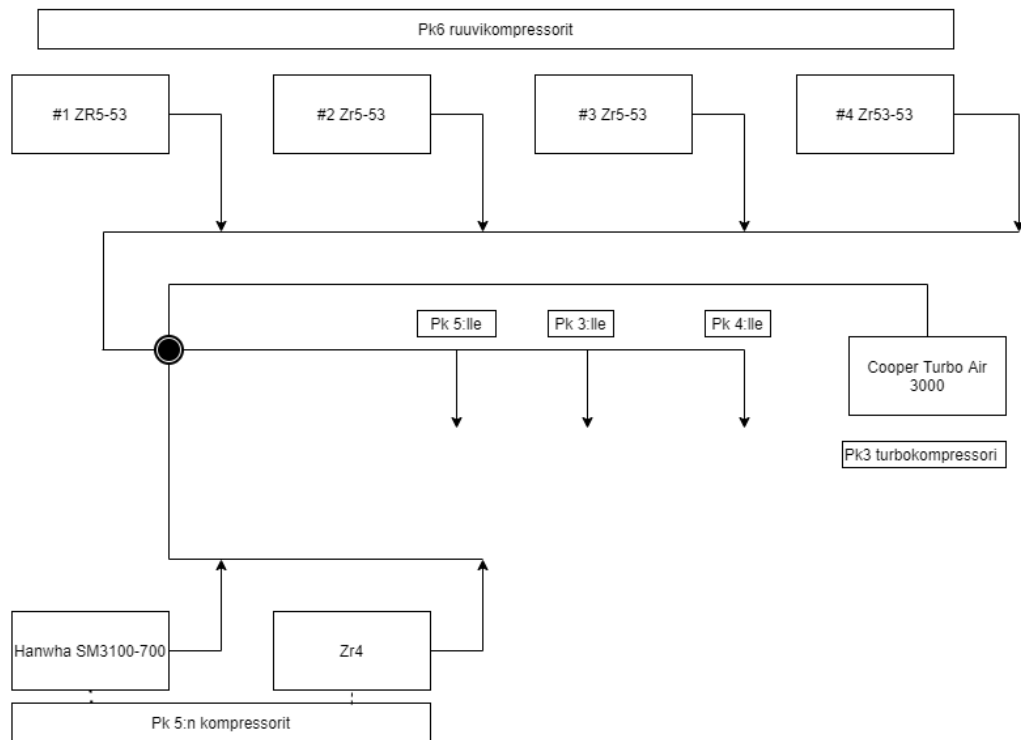
Työssä vaadittiin tarkka käsitys paineilmajärjestelmästä ja siinä olevista komponenteista. Paineilmajärjestelmän tunteminen edesauttaa sen kriittistä tutkimista ja löytämään sieltä korjauskohteita.

Työssä lähdettiin etsimään paineilmajärjestelmästä ja paperikoneilta potentiaalisia kohteita vähentää paineilman käyttöä. Monet laitteet ovat teknologian kehityksessä jääneet erittäin energiatehottomiksi ja ne täytyisi päivittää nykypäivään. Laitteiden toiminta ja niiden käyttämä energia vaikuttaa paperikoneiden tuotantotehokkuuteen.

5.1 Paineilman tuotanto

Tehdasosastolla paineilmaa tuottavat paperikone 3:lla sijaitseva Cooper Turbo Air 3000 kompressori, paperikone 5:llä sijaitsevat uusi Hanwha SM3100-700 -turbokompressori ja instrumentti-ilmaa tuottava Zr4 -ruuvikompressori. Paperikone 6:lla sijaitsevat neljä Atlas Copcon ZR5-53 -ruuvikompressoria tuottavat myös paperikoneiden 3 ja 4:n yhteiseen järjestelmään paineilmaa. Kompressoreita valvoo, huoltaa ja säätää Sarlin Oy Ab oman Balance-ohjelmansa avulla. Kompressoreiden sijoitus paineilmajärjestelmässä on esitetty kuvassa 8.

Jokaisella kompressorilla on oma adsorptiokuivaimensa. ZR5 -kompressoreissa käytetään Atlas Copcon MD6 -kuivaimia. ZR4-52 -kompressorilla on ARP638673 -mallinen kuivain sekä kompressorin tuottamaa paineilmaa kuivataan jäähdyttämällä Atlas Copcon 1202-4884-80 -mallisella jälkijäähdyttimellä. Paineilman suodatukselta vastaa DDp 780F -suodatin. Hanwha-turbokompressorissa käytetään alipaine-elvytettävää FST DTS 720V adsorptiokuivainta. Cooper-turbokompressorilla on kaksi Zander DTV100 adsorptiokuivainta, jotka toimivat vuorotellen toisen ollessa käytössä ja toinen elvytyksessä. Kuivaimilla on esi- ja jälkisuodatus.



KUVA 8. Kompressorien sijoitus paineilmajärjestelmässä.

Kompressoreiden toimintaa valvoo ja säätää Sarlin Oy. Yrityksellä on kompressoreiden hallintaan käytössä oma Sarlin Balance -ohjelma, joka seuraa ja säätää paineilmajärjestelmää. Ohjelmaan on sisällytetty kaikki kompressorit ja päälinjojen painemittaukset. Näin voidaan ohjelman avulla säätää ruuvikompressorien käyntiajat ja verkoston paine. Paperikone 3:n Cooper turbokompressorin säätö ei onnistu, mutta sen tuottomääriä ja -paineita voidaan seurata.

Ohjelma seuraa myös paineilmajärjestelmän ilmentulusta, kompressoreiden tehontarvetta sekä paineilman kastepistettä. Ilman ja tehonkulutuksen avulla voidaan laskea ominaisenergiatarvetta ($\text{kW}/\text{m}^3/\text{min}$) järjestelmälle. Säätöohjelman avulla voidaan myös reagoida esimerkiksi päänvienti tilanteisiin nostamalla järjestelmän tuottopainetta hetkellisesti. Näillä säätötoimenpiteillä saadaan energiansäästöä n. 20 %.

Järjestelmän kompressorikapasiteetista on vuonna 2019 ollut käytössä 49–53 % ja paperikone 3:n Cooper turbokompressorit vastannut noin 20 % kapasiteetista. Tilannetta helpottaa uusi Hanwha:n turbokompressorit, jonka nimellinen

tuottomäärä on n. 100 m³/min ja vastaa noin kolmanneksen keskimääräisestä paineilman tarpeesta.

Osaston paineilmantuotto vaihtelee 230 – 300 m³/min välillä ja vuonna 2019 oli keskimääräisesti 274,2 m³/min. Ominaisenergiantarve kompressoreilla oli 5,8 kW/m³/min. Järjestelmän kulutus on suuri, joten säästökohteita riittää.

Kompressoreiden tuottamaa hukkalämpöä hyväksikäytetään lämmöntalteenotossa. Kompressoreiden jäähdytyksessä käytetystä vedestä otetaan lämpöenergia talteen lämmönvaihtimien avulla osaston yhteiseen lämminvesijärjestelmään. Lämmöntalteenotto lisää kompressoreiden hyötysuhdetta.

Järjestelmän asetusverkkopaine on asetettu normaalitilanteessa 5,8 bariin ja ratatkatutilanteessa 6,0 bariin. Painetaso on tämän kokoisessa järjestelmässä hyvällä tasolla ja sitä on aktiivisesti koitettu madaltaa. Jotkin toimilaitteet vaativat korkeamman työpaineen, joten järjestelmäpaineen madaltaminen entisestään vaatii kokemusten mukaan paineenkorottimia ko. toimilaitteille, tai niiden korvaamista muilla ratkaisuilla.

Kompressoreiden toiminta huomattiin työssä toimivaksi. Sarlinilla on paljon tietoa käytettävissä useista laitoksista ja niiden paineilmajärjestelmien säädöstä, joten toiminta on optimoitu hyvälle energiatasolle käytössä olevalla laitteistolla. Painetason laskemista kuitenkin suositellaan, sillä Motivan julkaisemassa Energiategokkaan paineilmajärjestelmän suunnitteleminen -koulutusmateriaalissa (2020) kerrotaan 1 barin painetason laskevan sähkön kustannuksia noin 6–8 %. Yleensä paineenlaskupotentiaalia on järjestelmässä 0,2–2,0 baria.

5.2 Verkosto

Osaston paineilmaverkosto on pituudeltaan ja tilavuudeltaan suuri. Päälinja on rengaslinja, josta on otettu useita sivuhaaroja. Kompessoreilta tulevan päälinjan putkikoko on DN 200 ja se kutistuu rengaslinjassa pienimmillään DN 100:n. Rengaslinjaan liitetyt sivuhaarat ovat DN 25–100 väliltä. Rengaslinjan suuri tilavuus tasoittaa kulutuspiikkien aiheuttamaa äkillistä tarvetta paineilmalle ja toimii säiliönä paineilmalle.

Paineilmasäiliöitä verkossa on paperikone 4:llä kaksi kappaletta tilavuudeltaan 3 m³. Rengaslinjassa on useita sulkuventtiilejä, joten osia siitä voidaan sulkea pois esimerkiksi kunnossapitotöitä varten. Paperikoneilla on erikseen verkosto instrumentti-ilmalle. Verkoston seuraamista ja kunnossapitoa helpottamaan tulisi lisätä painemittauksia sivuhaaroille. Näiden painemittauksien avulla voidaan seurata, jos jokin paineilmaverkon liitännälinjoista kuluttaa hälyttäviä määriä ilmaa tai on esimerkiksi rikkoutunut ja vuotaa.

Koska paperikoneet ovat kymmeniä vuosia vanhoja ja ovat kokeneet monia muutoksia ajan saatossa, verkostoon on jäänyt käyttämättömäksi liitännöitä, joita karsimalla voidaan vuotokohteita ja paineistettavaa tilavuutta vähentää. Myös liitännöiden ja sivuhaarojen sulkeminen niiden ollessa pois käytöstä vähentäisi paineilman turhaa tuottoa ja potentiaalisia vuotokohteita.

6 VUOTOJEN KARTOITTAMINEN

Vuodot paineilmaverkostossa kuluttaa tuotetusta paineilmakapasiteetista 5-30% riippuen vuotojen määrästä ja verkoston koosta (Sarlin, n.d.b.). UPM Jämsänkosken tehtaan kokoluokassa säästöpotentiaali on noin 20% tuotetusta paineilmasta (Keski-Honkola, 2014). Taulukossa 4 on esitelty vuotoreiän halkaisijan koon mukaan laskennalliset arvot kustannuksista per vuosi. Taulukosta havaitaan, kuinka kallista paineilmaa on hukata. Tämän takia yleensä suurimmat säästöt saadaan kartoittamalla vuodot paineilmaverkostossa ja paikkaamalla ne. Jotkin toimilaitteet vuotavat paineilmaa ”ominaisuutena”, joten on myös tärkeää sulkea venttiilien taakse sellaiset toimilaitteet, jotka eivät tarvitse paineilmaa jatkuvasti.

TAULUKKO 4. Vuotoreiän hinta vuodessa kun *)60€/MWh. (Sarlin, n.d.b.)

<i>Vuotoreiän halkaisija mm</i>	<i>Vuotomäärä 6 Bar l/min</i>	<i>Kustannukset €/vuosi*)</i>
1	67	241
1,5	150	541
2	266	962
3	599	2165
4	1066	3849
5	1665	6015

PATE-analyysissä otetaan kantaa paineilmavuotokartoitukseen ja siinä suositetaan kartoituksen tekemistä vuosittain. Paineilmavuotojen havainnointi ja paikkaaminen kuuluu ennakoivan kunnossapidon määräaikaishuoltoihin. Täten vuodot saadaan korjattua jo varhaisessa vaiheessa, eivätkä ne aiheuta turhia kustannuksia pitkiä aikoja. Pieneksikin luokiteltu vuoto täytyy korjata heti kun mahdollista. Pienet vuodot kasvavat ajan kuluessa, kun karkaava paineilma pääsee sitä kuluttamaan. Vuodot myös aiheuttavat järjestelmässä painetason laskua, jolloin laitteet eivät välttämättä toimi toivotulla tavalla ja voivat aiheuttaa prosessikatkoja. Paineilmaverkon kaukaisin linja kompressorilta katsottuna ja sen vuodot voi olla este sille, että kompressorien tuottorajoja ei voida laskea.

Vuotojen paikantaminen ihmisen omilla aisteilla meluisassa olosuhteessa on hankalaa, joten tekniikkaa tulee käyttää apuna. Osaston ennakkohuollolla ei ole käytössä omaa vuotoäänien paikannuskameraa, mutta tässä työssä vuotojen

paikantamiseen käytettiin toiselta tehtaalta lainattua Noiseless Acoustics:n AC 100014 -ultraäänikameraa, joka auttaa paikantamaan vuodot ihmisaisteja helpommin meluisissa paperisaleissa. Vuotoja merkattiin ja kirjattiin, jotta ne voidaan myöhemmin korjata.

6.1 Automaattiventtiilit

Mittauksen alussa todettiin poikkeuksetta automaattiventtiilien toimilaitteiden vuotavan liitinkaroistaan ja tiivistepintojen välistä (kuva 9). Vuodot olivat pieniä, mutta kustannukset kertaantuvat suuresti, sillä automaattiventtiilejä on osastolla satoja. Ongelmaa on hankala ratkaista, sillä jo uudet venttiilit saattavat vuotaa hieman. Tiivistysongelmista pitäisi raportoida venttiilivalmistajia, jotta he voivat ottaa sen kehityskohteekseen. Muita havaittuja ongelmia on esimerkiksi säätöventtiilien vuodot, jotka johtuvat toimilaitteiden jatkuvasta käytöstä. Myös kuumat ja kosteat olosuhteet lyhentävät venttiilien ja niiden toimilaitteiden optimaalista käyttöikää.



KUVA 9. Automaattiventtiin toimilaitte vuotaa tiivistepinnan välistä.

Yksittäisessä viiraosan höyryventtiilissä huomattiin toimilaitteen paineilmaletkun olevan irti. Jos vuotavaan paineletkuun kiinnittäisi hintalapun, herättäisi se kiinnostuksen nykyistä herkemmin. Irti oleva letku puhaltaa puhdasta paineilmaa

arviolta 0,52 m³/min ja se kustantaa n. 2700 € vuodessa, kun tuotetun paineilman kustannukseksi arvioidaan 0,01 €/m³. Tämän vuoksi on tärkeää havainnoida ja korjata paineilma vuotoja kustannusten pienentämiseksi. Myös venttiilejä asentaessa on oltava huolellinen ja varmistettava liitinkarojen tiiveys.

6.2 Letkuvuodot

Mittauskierroksella löytyi kaksi kappaletta tarpeettomia paineilmaletkuja, jotka vuotivat. Viiraosan hoitosillalta löytyi lojunut putki, joka vuoti tarpeettomana arviolta 1,5 kuutiometriä paineilmaa minuutissa. Vuositasolla tällainen putki kustantaa n. 7 740€ vuodessa kun käytetään aikaisemmassa esimerkissä käytettyä laskentatapaa ja hintoja.

Viiraosan käyttöpuolella oli jäänyt vuotamaan vanha, jo poistetun kameran jäähdytysletku. Vanhoja laitteita poistaessa tulisi ottaa huomioon kytketyt paineilma-liitännät ja sulkea ne.

6.3 Jakokaapit

Paineilmaventtiilit jakokaapeissa ovat huomaamattomia vuotokohtia, ja näitä kierroksella löydettiin 2 kappaletta. Venttiilien vaihto uusiin toiminnan ja resursien säästöllä perusteltuna on erittäin tärkeää. Jakokaapit, joissa venttiilit sijaitsevat, jäävät monesti tutkimatta koska vuotoa on vaikea havaita ulospäin.

Jakokaappien tulolinjoissa sijaitsevat suodattimet ja painemittarit todettiin vuotoäänitutkimuksissa vuotoherkiksi. Niitä löytyi kierroksella neljä kappaletta. Vuodot eivät olleet suuria (kuva 10), mutta paineilma kuluttaa ne suuremmiksi ajan kuluessa, kuten luvussa 6 todettiin. Siksi on tärkeää vaihtaa suodatinrungot ja painemittarit uusiin heti vuotoja havaitessa. Myös erinäisiin käyttökohteisiin on hyvä tarkastella runkojen materiaaleja. Muovista valmistettu laitteen runko on herkkä iskuille ja kosteat olosuhteet syövyttävät teräksisiä runkoja.

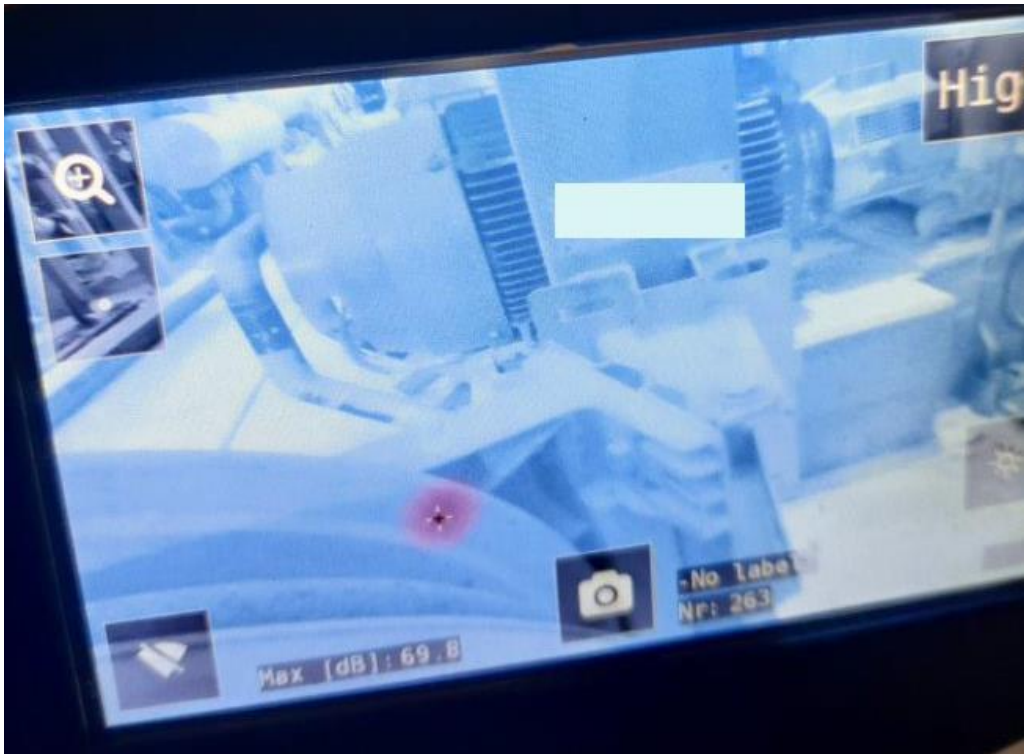


KUVA 10. Havainnollistava kuva painemittarin vuodosta.

6.4 Letkukelat

Paineilmakeloja, joita käytetään puhaltamaan esimerkiksi paperirehuja, löytyy paperikoneilta runsaasti. Positiivisena huomiona kartoituskierröksellä huomattiin, että kelojen sulkuventtiilejä olivat käyttäjät laittaneet kiinni. Tämä on loistava toimintatapa ehkäistä paineilmakeloista syntyviä vuotoja.

Kuvassa 11 näkyy paperikone 4:llä sijaitsevan paineilmakelan vuoto. Kyseisessä kohteessa sulkuventtiili oli auki, joten paineilmaa hukattiin.



KUVA 11. Paineilmakelassa näkyvä vuoto.

6.5 Yhteenveto vuotomittauksesta

Yhteensä kirjattuja vuotokohteita löytyi osastolla 17. Venttiilien toimilaittevuotoja ei merkattu, sillä niitä esiintyi lähes poikkeuksetta jokaisessa automaattiventtiilissä. Myöskään nämä kirjatut vuotokohteet eivät selitä paineilmaverkoston teoreettista vuotojen 20% osuutta, sillä samassa verkostossa on mukana myös massaosasto sekä jälkikäsittely, jotka jätettiin työn ulkopuolelle rajauksen kokiessa vain paperikoneita 3 ja 4.

Vuotojen korjaaminen on kuitenkin tärkeää, sillä paineilmaa hukkuu näistä tuhansia euroja vuodessa. Taulukossa 4 on esitetty erikokoisten vuotojen hinta vuodessa. Painemittausten lisääminen järjestelmään helpottaisi vuotojen havainnointia. Näin vuotoihin päästään puuttumaan aikaisemmin ja turhat kustannukset vähenevät. Vuotokohteet ovat listattuna liitteessä 1.

7 PAINEILMALAITTEIDEN KORVAAMINEN

Molemmilla paperikonelinjoilla on noin 150 pneumatiikalla toimivaa laitetta, joten paineilman tarve ja kulutus on suurta. Kun paineilmaa tuotetaan, kompressorin hyötysuhde ja paineilman eksergia huomioon ottaen, suurin osa laitteista toimisi paremmalla energiahyötysuhteella käytettäessä mekaanista tai hydraulista laitetta. Paineilman hyötysuhde on tyypillisesti vain noin 5% (Keski-Honkola, 2014), ja siksi sitä kutsutaan teollisuuden kalleimmaksi energiamuodoksi. On kuitenkin kohteita, jossa pneumatiikan hyötyjä (luku 3.1) tarvitaan. Tällaisia kohteita paperikoneilla on esimerkiksi paperiradan katkaisulaitteissa, jossa tarvitaan nopeaa liikettä.

Työhön kuului selvittää paperikoneilla paineilmaa käyttäviä laitteita ja etsiä niille teknisiä ratkaisuja paineilman kulutuksen vähentämiseksi. Työssä on myös laskettu takaisinmaksuaikoja investoinneille ja perusteltu saatavia hyötyjä erilaisten toimintaperiaatteiden välillä Motivan PATE-analyysin mukaisesti.

7.1 Viirojen kiristimet ja ohjaimet

Paperikone 3:lla pneumaattisia viiran/huovan kiristimiä on käytössä 11 kappaletta. Kuivatusosan 1–4 ryhmällä ylaviirankiristimet sekä 3. ja 4. kuivatusryhmän alaviirankiristimet on korvattu hydraulisella toimilaitteella, joka on huomattavasti energiatehokkaampi. Paperikone 4:llä vain viiraosan alaviira on enää pneumaattisella kiristyksellä. Toimilaittevalmistaja Erhard-Leimerin mukaan nykyään kiristimissä käytetään pääsääntöisesti vain mekaanisia ratkaisuja, joissa kiristyksen työn hoitaa sähkömoottori. Näin voidaan vähentää paineilman käyttöä ja hoitaa työ paremmalla energiahyötysuhteella.

Huopia ja viiroja pitää ohjata kulkemaan suorassa ohjaustelalla, jotta saadaan lämpötilan, värinöiden ja epäpuhtauksien aiheuttamat kudosten vetelyt kompensoitua. Ohjaustela on kiinnitetty telaohjaimeen, joka seuraa viiran tai huovan reunaa ja tämän tiedon mukaan kääntää ohjaustelaa, jolloin kudoksen kulku pysyy suorana. Paineilmatoimimisina ohjaimina on käytetty palje- tai sylinteritoimisia ohjaimia. Ilmapaljesysteemissä ohjaustela ”kelluu” kahden palkeen välissä, joissa toinen toimii ohjauspalkeena ja toinen tuottaa vastapaineen. Hyötyinä

paljesysteemissä on sen toimintavarmuus epäpuhtaissa olosuhteissa sekä yksinkertainen toimintaperiaate. Myös komponentit ovat halpoja, mutta tela joutuu hakemaan suoraa viiralinjaa koko ajan ohjauspaineen ja vastapaineen säädöllä, jolloin paineilmaa kuluu.

Pneumaattisesti toimivissa sylinteriohjauksissa ohjaustelan paikkaa säädetään kaksitoimisen sylinterin avulla. Ohjaustela on sijoitettu kelkan päälle, jota sylinteri siirtää. Tämän tekniikan etuna on tarkka toiminta sekä toimiminen missä tahansa asennossa. (Argillander, 2018, 14–16). Paineilmalla ei kuitenkaan voida saavuttaa tällaisessa kohteessa mitään hyötyä, mitä hydraulinen tai mekaaninen toimilaitte ei tekisi tehokkaammin. Komponenttien hintaerokin kompensoituu paineilman korkeihin käyttökustannuksiin verrattuna.

Anturi, joka tunnistaa kudoksen suoruuden on yleensä mekaaninen lusikka, induktiivinen anturi tai optinen anturi, esimerkiksi konenäkö. Tämä antaa ohjaustietoa toimilaitteille, jotka siirtävät ohjaustelaa. Vanhoihin pneumaattisiin palje ja sylinteritoimisiin ohjaimiin saadaan asennettua mekaaninen takaisinkytkentä antureihin, joka tarkentaa ohjaimen toimintaa vertaamalla siirtymää reuna-anturiin ja poistaa suhteellista virhettä antureissa. Takaisinkytkentä vähentää paineilman kulutusta ohjaimissa jopa 50–90%. (Erhardt+Leimer, 2017). Paperikoneille olisikin suositeltavaa harkita näiden mekaanisten takaisinkytkentöjen hankintaa. Nykyaikaisten paineilmatoimisten ohjainten kulutukset on esitelty taulukossa 5. Tiedot perustuvat Erhard-Leimerin toimilaitteisiin, kun käyttöpaine on 3 Bar ja ohjausliikkeitä 6–8/min. Paperikoneilla käytössä olevien ohjainten kulutusta ei mitattu, mutta voidaan olettaa niiden olevan suuruusluokaltaan hieman nykyaikaisia suurempia.

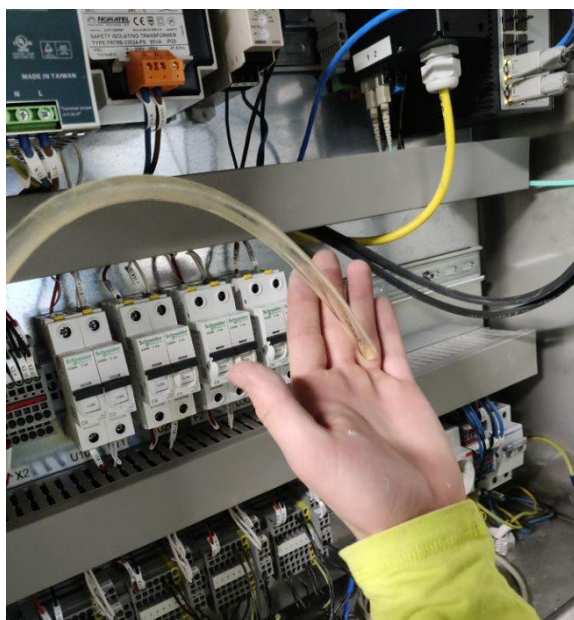
TAULUKKO 5. Erhard-Leimerin toimilaitteiden paineilmakulutukset. (Leimer, 2017)

<i>Malli</i>	<i>Kulutus</i>
<i>Type SK 16</i>	2,0 – 4,2 m ³ /h
<i>Type SK 11</i>	0,6 – 1,3 m ³ /h
<i>Type SK 07</i>	0,5 – 1,2 m ³ /h
<i>Type SK 04</i>	0,25 – 0,60 m ³ /h

Taulukossa olevista ohjaimista SK 11 ja SK 07 ovat nimelliseltä kuormitukseltaan ja telahalkaisijoiltaan paperikoneiden 3 ja 4 vastaavat.

7.2 Jäähdytykset

Joissakin sähkökaapeissa jäähdytys on toteutettu puhaltamalla niiden sisälle suoraa paineilmaa kuvan 12 mukaisilla letkuilla. Tämän tyyppisiä sähkökaappeja on käytössä n. 5 per paperikonelinja. Tekniikka on erittäin epäenergiatehokas ja kallis, mutta ollut helppo toteuttaa kaappia asentaessa. Työssä lähdettiin etsimään vaihtoehtoisia ratkaisuja kaappien jäähdytykseen.



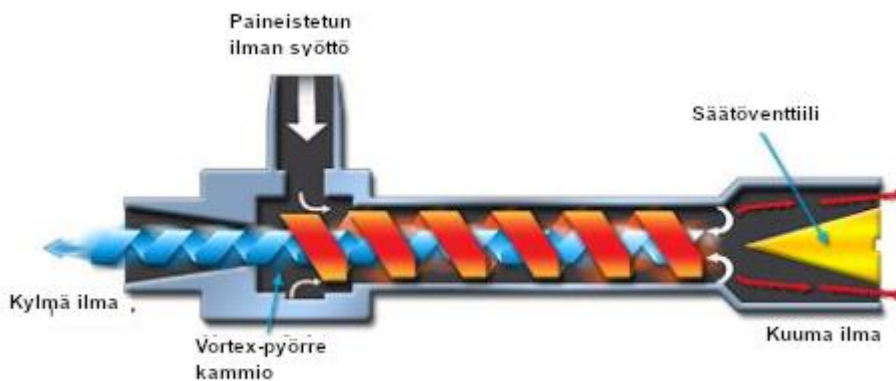
KUVA 12. Sähkökaapin jäähdytys toteutettu puhaltamalla paineilmaa 10x1,5mm kokoisella letkulla.

Ensimmäiseksi lähdettiin tutustumaan kaappien seinälle tai katolle sijoitettavia kompressorijäähdyttimiä. Koska kaapeissa on pieni lämpökuorma, ja kaapit ovat suuren matkan päässä toisistaan, usean kompressorijäähdyttimen investointi on kallis. Jäähdyttimet ovat myös turhan tehokkaita kyseisille lämpökuormille, joten kompressorijäähdyttimien hyöty tulee esille vasta suuremmissa sähkökaapeissa. Jäähdyttimien takaisinmaksuaika verrattuna suoraan paineilmapuhallukseen 6 barin paineella on esitelty taulukossa 6. Todellisuudessa painetta on kuristettu, joten kustannukset eivät tällä hetkellä näin suuria ole.

TAULUKKO 6. Vertailu suorapuhalluksen ja 300w jäädyttimen kulutuksesta.

Letkukoko	Puhallus jäädytys €/a	Jäädytin €/a	Hankintahinta	Takaisinmaksu kk
1mm	20500	7884	1500	5,5
1,5mm	39400	7884	1500	2,8
2mm	75700	7884	1500	1,5
3mm	164000	7884	1500	0,7

Seuraava tarkasteltava vaihtoehto oli Vortex -paineilmajäädyttimet, jotka jakavat paineilman kylmäksi ja kuumaksi ilmavirraksi ja erottaa nämä toisistaan. Tekniikan keksijänä pidetään ranskalaista fyysikkoa Georges J. Ranque:ta, joka kehitti sen vuonna 1933. (Virtaustekniikka Oy, n.d.a.). Kuvassa 13 on esitetty Vortex -putken toiminta, missä putken kyljestä syötetään sisään paineistettu ilma, joka alkaa pyörimään kammiossa. Virtaava pyörre alkaa kulkeutua kohti päätyä, jossa sijaitsee säätöventtiili. Päädyssä kuuma ilma päästetään säätöventtiilin kautta ulos, ja kylmä ilma palautuu kohti vastakkaista päätyä. Näin saadaan jäädytettyä paineilma ja siirrettyä se haluttuun paikkaan.



KUVA 13. Vortex -putken toimintakuva. (Exair, 2020). Muokattu.

Vortex -jäädyttimet voidaan varustaa termostaatilla, jolloin ne sulkevat paineilman, kun jäädytystä ei tarvita. Näin niiden hyötysuhde paranee entisestään verrattuna suoraan paineilmapuhallukseen. Esimerkkinä Virtaustekniikan jälleenyymä (Virtaustekniikka, n.d.b.) Neman Vortex -toiminen kotelojäädytin kuluttaa noin 90% vähemmän paineilmaa, kuin 2 barin käyttöpaineella toimiva 10 mm avopuhallus.

Taulukossa 7 on vertailtu eri jäähdytystehoisia vortex -jäähdyttimiä kompressorikäyttöiseen, teholtaan 300 watin, jäähdyttimeen sekä suoraan paineilmapuhallukseen.

TAULUKKO 7. Vortex- jäähdytyksen vertailu 300w jäähdyttimeen.

Jäähdytysteho (W)	Vortex -jäähdytys €/a	Suora paineilmapuhallus @2 bar 10mm €/a	300w jäähdytin €/a
85	746,352	10 179	7884,000
170	1193,112	10 179	7884,000
322	2233,800	10 179	7884,000

Kuten taulukosta 7 nähdään, on paperikoneilla olevat paineilmajäähdytteiset sähkökaapit kannattavampaa varustaa paineilmakäyttöisillä Vortex -jäähdyttimillä kuin kompressorijäähdyttimillä kaappien pienen lämpökuorman takia. 322W jäähdytysteholtaan oleva Vortex -putkijäähdytin maksaa noin 300€/kpl (Virtaustekniikka Oy, 2020b). Sähkökaappien, jotka on varustettu paineilmapuhalluksella, lämpökuormat ovat noin 50–300W, joten jokaisen kaapin jäähdytys täytyy mitoittaa oikeaksi, jotta saadaan paras hyötysuhde paineilmaenergian käytölle.

7.3 Puhallukset

Paineilmaa puhalletaan paperikoneilla esimerkiksi paperirainan päänviennissä ja rainan katkaisussa. Paperikoneilta löytyy edelleen avoputki puhalluksia näihin käyttötarkoituksiin, joihin suuttimen lisäämällä voidaan paineilman käyttöä vähentää 34–55% (Pässinmäki, 2020). Taulukossa 8 on vertailtu nykyisten avoputkipuhallusten kuluttamaa paineilmaa ja suuttimilla varustetun puhallutuksen välisiä eroja. Tekniset tiedot ja hinnat suuttimille on saatu Silventiltä (sähköpostikeskustelu, 2020) heidän tarjoamalleen vaihtoehdolle ja niiden perusteella on laskettu takaisinmaksuaika puhallustunteina kaavalla (1).

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\text{Säästö €/h}}{\text{Hankintahinta}} \quad (1)$$

TAULUKKO 8. Suuttimien takaisinmaksuaika puhallustunteina.

	<i>Kuivatusryhmien pää- typuhallus (2 kpl)</i>	<i>Keskitelan puhallus (2 Kpl)</i>	<i>Köysiltä puhallus 4 kuivausryhmä (2 Kpl)</i>	<i>Yhteensä</i>
<i>Nykyinen kulutus m³/min</i>	44,40	9,76	44,40	98,56
<i>Nykyinen hinta €/tunti</i>	618,05	135,86	618,05	1371,96
<i>kulutus suuttimella m³/min</i>	30,28	4,74	30,28	65,30
<i>Hinta suuttimella €/tunti</i>	421,50	65,98	421,50	908,98
<i>Säästö €/tunti</i>	196,55	69,88	196,55	462,98
<i>Suuttimen hinta €/kpl</i>	1121,00	419,00	1121,00	8402,00
<i>Takaisinmaksuaika tunneissa</i>	11,41	11,99	11,41	

On huomioitava, että puhallukset eivät ole päällä kuin määrättyinä hetkinä koneen katko- tai päänvientitilanteessa, mutta jo ilmankulutuksia vertailemalla huomataan selvä säästökohde. Suutinvalinnalla voidaan myös tuottaa esimerkiksi leveämpi puhallus, jolloin katkaisu on varmempi. Tämä varmistaa lyhyen katkoajan ja tuotannon tehokkuutta saadaan nostettua.

7.4 Muut laitteet

Paperikoneilla on myös runsaasti laitteistoa, jotka käyttävät paineilmaa vähäisesti. Myös näiden karsimisella saadaan paineilmaverkostoa pienennettyä ja näin ollen potentiaalisia vuotokohtia on vähennettyä. Työssä selvitettiin pintapuolisesti vaihtoehtoja näille toimilaitteille. Tällaisia kohteita koneilla ovat esimerkiksi:

- Oskillaattorit
- Kaavinten kuormitus
- Narunkiristäjät
- Radan katkaisulaitteet
- Päänvientilaitteet
- Puhallusletkut

Oskillaattoreita paperikoneilla on jo osassa kohteista sähkömekaanisia, joten jäljellä olevien pneumaattisten korvaaminen näillä tulisi ottaa vakavasti harkintaan. Valmiiden varaosien ja toimittajan olemassaolo madaltaa kynnystä näiden toimilaitteiden vaihtoon. Muutokset eivät paineilman käyttöä vähennä suuresti, mutta vähentyneet vuotokohdat ja varaosien yksinkertaistaminen puoltaa mekaanista vaihtoehtoa. Työssä ei perehdytty mahdollisten mekaanisten muutosten ratkaisuihin.

Pneumaattisesti toimivat kaapimien kuormitukset ovat toiminnaltaan nopeita ja helppokäyttöisiä, mutta nämäkin lisäävät suuresti vuotokohteiden määrää. Kohteiden korvaaminen hydraulikalla tuottaa liian suuren riskin öljyvuotoihin ja niiden kautta öljyn joutumiseen elintarvikeluokiteltuun paperiin. Näiden seikkojen vuoksi hydraulinen vaihtoehto on poissuljettu. Mekaanisia laitteita on kuitenkin markkinoilla. Pneumaattisten kuormitusten korvaaminen mekaanisilla lisää kuitenkin hajoavien komponenttien määrää, sillä pneumaattisissa ainoa huoltotoimenpide on käytännössä kuormitusletkun vaihto. Kohteissa pitää tarkastella kriittisesti eri vaihtoehtojen välillä. Mahdollisia uusia innovaatioita kannattaa myös tarkastella.

Narunkiristäjät on mahdollista muuttaa sähkömekaanisiksi. Automaatiotyöt ja kiristäjien investoinnit maksavat ja pneumaattiset kiristäjät toimivat pääsääntöisesti hyvin. Kohteissa on kuitenkin mahdollista vähentää paineilman käyttöä, vaikka se vähäistä onkin.

Paperirainan päänvienti paineilmalla on perusteltua rainan päänviennin turvallisuudella ja nopeudella. Nopeampi päänvienti lyhentää katkoajoja ja poistuneet narunipit, eli narun ja narupyörän väli, paperikoneen hoitopuolella vähentävät työtapaturmien riskiä. On kannattavaa siirtyä vanhoista narukäyttöisistä päänvienneistä paineilmapuhalluksiin tuotantoajoja vertailtaessa. (Voith Group, 2020; Valmet Oyj, 2020). Työssä oletettiin päänviennin olevan optimoitu paineilman käytön suhteen ja siksi ei perehdytty siihen tarkemmin. Kohteissa voidaan kuitenkin konsultoida toimilaitteita toimittavaa yritystä, olisiko päänvientiä mahdollista optimoida.

Radan katkaisu pneumaattisella laitteella tuo hyötynä laitteen nopean käytön sekä puhtauden. Laitteet ovat myös erittäin huoltovapaita (luku 3.1). Kohteisiin laite sopii hyvin, ja niiden käyttöä voisi suunnitella myös avoputkella toteutettuihin katkopuhalluskohteisiin. Laitteen suuri hankintahinta (15 000-70 000€) ei anna suoria perusteita investoinnille pitkän takaisinmaksuajan takia, mutta radan katkaisun onnistuminen puhtaasti ja nopeasti vähentävät päänvientiaikoja ja paperirehun syntyä. Työssä ei selvitetty mekaanisia tai hydraulisia vaihtoehtoja paperiradan katkaisuun, sillä pneumaattisesti toimiva sopii kohteisiin hyvin. Pneumaattisen katkaisulaitteen korvaaminen hydraulisella tai mekaanisella vähentäisi mahdollisia paineilmavuotokohteita, mutta itse laitteen kulutus on vähäistä.

Paineilmaletkuja löytyy ympäri paperikoneita ja niiden puhalluksia käytetään paperikoneilla esimerkiksi paperirehujen siivoamiseen ja päänviennin helpottamiseen. Paineilmakelat ovat sijoitettu kokemuspohjalta hyviksi havaittuihin paikkoihin ympäri paperikoneita. Nykytilanteessa suuttimet ovat suorapuhalluksella toimivia, joista voidaan läpi tulevaa ilmaa säätää pyörittämällä itse suutinta. Päänviennin apuna on käytetty myös suoria putkia, jotka ovat hyvä esimerkki tehottomasta ja suunnittelemattomasta paineilman käytöstä. Näiden suuttimien nykyaikaistaminen on suositeltavaa esimerkiksi Coanda-efektiä (luku 3.4) hyväksikäyttäviin, jotka pystyvät tuottamaan jopa 17-kertaisen ilmamäärän verrattuna tuotettuun paineistettuun ilmaan. Nykyaikaiset paineilmapistoolit ovat myös työturvallisempia ”kuolleen miehen kytkimen” ansiosta. Markkinoilla on runsaasti erilaisia vaihtoehtoja paineilmaa säästäviin suuttimiin, joten valinta kannattaa tehdä käyttäjien mielipiteen ja käyttökokemusten perusteella.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työn tavoitteena oli löytää kahdella paperikoneella teknisiä ratkaisuja paineilman käytön vähentämiseen. Paperikoneilla on suuri määrä pneumaattisia laitteita ja perustellusti tiettyihin kohteisiin on valittu pneumaattinen vaihtoehto, mutta suuri osa laitteista on korvattavissa jollakin toisella työenergiamuodolla. Pneumaattisten toimilaitteiden halpa hinta ja paineilman helppo saatavuus ajavat valinnan monesti paineilmakäyttöiseen toimilaitteeseen. Toimilaitteita hankkiessa pitäisi ottaa huomioon, että jopa 75% pneumaattisten laitteiden elinkaarikustannuksista syntyy itse paineilman tuottamisesta.

Työssä löydettiin hyvin vaihtoehtoisia ratkaisuja nykytilanteeseen. Avoputkipuhallukset ovat kohde, joka tuottaa nopeasti konkreettisia säästöjä ja hyötyjä. Suutinmalleja on runsaasti erilaisia, joten kuhunkin kohteeseen täytyy valinta tehdä käyttökohteen mukaan. Tässä on hyvä konsultoida alalla toimivia yrityksiä. Kun kohteisiin valitaan sopiva suutin, saadaan prosessia optimoitua kohti tehokkaampaa paperinvalmistusta. Paperikoneilla sijaitseville paineilmakelojen suuttimille löytyy myös nykyaikaisempia ratkaisuja. Koska markkinoilla on runsaasti erilaisia vaihtoehtoja, kohteisiin sopivat paineilmapistoolit kannattaa hankkia käyttäjien kokemusten ja mielipiteiden pohjalta. Paineilmapistoolit ”kuolleen miehen kytkimellä” varustettuna ovat myös työturvallisempia kuin nykyiset käytössä olevat, pyöritettävällä suutinpäällä, toimivat.

Kudosten ohjaimissa ja kiristimissä suositellaan siirtymään nykyaikaisempiin ratkaisuihin. Paineilmakäyttöiset toimilaitteet näissä kohteissa käyttökustannuksiltaan kalliita. Tilannetta helpottamaan suositellaan ohjaimiin mekaanista takaisinkytkentää vähentämään ylimääräisiä liikkeitä ja täten vähentämään paineilman kulutusta 30–50%. Tulevaisuudessa investointi hydraulisiin toimilaitteisiin on suositeltava.

Yleisesti teollisuudessa suurimmat säästöt saadaan kuitenkin vuotokohteiden korjaamisella ja säännöllisellä vuotojen kartoituksella, sillä toimilaitteiden kulu- tus on työtä tekevää, vuodot eivät. Vuotokartoituksessa löytyi vuotavia letkuja,

venttiilejä sekä toimilaitteita, mistä on hyvä lähteä liikkeelle vuotojen vähentämisessä. Vuotokohteiden kartoitus suositellaan lisäämään vuosittaiseen kunnossapito-ohjelmaan. Toimilaitteiden paineilman sulkeminen, kun laitetta ei käytetä, vähentää vuotojen vaikutusta. Tämä toimintatapa on hyvä kouluttaa laitteiden käyttäjille ja ottaa käyttöön. Osastolle suositeltavaa olisi investoida omaan vuotoäänikameraan. Vuotoäänikameran olemassaolo madaltaa kynnystä lähteä tutkimaan vuotokohteita.

Koska paperikoneet ovat kymmeniä vuosia vanhoja ja ovat kokeneet monia muutoksia ajan saatossa, verkostoon on jäänyt käyttämättömäksi liitännöitä, joita karsimalla voidaan vuotokohteita ja paineistettavaa tilavuutta vähentää. Myös liitännöiden ja sivuhaarojen sulkeminen niiden ollessa pois käytöstä vähentäisi paineilman turhaa tuottoa ja potentiaalisia vuotokohteita.

Työssä otettiin kantaa myös pintapuolisesti muihin pneumatiikalla toimiviin toimilaitteisiin, mutta niiden hyödyt jäivät selvästi esiteltyjen toimilaitteiden jälkeen. Tulevaisuudessa kuitenkin näihinkin toimilaitteisiin on keskityttävä, jotta voidaan tavoitella mahdollisimman energiatehokasta prosessia.

Motiva Oy:n PATE-analyysi sopii osaston paineilmajärjestelmälle sopivasti. Järjestelmän koko ja laajuus on vaatimukset täyttävät. Analyysissä painotetaan ulkopuolisen tekemää analyysiä, mutta soveltamalla sitä talon sisällä, saa varmasti yhtä luotettavat tiedot ja kriittiksen palautteen. Analyysin tuottaminen täydellisenä osastolle voisi tehdä alun kestäväälle paineilman energiatehokkuuteen tähtäävälle työlle. Paineilman tuotanto huomattiin analyysin avulla energiatehokkaaksi pääosin Balance-ohjelman ansiosta. Kompessoreiden ominaisenergian tarve ja järjestelmän painetasot ovat hyvällä tasolla, ja niitä aktiivisesti tehostetaan.

Työssä saatiin paljon apua toimialalla työskenteleviltä yrityksiltä, ja se olikin tärkeää työn onnistumisen kannalta. Haastatteluihin ja tietopyyntökyselyihin vastattiin nopeasti ja informatiivisesti. Myös toimeksiantajan puolelta annettiin suuressi tukea ja työkaluja. Toivonkin, että työ innostaa toimeksiantajaa paineilman vähentämiseen ja työssä havaittuihin kohteisiin keskitytään, jotta voidaan vähentää kalliita paineilma-kustannuksia.

LÄHTEET

Airila, M., Hallikainen, K., Kääpä, J. & Laurila, T. 1983. Kompressorikirja. Helsinki: Korpivaara Oy, Hydor AB.

Aittomäki, E., Eerikäinen, T., Ojamo, H., Suominen, I. & von Weymarn, N. 2002. Bioprosessitekniikka. WSOY.

Argillander, A., 2018. SELVITYSTYÖ SYLINTERITOIMISEN TELAHOJAIMEN OMAN VALMISTUKSEN KANNATTAVUUDESTA. Konetekniikan koulutusohjelma. Karelia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Atlas Copco. n.d. AIRScan - Paineilmajärjestelmän vuotokartoitus. Luettu 11.12.2020. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/atlascopco-kompressorihuolto/vuotokartoitus0>

Bowman, R. 2017. About Rotary Screw Air Compressors. Luettu 28.1.2021. <https://blog.exair.com/2017/11/17/about-rotary-screw-air-compressors/>

Erhardt + Leimer GmbH. 2017. *El Guide*. Stadtbergen.

Exair, 2020. Controlling Temperature and Flow on a Vortex Tube. Luettu 11.12.2020. <https://blog.exair.com/2020/12/10/controlling-temperature-and-flow-on-a-vortex-tube/>

Fonselius, J., Hautanen, J., Mutikainen, T., Pekkola, K., Salmijärvi, O. & Simppura, A. 1997. Pneumatiikka. Helsinki. Oy Edita AB.

Jyväskylän koulutuskuntayhtymä. n.d. Paineilmalähde / kompressori. Luettu 11.1.2021. <https://peda.net/jao-ammattillinen/pilotoinit/sjap/smit1a/sja/tk2/hjp/komponentit/pk>

Keski-Honkola, P. 2014. Energiatehokas paineilma haastaa tuotantolaitokset. Promaint. Luettu 11.12.2020. [https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Energiatehokas-paineilma-haastaa-tuotantolaitokset/\(offset\)/9](https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Energiatehokas-paineilma-haastaa-tuotantolaitokset/(offset)/9)

Motiva Oy, 2006. PATE-analyysi - Paineilman energia-analyysi, Helsinki: Motiva Oy.

Motiva Oy, 2020. *Energiatehokkaan paineilmajärjestelmän suunnitteleminen*. Helsinki, Motiva Oy.

National Aeronautics and Space Administration, 2010. Foam Wing. Luettu 8.12.2020. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/foam_wing_k-12.pdf

Nordnet, 2020. Markkinakatsaus: UPM-Kymmene corporation. Luettu 10.12.2020. <https://www.nordnet.fi/markkinakatsaus/osakekurssit/16100879-upm-kymmene-corporation>

Pesonen, J. 2020. Osavuositiedot Q3 2020. Luettu 10.12.2020. https://www.upm.com/siteassets/asset/investors/2020/q3-2020-esitys_final.pdf

Pässinmäki, S. Myyntipäällikkö. Silvent vastaus. Sähköpostiviesti. Luettu 25.11.2020.

Richardson, D., 2014. Duct Dynasty: Understanding the Coanda Effect. Luettu 8.12.2020. <https://www.achrnews.com/articles/126600-duct-dynasty-understanding-the-coanda-effect>

S & C Thermofluids Ltd. 2014. Coanda Effect. Luettu 8.12.2020. <http://www.thermofluids.co.uk/effect.php>

Sarlin Oy. n.d a. Paineilman laatustandardi. Luettu 5.1.2021 <https://www.sarlin.com/ty%C3%B6kalupakki/paineilmatietoutta/iso-8573-1-paineilman-laatustandardi/>

Sarlin Oy. n.d b. Paineilmapalvelut. Luettu 11.12.2020. <https://www.sarlin.com/assets/liitteet/paineilman-tuottopalvelut/Sarlin-Paineilmapalvelut.pdf>

UPM. 2020. Liiketoiminnot n.d. a. Luettu 10.12.2020. <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/upm-specialty-papers/>

Upm. 2020. Toimintamalli. n.d.b. Luettu 10.12.2020. <https://www.upm.com/fi/sijoittajat/upm-sijoituskohteena/toimintamalli/>

UPM, 2020. UPM Tuotantolaitokset. n.d.c. Luettu 10.12.2020. <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/tuotantolaitokset/?facility=11>

Valmet Oyj. 2020. Tail threading solutions for board and paper machines. Luettu 4.12.2020. <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/sizing/tail-threading/?page=1>

Virtaustekniikka Oy. 2020. Hinnasto. Luettu 2.12.2020. <https://virtaustekniikka.fi/content/11-hinnasto>

Virtaustekniikka Oy. n.d.a. Vortex putki. Luettu 2.12.2020. https://virtaustekniikka.fi/pdfs/DOC_VORT_TUB_EN.pdf

Virtaustekniikka Oy. n.d.b. Kotelojäähdyttimet. Luettu 17.12.2020. <https://virtaustekniikka.fi/vortex-putket-pistejaahdytys/119-kotelojaeahdyttimet.html>

Virtaustekniikka Oy. n.d.c. Nex flow -virtausvahvistin. Luettu 8.12.2020. https://virtaustekniikka.fi/pdfs/air_amplifiers_brochure.pdf

Voith Group. 2020. Tail threading and cutting. Luettu 4.12.2020. <http://voith.com/uk-en/papermaking/tail-threading-and-cutting.html?123082%5B%5D=0>

LIITTEET

Liite 1. Vuotokohteet

Vuotopaikat									
PK4						PK3			
JAM1-242015	Jakoliitinvuoto oikeapuoli					23JK0005	Tuplasuodin		
JAM1-24HS-1918	Venttiilin toimilaitteen PI-letku vuotaa					21JK0014	Tuplasuodin		
24-GSV-1924	Venttiili vuotaa	24JK0026				23FSV-1128	Magneettiventtiili		
24HSV5-0492	Letkut venttiilille vuotaa	24JK0065					Painelimaliitin		
JAM1-244014	Letkukela vuotaa					H1 Pilari	Painelimaliitin		
Perälaatikko KP	Instrumentti-ilma linja vuoto					Sizer konekierto	putki vuoto		
						23TV-0965	Venttiilin letku irrallaan		
						23JK0003	Venttiilivuoto		
						1. puristin	alahuovan kirsitimen suodatin		
						JAM1-23HS-0496	PI-linjan muhvi alakerrassa		
						JAM1-23ITV18-0110	Letkua irrallaan		