



Paineilman vuotokartoitusten hyödyt paperiteollisuudessa

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Konetekniikka, insinööri (AMK)

Syksy 2025

Juha Ranta

Koulutus	Konetekniikka, insinööri (AMK)	
Tekijä	Juha Ranta	Vuosi 2025
Työn nimi	Paineilman vuotokartoitusten hyödyt paperiteollisuudessa	
Ohjaaja	Antti Hänninen (HAMK), Jussi Rosenvall (Sappi Finland Operations Oy)	

Tämä opinnäytetyö on tehty Sappi Finland Operations Oy:n Kirkniemen paperitehtaalle. Työn tavoitteena oli selvittää paineilman vuotokartoitusten tuomia taloudellisia hyötyjä paperiteollisuudessa sekä arvioida, miten nämä paineilmavuodot vaikuttavat tehtaan energiankulutukseen ja kunnossapidon toimintamalleihin. Keskeisenä tarkastelukohteena oli Kirkniemen tehtaan paineilmajärjestelmä, jonka osalta selvitettiin, kuinka paljon tehdas menettää vuosittain rahaa järjestelmän vuotojen takia ja mitä säästöpotentiaalia vuotojen kunnossapitotoimilla saavutetaan. Lisäksi työssä arvioitiin, olisiko tehtaan kannattavaa suorittaa vuotokartoituksia itsenäisesti hankkimalla oma vuotokartoituslaite, sen sijaan että palvelu ostettaisiin ulkopuoliselta toimijalta.

Työ aloitettiin perehtymällä Kirkniemen tehtaan historiaan ja paperinvalmistuksen perusteisiin, jotta lukija saa kokonaiskuvan tehtaan toiminnasta ja toimintaympäristöstä. Tämän jälkeen siirryttiin paineilman tuotannon ja käytön perusteisiin, joissa käsiteltiin yleisimpiä paineilmaa käyttäviä laitteita ja tuotantomenetelmiä. Näiden perustietojen pohjalta käytiin läpi Kirkniemen tehtaan paineilmajärjestelmä ja sen keskeiset kulutuskohteet. Seuraavaksi käsiteltiin vuotokartoituksen teoriaa sekä analysoitiin, millaisia taloudellisia menetyksiä vuodot aiheuttavat yritykselle. Työssä selvitettiin myös aiempien kartoitusten pohjalta, kuinka tehokkaasti havaitut vuodot ovat korjattu ja mitä aiemmat kunnossapitotoimet ovat keskimäärin kustantaneet tehtaalle tähän mennessä.

Tietoa kerättiin useista eri lähteistä, kuten tehtaan omista dokumenteista, paineilmavuotojen seurantataulukoista ja SAP-toiminnanohjausjärjestelmästä. Lisäksi opinnäytetyötä varten haastateltiin tehtaan kunnossapitoinsinöörejä, ulkopuolista paineilmajärjestelmien asiantuntijaa sekä yritystä, joka on erikoistunut vuotokartoituslaitteiden jälleenmyyntiin. Nämä tietolähteet muodostivat kokonaisvaltaisen kuvan tehtaan paineilman vuotokartoittamisen nykytilasta sekä sen kehitysmahdollisuuksista. Laskelmat ja kustannusarviot toteutettiin Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelman avulla, ja niiden avulla pystyttiin osoittamaan vuotojen aiheuttamat vuosittaiset kustannukset ja säästöpotentiaali.

Opinnäytetyön aikana havaittiin, että Kirkniemen paperitehtaan paineilmajärjestelmän vuotoihin ei ole aiemmin suhtauduttu tarpeellisella vakavuudella. Nykyinen vuotokartoitusmalli osoittautui monelta osin puutteelliseksi ja sisäisen kartoituksen kustannustehokkuus oli selkeästi parempi kuin ulkopuolisen palveluntarjoajan käyttö. Tulokset osoittivat, että tehokkaalla vuotokartoituksella ja vuotojen järjestelmällisellä kunnossapidolla voidaan saavuttaa merkittäviä vuosittaisia säästöjä paineilman tuotannossa. Näiden säästöjen myötä tehdas kykenee vähentämään energiankulutustaan ja pienentämään toimintansa ympäristövaikutuksia. Näin ollen vuotokartoitusten kehittäminen ja systemaattinen kunnossapidon toteutus ovat paitsi taloudellisesti kannattavia myös ympäristön kannalta perusteltuja toimenpiteitä.

Avainsanat Paineilma, energia, kunnossapito, kartoittaminen
Sivut 53 sivua ja liitteitä 3 sivua

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sappi Finland Operations Oy, Kirkniemen tehdas	2
2.1	Paperitehtaan historia	3
2.2	Paperitehtaan toiminta	5
3	Paperin valmistus	7
3.1	Paperin raaka-aine: puukuitu	7
3.2	Massanvalmistus	8
3.3	Massasta paperiksi	11
3.4	Paperin jälkikäsittely.....	12
4	Paineilman perusteet	15
4.1	Paineilman käyttötapoja	16
4.1.1	Sylinteripneumatiikka.....	16
4.1.2	Pyörivät liikkeet.....	17
4.1.3	Paineilman tekemä työ	17
4.2	Pneumatiikan ominaisuuksia.....	19
4.3	Paineilmajärjestelmä.....	20
4.4	Paineilman tuottaminen.....	20
4.4.1	Staattiset kompressorit	21
4.4.2	Dynaamiset kompressorit	23
4.4.3	Paineilman jäähdytys.....	24
4.4.4	Epäpuhtaudet paineilmassa.....	25
5	Kirkniemen tehtaan paineilmajärjestelmä	26
5.1	Kompressorien käyttö	28
5.2	Paineilmaa käyttävät toiminnot ja laitteet.....	29
6	Sappi Kirkniemen hyödyntämä SAP-järjestelmä kunnossapidossa	30
6.1	Ilmoitukset.....	30
6.2	Työtilaukset.....	31
7	Paineilmavuodot	35
7.1	Paineilmavuotojen etsiminen.....	36
7.2	Paineilmavuotojen korjaaminen	38
8	Paineilmavuodot Kirkniemen tehtaalla.....	39
8.1	Ulkopuolisen toimittajan paineilman vuotokartoitukset.....	40

8.2	Kunnossapitotoimet vuotojen osalta.....	43
8.2.1	Vuoden 2010 vuotokohteiden korjaaminen	43
8.2.2	Vuoden 2017 vuotokohteiden korjaaminen	44
8.2.3	Muutokset kunnossapidon toiminnassa vuosien 2010 ja 2017 aikana	45
8.3	Vuotokartoituslaitteen hankinnan kannattavuus	45
8.4	Paineilmajärjestelmän vuotokartoituksen ja kunnossapitotoimien kehittäminen.....	47
9	Yhteenveto.....	51
	Lähteet.....	52

Kuvat

Kuva 1	Ilmakuva Kirkniemen paperitehtaasta (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).....	2
Kuva 2	Raakavesiputkea rakennetaan Lohjanjärven jäälle (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).....	3
Kuva 3	Asennusryhmälle huollettavaksi saapunut vaihde	6
Kuva 4	Hiomakivi hiomolla	9
Kuva 5	Hiokkeen valmistus kuvitettuna (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).....	9
Kuva 6	Hierteen valmistus kuvitettuna (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).....	10
Kuva 7	Hiertimen terät hiertämöllä	10
Kuva 8	Puristinosa kuvitettuna (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).....	11
Kuva 9	Kuivausosa kuvitettuna (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).....	12
Kuva 10	Paperin päällystys kuvitettuna (Sappi Finland Operations Oy, n.d.)	13
Kuva 11	Kalanterointi kuvitettuna (Sappi Finland Operations Oy, n.d.)	14
Kuva 12	Pneumatiikan osa-alueet (Hulkkonen, 2005, s. 2)	15
Kuva 13	Pneumaattinen sylinteri komponentteineen (FOYE, 2024).....	16
Kuva 14	Paineilmamoottorin toimintaperiaate kuvitettuna (Aziz ym., 2023, s. 637)	17
Kuva 15	Putkipostin lähetin / vastaanotin Kirkniemen paperitehtaan laboratoriossa.....	18
Kuva 16	Mäntäkompressorin toiminta selitettynä (Eusebio, 2020)	22
Kuva 17	Ruuvikompressorin toiminta selitettynä (Eusebio, 2020)	22
Kuva 18	Aksiaaliskompressorin toiminta selitettynä (Eusebio, 2020)	23
Kuva 19	Radiaaliskompressorin toiminta selitettynä (Eusebio, 2020).....	24
Kuva 20	Ilman kyky sitoa vettä eri lämpötiloissa (Beeckmans, 2018, s. 2)	25
Kuva 21	Sähkömoottorikäyttöisiä Atlas Copcon paineilmakompressoreja tehtaan voimalaitoksen alakerrassa	27
Kuva 22	Häiriöilmoitus SAP-järjestelmässä.....	30

Kuva 23 Työkohtaiset ohjeet työtilauksella.....	31
Kuva 24 Työtilauksen eri työvaiheet.....	31
Kuva 25 Luistin rakenneluettelo.	32
Kuva 26 Työn suorittamiseen varatut varaosat työtilauksen komponentit välilehdellä.	32
Kuva 27 Luistin nimikkeen takaa löytyvä informaatio.	33
Kuva 28 Lähes jokaisessa laitteessa on toimintopaikka tai sähköpositio merkattuna.	34
Kuva 29 PX065 positiolla haettu työtilaushistoria.	34
Kuva 30 Paineilmavuodon taloudellinen vaikutus. (Sappi Finland Operations Oy, 2017.)	35
Kuva 31 FLIR Si124 akustisella vuotokameralla havaittu paineilmavuoto toimilaitteessa.	37
Kuva 32 Vuotava paineilmaliitin.	37
Kuva 33 Paineilmavuodon sijainti merkittynä kuvaan.	41
Kuva 34 Toimittajan laatima raportti vuotokohteista (Sappi Finland Operations Oy, 2017.).....	41
Kuva 35 Kriittisyysasteet selitettynä (Sappi Finland Operations Oy, 2017.).....	42
Kuva 36 FLIR Si2-LD™ Äänikamera (<i>Acoustic Teledyne FLIR</i> , n.d.).....	46

Taulukot

Taulukko 1 Sappi Kirkiniemen tehtaan paineilmakompressorien tekniset tiedot.	27
Taulukko 2 Vuosien 2010 ja 2017 vuotokartoitusten tulokset.	42
Taulukko 3 Vuoden 2010 paineilmavuotojen korjausasteet.....	43
Taulukko 4 Vuoden 2017 paineilmavuotojen korjausasteet.....	44

Liitteet

Liite 1.	Vuotokorjauksen tuomat säästöt ja kunnossapidon korjausasteet
Liite 2.	Paineilmavuotojen korjauksen kustannusarvion laskenta
Liite 3.	Oman vuotokartoituslaitteen kannattavuus

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Sappi Kirkniemen paperitehtaalle, ja sen aiheena on paineilmavuotokartoitusten taloudellinen merkitys tehtaalle. Työssä tarkastellaan paineilmajärjestelmän vuotojen aiheuttamia kustannuksia ja niiden hallintaa osana tehtaan kunnossapitoa ja energiatehokkuutta. Tarkastelun kohteena ovat muun muassa tehtaan nykyinen paineilmavuotojen kunnossapidon strategia, paineilmajärjestelmän ohjaus ja laitekanta.

Tehtaalla on tähän mennessä teetetty paineilmavuotokartoituksia ulkopuolisella toimittajalla noin seitsemän vuoden välein. Kartoituksille ei ole ollut kiinteää aikataulua, vaan ne on toteutettu tapauskohtaisesti arvioidun tarpeen mukaan. Tämän työn tavoitteena on arvioida, kuinka usein vuotokartoituksia tulisi tehdä taloudellisesti optimaalisella tavalla. Lisäksi selvitetään, missä vaiheessa oma mittausresurssi olisi kustannustehokkaampi vaihtoehto ulkopuoliseen toimittajaan verrattuna. Opinnäytetyössä pyritään myös määrittämään, mikä osasto käyttäjäkunnossapito, asennusryhmä vai linjaylläpito olisi tarkoituksenmukaisin toteuttamaan paineilmavuotokartoituksia. Lisäksi työssä etsitään kriittinen korjausaste, eli vuotojen korjaamisen taso, jolla saavutetaan suurimmat mahdolliset säästöt. Kaikkien vuotojen korjaaminen ei ole taloudellisesti perusteltua suuressa paineilmajärjestelmässä, joten resurssien kohdentaminen oikein on keskeinen osa tarkastelua.

Paineilma on kallis energiamuoto, jonka tuottaminen kuluttaa merkittävästi energiaa. Vuodot johtavat paitsi suoriin energiahäviöihin, myös epävakaaseen painetasoon, mikä voi vaikuttaa tuotantokoneiden toimintaan ja lisätä järjestelmän kunnossapitotarvetta. Energiankulutuksen vähentäminen parantaa tehtaan taloudellista tehokkuutta ja pienentää samalla hiilidioksidipäästöjä, mikä tukee myös yrityksen ympäristötavoitteita.

Paineilmavuotojen hallinta on osa laajempaa kokonaisuutta, jossa yhdistyvät kunnossapidon suunnittelu, energiatehokkuus ja kustannusten hallinta. Teollisuuslaitoksissa paineilma nähdään usein itsestäänselvyytenä, vaikka sen tuotantokustannukset voivat olla merkittäviä. Tämän työn tarkoituksena on tuoda näkyväksi ne taloudelliset ja operatiiviset tekijät, jotka vaikuttavat paineilmavuotokartoitusten kannattavuuteen. Tulosten perusteella voidaan kehittää entistä johdonmukaisempaa ja kustannustehokkaampaa toimintamallia Sappi Kirkniemen tehtaalle.

2 Sappi Finland Operations Oy, Kirkniemen tehdas

Sappi Kirkniemi on Lohjan Kirkniemessä sijaitseva paperitehdas, joka kuuluu kansainväliseen Sappi-konserniin. Tehdas työllistää noin 550 henkilöä ja sen vuosittainen maksimituotantokapasiteetti on noin 750 000 tonnia päällystettyä painopaperia. Vuonna 2025 Sappi Kirkniemi oli maailman suurin aikakauslehtipaperin valmistaja.

Tuotannosta noin 90 prosenttia menee vientiin, ja siitä noin 65 prosenttia Euroopan markkinoille. Tehtaalla on oma voimalaitos, joka tuottaa sähköä noin 200 GWh vuodessa. Sijainti Lohjanjärven läheisyydessä on elintärkeää sillä tehdas käyttää vuosittain noin 24 miljoonaa kuutiometriä järvivettä tehtaan prosesseihin, sekä muuhun tehtaan tarpeisiin.

Sappi Kirkniemi (Kuva 1) on merkittävä alueellinen toimija. Se on Lohjan suurin yksittäinen työnantaja ja vastaa jopa noin 20 % Lohjan kaupungin teollisen alan työpaikoista. Tehdas tekee yhteistyötä noin 350 paikallisen toimijan kanssa ja työllistää suoraan tai välillisesti noin 1000 eri suomalaista yritystä. Informaatio haettiin Sappi Finland Operations Oy:n sisäisistä tiedonlähteistä. (Sappi Finland Operations Oy, henkilökohtainen tiedonanto, 2025)

Kuva 1 Ilmakuva Kirkniemen paperitehtaasta (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).



2.1 Paperitehtaan historia

Sappi Kirkniemen paperitehdas sai alkunsa vuonna 1962, kun Oy Metsäliiton Paperi – Skogägarnas Papper Ab:n hallintoneuvosto päätti uuden paperitehtaan perustamisesta Lohjan Kirkniemeen. Paperitehtaan rakennustyöt alkoivat vuonna 1963. Alusta asti tehtaan suunnittelun tavoitteena oli rakentaa maailman suomalaisin paperitehdas, koneista ja laitteista jopa 95 % oli kotimaista alkuperää.

Erityistä huomiota kiinnitettiin ympäristökysymyksiin, mikä oli poikkeuksellista 1960-luvulla. Kirkniemeen rakennettiin Suomen ensimmäinen paperiteollisuuden jätevedenkäsittelylaitos. Vedenkulutusta pyrittiin optimoimaan jo tehtaan suunnitteluvaiheessa. Vuonna 1965 valmistui tehtaalle massiivinen raakavesiputki, jonka halkaisija oli 1,2 metriä ja pituus noin 1,5 kilometriä (Kuva 2). Putki rakennettiin puusta järvenjälle. Jäiden sulaessa putki upposi Lohjanjärven pohjaan lähes hapettomaan ympäristöön, mikä ehkäisi sen lahoamista. Sama putki on käytössä edelleen vuonna 2025.

Kuva 2 Raakavesiputkea rakennetaan Lohjanjärven jälle (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).



Paperintuotanto käynnistyi helmikuussa 1966, kun ensimmäinen paperikone (PK1) aloitti sanomalehtipaperin valmistuksen. Jo tehtaan alkuvuosista lähtien Kirkniemi keskittyi kansainvälisille markkinoille. Vuonna 1966 tuotannosta 90 % meni vientiin muun muassa Englantiin, Thaimaahan, Australiaan ja Neuvostoliittoon.

Vuonna 1968 tehtaalla tehtiin päätös toisen paperikoneen, PK2:n, rakentamisesta. Samalla aloitettiin päällystetyn aikakauslehtipaperin tuotanto, mikä nosti tehtaan kansainvälistä profiilia. PK2 käynnistyi vuonna 1972, ja se oli Euroopan suurin LWC-paperia (Light Weight Coated) tuottava kone.

Kirkniemi tuli nopeasti tunnetuksi laadukkaana aikakauslehtipaperin valmistajana. Tuotekehitys perustui paitsi teknologiaan myös markkinatutkimuksiin ja asiakkaiden vaatimuksiin. 1980-luvulla kehitettiin WSOP (Web Sized Offset Paper), joka nousi maailmanlaajuisesti menestykseksi ja teki Kirkniemestä edelläkävijän offsetpainopapereissa.

Vuonna 1982 uusittu PK1 käynnistettiin jälleenrakennuksen jäljiltä, ja siitä tuli maailman ensimmäinen SC-offset-paperin valmistukseen erikoistunut linja. Samaan aikaan laajennettiin myös jätevedenpuhdistuslaitosta ja otettiin käyttöön biologinen aktiivilietemenetelmä, mikä vähensi merkittävästi tehtaan ympäristökuormitusta.

Tehdas on historiansa aikana vaihtanut nimeään useasti omistusrakenteiden muuttuessa. Vuonna 1968 paperitehtaan perustaja Metsäliiton Paperi sulautui Metsäliiton Selluloosaan ja tehtaan nimeksi tuli Metsäliiton Selluloosa Oy, Kirkniemen tehtaata.

Vuonna 1973 nimi muuttui jälleen: Metsäliiton Teollisuus Oy, Kirkniemen tehtaata. Vuonna 1987 syntyi Metsä-Serla Oy, kun Metsäliiton Teollisuus ja G.A. Serlachius Oy yhdistyivät. Kirkniemen yksikkö säilyi keskeisenä osana uutta yhtiötä.

1990-luvulla Metsä-Serla jatkoi investointeja ja kehityshankkeita, joista merkittävin oli kolmannen paperikoneen (PK3) rakentaminen. Rakennusprojekti alkoi vuonna 1995, ja paperikonelinja käynnistyi elokuussa 1996. PK3 oli käynnistyessään maailman suurin kaksoispäällystettyä hienopaperia valmistava kone.

Vuonna 2001 Metsä-Serla vaihtoi nimensä M-real Oyj:ksi. Kirkniemen tehdas jatkoi toimintaansa osana yhtiötä, keskittyen korkealaatuisiin painopapereihin. Vuonna 2008 M-real myi päällystetyn graafisen paperin liiketoimintansa eteläafrikkalaiselle Sappi Limitedille. Kaupan myötä Kirkniemen tehdas siirtyi vuoden 2009 alussa osaksi Sappi Fine Paper Europe -konsernia. Uusi omistaja toi mukanaan Lean-toimintamallin, jonka tavoitteena oli tehdä tuotannosta virtaviivaisempaa, laadukkaampaa ja kustannustehokkaampaa.

2010-luvulla Kirkniemi jatkoi investointeja tuotannon sekä ympäristövastuun kehittämiseen. Tehtaalle myönnettiin ISO 50001 -sertifikaatti energiatehokkuudesta, ja hyötyjätteen osuus nousi yli 99 prosenttiin. Vuonna 2015 valmistui uusi kattilalaitos, joka paransi energiatehokkuutta ja pienensi tehtaan päästöjä. Saman vuoden lopulla Sappi teki 16,5 miljoonan euron investointipäätöksen PK3-linjalle, jonka tavoitteena oli edelleen parantaa laadun tasaisuutta ja pienentää energiankulutusta.

Vuoteen 2016 mennessä Kirkniemen tehtaalla oli valmistettu yhteensä 18,7 miljoonaa tonnia paperia, ja suurimmat vientimarkkinat olivat Iso-Britannia, Saksa, Puola, Australia, Ranska ja Venäjä. Historiatiedot haettiin Sappi Finland Operations Oy:n sisäisistä tiedonlähteistä. (Sappi Finland Operations Oy, henkilökohtainen tiedonanto, 2016)

Kirkniemen tehdas on historiansa aikana kehittynyt paikallisesta investoinnista globaaliksi aikakauslehtipaperin tuotantolaitokseksi. Se on säilyttänyt asemansa kansainvälisesti kilpailukykyisenä toimijana, joka yhdistää jatkuvan tuotekehityksen, ympäristövastuun ja tehokkaan tuotannon. Omistajavaihdokset ja markkinamuutokset eivät ole heikentäneet sen asemaa vaan pikemminkin vahvistaneet sen kykyä sopeutua ja uudistua.

2.2 Paperitehtaan toiminta

Kirkniemen paperitehtaalla kyetään tuottamaan noin 750 000 tonnia päällystettyä painopaperia vuodessa kolmen paperikonelinjan voimin (2025). Konelinjoilla valmistetaan pohjapaperia, jonka jälkeen pohjapaperi päällystetään, kiillotetaan, sekä leikataan pituusleikkurilla pienemmiksi asiakkaille sopiviksi rulliksi. Asiakasrullat pakataan tehtaan pakkaamosta, josta ne lähetetään asiakkaan luokse junaa sekä rekkvoja hyödyntämällä. Valmiin paperin grammapainot vaihtelevat 35–150 g / m².

Paperimassa valmistetaan tehtaan massaosastolla. Massaosasto on vastuussa puiden hierteen ja hiokkeen valmistuksesta. Tarvittavat kemikaalit massanvalmistukseen hankitaan tehtaan toimittajilta.

Tehtaan voimalaitos valmistaa osan tehtaan käyttämästä sähköstä. Sähkön lisäksi voimalaitos valmistaa höyryä, jota hyödynnetään mm. paperiradan kuivattamisessa paperikonelinjoilla 2 ja 3. Polttoaineena voimalaitos käyttää tehtaan sivutuotteena syntyvää haketta, puunkuorta sekä biopolttoainetta. Voimalaitos voi tarvittaessa osallistua kantaverkon tasapainottamiseen. Lisäksi tilanteissa, joissa sähkön markkinahinta on korkea ja paperin kysyntä alhainen voidaan voimalaitosta käyttää sähkön myymiseen.

Paperinvalmistuksessa työskentelevä henkilöstö toimii katkeamattomassa kolmivuorotyössä, mikä mahdollistaa tuotannon jatkuvuuden vuoden jokaisena päivänä vuorokaudenajasta riippumatta. Jokaisessa vuorossa on koneiden ja laitteiden kunnossapitoa varten yksi mekaaninen asentaja ja kaksi automaatioasentajaa, jotka vastaavat välittömän kunnossapidon tarpeista.

Päivävuorossa kullakin tuotanto-osastolla toimii oma ylläpitoryhmänsä, joka vastaa osastonsa ennakkohuoltotöistä sekä suunnitelluista kunnossapitotöistä. Ylläpitoryhmien mekaanisista tehtävistä vastaavia työntekijöitä kutsutaan laitoshenkilöiksi. Lisäksi osastoista on omat automaation työryhmänsä, jotka hoitavat osaston automaatiojärjestelmien kunnossapidon.

Osastojen lisäksi tehtaalla toimii päivävuorossa asennusryhmä, joka sisältää noin 12 mekaanista asentajaa. Asennusryhmän työresursseja jaetaan viikoittain eri osastoille suorittamaan kunnossapitotöitä sekä he vastaavat tehtaan komponenttien ja laitteiden huolloista tehtaan verstaalla. (Kuva 3). Informaatio kerättiin haastattelemalla Sappi Finland Operations Oy:n henkilökuntaa. (Sappi Finland Operations Oy, henkilökohtainen tiedonanto, 2025)

Kuva 3 Asennusryhmälle huollettavaksi saapunut vaihde.



3 Paperin valmistus

Paperin valmistus on perinteisesti ollut energiaintensiivinen prosessi, joka kuluttaa merkittävästi sekä energiaa että luonnonvaroja. Viime vuosikymmeninä digitalisaation myötä paperin kysyntä on kuitenkin ollut laskussa, mikä on pakottanut alan toimijat mukautumaan muuttuviin markkinaolosuhteisiin. Kilpailukyvyn säilyttäminen on edellyttänyt sekä tuotantoprosessien tehostamista että jatkuvaa innovointia.

Paperiteollisuus on vastannut haasteisiin kehittämällä energiatehokkaampia tuotantomenetelmiä sekä parantamalla resurssienhallintaa. Tuotannon optimointi mahdollistaa paitsi kustannussäästöt ja liiketoiminnan kannattavuuden, myös ympäristövaikutusten, kuten hiilidioksidipäästöjen vähentämisen. Näin yritykset voivat yhdistää taloudelliset ja ekologiset tavoitteensa.

Alan toimijat ovat panostaneet uusien käyttökohteiden kehittämiseen perinteisen paperin rinnalle. Tavoitteena on laajentaa tuotevalikoimaa ja turvata markkina-asema myös tulevaisuudessa. Näihin innovaatioihin kuuluu muun muassa erikoispaperit, biopohjaiset pakkausratkaisut ja muovivaikuttavat materiaalit, jotka vastaavat kestävä kehityksen vaatimuksiin ja kasvavaan ympäristötietoisuuteen.

3.1 Paperin raaka-aine: puukuitu

Paperin tärkein raaka-aine on puukuitu, jota voidaan saada useista eri puulajeista. Kuitujen ominaisuuksiin vaikuttavat erityisesti puulaji, kasvualusta ja ilmasto-olosuhteet, joissa puu on kasvanut. Näillä tekijöillä on keskeinen rooli siinä, miten kuitu käyttäytyy paperinvalmistusprosessissa ja millaisia ominaisuuksia valmiille paperille saadaan.

Havupuut ja lehtipuut tuottavat keskenään erilaista kuitua, mikä vaikuttaa niiden käyttöön paperintuotannossa. Havupuiden kuidut ovat pitkiä ja joustavia, ja ne lisäävät paperin mekaanista lujuutta. Lehtipuiden kuidut taas ovat lyhyempiä ja vaikuttavat paperin optisiin ominaisuuksiin, kuten sileään pintaan ja hyvään painettavuuteen. Paperiteollisuudessa käytetään kymmeniä eri puulajeja, joiden kuiturakenteet vaihtelevat suuresti.

Puukuitujen rakenteessa on kuitenkin samankaltaisuutta lajista riippumatta. Jokainen kuitu muodostuu kolmesta pääkomponentista: selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Nämä makromolekyylit ovat järjestäytyneet eri kerroksiin, ja juuri niiden määrä, tyyppi ja keskinäiset suhteet vaikuttavat kuitujen fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin.

Paperinvalmistuksen prosessina on erottaa yksittäiset kuidut toisistaan ja muodostaa niistä veden avulla yhtenäinen kuitumatto. Prosessin lopputuloksena syntyy paperia, jossa kuidut sitoutuvat toisiinsa kemiallisesti ja fysikaalisesti. Näin syntynyt kuituverkosto antaa paperille sen tarvitseman lujuuden ja kestävyuden. (KnowPap, n.d.)

3.2 Massanvalmistus

Mekaanisessa massanvalmistuksessa puukuidut irrotetaan toisistaan mekaanisen energian avulla ilman, että puun kemiallisia rakenteita merkittävästi hajotetaan. Prosessin perustana on ligniinin pehmentäminen veden, lämmön ja toistuvan mekaanisen rasituksen avulla. Vaikka tavoitteena ei ole poistaa ligniiniä tai muita puuaineen komponentteja, pieni osa vesiliukoisista uuteaineista ja yhdisteistä liukenee prosessin aikana. Menetelmän etuna on erittäin korkea saanti jopa 96–98 % mikä tekee siitä materiaalitehokkaan vaihtoehdon kemiallisiin massanvalmistusmenetelmiin verrattuna.

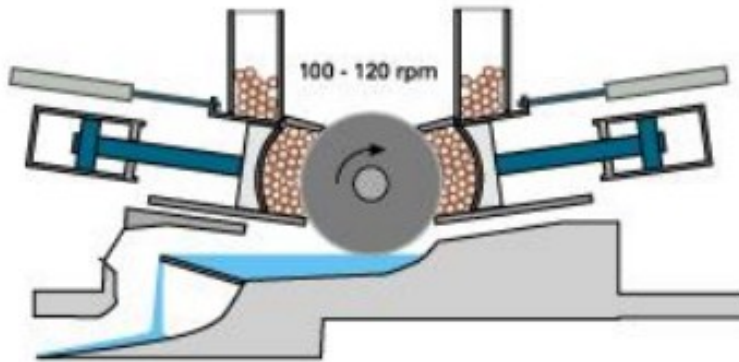
Kuidutusprosessissa mekaanista kuormitusta kohdistetaan puuainekseen siten, että sen rakenne vaurioituu hallitusti. Energia, joka siirtyy puuhun, muuttuu lämmöksi ja pehmittää ligniiniä, joka sitoo kuituja yhteen. Kun rakenne on riittävästi heikentynyt, puusta irtoaa kuitukimppuja, yksittäisiä kuituja sekä hienompia partikkeleita. Tämä on vasta kuidutusprosessin alkuvaihe, sillä irronnut kuitumassa käsitellään edelleen mekaanisesti, kunnes saavutetaan haluttu hienousaste ja kuituuntumattomien osien määrä on riittävän pieni tuotelaadun takaamiseksi.

Yksi yleisesti käytetyistä mekaanisista menetelmistä on hionta, jossa kuoritut ja määrämittaan katkotut puupölkkyt painetaan pyörivää hiomakiveä vasten (Kuva 4). Kiven pinnassa olevat karkeat rakeet siirtävät mekaanista energiaa pölkkyihin, ja kuidut irtoavat sen seurauksena (Kuva 5). Hionnan tehokkuutta voidaan lisätä painehionnalla, jossa käytetään korotettua painetta ligniinin pehmentämiseksi ja kuidun irtoamisen tehostamiseksi.

Kuva 4 Hiomakivi hiomolla.

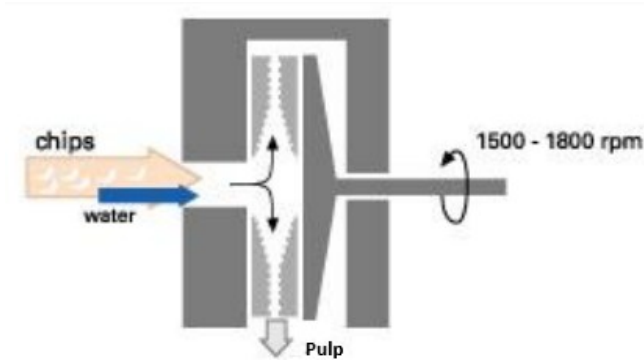


Kuva 5 Hiokkeen valmistus kuvitettuna (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).



Toinen merkittävä mekaanisen massanvalmistuksen muoto on hierto (Kuva 6), jossa kuitu irrotetaan syöttämällä kuusihaketta (tai vaihtoehtoisesti mäntyhaketta) pyörivien, teräpintaisten jauhilevyjen väliin (Kuva 7). Näiden levyjen väli on pienempi kuin hakkeen koko ja kapenee syötön suuntaan, mikä aiheuttaa voimakasta mekaanista räsitusta. Tätä ennen hake esikäsitellään höyryttämällä 115–130 °C:ssa 1,5–5 minuutin ajan, mikä pehmittää puuaineksen ja mahdollistaa pidempien kuitujen irtoamisen. Varsinainen kuidutus tapahtuu paineellisessa, 1–6 bar ylipaineessa toimivassa jauhimessa, jossa puuaineen viipymäaika on tyypillisesti 2–7 sekuntia.

Kuva 6 Hierteen valmistus kuvitettuna (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).



Kuva 7 Hiertimen terät hiertämöllä.



Koska mekaanisen massanvalmistuksen aikana lähes koko puuaine jää massaan, niin valkaisun tavoitteena ei ole ligniinin poistaminen, vaan sen värillisten yhdisteiden eli kromoforien ryhmien muuttaminen värittömiksi. Tämä toteutetaan valkaisukemikaaleilla, jotka toimivat joko hapettavasti tai pelkistävästi. Yleisimmin käytetty hapettava aine on vetyperoksidi (H_2O_2), jota suositaan erityisesti sen tehokkuuden ja ympäristöystävällisyyden vuoksi. Pelkistävästä aineista merkittävin on natriumditioniitti ($Na_2S_2O_4$), mutta sen käyttö on vähentynyt laatuvaatimusten kiristyessä. Hapettavat menetelmät mahdollistavat korkeamman kirkkauden ja paremman väritasapainon ilman merkittävää ligniinin poistoa, mikä on tärkeää mekaanisten massojen ominaisuuksien säilyttämiseksi. (KnowPap, n.d.)

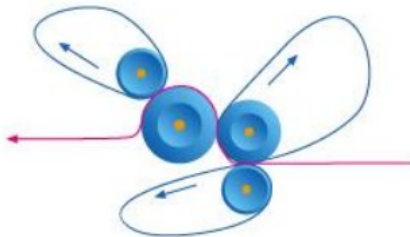
3.3 Massasta paperiksi

Kun kuitumassa on käsitelty haluttuun laatuun, se siirtyy paperikoneelle, jossa varsinainen paperiarkki muodostetaan. Prosessi on erittäin tarkasti säädelty ja koostuu useista peräkkäisistä vaiheista, jotka vaikuttavat paperin rakenteeseen, lujuusominaisuuksiin ja pintalaatuun. Massan koostumus, hienous, vesipitoisuus ja lisäaineistus määrittävät sen, millainen valmiista paperiarkista syntyy.

Ensimmäisessä vaiheessa massa johdetaan paperikoneen viiraosaan, jossa vedenpoisto alkaa. Massasta yli 99 % on vettä ja tavoitteena on muodostaa siitä mahdollisimman tasainen kuitumatto. Viiraosassa massa levitetään tasaisesti liikkuvalla viiralle, joka on läpäisevä kangas tai verkko. Painovoima ja alipaine poistavat suuren osan vedestä, ja kuidut alkavat järjestäytyä toisiinsa sitoutuvaksi matoksi. Tämä vaihe on ratkaiseva paperin rakenteen ja tasaisuuden kannalta.

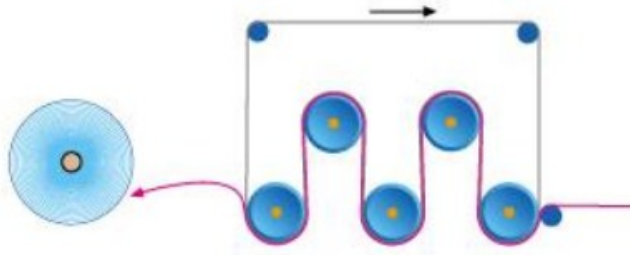
Seuraavaksi kuitumatto siirtyy puristinosaan, jossa siitä poistetaan mekaanisesti lisää vettä. Tämä tapahtuu puristusrullien välissä, joissa kuitumattoa puristetaan samalla kun siihen kohdistetaan painetta (Kuva 8). Puristus parantaa kuitujen välistä sidostumista ja vähentää jäljellä olevan veden määrää huomattavasti. Samalla paperiin muodostuu sen lopullista rakennetta ja lujuutta tukeva kuituverkosto.

Kuva 8 Puristinosaa kuvitettuna (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).



Puristuksen jälkeen osittain kuivunut arkki siirtyy kuivatusosaan, jossa vesi haihdutetaan paperista kuumien lämmityselementtien avulla (Kuva 9). Kuivatusosasto koostuu useista höyryllä lämmitetyistä rullista, joiden lämpötila voi nousta jopa yli 100 °C:n. Paperin kosteuspitoisuus laskee vaiheittain, kunnes se on alle 10 %. Tämä vaihe on energiankulutuksen kannalta yksi koko prosessin kuormittavimmista osista, mutta samalla kriittinen paperin lopullisen muodon, mittojen ja tasalaatuisuuden kannalta. (KnowPap, n.d.)

Kuva 9 Kuivausosa kuvitettuna (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).



3.4 Paperin jälkikäsittely

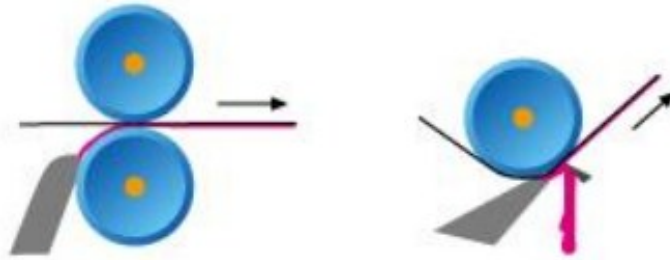
Paperinvalmistusprosessin viimeinen vaihe on jälkikäsittely, jossa määritellään lopullisen tuotteen ulkonäkö, tekniset ominaisuudet ja toimitusmuoto. Jälkikäsittelyn laajuus riippuu valmistettavasta paperilajista ja sen vaatimuksista, mutta lähes kaikille papereille tehdään vähintään pituusleikkaus ja rullaus. Näiden perustoimenpiteiden lisäksi paperille voidaan tehdä erilaisia pintakäsittelyjä ja mekaanisia käsittelyjä tuotteen laadun ja käyttötarkoituksen mukaan.

Pintaliimaus on yleinen jälkikäsittely, jolla parannetaan erityisesti hienopaperien sisäistä ja pintalujuutta. Pintaliimauksessa paperin pintaan lisätään vesiliukoista polymeeriliuosta, useimmiten tärkkelyspohjaista, joka muodostaa kuitujen välille vahvoja vetysidoksia. Tämä vahvistaa paperin rakennetta ja vähentää esimerkiksi pölyämistä ja kuidun irtoamista painoprosesseissa.

Mikäli pintaliimaliuokseen lisätään pigmenttejä, kuten kaoliinia tai kalsiumkarbonaattia, puhutaan pigmentoinnista. Pigmentointi täyttää paperin pintahuokosia, parantaen sen tasaisuutta ja optisia ominaisuuksia. Pigmentin määrä on kuitenkin pieni, yleensä noin 1–2 g/m², ja vaikutukset kohdistuvat ensisijaisesti painettavuuteen ja pinnan absorptio-ominaisuuksiin.

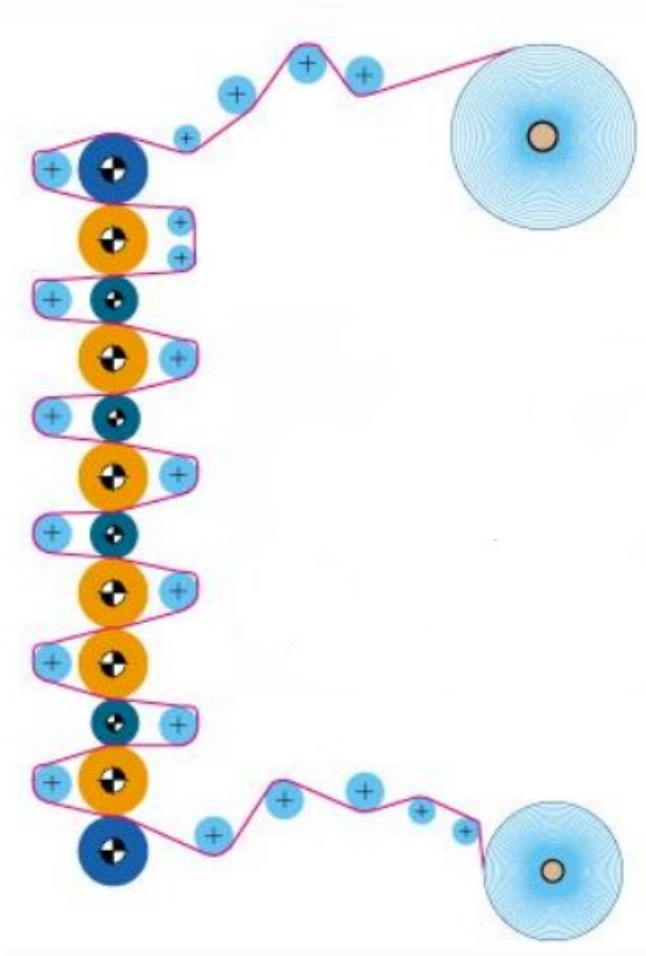
Varsinainen päällystys on kattavampi käsittely, jonka tavoitteena on parantaa paperin ulkonäköä ja painettavuutta. Päällystyspasta sisältää pigmenttiä ja sideainetta, ja se levitetään paperin pinnalle joko yhdelle tai molemmille puolille (Kuva 10). Pastaa levitetään ylimäärin ja ylimääräinen osa poistetaan kontrolloidusti, jolloin jäljelle jää haluttu kerros, joka kuivataan lämpökäsittelyllä. Päällystetty paperi on sileämpää, kirkaampaa ja paremmin painoväriä sitovaa kuin päällystämätön.

Kuva 10 Paperin päällystys kuvitettuna (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).



Pinnan lisäksi paperin rakennetta voidaan käsitellä kalanteroinnilla, jonka tarkoituksena on parantaa sileyttä, kiiltoa ja paksuuden tasaisuutta. Kalanteroinnissa paperi johdetaan kahden tai useamman telan muodostamien nippeihin, joissa se puristuu mekaanisesti (Kuva 11). Tämän seurauksena päällysteen partikkelit järjestäytyvät, paperi ohenee ja sen pinta silottuu. Kalanterointi vaikuttaa positiivisesti painolaadun kannalta keskeisiin ominaisuuksiin, mutta voi samalla heikentää mekaanisia ominaisuuksia, kuten jäykkyyttä tai läpimenolujutta. Kalanterointi voidaan toteuttaa osana paperikonetta tai jälkikäsitelyvaiheessa erillisessä yksikössä. Kalenterityypin valinta riippuu halutusta painopinnasta ja tuotantonopeuksista.

Kuva 11 Kalanterointi kuvitettuna (Sappi Finland Operations Oy, n.d.).



Jälkikäsitteilyyn kuuluu myös paperin rullaaminen ja pituusleikkaus. Paperikoneen tuottama yhtenäinen paperiraina kääritään ensin konerullalle, joka voi olla jopa kilometrejä pitkä sekä usean metrin levyinen.

Jotta paperi olisi toimitettavissa ja käsiteltävissä, se leikataan pituusleikkurilla tilausten mukaisiksi osarainoiksi ja rullataan hylsyjen ympärille. Leikkauksen yhteydessä poistetaan myös reunat, jotka eivät täytä laatuvaatimuksia. Leikkaus tapahtuu tangentiaalisesti kahden pyörivän terän avulla, mikä mahdollistaa tarkan ja tasaisen lopputuloksen. Ylimääräiset reunanauhat kierrätetään usein takaisin massanvalmistukseen. (KnowPap, n.d.)

4 Paineilman perusteet

Paineilma on ilmaa, joka on puristettu ilmakehän normaalia painetta korkeampaan paineeseen. Sitä hyödynnetään laajasti sekä arjen sovelluksissa että teollisuudessa. Merenpinnan tasolla ilmanpaine on tyypillisesti noin 1 bar eli 1013 hehtopascaliala (hPa) (Foreca, 2021). Ilmanpaineen laskemisessa käytetään kaavaa: $p = \frac{F}{A}$ missä p on paine, F voima ja A pinta-ala (Länsirannikon Koulutus Oy, 2020, s. 1).

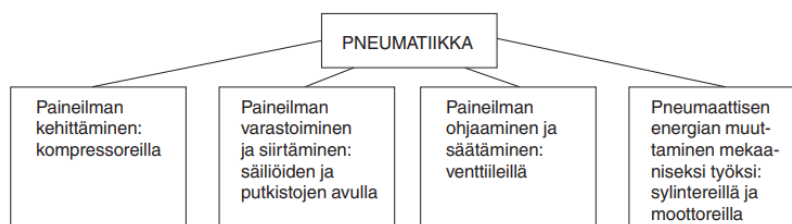
Ilmaa ylipaineistamalla on suljettuun tilaan mahdollista pakata enemmän ilmamolekyylejä kuin tavanomaisessa ilmanpaineessa olisi. Tällöin syntyy tila, jossa ilman molekyylit pyrkivät siirtymään ulos matalamman paineen suuntaan niin sanottuun tasapainon tilaan. Tätä ilmiötä voidaan hyödyntää mekaanisena energiana. Energian määrä riippuu tilavuudesta ja ilmanpaineesta: mitä enemmän ilmaa ja korkeampi paine, sitä suurempi energiapotentiaali.

Paineilman käyttö tehonsiirtoon tunnetaan nimellä pneumatiikka. Pneumatiikka on vanha teknologia, jonka juuret ulottuvat jopa 2000 vuoden taakse, muinaisiin katapultteihin. Suomessa pneumatiikan teollinen soveltaminen yleistyi 1950-luvulla.

Pneumaattinen järjestelmä perustuu siihen, että jonkin muun energialähteen, kuten sähkö- tai polttomoottorin, tuottama mekaaninen energia muutetaan kompressorin avulla paineilmaksi. Tämä energia varastoidaan säiliöön ja siirretään putkistojen kautta venttiilien avulla sylintereihin tai moottoreihin, jotka muuntavat paineilman takaisin mekaaniseksi työksi (Kuva 12).

Pneumatiikan käyttö on kasvanut merkittävästi automaation kehittymisen myötä. Sen avulla on voitu korvata monia raskaita, vaarallisia tai epämiellyttäviä työvaiheita, mikä on parantanut sekä työturvallisuutta että tehokkuutta tuotantoprosesseissa. (Hulkkonen, 2005, s. 2–4)

Kuva 12 Pneumatiikan osa-alueet (Hulkkonen, 2005, s. 2).



4.1 Paineilman käyttötapoja

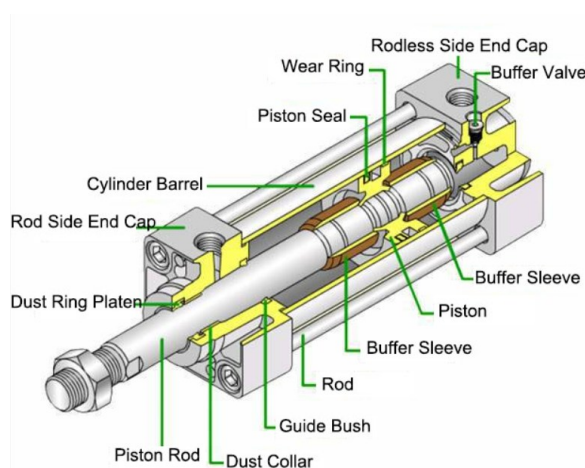
Paineilma on laajalti hyödynnettävissä oleva energiamuoto, joka soveltuu monenlaisiin käyttökohteisiin teollisuudessa, logistiikassa ja arjen toiminnoissa. Sen etuina ovat muun muassa laitteistojen yksinkertainen rakenne, turvallinen käyttö räjähdysherkissä ympäristöissä sekä nopea toiminta. Paineilman sovelluksia voidaan yleisesti tarkastella kolmen pääryhmän kautta: Sylinteripneumatiikka, pyörivät liikkeet sekä paineilman itsensä suorittamaan työhön. (Hulkkonen, 2005, s. 2)

Vaikka paineilma tarjoaa edelleen merkittäviä etuja monissa käyttökohteissa, on teknologian kehitys ja erityisesti sähköistyminen johtaneet siihen, että monissa sovelluksissa paineilma on joko jo korvattu tai voidaan korvata sähköisillä ratkaisulla. Sähkökäyttöisten laitteiden tarkkuus, energiatehokkuus ja ohjattavuus ovat tehneet niistä varteenotettavia vaihtoehtoja erityisesti kevyissä ja toistuvissa tehtävissä.

4.1.1 Sylinteripneumatiikka

Sylinteripneumatiikka on yleisin pneumatiikan sovellusmuoto, ja sitä käytetään erityisesti suoraviivaisten liikkeiden tuottamiseen (Kuva 13). Käyttökohteet vaihtelevat teollisuudenaloittain, ja järjestelmät rakennetaan usein tapauskohtaisesti valmiista komponenteista. (Hulkkonen, 2005, s. 3)

Kuva 13 Pneumaattinen sylinteri komponentteineen (FOYE, 2024).

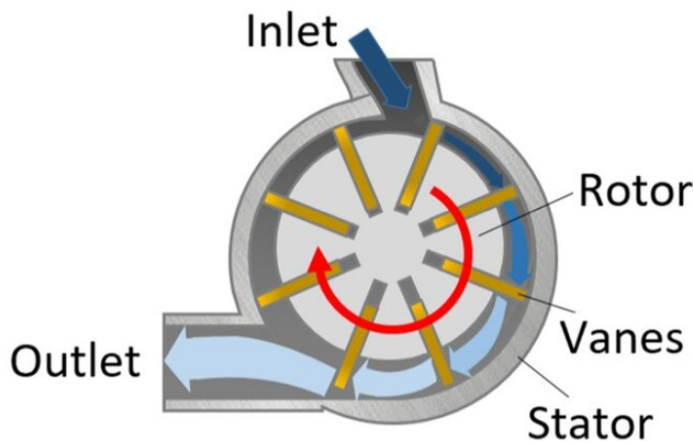


Sylinterien hallinta edellyttää ohjausventtiilejä. Monet nykyaikaiset sylinteripneumatiikan järjestelmät sisältävät automaattisia ohjauspiirejä, jotka muistuttavat toiminnaltaan lähes täysin sähköisiä automaatiojärjestelmiä (Hulkkonen, 2005, s. 3).

4.1.2 Pyörivät liikkeet

Käyttöalue kattaa pyörivää liikettä tuottavat paineilmamoottorit (Kuva 14). Näitä laitteita on myös saatavana valmiina kokonaisuuksina, jotka sisältävät moottorin, venttiilit ja muut käyttöön tarvittavat komponentit. Kokonaisuus kytketään vain paineilman lähteeseen, minkä jälkeen laite on käyttövalmis. Tyypillisiä esimerkkejä ovat paineilmakäyttöiset työkalut, kuten ruuvinvääntimet, porakoneet ja hiomalaitteet. (Hulkkonen, 2005, s. 3)

Kuva 14 Paineilmamoottorin toimintaperiaate kuvitettuna (Aziz ym., 2023, s. 637).



Akkuteknologian kehittyessä akkukäyttöiset työkalut ovat syrjäyttämässä paineilmakäyttöisiä työkaluita, sillä ne ovat käytettävissä ilman paineilman lähdettä. Pyörivän liikkeen tuottaminen paineilmalla vaatii ilmamäärällisesti paljon ilmaa.

4.1.3 Paineilman tekemä työ

Kolmanteen paineilman käyttötaparyhmään kuuluvat sovellukset, joissa paineilma suorittaa työn suoraan ilman mekaanista väliainetta, kuten sylinteriä tai moottoria. Näissä tilanteissa paineilman virtaus itsessään tuottaa halutun vaikutuksen.

Tyypillisiä esimerkkejä ovat ruiskumaalaus, jossa paineilma sumuttaa maalin maalattavalle pinnalle, sekä hiekkapuhallus, jossa paineilma kiihdyttää hiekka- tai muita puhallusmateriaaleja pinnan puhdistusta varten (Hulkkonen, 2005, s. 4). Molemmissa sovelluksissa ilman nopeus ja virtausominaisuudet ovat ratkaisevassa roolissa työn lopputuloksen kannalta.

Erityisen hyvä esimerkki paineilman tekemästä työstä on putkiposti (Kuva 15).

Putkipostijärjestelmässä kapseli kulkee suljetussa putkistossa ilmavirtauksen mukana, joko paine- tai alipaineen vaikutuksesta. Järjestelmä oli aikanaan laajassa käytössä esimerkiksi suurissa toimistorakennuksissa, teollisuuslaitoksissa ja sairaaloissa. Ennen sähköisen viestinnän yleistymistä putkiposti mahdollisti nopean ja luotettavan asiakirjojen ja pienten esineiden kuljetuksen rakennusten sisällä usein jopa yli 30 km/h nopeudella.

Kuva 15 Putkipostin lähetin / vastaanotin Kirkniemen paperitehtaan laboratorioissa.



Vaikka putkiposti on monin paikoin korvattu moderneilla digitaalisilla järjestelmillä, niin sitä käytetään yhä. Järjestelmä on edelleen tarpeellinen esimerkiksi laboratoriologiikassa ja sairaaloiden näytteidenkuljetuksessa, joissa nopeat fyysisen materiaalin siirrot ovat tarpeen.

4.2 Pneumatiikan ominaisuuksia

Pneumatiikka tarjoaa useita hyödyllisiä ominaisuuksia, joiden ansiosta se soveltuu erinomaisesti moniin teollisiin ja teknisiin sovelluksiin. Paineilma perustuu ilmaan, jota on saatavilla kaikkialla. Tämä tekee paineilman tuottamisesta mahdollista lähes missä tahansa, missä sitä tarvitaan.

Putkistojen kautta paineilma liikkuu helposti, ja sen dynaaminen viskositeetti eli virtauksessa syntyvä sisäinen kitka on alhainen. Tämä tarkoittaa, että painehäviö pysyy pienenä, vaikka virtausnopeudet olisivat suuria ja siirtoetäisyydet pitkiä. Poistoilmalle ei tarvita omaa paluulinjaa, mikä yksinkertaistaa järjestelmän rakennetta ja alentaa kustannuksia. Paineilmaan varastoitu energia voidaan säilyttää paineastioissa, joista se on nopeasti otettavissa käyttöön tarpeen mukaan.

Pneumaattiset järjestelmät toimivat luotettavasti myös vaihtelevissa lämpötilaolosuhteissa. Merkittävä etu on niiden turvallisuus. Paineilma ei sisällä syttyviä aineita, järjestelmä ei aiheuta räjähdys- tai tulipalovaaraa esimerkiksi pölyisissä tai helposti syttyvissä ympäristöissä. Paineilma mahdollistaa myös erittäin nopeat liikkeet, mikä tekee siitä sopivan ratkaisun moniin automatisoituihin prosesseihin. Liikenopeuksia ja voimia voidaan säätää yksinkertaisesti säätöventtiilien avulla. Pneumatiikan avulla toistuvat toiminnot voidaan automatisoida tehokkaasti, mikä on tehnyt siitä tärkeän osan monia modernin tuotannon sovelluksia.

Pneumatiikalla on kuitenkin myös rajoituksia, yksi merkittävimmistä on energiatehokkuus. Paineilman tuottaminen vaatii paljon energiaa, ja järjestelmän hyötysuhde on melko heikko. Pneumatiikka ei ole paras valinta silloin, kun tarvitaan suuria voimia. Esimerkiksi 0,6 MPa:n ylipaineella saavutettavat voimat jäävät yleensä maksimissaan noin 50 kN:n tasolle.

Kaikista näistä rajoituksista huolimatta pneumatiikan suurimpina etuina muihin energiamuotoihin verrattuna ovat energian helppo varastointi ja erinomainen siirrettävyys. Nämä ominaisuudet tekevät siitä käyttökelpoisen ja monessa tapauksessa korvaamattoman voimansiirtomenetelmän. (Hulkkonen, 2005, s. 4–5)

4.3 Paineilmajärjestelmä

Paineilmajärjestelmä koostuu ilmakompressorista, paineilmasäiliöstä, ilmankuivaimesta, suodattimista, jäähdyttimistä, paineilmaa jakavasta verkostosta, sekä toimintaa ohjaavista venttiileistä ja toimilaitteista. Paineilmajärjestelmän mitoituksessa on tärkeää, että jokainen komponentti on pyritty mitoittamaan vastaamaan toisiaan. Oikein mitoitettujen järjestelmien tavoitteena on tuottaa paineilmaa mahdollisimman taloudellisella tavalla, joka vastaa käyttäjän tarpeita. (Atlas Copco, 2020)

Paineilmajärjestelmää suunniteltaessa on otettava huomioon verkoston painevaatimukset, kulutettavan paineilman määrä, kulutuksen heilahtelu, käyttövarmuus, sekä paineilman laatu. Paineilman laadulla on suuri vaikutus järjestelmän toimintaan. Paineilman laatuun vaikuttavat kosteus, sekä öljyn määrä paineilman seassa. Lisäksi on erittäin tärkeää, että paineilma sisältäisi mahdollisimman vähän kiinteitä epäpuhtauksia, kuten esimerkiksi pölyä (Atlas Copco, 2019).

4.4 Paineilman tuottaminen

Paineilman tuottaminen perustuu ilman kokoon puristamiseen mekaanisella laitteella eli paineilmakompressorilla. Ilman puristaminen pienempään tilaan kasvattaa sen energiatiheyttä, jolloin sitä voidaan varastoida ja käyttää mekaanisen työn, ohjauksen tai muun tarvittavan prosessin voimanlähteenä. Vaikka periaate on yksinkertainen ja tehokas niin paineilman tuotanto vaatii järjestelmän eri osa-alueiden yhteensovittamista:

- Oikeanlaisen kompressorin valintaa
- Ilmasäiliön valintaa tasapainottamaan paineen heilahduksia
- Jäähdytyksen tarpeen huomioimista
- Kosteuden ja epäpuhtauksien hallintaa
- Tarvittavaa ilman puhdistamista

Nämä tekijät vaikuttavat järjestelmän toimivuuteen, energiatehokkuuteen ja ylläpitotarpeisiin. Niiden huolellinen huomioiminen ja yhteensovittaminen on ratkaisevaa lopputuotteen laadun kannalta.

Paineilman tuotantomenetelmän valintaan vaikuttavat useat tekijät, kuten tarvittava ilmanpaine, ilmamäärä, käyttötarkoitus ja saatavilla oleva energainfrastruktuuri.

Kompressorin toiminta aiheuttaa merkittävää lämpökuormaa, joten lämmön hallinta on tärkeä osa kokonaisuutta. Lisäksi puristettu ilma sisältää aina jonkin verran kosteutta ja epäpuhtauksia, jotka voivat aiheuttaa häiriöitä tai vaurioita paineilmaa hyödyntävissä laitteissa. Paineilman tuottamiseen kuuluu oleellisena osana myös ilman käsittely ja puhdistus ennen sen johtamista järjestelmässä eteenpäin.

Kompressorit muodostavat paineilmajärjestelmän keskiön. Kompressorien toimintaperiaate vaikuttaa suoraan koko järjestelmän tehokkuuteen, energiankulutukseen ja kunnossapitovaatimuksiin. (Atlas Copco, 2020)

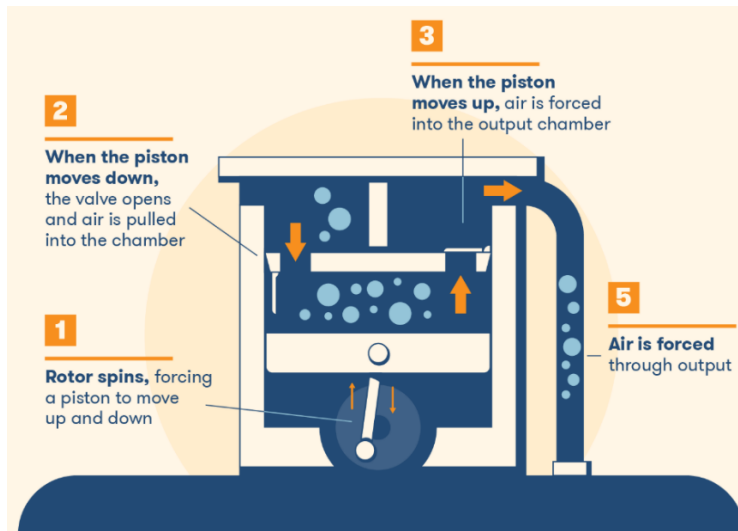
Kompressorit voidaan karkeasti jakaa kahteen pääryhmään: staattisiin- ja dynaamisiin kompressoreihin (Atlas Copco, n.d.-b). Molemmilla on oma käyttökohteensa ja toimintalogiikkansa, ja valinta tehdään aina sovelluksen vaatimusten mukaisesti.

4.4.1 Staattiset kompressorit

Staattiset kompressorit toimivat siten, että ne ottavat sisäänä tietyn määrän ilmaa ja pakottavat sen pienempään tilavuuteen, jolloin ilmanpaine ja energiatiheys kasvaa. Tämä periaate on käytössä esimerkiksi mäntä- ja ruuvikompressoreissa, jotka ovat yleisimpiä kompressorityyppejä teollisuudessa. (Atlas Copco, n.d.-b)

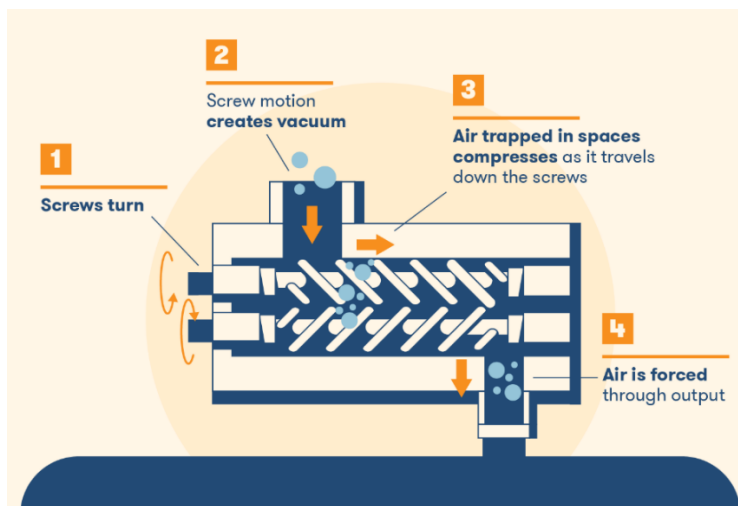
Mäntäkompressorit (Kuva 16) soveltuvat erityisesti tilanteisiin, joissa tarvitaan korkeita paineita ja järjestelmä ei ole jatkuvasti kuormitettuna. Ne ovat mekaanisesti yksinkertaisia ja helposti huollettavia, mutta niiden melu- ja värinätasot voivat olla korkeita. Tyypillisiä kohteita mäntäkompressorille ovat esimerkiksi autokorjaamot. (Atlas Copco, n.d.-a)

Kuva 16 Mäntäkompressorin toiminta selitettynä (Eusebio, 2020).



Ruuvikompressorit puolestaan ovat tehokkaampia jatkuvassa käytössä ja hiljaisempia, minkä vuoksi ne ovat yleinen valinta nykyaikaisissa paineilmajärjestelmissä. Niiden toiminta perustuu kahden roottorin pyörimiseen toistensa ympäri, jolloin ilma jää niiden väliin ja puristuu liikkeen mukana (Kuva 17). (Atlas Copco, n.d.-c)

Kuva 17 Ruuvikompressorin toiminta selitettynä (Eusebio, 2020).



Staattiset kompressorit ovat omiaan tuottamaan suuria ilmanpaineita pienellä ilmamäärällä, joten useammin ne ovat valikoituneet teolliseen käyttöön. Staattiset kompressorit ovat verrattain yksinkertaisia verrattuna dynaamisiin kompressoreihin.

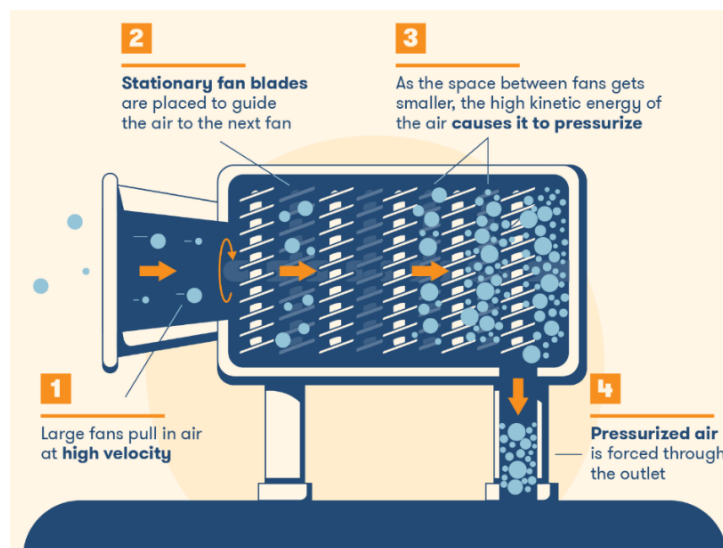
4.4.2 Dynaamiset kompressorit

Dynaamiset kompressorit poikkeavat toimintaperiaatteeltaan edellä mainituista. Ne eivät purista ilmaa tilavuutta pienentämällä, vaan kiihdyttävät ilman liikettä ja muuttavat sen kineettisen energian paine-energiaksi.

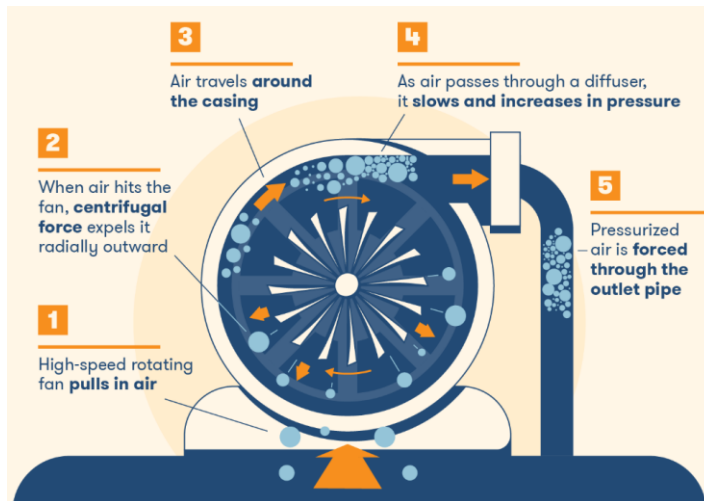
Tämä menetelmä on tehokas erityisesti suurissa järjestelmissä, joissa tarvitaan suuria ilmamääriä matalalla paineella. Dynaamiset kompressorit ovat mekaanisesti monimutkaisempia, mutta tarjoavat korkean hyötysuhteen tarvittaessa.

Dynaamisista kompressoreista voidaan käyttää nimitystä ”turbokompressorit”, sillä ne ovat omiaan suurien ilmamäärien tuottamiseen alhaisella ilmanpaineella. Toimintatavan mukaan ”turbokompressorit” voidaan jakaa aksiaalis (Kuva 18)-, sekä radiaalikompressoreiksi (Kuva 19). (Atlas Copco, n.d.-b)

Kuva 18 Aksiaaliskompressorin toiminta selitettynä (Eusebio, 2020).



Kuva 19 Radiaalikompressorin toiminta selitettynä (Eusebio, 2020).



4.4.3 Paineilman jäähditys

Ilman puristaminen pienempään tilaan paineilmaksi on prosessi, jossa syntyy merkittävä määrä lämpöä. Jos tätä lämpöenergiaa ei hallittaisi, se voisi heikentää järjestelmän suorituskykyä, lisätä kosteuden tiivistymistä ja aiheuttaa vahinkoja tai häiriöitä loppukäytössä. Ilman lämpötila voi nousta puristamisen jälkeen jopa noin 200 °C lämpötilaan. Korkean lämpötilan vuoksi paineilman jäähditys on olennainen osa järjestelmää, ja se on huomioitava paineilmajärjestelmää suunniteltaessa.

Ilman jäähditys tapahtuu yleensä kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa ilma jäähdytetään heti puristamisen jälkeen niin sanotulla jälkijäähdyttimellä. Jälkijäähdyttimen tehtävänä on alentaa paineilman lämpötila mahdollisimman lähelle ympäristön lämpötilaa. Tällöin suuri osa ilmassa olevasta vesihöyrystä tiivistyy nesteeksi, mikä mahdollistaa sen poistamisen kondenssivedenpoistimilla. Näin minimoidaan kosteuden päätymistä paineilmajärjestelmään, mikä parantaa järjestelmän toimintavarmuutta, sekä estää korroosion muodostumista putkistoihin ja toimilaitteisiin. (Atlas Copco, 2015, s. 72–75)

Järjestelmässä, jossa käytetään monivaiheista paineilman puristamista, tarvitaan myös välijäähdyttimiä. Näiden tehtävänä on jäähdyttää ilma ennen seuraavaa puristusvaihetta, jolloin ilman tilavuus saadaan uudelleen pienemmäksi ja säästetään energiaa. Samalla myös ilmasta erottuvan kosteuden määrä vähenee, mikä helpottaa sen hallintaa ilman

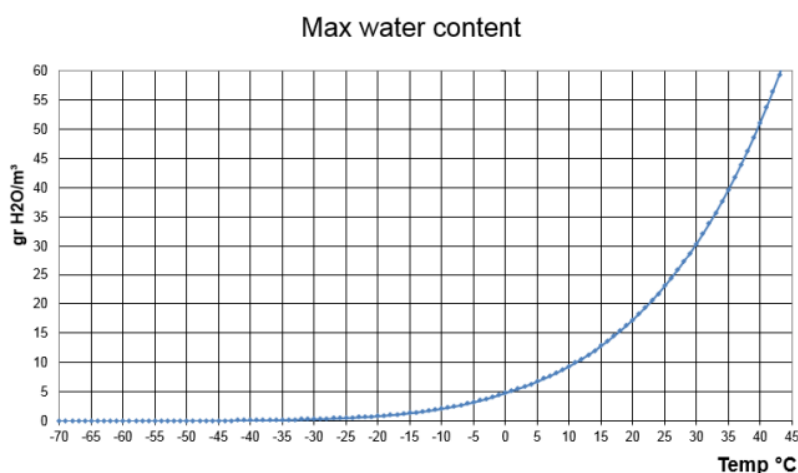
jatkojalostuksessa. Välijäähdytys on omiaan parantamaan paitsi energiatehokkuutta myös lopullisen paineilman laatua. (Atlas Copco, 2015, s. 75)

Modernit paineilmajärjestelmät voivat hyödyntää kompressorin tuottamaa lämpöä lämmön talteenottojärjestelmää hyödyntämällä. Lämmön talteenottojärjestelmä ei ole ainoastaan ekologinen, vaan se voi tuoda huomattavia kustannussäästöjä etenkin suurissa laitoksissa. Näin kompressorin jäähdytyksestä muodostuu järjestelmän energiatehokkuutta edistävä osa, eikä se ole enää pelkkä hukkalämmön hallintamekanismi. (Atlas Copco, 2015, s. 79)

4.4.4 Epäpuhtaudet paineilmassa

Yksi keskeisimmistä haasteista paineilmajärjestelmissä on ilman mukana kulkeutuvan veden ja muiden epäpuhtauksien hallinta. Pelkässä ulkoilmassa on aina jonkin verran kosteutta vesihöyryn muodossa (Kuva 20). Kun tämä ilma puristetaan pienempään tilavuuteen niin ilman suhteellisen kosteuden osuus voi nousta jopa 100 %:iin. Ilman jäähtyessä veden kyky pysyä sitoutuneena ilmaan pienenee, mikä johtaa kondenssiveden muodostumiseen paineilmajärjestelmän eri osiin. Jos tätä kosteutta ei hallita tai poisteta tehokkaasti, se voi aiheuttaa merkittäviä ongelmia järjestelmän toimivuudelle ja paineilmalaitteiden kestävyydelle.

Kuva 20 Ilman kyky sitoa vettä eri lämpötiloissa (Beeckmans, 2018, s. 2).



Kosteus edistää korroosion muodostumista paineilmaputkistoissa ja toimilaitteissa. Kosteus heikentää pneumaattisten venttiilien ja sylinterien toimintaa sekä lisää järjestelmän

kunnossapitokustannuksia. Kosteus voi myös sekoittua järjestelmässä mahdollisesti esiintyviin öljyihin tai muihin epäpuhtauksiin ja muodostaa haitallisia emulsiota tai saostumia. Tämän vuoksi kondenssiveden hallintaan on kiinnitettävä erityistä huomiota. Tyypillisesti kondenssivesi poistetaan automaattisilla vedenpoistimilla, jotka asennetaan ilman jälkijäähdyttimien, suodattimien ja paineilmasäiliöiden yhteyteen.

Veden lisäksi paineilmassa esiintyy usein muita epäpuhtauksia, kuten kiinteitä hiukkasia, öljyä ja mikro-organismeja. Kiinteät epäpuhtaudet, kuten pöly ja hiekka, voivat kulkeutua järjestelmään ilmanottoaukon kautta, erityisesti jos ilmansuodatus on puutteellista tai järjestelmä sijaitsee puhtauden kannalta haastavassa ympäristössä. (Atlas Copco, 2019)

Öljyä pääsee aina pieniä määriä järjestelmään öljyvoidelluista paineilmakompressoreista. Mikrobit ja bakteerit voivat lisääntyä erityisesti kosteissa ja lämpimissä olosuhteissa ja ne voivat öljyn lisäksi saastuttaa esimerkiksi elintarviketeollisuudessa käytettävää paineilmaa, mikä on omiaan johtamaan ongelmiin hygienian kanssa tuotannossa. (Atlas Copco, 2015, s. 72–76)

Epäpuhtauksien torjunta vaatii järjestelmällistä lähestymistapaa. Suodattimet, kuivaimet ja vesierottimet muodostavat yhdessä tehokkaan suojan järjestelmälle, mutta niiden valinta ja sijoittelu on tehtävä huolellisesti järjestelmän kokonaisuuden ja käyttövaatimusten mukaisesti. Järjestelmän kunnossapito, suodattimien säännöllinen vaihto ja kondenssinpoistimien toimintakunnon tarkkailu ovat oleellisia toimenpiteitä järjestelmän puhtauden ja moitteettoman toiminnan ylläpitämiseksi.

5 Kirkniemen tehtaan paineilmajärjestelmä

Kirkniemen paperitehtaalla paineilmaa luodaan tuotantoon yhteensä seitsemällä Atlas Copcon paineilmakompressorilla. Paineilmakompressorit sijaitsevat Pk 3:sella sekä tehtaan voimalaitoksella (Taulukko 1).

Pk 3:n alakerrassa sijaitsevat kompressorit ovat vastuussa tehdas- ja instrumentti-ilman tuottamisesta paperikonelinja 3 ja erikoismassahiomon tarpeisiin. Voimalaitoksella sijaitsevat neljä kompressoria tuottavat tehdas- ja instrumentti-ilmaa paperikonelinja 1 ja 2, sekä hiomo-osaston tarpeisiin (Kuva 21).

Paineilmaverkot ovat erillisiä, mutta niiden välillä sijaitseva yhdysventtiili mahdollistaa tarpeen mukaisesti verkkojen yhdistämisen ja täten paineilman kulkeutumisen verkosta

toiseen. Venttiiliä ohjataan normaalisti automaattitilassa, mutta poikkeustilanteessa venttiili ohjautuu automaattisesti kiinni ja pitää paineilmaverkot erillään.

Paperikonelinjoilla paineilma jaetaan kahteen eri verkkoon. Erilliset verkot ovat tehdasilma, jota käytetään paperinvalmistuksessa vaadittaviin puhalluksiin, sekä instrumentti-ilma, jota käytetään tehtaan pneumaattisten toimilaitteiden käyttöön. Paineilmaverkon paineen vaihteluväli on yleisesti ollut noin 0.4 bar asetetusta painetasosta.

Taulukko 1 Sappi Kirkniemen tehtaan paineilmakompressorien tekniset tiedot.

Kompressori	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Valmistaja	Atlas Copco	Atlas Copco	Atlas Copco	Atlas Copco	Atlas Copco	Atlas Copco	Atlas Copco
Sijainti	Pk 3	Pk 3	Pk 3	Voimalaitos	Voimalaitos	Voimalaitos	Voimalaitos
Ilmantuotto (m ³ /s)	1,022	1,022	1,022	0,94	0,94	1,022	1,049
Teho kevennettyinä (kW)	54	54	54	51	51	54	67
Teho kuormitettuna (kW)	347	347	347	346	346	347	379
Maksimi paine (bar)	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,6	7,5

Kuva 21 Sähkömoottorikäyttöisiä Atlas Copcon paineilmakompressoreja tehtaan voimalaitoksen alakerrassa.



5.1 Kompressorien käyttö

Kompressorien käyttöä ohjataan vuorottelemalla niiden käynnistystä siten, että yksittäisten laitteiden käyntitunnit jakautuvat mahdollisimman tasaisesti. Tämä toimintamalli vähentää yksittäisten kompressorien kuormitusta ja pidentää niiden huoltovälejä sekä käyttöikää.

Kompressorien lukumäärä on mitoitettu siten, että jokaisessa kompressoriryhmässä on vähintään yksi ylimääräinen yksikkö. Näin varmistetaan, että yksi kompressori voidaan tarvittaessa ottaa pois käytöstä huolto- tai vikatilanteessa ilman, että tehdasverkoston paine tai ilmantuotanto heikkenee merkittävästi.

Suuressa vika- tai kunnossapito tilanteessa tehtaan paineilmaverkot ovat erotettavissa verkkojen välisen yhdysventtiilin kautta. Tämä varautumistaso takaa paineilmajärjestelmän toimintavarmuuden ja mahdollistaa paperintuotannon keskeytyksettömän jatkumisen myös häiriötilanteissa.

5.2 Paineilmaa käyttävät toiminnot ja laitteet

Kirkniemen paperitehtaalla paineilma on tärkeä hyödynnettävä resurssi. Paineilmaa käytetään laajasti erityisesti paperikoneilla, joissa sen rooli ulottuu sekä mekaanisiin ohjauksiin että tuotantoprosessin avustamiseen. Suurimpia paineilman kuluttajat tehtaalla ovat paperikonelinjojen pneumaattiset laitteet, kuten venttiilien ohjausjärjestelmät ja toimilaitteet. Näissä sovelluksissa paineilmaa hyödynnetään liikuttamaan, säätämään ja ohjaamaan erilaisia pneumaattisia laitteita.

Merkittävä osa paineilman käytöstä kohdistuu myös ilmapuhalluksiin, joita tarvitaan eri vaiheissa paperinvalmistusta. Näihin kuuluvat muun muassa radankatkaisu, radan pään ohjaaminen kuivatusosalle, rehupuhallukset, puhallusputkien käyttö sekä reunanauhan poisto. Paperiradan katkaisu ja radan ohjaus ovat kriittisiä vaiheita, joissa paineilmaa hyödynnetään ohjaamaan ja hallitsemaan paperin liikkeitä tarkasti ilman fyysistä kosketusta.

Paineilmaa hyödynnetään myös puhtaanapitotarkoituksiin. Paperikoneilla syntyy jatkuvasti ylimääräistä paperisilppua, pastaa ja pölyä, joka puhdistetaan usein mm. käsikäyttöisillä puhalluspistooleilla, sekä jatkuvilla ilmapuhalluksilla. Kevyt paperi on puhallettavissa pois paineilmaa hyödyntäen. Puhtaanapidolla pyritään välttämään yllätyksellisiä paperin ratakatkoja.

Tehtaalla on edelleen käytössä useita paineilmalinjoja, jotka on alun perin rakennettu paineilmatyökalujen käyttöä varten. Vaikka paineilmakäyttöisten työkalujen käyttö on vähentynyt huomattavasti akkukäyttöisten työkalujen yleistymisen myötä, niin vanhat linjat palvelevat yhä tarvittaessa esimerkiksi huolto- ja kunnossapitotöissä.

Vanhoissa linjoissa piilee kuitenkin aina mahdollisuus paineilman vuotamiselle. Vanhojen paineilmalinjojen käyttötarvetta tulisi punnita ja miettiä olisiko niistä osa poistettavissa sähköisten työkalujen yleistymisen myötä. Tehtaan paineilmajärjestelmästä kertovat tiedot kerättiin haastattelemalla Sappi Finland Operations Oy:n henkilökuntaa sekä hakemalla informaatiota yrityksen sisäisistä materiaaleista. (Sappi Finland Operations Oy, henkilökohtainen tiedonanto, 2025)

6 Sappi Kirkniemen hyödyntämä SAP-järjestelmä kunnossapidossa

Sappi Kirkniemen tehtaalla kunnossapidon hallinta hoidetaan SAP-toiminnanohjausjärjestelmän avulla. Järjestelmää käytetään vikojen ja kunnossapitopyyntöjen kirjaamiseen sekä kunnossapitotöiden suunnitteluun ja ohjaamiseen. Kaikki kunnossapitopyynnot kirjataan SAP-järjestelmään ilmoituksina, joista muodostetaan työtilauksia. Nämä työtilaukset toimivat kunnossapitotöiden keskeisinä työohjeina. Tässä osiossa käydään lyhyesti läpi SAP-toiminnanohjausjärjestelmän häiriöilmoitukset ja työtilaukset läpi.

6.1 Ilmoitukset

Kunnossapitoilmoitukset luodaan tehtaalla käyttämää SAP-järjestelmään häiriöilmoituksina (Kuva 22). Häiriöilmoituksia seurataan jatkuvasti ja niiden perusteella luodaan työtilauksia tilanteen tarpeen mukaisesti. Ilmoitukseen kirjataan otsikointi, toimintopaikka, suunnitteluryhmä, vastaava työpiste, viankuvaus, mahdolliset liitteet.

Kuva 22 Häiriöilmoitus SAP-järjestelmässä.

Kunnossapitoilmoitus Käsittele Siirry Lisät Ympäristö Järjestelmä Ohje

Muuta KP-ilmoitusta: Häiriöilmoitus

Kumppani

Ilmoitus 20530328 M2 Ilmansuotimet vaihtokunnossa

Ilmot. tila ILAV INIT INFO

Tilaus

Yleistiedot Seuraus / toimet Sijaintitiedot

Viteobjekti

Toimintopaikka LOH_04K0019PUH SK1 INDUKTIOPALKIN JÄÄHDYTYSYLMAPUHALLIN

Laite

Kokoonpano

Aihe

Koodaus

17.07.2025 12:39:25 CET Puh. +358
Ilmansuotimen paine-ero on 220 Pascalia.
(Sk2 60Pa ja Sk5 40Pa)

Häiriötiedot

Häiriön alku 17.07.2025 12:34:23 Katkos

Häiriön loppu 00:00:00 Katkos aika AH

Vastuut

Suunn.ryhmä M10 / 0710 PK1 & Pakk. Mek.

Vast. työpiste M1090 / 0710

Ilmoittaja Ilmotuspvm 17.07.2025 12:34:23

6.2 Työtilaukset

SAP-järjestelmässä työtilaukset muodostavat kunnossapidon keskiön. Ne toimivat paitsi työohjeina kunnossapitotöitä suorittaville henkilöille niin myös työkaluna työn suunnitteluun, seurantaan ja raportointiin hallintaan. Jokainen työtilaus sisältää työn kuvauksen, siihen liittyvät vaiheet, tarvittavat resurssit sekä työn suorittamiseen liittyvän dokumentaation. Työtilauksen kautta kunnossapitohenkilöstö saa selkeät ohjeet työn toteuttamiseen (Kuva 23) ja raportoi samalla työtilaukselle kunnossapitotyön etenemisestä ja valmistumisesta.

Kuva 23 Työkohtaiset ohjeet työtilauksella.

Tilaus PM01 80201202 PPK valvomon ilmastoinnin kondenssivesio

PPK valvomon ilmastoinnin kondenssivesioongelman korjaus

16.7.2025 JRanta
Kylmätteriltilta tuleva kondenssivesi täyttää kondenssivesialtaan ja valuu valvomon katolle. Tehdään vedelle poistoputki, mitä pitkin vesi voi kulkeutua viemäriin. Samalla työtilauksella tilataan eristystyöt kylmävesiputkille, sillä vanhat eristeet repsottavat, eivätkä eristä kunnolla putkia.

Järj. tila VAPA OVAH EIKM ENLA PUOH FREI

Ots.tiedot Vaiheet Komponentit Kust. Kumppani Objektit Lisätiedot Sijainti Suunnitt.

Vastuuhenkilö Ilmoitus 20529129
Suunn.rhmä M02 0710 Tehdaspalvelu Kust. 0,00 EUR
VastTyöp. M0290 / 0710 KP-TomLji z02 Korjaus
Laitt.Tila
Osoite

Päivämäärät
Alkuraja 16.07.2025 Prioriteetti B:3 - 7 pv aikana
Loppuraja 31.07.2025 Revisio

Vitteobjekti
ToimPaikka LOH_EX065 PPK2 Valvomon ilmastointi
Laite
OsaKokPano

Työn eri vaiheiden hallinta tapahtuu työtilausten kautta. Kullekin vaiheelle osoitetaan tekijä, joka kirjaa järjestelmään vaiheen suorittamiseen kuluneet työtunnit (Kuva 24). Tämä mahdollistaa sekä yksittäisten työvaiheiden seurannan että laajemman kokonaiskuvan muodostamisen kunnossapidon ajankäytöstä.

Kuva 24 Työtilauksen eri työvaiheet.

Vaiheen lyh. selitys	Pi...	Toteutunut työ
Kondenssivesioongelman korjaus		0,000
Putken teko kondenssivedelle viemäriin		4,000
Kylmävesiputkien eristys valvomon kylmäp		0,000

Varaosien hallinta on kiinteä osa työtilausten prosessia. Työnjohtaja tai työn suorittaja voi varata tarvitsemansa varaosat suoraan työtilauksen kautta. Järjestelmän kautta pääsee käsiksi toimintopaikkojen laiterakenteisiin (Kuva 25), joiden avulla oikeat varaosat voidaan paikantaa ja varata (Kuva 26). Mikäli tarvittavia osia ei ole saatavilla varastossa, voidaan niiden tilaus hoitaa esihenkilön toimesta työtilauksella. Näin varmistetaan, että kunnossapitotyöt voivat edetä ilman tarpeettomia viivästyksiä. Lähes jokaisella laitteen varaosalla on olemassa nimikenumero, joka helpottaa varaosien hallinnointia. Nimikenumeron takaa löytyy järjestelmästä kyseiselle nimikkeelle ominaiset tiedot (Kuva 27).

Kuva 25 Luistin rakenneluettelo.

51075	Luisti A WIN2005260 VALMET	I	1	KPL
26949	RULLAKALVO BFA 45/40-20	L	1	KPL
9678	O-RENGAS 75,87X2,62 NITRIILI	L	1	KPL
9849	O-RENGAS 24,2X3,0 NITRIILI	L	1	KPL
1800	UPPOKANTAKUUSIOKOLORUUVI M10X30 0.8 ZN	L	1	KPL
23367	KUUSIOKOLORUUVI MSX20 12.9	N	10	KPL
23419	KUUSIOKOLOPIDÄTINRUUVI M6X12 KUOPPA FE	N	1	KPL
24195	KILLATANKO 5X22 WOODRUFFX	N	1	KPL
30342	SOVITELEVY 30X42X0,5 484002148	N	3	KPL
6030341	SOVITELEVY 30X42X0,1 484002150	N	3	KPL
30351	Sovitelaaatta 56x72x0,1 VAL0010438	N	8	KPL
30348	SOVITELEVY 50X62X1 484002173K	N	1	KPL
30445	TUKILEVY S 30X42X2.5	N	2	KPL
2087	LUKITUSLAATTA NORD-LOCK ZN M8 2319	L	3	KPL
2259	VARMISTINRENGAS A 30X1,5	L	1	KPL
7881	URAKUULALAAKERI 6306 2RS C3	L	1	KPL
9088	KARTIORULLALAAKERI 31306	L	1	KPL
9273	Akselimutteri KM 6	L	1	KPL
9309	Varmistuslaatta MB 6	L	1	KPL
28950	LAUTASJOUSSI B63GR2 63.0X31.0X2.5	N	6	KPL
29310	VASTAMUTTERI OEM 0,5M	N	1	KPL
22106	KUUSIOKOLLOTULPPA HF-3/4 SKP	N	2	KPL
6029483	HAMMASTANKO M444176A	N	1	KPL
27469	VÄLIRENGAS M444178	N	1	KPL
28269	AKSELI M444184A	N	1	KPL
28455	PUTKIAKSELI M444188	N	1	KPL
30626	KANSI M444189	N	1	KPL
29772	LUISTI M472854A	N	1	KPL
22626	TULPPA M890523	N	1	KPL
28865	ISKUNVAIMENNIN OEM 0,5MB ENIDINE	L	1	KPL
10615	AKSELITIIIVISTE 70X90X10 BA NITRIILI	L	1	KPL

Kuva 26 Työn suorittamiseen varatut varaosat työtilauksen komponentit välilehdellä.

Tilaus: FM01 80174691 Luistin vuotaa öljyä

Luistin vuotaa öljyä
30.12.2024
vaihdettu huollettu luistin

Järj. tila: VAPA OVAH TULO ENLA NIVA PUOH VTSE 77 FREI

Ots.tiedot Vaheet Komponentit Kust. Kumppani Objektit Lisätiedot Sijainti Suunnitt. Ohjaus Laajennus

Yl. tiedot	Osto	Kuvaus	Pl..	Tarvemäärä	MY	RT	Tomitusasiakas	Purkauspaikka	E..	Var.	Tmp	Vhe	Era	P..	Hinta/valuutta
0100	9678	O-RENGAS 75,87X2,62		2	KPL	I		verstas	V001	0710	0010			1,08	
0120	9309	Varmistuslaatta MB 6		2	KPL	I		verstas	V012	0710	0010			0,37	
0050	7881	URAKUULALAAKERI 63		2	KPL	I		verstas	V012	0710	0020			9,69	
0060	9088	KARTIORULLALAAKERI		2	KPL	I		verstas	V012	0710	0020			1.950,50	
0070	9273	Akselimutteri KM 6		2	KPL	I		verstas	V012	0710	0020			2,80	
0080	26949	RULLAKALVO BFA 45/4		2	KPL	I		verstas	V001	0710	0020			104,28	
0090	10514	Akselitiviste 70X90X10		2	KPL	I		verstas	V001	0710	0020			7,50	
0110	9849	O-RENGAS 24,2X3,0 NI		2	KPL	I		verstas	V001	0710	0020			0,48	

Kuva 27 Luistin nimikkeen takaa löytyvä informaatio.

Nimike	51075
Nimitys	Luisti A WIN2005260 VALMET

Ostotilauksen teksti

Ylläpidetyt kielet	Kieli	Suomi
▶ Suomi	✂ 📄 📄 ↺ ↻ 🏠 🏠 📄 📄	
	Luisti A Tyyppi: WIN2005260 Valmistaja: VALMET JÄRVENPÄÄ Valmet ID: WIN2005260	

Työtilausten avulla on mahdollista seurata kunnossapitotyön kustannuksia työaikojen sekä käytettyjen varaosien ja laitehankintojen osalta. Tämä tuo läpinäkyvyyttä kunnossapidon kustannusrakenteeseen ja mahdollistaa osastokohtaisen kustannuseurannan.

SAP-järjestelmä tarjoaa kattavat mahdollisuudet historiatiedon hyödyntämiseen.

Työtilausten kautta voidaan tarkastella toimintopaikkakohtaista (Kuva 28) huolto- ja kunnossapitohistoriaa (Kuva 29), mikä tukee ennakoivaa kunnossapitoa. Toistuvat viat samassa laitteessa voidaan tunnistaa ja analysoida, mikä mahdollistaa juurisyiden selvittämisen ja pitkäaikaisten korjausratkaisujen kehittämisen.

Kun työ on suoritettu ja raportointi on tehty, merkitään työtilaus päättyneeksi järjestelmään.

Päätetty työtilaus jää osaksi kunnossapidon tietokantaa, jota voidaan hyödyntää sekä tulevaisuissa huolto- ja kunnossapitotehtävissä.

Kuva 28 Lähes jokaisessa laitteessa on toimintopaikka tai sähköpositio merkattuna.



Kuva 29 PX065 positiolla haettu työtilaushistoria.

Val.	Tilaus	Laji	Alkurajapvm	Lyhyt teksti
	71007725	PM01	15.08.2016	PPK:n valvomon ripeksi vettä katosta >
	71121349	PM01	10.04.2018	VKE.Sulakkeet ja moottorinpäät irti
	71121379	PM01	10.04.2018	moottori kytketty ja sulakkeet kiinni
	71277223	PM01	02.09.2020	PPK-2 valvomon ilmastointi ei säädy
	76132113	PM03	18.01.2017	Taajuusmuuttajan asennus valvomon ilmast
	80074888	PM01	23.12.2022	Puhallin ei lähde päälle
	80201202	PM01	16.07.2025	PPK valvomon ilmastoinnin kondenssivesio

7 Paineilmavuodot

Paineilmajärjestelmissä esiintyy lähes poikkeuksetta aina vuotoja. Vanhoissa paineilmajärjestelmissä vuodon osuus tuotetusta ilmasta voi olla jopa 20 %. Täten viidesosa paineilman luomiseen käytetystä energiasta menee hukkaan. (Fluke, n.d.) Energian hukkaaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa, joten pienentämällä paineilmajärjestelmän vuotojen osuutta voidaan suoraan vaikuttaa järjestelmän energiankulutukseen, sekä yrityksen hiilijalanjälkeen positiivisesti (Kuva 30). Suuren paineilmajärjestelmän saattaminen 100 %:n tiiveysasteeseen on täysin mahdotonta, mutta mitä lähemmäs lukemaa päästään kohtuukustannuksin, niin sitä enemmän säästetään energiaa ja täten kustannuksia sekä ympäristöä.

Kuva 30 Paineilmavuodon taloudellinen vaikutus. (Sappi Finland Operations Oy, 2017.)

Vuotokohdan halkaisija [mm]	Ulos tuleva virtaus [l/s] 7 bar:n paineella	Hukkaan mennyt kW-määrä
1	1.2	0.4
3	11.1	4.0
5	31.0	10.8
10	124.0	43.0

Paineilmajärjestelmän painetta minimoimalla voidaan myös vaikuttaa vuotojen ilmamääriin. Mitä suurempi ilmanpaine verkossa on, niin sitä enemmän ilmaa pääsee vuotamaan vuotokohdista. Ilmavuodot myös kuluttavat paineilmaa tuottavaa laitteistoa turhaan, sekä aiheuttavat tarpeettomia huolto ja kunnossapitokustannuksia. Pahimmassa tapauksessa yritykset saattavat panostaa sokeasti uusien tehokkaampien kompressorien hankintaan korvatakseen paineilmavuotoihin menetetyt ilmamäärät (Fluke, n.d.).

Paineilmavuodot jäävät usein huomiotta tai niiden merkitystä vähätellään, vaikka ne muodostavat jatkuvan ja tarpeettoman energiankulutuksen lähteen ”lähes jokainen meistä muistaa sammuttaa valot töistä lähtiessään, mutta juuri kukaan ei ole kiinnostunut jo pitkän aikaa suhinää pitäneestä paineilmakelasta työpisteensä läheisyydessä”.

7.1 Paineilmavuotojen etsiminen

Paineilmavuotojen paikantaminen on perinteisesti perustunut ihmisaistien, erityisesti kuulon ja näön hyödyntämiseen. Mikäli vuoto on riittävän suuri, sen synnyttämä ääni on mahdollista havaita korvakuulolla. Pienempiä vuotoja on puolestaan pyritty paikantamaan visuaalisin menetelmin, kuten saippuavedellä tai erillisillä vuodonilmaisinsuihkeilla. Näihin menetelmiin liittyy kuitenkin useita merkittäviä rajoituksia: ne vaativat runsaasti työvoimaa sekä ne ovat aikaa vieviä menetelmiä, etenkin suurissa ja rakenteeltaan monimutkaisissa paineilmajärjestelmissä. Kuuloaistiin perustuva vuotojen havaitseminen on käytännössä mahdotonta teollisuusympäristöissä, joissa ympäristön melutaso on korkea ja tuotantolaitteet ovat jatkuvassa käytössä.

Teknologian kehityksen myötä on kehitetty ultraäänitekniikkaan perustuvia vuodonilmaisimia, jotka voivat olla joko kannettavia tai kiinteästi asennettavia laitteita. Näiden toimintaperiaate perustuu siihen, että kaikki paineilmauodot synnyttävät ääntä. Vuodosta syntyvä ääni voi sijoittua joko ihmisen kuuloalueelle tai ultraäänen taajuusalueelle, jota ihmiskorva ei kykene havaitsemaan.

Ultraääntä syntyy, kun paineilma virtaa korkeasta paineesta matalapaineiselle alueelle. Tämä aiheuttaa ilman pyörteilyä, turbulenttista virtausta sekä ilman muodostamaa kitkaa vuotokohdan ympärillä. Näiden ilmiöiden yhteisvaikutus tuottaa akustista värähtelyä vuotokohdan ympäristöön. Vuodon ollessa tarpeeksi suuri voi siitä syntyvä ääni olla ihmiskorvin kuultavissa, mutta pienempien vuotojen aiheuttama ääni siirtyy taajuusalueelle, jota voidaan havaita ainoastaan ultraäänitekniikkaa hyödyntämällä. (Messer, 2021)

Ultraääneen perustuvat vuodonilmaisimet kykenevät tunnistamaan nämä korkean taajuuden äänet ja muuntamaan ne joko kuultavaan muotoon tai visuaaliseksi esitykseksi (Kuva 31). Lisäksi laitteet usein pystyvät arvioimaan vuodon suuruusluokan ja luokittelemaan vuodot pieniin, keskisuuriin tai suuriin. Tämän avulla vuotojen korjaaminen voidaan priorisoida vakavuuden mukaan, mikä mahdollistaa kunnossapidon resurssien tehokkaamman kohdentamisen.

Kuva 31 FLIR Si124 akustisella vuotokameralla havaittu paineilmavuoto toimilaitteessa.



Ultraääniteknologian hyödyntäminen mahdollistaa myös pienten paineilmavuotojen nopean ja tarkan paikantamisen ilman tarvetta tuotannon keskeyttämiseen tai puuduttavaan toistuvaan työskentelyyn haastavissa olosuhteissa (Kuva 32). Tekniikkaa hyödyntämällä suuriakin paineilmajärjestelmiä voidaan tarkastaa tehokkaasti pienillä resursseilla.

Kuva 32 Vuotava paineilmaliitin.



7.2 Paineilmavuotojen korjaaminen

Paineilmavuotojen korjaaminen on usein työlästä ja aikaa vievää. Suurissa paineilmajärjestelmissä esiintyy useita vuotokohtia, jotka vaihtelevat kooltaan pienistä vuodoista merkittäviin vuotoihin. Kunnossapidon tehokkuuden ja paineilmajärjestelmän kokonaistoiminnan kannalta vuotojen priorisointi on välttämätöntä. Ensisijaisesti korjaustoimet tulisi kohdistaa tuotannon kannalta kriittisiin komponentteihin. Tämän jälkeen korjaukset tulisi toteuttaa suuruusluokittain, aloittaen suurimmista vuodoista ja edeten pienempiin.

Priorisoinnissa on huomioitava myös vuotokohdan sijainti. Usein vuodot sijaitsevat paikoissa, joihin kunnossapitohenkilöstö ei pääse turvallisesti ilman erityisjärjestelyjä. Esimerkiksi telineiden rakentaminen tai muiden työturvallisuutta varmistavien toimenpiteiden tarve voi nostaa yksittäisen vuodon korjauskustannuksia merkittävästi. Tällaisissa tapauksissa pienten vuotojen korjaamisen kannattavuutta on arvioitava tarkasti suhteessa kunnossapidon resursseihin.

Paineilmavuotoja esiintyy yleisimmin liitinkohdissa ja toimilaitteissa. Liitosten vuodot voidaan usein korjata tiivistämällä ne uudelleen käyttämällä esimerkiksi putkiteippiä tai tiivistemassaa. Tällainen työ vaatii kuitenkin useimmiten painelinjan paineettomaksi tekemistä, mikä hidastaa korjausprosessia ja saattaa siirtää kunnossapitotyön seuraavaan laiteseisokkiin.

Toimilaitteiden vuotojen korjaamisessa on huomioitava laitteen hankintahinta ja kunto. Mikäli toimilaitte toimii muuten normaalisti ja vuoto on vähäinen, voi korjaustoimenpiteen takaisinmaksuaika muodostua pitkäksi, jopa useiksi vuosiksi. Toisaalta on tärkeää huomioida, että ehjän toimilaitteen ei tulisi vuotaa välttämättä lainkaan. Tällaisessa tilanteessa on arvioitava, mikä on kustannustehokkain ratkaisu, joka ei heikennä laitteen toimintavarmuutta, mutta mahdollistaa energiatehokkuuden parantamisen.

Varsinaiset paineilmaputket vuotavat harvoin. Kuitenkin järjestelmässä kulkeva kondenssivesi ja epäpuhtaudet voivat aiheuttaa putkiin korroosiota, mikä voi johtaa vuotoihin. Näissä tapauksissa voi olla tarpeen paikata vaurioitunut kohta luotettavasti tai vaihtaa koko vaurioitunut linjaosuus. Mikäli putkirikko on laaja, havaitaan se usein visuaalisesti ilman erillisiä vuototestejä ja korjaustoimet toteutetaan välittömästi.

8 Paineilmavuodot Kirkniemen tehtaalla

Sappi Kirkniemen paperitehtaalla on toteutettu paineilmavuotokartoituksia ulkopuolisen toimittajan toimesta vuosina 2010, 2017 ja 2025. Kartoitusten toteutusaikataulusta voidaan päätellä, että vuotokartoitusten sykli on ollut keskimäärin noin seitsemän vuotta. Toimittajan suosituksen mukaan paineilmavuotokartoitukset tulisi kuitenkin tehdä huomattavasti tiheämmin, noin vuoden välein.

Kartoitusten pitkä aikaväli aiheuttaa merkittäviä ylimääräisiä kustannuksia.

Paineilmavuodot johtavat jatkuvaan energiahäviöön, kun tuotettua paineilmaa karkaa jatkuvasti ulkoilmaan. Vuotokartoituksissa arvioidun, hukkaan menevän paineilman rahallinen arvo on ollut toistuvasti huomattavan suuri. Jokaisessa kartoituksessa on havaittu satoja vuotokohtia, mikä korostaa järjestelmällisten kartoitusten sekä kunnossapidon korjaavien toimien tärkeyttä.

Pelkkä vuotojen kartoitus ei kuitenkaan itsessään tuo säästöjä. Todelliset taloudelliset hyödyt saavutetaan vasta, kun havaitut paineilmavuodot korjataan. Ilman kunnossapidon toimenpiteitä kartoitusten tuottama informaatio jää hyödyntämättä, ja energiahäviö sekä siihen liittyvät ylimääräiset kustannukset jatkuvat.

Tässä osiossa tutkimme Sappi Kirkniemen paperitehtaalla suoritettujen paineilmavuotokartoitusten kustannuksia, vuotojen korjausastetta sekä tehtaan oman paineilman vuotokartoituslaitteiston käyttöönoton kannattavuutta. Lisäksi tässä osiossa pohditaan kunnossapidon resurssointia paineilman vuotokartoitusten ja korjausten osalta.

8.1 Ulkopuolisen toimittajan paineilman vuotokartoitukset

Sappi Kirkniemen paperitehdas on käyttänyt tähän asti tehtaan paineilman vuotokartoituksiin ulkopuolista toimittajaa. Ulkopuolisen toimittajan hinta on ollut vuonna 2025 noin 2000 € (alv 0 %) / vrk. Tehtaan vuotokartoituksiin on kulunut tyypillisesti noin 5 työpäivää. Hintaa yhdelle vuotokartoitukselle on tullut siis noin 10 000 € (alv 0 %).

Vuotokartoitus on edennyt seuraavasti:

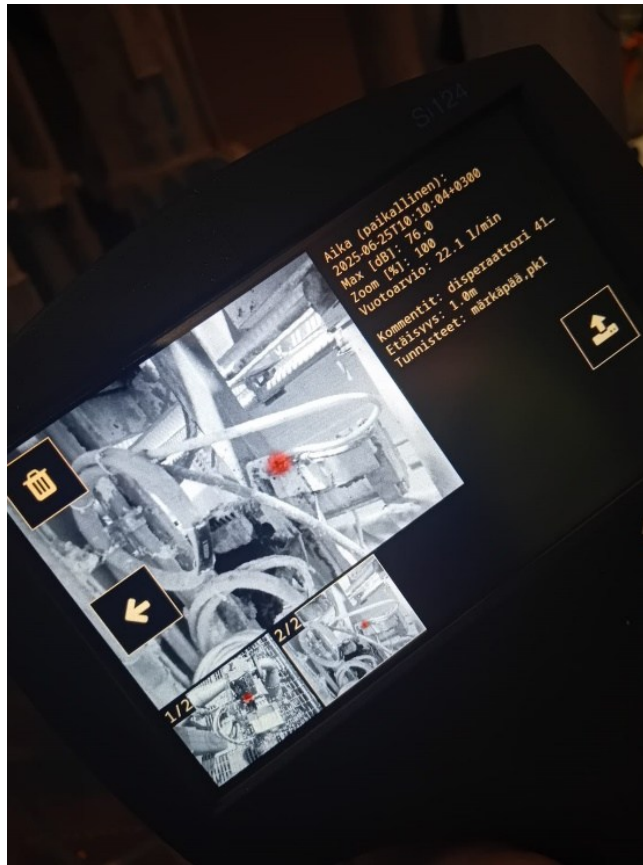
- Vuotokartoitus tehdasalueella
- Vuotokohteiden kuvaaminen ja merkintä
- Kohteiden taulukointi ja toimitus asiakkaalle

Paineilman vuotokartoitusta on suoritettu tehtaalla yhden tai kahden toimittajan työntekijän avulla, jotka etsivät vuotokohteita. Kartoittajan seurassa kulkee aina kunkin osaston tunteva laitoshenkilö.

Laitoshenkilön tehtävä on varmistaa kartoittajan turvallinen kulku kartoitusta tehdessä sekä kertoa kartoittajalle kunkin vuotokohteen yksilöivä tunnus, kuten toimintopaikka tai nimitys (Kuva 33). Laitoshenkilö tuntee kartoittavan alueen ja alueella sijaitsevan paineilmajärjestelmän, laitoshenkilön läsnäoloa siis vaaditaan koko kartoituksen ajan.

Kartoituksessa vuotokohdasta otetaan aina kuva. Kuvaan merkataan alue, jossa vuoto sijaitsee sekä jokin vuotokohtaa yksilöivä tunnus. Useassa tapauksessa vuotokohtaa ei pystytä tarkasti identifioimaan, jolloin etsitään lähin vuotoa yksilöivä sijainti ja kuvaan merkataan vuotokohdan etäisyys ja selitys merkitystä sijainnista. Vuotokartoituksesta saadut kuvat latautuvat kameran kautta toimittajan palvelimelle. Kuvista ja vuotojen sijainnista toimittaja laatii tehtaalle raportin vuotokohteista (Kuva 34).

Kuva 33 Paineilmavuodon sijainti merkittynä kuvaan.



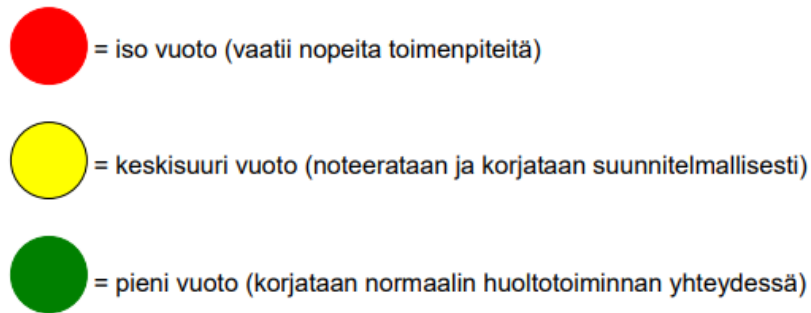
Kuva 34 Toimittajan laatima raportti vuotokohteista (Sappi Finland Operations Oy, 2017.)

VUOTOKOhteet:

NRO	SIJAINTI / POSITIO	TARKENNE	KRIITISYYS
PAPERIKONE 3		Opas:	
Alakerta			
1	FV-53533	Asennoittimen kuristin	
2	LV1-53530	Toimilaite/asennoin	
3	Pilari G71	Työilma liitin	
4	54751-PI1, VB54005	Mittari	
5	Pilari D71	Työilma liitin	
6	OPUP504C40F13, SK31 Mittaraami	Instrumentti-ilman paineilmapistooli	Pullistuma
7	SK31 Sisäpuoli, 2. alin syliinteri	Toimilaite	
8	SK32 sisäpuoli, alin toimilaite	Toimilaite	
9	SK32 sisäpuoli kallioleikkauksen puoli, alin toimilaite	Toimilaite	
10	OPUP504C40F14	Letku nipussa	
11	52042-TV1.1, hydraulikkakeskus	Asennoittimen kuristin	
12	LV2-64620	Asennoin	
13	P64120	Tukin liitin	
14	06K00300VT	Paineilmapistooli	
15	P64113	Tukin liitin	
16	06K0004S, Pigmenttipasta konesäiliöön 2	Asennoin vuotaa	
17	65031-PC2V/PI2	Paineenalennin	
18	65031-PC2V/PI2, sulun jälkeen	Yläpuolinen paineilmaletku	Pullistuma
19	06K00250VT, Pilarien C43-C44 välissä	Kelan liitos	
20	Pilari C40	Kelan liitos	
21	Pilari C38	Kelan liitos	
22	GV-64602	Toimilaite	
23	P43121, Ilmastointitila	Suodatin	
24	P43122, Ammoniakkihuone	Suodatin	
25	1 Kompressorin, Kompressoriasema, Paine-ero mittari	Jälkisuodattimen 1 sulkuventtiili	
26	TV-64800, Ilmastointitila 122-2	Asennoin	
27	Pilarien E44-E45 välissä, puhallusilma	Kelan liitos	
28	Pilari F49	Paineenalennin	
29	HV-65922	Toimilaite vuotaa läpi	
30	PK3 korjaamo, tulityökärryjen luona	Sulun liitos	

Kartoitusraporttiin on sisällytetty arvio kunkin vuotokohdan aiheuttamista vuosikustannuksista. Arvio perustuu paineilman vuodon aiheuttamaan energiahäviöön ja siitä syntyvään rahalliseen menetykseen. Raportin vuotokohteet on luokiteltu eri kriittisyysluokkiin arvioitujen kustannusten perusteella, jotta kunnossapidon toimenpiteet voidaan kohdistaa mahdollisimman kustannustehokkaasti (Kuva 35).

Kuva 35 Kriittisyysasteet selitettynä (Sappi Finland Operations Oy, 2017.).



Aikaisempien vuotokartoitusten raporteista on havaittavissa suuria taloudellisia menetyksiä vuotavaan paineilmaan. Alla kooste vuotokohteiden määrästä sekä vuotojen taloudellisesta merkityksestä (Taulukko 2). Hinnat ovat laskettu 400 kW kompressorin vuosittaisen käyttökustannuksen mukaisesti.

Taulukko 2 Vuosien 2010 ja 2017 vuotokartoitusten tulokset.

2010

Luokka	Lukumäärä	Kustannus vuodessa (kpl)	Kustannus vuodessa (yht)
ISO	8	4 000,00 €	32 000,00 €
i	72	1 500,00 €	108 000,00 €
κ	162	500,00 €	81 000,00 €
p	74	150,00 €	11 100,00 €
Höyry	3		
yht	319	Yhteensä	232 100 €

2017

Luokka	Lukumäärä	Kustannus vuodessa (kpl)	Kustannus vuodessa (yht)
i	79	1 500,00 €	118 500,00 €
κ	111	500,00 €	55 500,00 €
p	239	150,00 €	35 850,00 €
yht	429	Yhteensä	209 850 €

8.2 Kunnossapitotoimet vuotojen osalta

Kartoitusraportin valmistumisen jälkeen tehtaan kunnossapito on pyrkinyt korjaamaan havaitut paineilmavuodot mahdollisimman laajasti. Jokaisen kartoituksen yhteydessä vuotokohteita on kuitenkin löytynyt useita, eikä niitä ole saatu kokonaisuudessaan korjattua. Kaikkia vuotoja ei ole ollut mahdollista korjata eri syistä johtuen.

Keskeisimmät haasteet korjaustoimenpiteiden toteuttamisessa ovat olleet:

- rajalliset kunnossapitoresurssit
- vuotokohteen vaikea sijainti tai huono saavutettavuus
- korjauksen korkea kustannus
- inhimilliset tekijät, kuten unohtaminen tai priorisoinnin puute

Vuosien 2010 ja 2017 paineilmavuotojen korjausasteita vertailemalla voidaan havaita myönteinen kehityssuunta korjaustoimenpiteiden toteutuksessa (Liite 1). Korjausasteiden laskenta ja seurantajaksojen pituus perustuu paperitehtaan ylläpitämiin vuoto- ja korjaustietoja sisältäviin taulukoihin.

8.2.1 Vuoden 2010 vuotokohteiden korjaaminen

Vuonna 2010 vuotokartoittaja löysi paineilmavuotoja paperitehtaalta yhteensä 319 kappaletta. Näistä paineilmavuodoista oli vuoteen 2012 mennessä korjattu yhteensä 168 kappaletta. Korjausaste vuotojen lukumäärälle on ollut siis noin 47 %.

Rahallisesti paperitehtaan ilmavuotojen kustannus vuonna 2010 on ollut noin 232 100 euroa vuodessa. Korjausten jälkeen vuotojen vuosikustannus on tippunut 106 900 euron summaan. Korjausaste vuotoihin kuluneen energian osalta on siis noin 54 %. Vuotojen korjauksilla on siis saavutettu 125 200 euron vuosittainen säästö paineilman osalta (Taulukko 3).

Taulukko 3 Vuoden 2010 paineilmavuotojen korjausasteet.

Vuodet 2010-2012

	Lukumäärä:	Kustannus vuodessa:
Vuotoja havaittu	319	232 100,00 €
Vuotoja korjattu	151	125 200,00 €
Korjausaste	47 %	54 %

Paineilmavuotojen korjaamiseen on käytetty yhteensä noin 245 työtuntia, joiden kustannus yritykselle on ollut arviolta 15 000 euroa työn osalta. (Liite 2). Tällä ja paineilmavuotokartoituksen investoinneilla on saavutettu noin 125 000 euron vuosittaiset säästöt, mikä osoittaa korjaustoimenpiteiden olleen erittäin kustannustehokkaita.

Kuitenkin suuremmalla korjausasteella olisi yritykselle ollut mahdollista luoda huomattavasti säästöjä paineilman osalta. Kaikkien vuotojen korjaaminen olisi vaatinut yhteensä noin 513 työtuntia. Työtunnit olisivat kustantaneet yritykselle noin 31 000 euroa. Kyseisellä 100 % korjausasteella olisi voitu saavuttaa yhteensä jopa noin 232 000 euron säästöt paineilman tuotannossa.

8.2.2 Vuoden 2017 vuotokohteiden korjaaminen

Vuonna 2017 vuotokartoittaja löysi paineilmavuotoja paperitehtaalta yhteensä 429 kappaletta. Näistä paineilmavuodoista oli vuoteen 2021 mennessä korjattu yhteensä 345 kappaletta. Korjausaste vuotojen lukumäärälle on ollut siis noin 80 %.

Rahallisesti paperitehtaan ilmavuotojen kustannus vuonna 2017 on ollut noin 209 850 euroa vuodessa. Korjausten jälkeen vuotojen vuosikustannus on tippunut 46 700 euron summaan. Korjausaste vuotoihin kuluneen energian kustannuksen osalta on siis noin 78 %. Vuotojen korjauksilla on siis saavutettu 163 150 euron vuosittainen säästö paineilman osalta (Taulukko 4).

Taulukko 4 Vuoden 2017 paineilmavuotojen korjausasteet.

	Lukumäärä:	Kustannus vuodessa:
Vuotoja havaittu	429	209 850,00 €
Vuotoja korjattu	345	163 150,00 €
Korjausaste	80 %	78 %

Paineilmavuotojen korjaamiseen on käytetty yhteensä noin 516 työtuntia, joiden kustannus yritykselle on ollut arviolta 31 000 euroa työn osalta. (Liite 2). Tällä ja paineilmavuotokartoituksen investoinneilla on saavutettu noin 163 000 euron vuosittaiset säästöt, mikä osoittaa korjaustoimenpiteiden olleen erittäin kustannustehokkaita.

Kaikkien kartoitettujen vuotojen korjaus olisi vaatinut yhteensä noin 645 työtuntia, joka olisi kustantanut yritykselle työvoiman osalta noin 39 000 euroa. Tällä olisi luotu yritykselle jopa noin 210 000 euron vuosittaiset säästöt paineilman tuotannossa. Kaikkien vuotokohteiden korjaaminen ei kuitenkaan välttämättä olisi ollut mahdollista.

8.2.3 Muutokset kunnossapidon toiminnassa vuosien 2010 ja 2017 aikana

Vuonna 2017 paineilmapuotojen hallintaan suhtauduttiin merkittävästi aiempaa järjestelmällisemmin, mikä merkitsi selkeää priorisoinnin muutosta verrattuna vuoteen 2010. Keskeinen muutos oli, että jokaisesta havaitusta vuodosta kirjattiin oma työtilauksensa tehtaan SAP-järjestelmään. Työtilaukset kohdennettiin suoraan vuotoalueiden kunnossapidon vastuuhenkilöille, mikä tehosti toimenpiteiden kohdentamista ja toteutusta.

Lisäksi SAP-järjestelmään oli otettu vuosien 2010 ja 2017 välillä käyttöön työkohtaisten tuntien seuranta, mikä mahdollisti kunnossapitotoimien työajan tarkemman seurannan ja tarkastelun. Näiden toimenpiteiden muutosta kuvastaa paineilmapuotojen korjausasteen lähes kaksinkertainen kasvu aiempaan verrattuna. Tehokkaamman priorisoinnin lisäksi ympäristötietoisuus sekä tietoisuus paineilman kustannuksista on muovannut kunnossapidon toimia tehokkaampaan suuntaan paineilmapuotojen osalta.

8.3 Vuotokartoituslaitteen hankinnan kannattavuus

Opinnäytetyötä varten pyydettiin tarjous paineilman vuotokartoituslaitteesta ja sen käyttökurssista vuotokartoituslaitteisiin erikoistuneelta yritykseltä. Tarjouksen perusteella valituksi tuli FLIR Si2-LD™ -malli (Kuva 36), joka on suunniteltu ja valmistettu Suomessa.

FLIR Si2-LD™ soveltuu tehtaan tarpeisiin erityisesti sen kyvyn ansiosta tunnistaa, paikantaa ja mitata paineilmapuotoja jopa viiden metrin etäisyydeltä meluisessa ympäristössä. Laitteella voidaan havaita myös muita kaasupuotoja, kuten ammoniakkaa, vetyä, hiilidioksidia, metaania, heliumia ja argonia.

Laitteella hyödynnetään tekoälyä mittausparametrien säätämiseen ja optimoi automaattisesti käytettävän äänitaajuuden. Tämä vähentää käyttäjän tarvetta kameran manuaaliseen säätöön ja tekee käytöstä sujuvaa, helppoa ja tehokasta.

Äänikameran mukana toimitetaan kameravalmistajan tarjoama maksuton pilvipalvelu, johon käyttäjä voi siirtää kuvat langattomasti WiFi-yhteyden avulla. Pilvipalveluun tallennettavat kuvat sisältävät kuvien lisäksi sijaintitiedot, arvioidut vuotomäärät sekä laskennalliset kustannukset, joita vuodot aiheuttavat yritykselle.

Kuva 36 FLIR Si2-LD™ Äänikamera (*Acoustic Teledyne FLIR*, n.d.).



Äänikameran hankintahinta käyttöönottokoulutuksineen on noin 17 000 euroa (alv 0 %). Laitteen taloudellista kannattavuutta on tarkasteltu liitteessä 3, jossa on esitetty takaisinmaksuajat eri vuotokartoitusväleillä. Tarkastelun perusteella voidaan todeta, että laite on kustannustehokas investointi kymmenen vuoden aikajanelä. Mitä useammin vuotokartoituksia suoritetaan, sitä nopeammin investointi maksaa itsensä takaisin. Esimerkiksi vuosittain tehtävällä kartoituksella takaisinmaksuaika on jopa alle kaksi vuotta:

$$\frac{\text{Investointi omaan äänikameraan (16 999 €)}}{\text{Toimittajan kartoitus (12 400 €) – Oma kartoitus (2 400 €)}} = \text{Takaisinmaksuaika (1.7 Vuotta)}$$

Ulkopuolisilta toimijoilta tilattavien vuotokartoitusten kustannukset kasvavat vuosittain inflaation ja mahdollisten hinnankorotusten myötä. Sen sijaan äänikameran hankintakustannus on kertaluonteinen investointi, jonka avulla yritys voi jatkossa suorittaa vuotokartoitukset itsenäisesti. Tämä parantaa kustannusten ennakoitavuutta ja pienentää pitkän aikavälin kokonaiskustannuksia.

Laitteen hyödyt eivät rajoitu pelkästään paineilman vuotojen paikantamiseen. Äänikamera tarjoaa tukea kunnossapitotoimintaan. Sitä voidaan hyödyntää muun muassa paineilmasylinterien kunnan arvioinnissa. Mikäli sylinterin työntövoimassa havaitaan heikentymistä, voidaan mahdollinen vuoto paikantaa äänikameran avulla. Äänikameraa voidaan käyttää myös mekaanisten vikojen, kuten laakerivikojen, varhaiseen havaitsemiseen mekaniikkatilassa. Tämänkaltaiset sovellukset tukevat ennakoivaa kunnossapitoa ja voivat osaltaan vahvistaa kunnossapidon toimintaa.

8.4 Paineilmajärjestelmän vuotokartoituksen ja kunnossapitotoimien kehittäminen

Paineilmajärjestelmän vuotokartoitusten nykyinen noin seitsemän vuoden väli on osoittautunut liian pitkäksi tehokkaan kunnossapidon ja energiatehokkuuden näkökulmasta. Tänä aikana järjestelmään ehtii syntyä lukuisia uusia vuotokohteita, mikä johtaa merkittäviin taloudellisiin menetyksiin ja asteittain paineilmajärjestelmän suorituskyvyn heikkenemiseen. Paineilmavuotojen seurauksena syntyy paitsi turhaa energiankulutusta, niin myös tarpeetonta kuormitusta kompressoreille, joka on omiaan pitkällä aikavälillä lisäämään niiden huolto- ja kunnossapitokustannuksia (Fluke, n.d.).

Vuotojen kautta menetetty paineilma aiheuttaa yritykselle vuosittain useiden tuhansien eurojen suuruiset lisäkustannukset. Energiankulutuksen lisäksi paineilman tarpeeton tuotanto kasvattaa myös tehtaan päästöjä, mikä on ristiriidassa tehtaan vuosi vuodelta yhä tiukempien ympäristötavoitteiden kanssa. Näin ollen paineilmavuotojen järjestelmällinen havaitseminen, dokumentointi ja korjaaminen on perusteltua sekä taloudellisista, että ekologisista syistä.

Tähän mennessä paineilmavuotojen kunnossapitotoimista ei ole systemaattisesti kerätty kustannustietoa. Jatkossa on suositeltavaa, että paineilmavuotoihin liittyvä data kerätään mahdollisimman kattavasti ja säännöllisesti. Jatkuvan seurannan tulisi kattaa sekä arvio hukkaan menneestä energiasta, että vuotojen korjaamisesta aiheutuneet kulut, kuten vaihdetut osat / komponentit, työaika ja ulkopuoliset palvelut. Tämän tiedon avulla voidaan muodostaa realistinen kuva paineilmajärjestelmän vuotojen taloudellisesta vaikutuksesta tehtaalle sekä kehittää kunnossapidon suunnittelua pitkällä tähtäimellä.

Opinnäytetyön aikana tarkasteltu äänikameraan investoiminen on osoittautunut kustannustehokkaaksi vaihtoehdoksi verrattuna ulkopuolisten palveluntarjoajien tekemiin vuotokartoituksiin (Liite 3). Äänikameran käyttökoulutukseen tulisi osallistua vähintään yksi kunkin osaston tunteva laitoshenkilö, muutama asennusryhmän jäsen sekä kunkin osaston esihenkilö. Tarvittaessa koulutuksen käyneet henkilöt voivat perehdyttää tehtaan muuta henkilöstöä äänikameran käyttöön tulevaisuudessa.

Äänikameran mukana tulevan pilvipalvelun avulla voidaan vuotokohdat poimia ja dokumentoida Excel-muodossa. Tämä dokumentoitu on osoittautunut toimivaksi, mutta siihen tulisi lisätä enemmän informaatiota vuotokohteista kunnossapitotoimien hallinnan parantamiseksi.

Excel taulukkoon tulisi kirjata vähintään seuraavat tiedot:

- Työtilaus kunnossapitotoimille
- Vastuullinen osasto
- Vuodon toimintopaikka / sijainti
- Vuodon selite / kuvaus
- Havainnon tekijä
- Automaation / mekaanisen kunnossapidon tarve
- Vakavuus / priorisointi (pieni, keskisuuri, suuri)
- Arvioidut vuotokustannukset tehtaalle (€)
- Linkki vuotokartoittajan ottamaan kuvaan
- Kunnossapitotoimien tila (korjattu/ei korjattu)
- Havaintopäivämäärä

Vuotojen hallinnan käytännön toteutus edellyttää selkeää vastuunjakoa. Suositeltavaa on nimittää henkilö, joka vastaa kartoitusaikatauluista, Excel-taulukon ylläpidosta, työtilausten luomisesta sekä kustannusten seurannasta. Työtilauksen tulisi sisältää kaikki olennaiset tiedot korjauksen suorittamiseksi, sillä korjaustyötä tekevä henkilö ei välttämättä tunne tehtaan paineilmajärjestelmää entuudestaan. Vuotokartoittajan ottama kuva tulisi aina lisätä työtilauksen liitteeksi. Vuotokohtat ovat löydettyessä hyvä merkitä visuaalisesti vuotokohteeseen esimerkiksi huomionauhalla, jotta niiden paikantaminen olisi mahdollisimman sujuvaa myös tuotantokatkojen aikana tai järjestelmän ollessa paineeton.

Kaikki työtilaukset tulisi yksilöidä johdonmukaisesti, esimerkiksi tunnisteella "PI-VK 2025 – [Yksilöivä tieto] – (suuri, keskisuuri tai pieni)". Tällainen käytäntö helpottaa tiedon hallintaa SAP-järjestelmässä ja mahdollistaa korjaustilanteen ja korjauskustannusten jatkuvan seurannan vastuuhenkilön toimesta. Vuodon priorisoinnin mainitseminen työtilauksen otsikoinnissa kertoo kunnossapito-osaston esihenkilölle töitä suunniteltaessa vuodon vakavuuden, ja täten hän kykenee korjauttamaan suurimmat ja vakavimmat vuotokohteet ensimmäisenä. Nämä nimeämismenetelmät SAP järjestelmässä tukevat vuotojen jatkuvaa seuranta ja kunnossapitotoimien vaikuttavuuden arviointia.

Vuonna 2025 havaittujen vuotojen korjaaminen tulisi suorittaa kahden vuoden sisällä kartoituksesta. Näin voidaan varmistaa, että tehtaan vuotavaan paineilmaan kuluvat energiahäviöt pienenevät hallitusti ja että paineilmajärjestelmän korjausvelkaa saadaan purettua ilman kohtuutonta piikkiä kunnossapidon töiden lukumäärissä. Kahden vuoden aikajänne tarjoaa kunnossapito-osastolle mahdollisuuden jakaa korjaustyöt tasaisesti pidemmälle aikajaksolle, mikä tukee resurssien tehokasta jakamista kunnossapito-osaston tarpeisiin.

Jatkossa vuotokartoitusten aikaväliä tulisi lyhentää. Suositeltava tarkastusväli alussa on yksi vuosi. Tämä mahdollistaa vuotojen havaitsemisen ajoissa ennen niiden kasaantumista ja täten pitää paineilma vuotoihin kuluvan energian kustannukset kohtuullisina. Vuosittainen kartoitus tuo tukea myös kunnossapidon suunnitteluun ja mahdollistaa korjaustoimien jaksottamisen, mikä keventää kunnossapitohenkilöstön työkuormaa.

Kun paineilma vuotojen hallinta on saatu järjestelmälliseksi ja paineilmajärjestelmän korjausvelka on pienentynyt, voidaan tarkastella mahdollisuutta pidentää kartoitusväli esimerkiksi kahteen vuoteen. Tällöin päätöksenteon pohjaksi saadaan dataan perustuva analyysi järjestelmän kunnan kehittymisestä ja uusien vuotojen syntyisestä. Datan pohjalta voidaan myös analysoida toistuvia vuotokohteita ja käyttää kerättyä informaatiota uusiutuvien vuotojen juurisyiden etsimiseen.

Kartoitusten toteuttaminen on tehokkainta, kun se tehdään kunkin osaston oman laitoshenkilöstön toimesta. He tuntevat parhaiten omien alueidensa paineilmajärjestelmät ja voivat yhdistää pienten vuotojen korjaamisen muihin työtehtäviinsä. Kartoitusta tehdessä pienet ja selkeät vuodot voidaan korjata myös jo vuodon havaintotilanteessa. Tehtaalla on yhä alueita, joita ei välttämättä ole sisällytetty kartoituksen alueelle johtuen ulkopuolisen kartoittajan rajallisesta ajasta. Näiden alueiden kartoitukseen voidaan hyödyntää asennusryhmän jäseniä ja täten saada yhä tarkempi ja kattavampi kokonaiskuva tehtaan paineilma vuotoista. Vuotokohdetta kuvatessa kartoittaja voi arvioida, tarvitaanko korjaukseen esimerkiksi automaation kunnossapitoa tai tuotantolinjan seisokkia. Nämä huomiot ovat hyödyllisiä dokumentoida jo kartoitusvaiheessa otettavan kuvan yhteyteen, mikä helpottaa resurssien kohdentamista ja korjaustyön suunnittelua esihenkilötasolla.

Vuotojen korjaus edellyttää yhteistyötä eri kunnossapito-osastojen välillä, sillä mekaaninen että automaation osaaminen on usein välttämätöntä korjauksen onnistumiseksi. Alkuvaiheessa kartoittajan tekemä arviointi saattaa välttää turhat pullonkaulat eri osastojen välillä ja kunnossapitotyöt kohdentuvat lopulta oikein sitä suorittaville osastoille.

Tehtaan oma asennusryhmä ja käyttäjäkunnossapitoresurssit voivat täydentää vuotokohteiden kunnossapitotyötä. Selkeästi visuaalisesti merkitty vuotokohde sekä oikea toimintopaikka SAP-järjestelmässä mahdollistavat yksittäisten vuotojen korjaamisen myös silloin, kun alue ei ole tekijälle entuudestaan tuttu. Korjatun vuotokohdan tiiveys voidaan aina varmistaa uudelleen äänikameralla, mikä takaa toimenpiteen onnistumisen ja ehkäisee uusintakorjausten tarvetta.

Tavoitteena tulee olla mahdollisimman korkea korjausaste löydettyistä paineilmavuodoista. Alkuvaiheessa yli 90 prosentin korjausaste on sekä realistinen että riittävä taso energiatehokkuuden parantamiseksi.

Pitkällä aikavälillä optimaalinen korjausaste sijoittuu 95–99 prosentin välille, mikä mahdollistaa järjestelmän energiatehokkaan toiminnan. Tällaisen tason saavuttaminen edellyttää jatkuvaa suunnitelmallista kunnossapitotoimintaa sekä huolellista dokumentointia. Säännöllisesti toistuvat kartoitukset ehkäisevät vuotojen määrän kasaantumista ja tukevat kunnossapidon ennakoitavuutta. Säännöllisellä kartoittamisella vuotokohteita havaitaan maltillisesti, niiden korjaaminen voidaan aikatauluttaa ja toteuttaa hallitusti ennen kunnossapitotoimien määräaikaa. Nämä toimenpiteet edesauttavat sitä, että tehtaan paineilmajärjestelmä pysyy luotettavassa kunnossa ja toimii mahdollisimman energiatehokkaasti.

9 Yhteenveto

Opinnäytetyön tekeminen Kirkniemen paperitehtaalle toi esiin sen, että paineilmavuotoihin ei ole aiemmin kiinnitetty riittävästi huomiota. Maailman siirtyessä yhä enemmän digitaalisen median käyttöön on aikakausilehtipaperin kysyntä vähentynyt merkittävästi. Tämä muutos pakottaa perinteiset paperitehtaat, kuten Kirkniemen keskittymään yhä tarkemmin kustannustehokkuuden ja tuotannon optimointiin.

Paperiteollisuuden nousukaudella pieniin ylimääräisiin energiakustannuksiin, kuten paineilmavuotoihin ei juurikaan puututtu. Nykytilanteessa jokaisella säästöllä on merkitystä. Yksittäinen vuoto ei ehkä ole suuri kustannuserä, mutta kun vuotoja esiintyy sadoittain, nousevat vuosittaiset energiakustannukset huomattaviksi. Paineilmavuotojen korjaaminen tarjoaa selkeän mahdollisuuden merkittäviin säästöihin.

Opinnäytetyön aikana havaittiin, että äänikameraan investoiminen on kustannustehokas ratkaisu. Sen avulla voidaan tehdä säännöllisiä vuotokartoituksia ennakoitavin kustannuksin. Lisäksi paineilmavuotojen järjestelmällinen dokumentointi ja seuranta tukevat kunnossapidon tehostamista ja pitkän aikavälin kustannusten hallintaa.

Paineilman tuotannon korkeat kustannukset tunnetaan yleisesti, mutta ne nähdään usein itsestään selvyytenä. Tietoisuuden lisääminen ja asennemuutoksen aikaansaaminen ovat avainasemassa. Kun jokainen työntekijä ymmärtää paineilmavuotojen merkityksen, niihin puuttumisesta saattaa tulevaisuudessa tulla osa arkipäivän toimintaa kunnossapidossa.

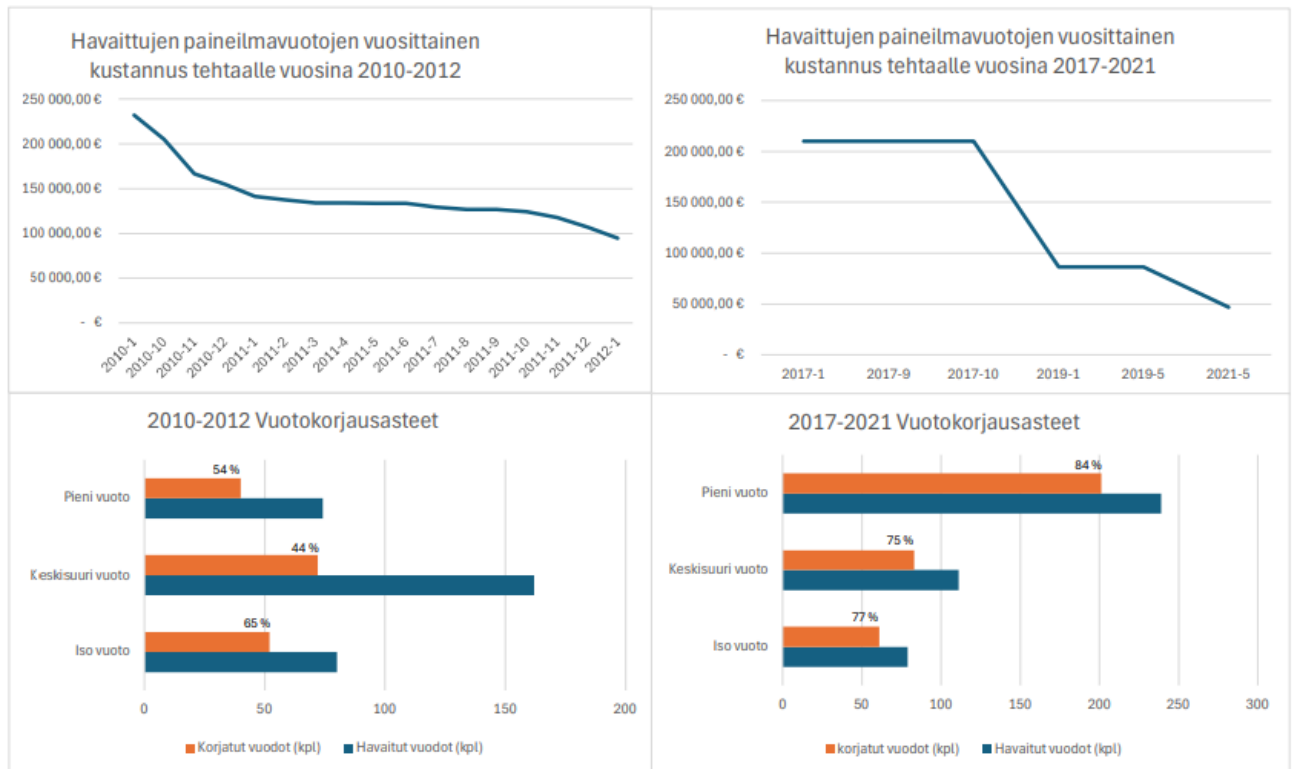
Kirkniemen paperitehdas on historiansa aikana osoittanut kykenevänsä sopeutumaan muuttuvaan maailmaan. Paineilmavuotoihin suhtautumisen muuttaminen ja niiden systemaattinen korjaaminen ovat osa tätä jatkuvaa kehitystä kohti energiatehokasta tehdasta. Teot tukevat sekä taloudellista että ekologista vastuullisuutta ja edustavat juuri niitä kehitysaskleita, joiden avulla Kirkniemen paperitehdas voi rakentaa vahvempaa tulevaisuutta sekä säilyttää asemansa johtavana aikakausilehtipaperin tuottajana tulevaisuudessa.

Lähteet

- Acoustic Teledyne FLIR*. (n.d.). Noudettu 24. elokuuta 2025, osoitteesta <https://www.flir.eu/products/si1-Id?vertical=condition+monitoring&segment=solutions>
- Atlas Copco. (n.d.-a). *Mäntäkompressorit—Atlas Copco Finland*. Noudettu 22. heinäkuuta 2025, osoitteesta <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/products/air-compressor/piston-compressor>
- Atlas Copco. (n.d.-b). *Positive displacement and dynamic compressor difference—Atlas Copco Serbia*. Noudettu 23. heinäkuuta 2025, osoitteesta <https://www.atlascopco.com/en-rs/compressors/wiki/compressed-air-articles/displacement-and-dynamic-compression>
- Atlas Copco. (n.d.-c). *Ruuvikompressorit—Atlas Copco Finland*. Noudettu 22. heinäkuuta 2025, osoitteesta <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/products/air-compressor/rotary-screw-compressor>
- Atlas Copco. (2015). *Compressed air manual* (8th ed). Atlas Copco Airpower NV.
- Atlas Copco. (2019, marraskuuta 25). *Improve and maintain your compressed air—Atlas Copco Finland*. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/air-compressor-blog/how-to-improve-and-maintain-your-compressed-air-system-air-quality>
- Atlas Copco. (2020, helmikuuta 6). *Paineilma: Mitä se on ja miksi käytämme sitä - Atlas Copco Finland*. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/what-is-compressed-air>
- Aziz, M. A., Benini, E., Elsayed, M. E. A., Khalifa, M. A., & Gaheen, O. A. (2023). Speed and torque control of pneumatic motors using controlled pulsating flow. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 127(1), 635–648. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11562-3>
- Beeckmans, T. (2018). *Compressed air and microorganism growth*.
- Eusebio, D. (2020, tammikuuta 3). *How Air Compressors Work: An Animated Guide | BigRentz*. <https://www.Bigrentz.Com>. <https://www.bigrentz.com/blog/how-air-compressors-work>

- Fluke. (n.d.). *Paineilma-, kaasu- ja alipainevuotojen havaitseminen ja piilotuottojen löytäminen*. Noudettu 22. heinäkuuta 2025, osoitteesta <https://www.fluke.com/fi-fi/lue-lisaa/blogi/vuodontunnistus/paineilmavuotojen-havaitsemisen-tuotot>
- Foreca. (2021, tammikuuta 22). *Forecan Sääpedia*. Foreca. <https://www.foreca.fi/sääpedia/fnrppkb8>
- FOYE. (2024, heinäkuuta 23). How Pneumatic Cylinders Work, Advantages and Installation Steps. *FOYE Pneumatic*. <https://www.foyeauto.com/news/how-pneumatic-cylinders-work-advantages-and-installation-steps/>
- Hulkkonen, V. (2005). *Pneutiikan perusteet. Fluid klinikka No 13. Fluid Finland*. (ei pvm.). Noudettu 22. heinäkuuta 2025, osoitteesta <https://www.salhydro.fi/files/PDF/9.pneutiikan-perusteita.pdf>
- KnowPap. (n.d.). *KnowPap*. Noudettu 22. heinäkuuta 2025, osoitteesta https://www.knowpap.com/www/suomi/knowpap_system/user_interfaces/knowpap.htm
- Länsirannikon Koulutus Oy. (2020). *Hydrauliikan ja pneutiikan perusteet*. 2020, 2020, 10.
- Messer, A. (2021, marraskuuta 20). How Does Leak Detection with Ultrasound Work? | CBM CONNECT. *CBM CONNECT®*. <https://www.cbmconnect.com/leak-detection-with-ultrasound-how-does-it-work/>

Liite 1. Vuotokorjauksen tuomat säästöt ja kunnossapidon korjausasteet



Liite 2. Paineilmavuotojen korjauksen kustannusarvion laskenta

Pieni vuoto

Työtilaus	Kuvaus	Työtunnit (h)	Tuntihinta (€)	Kustannus (€)
76346609	Työilma liitin	4	60	240
76346615	Työilma liitin	1	60	60
76346627	Tukin liitin	1	60	60
76346738	Tukin liitin	1	60	60
76346739	Paineenalennin	1	60	60
76346749	Suodatin	1	60	60
76347658	Asennoitin	1	60	60
76347668	Tukin liitin	1	60	60
76347671	Ilmasyöttö numero 20 liitin	1	60	60
76347672	Ilmasyöttö numero 12 liitin	2	60	120
76347675	Kotelon ilmansuodatin	1	60	60
76348175	Magneettiventtiili syötön numero 1 sulku	1	60	60
76348187	Tukin liitin	2	60	120
76348189	Ilmasyöttö numero 9 liitin	1	60	60
76348190	Asennoitin	1	60	60
keskiarvo		1,33		80

Keskisuuri vuoto

Työtilaus	Kuvaus	Työtunnit (h)	Tuntihinta (€)	Kustannus (€)
76196683	Mittari	1	60	60
76397335	Letku nipussa	2	60	120
76196686	Asennoittimen kuristin	1	60	60
76200785	Toimilaite	4	60	240
76200786	Suodatin	1	60	60
76200793	Toimilaite vuotaa läpi	1	60	60
76200787	Toimilaite/sellujauhin 6:lle	1	60	60
76200788	Asennoittimen kuristin	1	60	60
76200789	Asennoitin	1	60	60
76346361	Paineilmasuodatin	1	60	60
76346367	Ilmatulon liitin	1	60	60
76225865	Kenttäkotelon ilmansuodatin	1	60	60
76225866	Asennoitin	2	60	120
76225867	Toimilaite	5	60	300
76225868	Suodatin	2	60	120
keskiarvo		1,67		100

Suuri vuoto

Työtilaus	Kuvaus	Työtunnit (h)	Tuntihinta (€)	Kustannus (€)
76182760	Instrumentti-ilman paineilmapistooli	1	60	60
76183089	Toimilaite	2	60	120
76183092	Toimilaite	2	60	120
76183093	Yläpuolinen paineilmaletku	2	60	120
76183096	Asennoitin	1	60	60
76183097	Asennoitin	2	60	120
76183099	Kotelon ilmansuodatin	4	60	240
76184514	Suodatin	4	60	240
76183189	Paineilmaletku	1	60	60
76183190	Paineenalennin	2	60	120
76183192	Paineenalennin	1	60	60
76184516	Ilmakelan syöttöletku	1	60	60
76183201	Magneettiventtiili/toimilaite	2	60	120
76184291	Toimilaite	1	60	60
76184906	Venttiilin kara	1	60	60
keskiarvo		1,80		108

Vuotojen korjauksen kustannuksen arvio vuonna 2010

Tyyppi	Lukumäärä (kpl)	Työtuntiarvio per korjaus	Työtunnin hinta (€)	Hinta yht. (€)
Suuri	48	1,8	60	5184
Keskisuuri	65	1,67	60	6500
Pieni	38	1,33	60	3040
Yht.	151			14724

Vuotojen korjauksen kustannuksen arvio vuonna 2017

Tyyppi	Lukumäärä (kpl)	Työtuntiarvio per korjaus	Työtunnin hinta (€)	Hinta yht. (€)
Suuri	61	1,8	60	6588
Keskisuuri	83	1,67	60	8300
Pieni	201	1,33	60	16080
Yht.	345			30968

Liite 3. Oman vuotokartoituslaitteen kannattavuus

Ulkopuolinen kartoitus

Erä	Yksikköhinta (vrk)	Työpäiviä	Kokonaishinta
Toimittajan kartoitus	2 000,00 €	5	10 000,00 €
Sisäinen työntekijä	480,00 €	5	2 400,00 €
Yhteensä			12 400,00 €

Investointi omaan vuotokartoitus laitteeseen

Erä	Hinta
Laitehankinta	16 499,00 €
Käyttökoulutus	500,00 €
Yhteensä	16 999,00 €

Oman laitteen takaisinmaksuaika

Parametri	Arvo
Ulkopuolinen kartoitus (kok.hinta)	12 400,00 €
Oman kartoituksen kustannus (ilman laitehintaa)	2 400,00 €
Investointi omaan vuotokartoitukseen (Laite+koulutus)	16 999,00 €
Takaisinmaksuaika jos kartoitus 1 v välein (vuotta)	1,70
Takaisinmaksuaika jos kartoitus 2 v välein (vuotta)	3,40
Takaisinmaksuaika jos kartoitus 3 v välein (vuotta)	5,10
Takaisinmaksuaika jos kartoitus 4 v välein (vuotta)	6,80
Takaisinmaksuaika jos kartoitus 5 v välein (vuotta)	8,50

Kartoituksen hinta omalla laitteella eri kartoitusväleillä 10 vuoden aikajanaalla

Kartoitusväli (vuotta)	Käyttökertaa 10 v aikana	Laitteen osuus/kartoitus	Sisäinen työ	Kokonaiskustannus/kartoitus	Säästö per kartoitus verrattuna ulkopuoliseen
1	10	1 699,90 €	2 400,00 €	4 099,90 €	8 300,10 €
2	5	3 399,80 €	2 400,00 €	5 799,80 €	6 600,20 €
3	3,33	5 104,80 €	2 400,00 €	7 504,80 €	4 895,20 €
4	2,5	6 799,60 €	2 400,00 €	9 199,60 €	3 200,40 €
5	2	8 499,50 €	2 400,00 €	10 899,50 €	1 500,50 €