

LABORATORION PAINEILMAJÄRJESTELMÄN ENERGIA-
TEHOKKUUDEN ARVIOINTI

Leinonen Tommi

Opinnäytetyö
Konetekniikka
Insinööri (AMK)

2022

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Tommi Leinonen	Vuosi	2022
Ohjaaja	DI Petri Kesälahti		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Laboratorion paineilmajärjestelmän energiatehokkuuden arviointi		
Sivu- ja liitesivumäärä	49 + 14		

Opinnäytetyö tehtiin Lapin Ammattikorkeakoululle ja työn tavoitteena oli kartoittaa oppilaitoksen paineilmajärjestelmän energiatehokkuutta.

Oppilaitokselle oli hiljattain hankittu uusi paineilmakompressori ja siihen etävalvontajärjestelmä. Samaan aikaan oppilaitoksella valmistui myös remontti, jossa tiloja otettiin uudelleen käyttöön ja uudistettiin. Näin oli käynyt myös paineilmajärjestelmälle.

Teoreettisessa osuudessa käsiteltiin paineilman merkitystä teollisen aikakauden alusta tähän päivään sekä käytiin läpi muutamia tavanomaisimpia tapoja tuottaa sitä.

Työssä käsitellään paineilmajärjestelmiä, siihen kuuluvia osia ja niiden energiatehokkuutta. Yleisellä tasolla perehdytään laitevalmistaja Atlas Copcon SMART-LINK etävalvonta järjestelmään.

Työn lopputulokseksi saatiin paineilmaverkoston kartoitus ja toimenpide-ehdotuksia.

Mechanical Engineering
Bachelor of engineering

Author	Tommi Leinonen	Year	2022
Supervisor	M.Sc. (Tech) Petri Kesälähti		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Evaluation of energy efficiency of a compressed air system in a laboratory		
Number of pages	49 + 14		

The thesis was done for Lapland University of Applied Sciences and the aim of the thesis was to study the energy efficiency of the school's compressed air system.

A new compressed air compressor and remote monitoring system suitable for it had recently been purchased for the educational institution. At the same time, the school also underwent a renovation, where the premises were re-used and renovated. This had also happened to the compressed air system.

The theoretical part dealt with the importance of compressed air from the beginning of the industrial age to this day as well as went through a few of the most common ways to produce it.

The work deals with compressed air system, its components and the energy efficiency of the components. At a general level, the SMARTLINK remote monitoring system of equipment manufacturer Atlas Copco was studied.

The result of the work was the surveying of the compressed air network and proposals for action.

Key words compressed air, compressed air system, energy efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU	8
3	PAINEILMAJÄRJESTELMÄT	10
3.1	Teollisen paineilman historiaa.....	11
3.2	Paineilma ja pneumatiikka teollisuudessa yleisesti	12
3.3	Pneumatiikka	13
3.4	Paineilman käyttö	14
3.5	Paineilman tuottaminen	17
3.5.1	Ruuvikompressorit.....	19
3.5.2	Mäntäkompressorit.....	20
3.6	Paineilmaverkostot ja putkiston mitoitus	22
4	ENERGIAN KULUTUS JA LÄMMÖN TALTEENOTTO PAINEILMAJÄRJESTELMISSÄ.....	25
4.1	Energiatehokkuus	25
4.2	Lämmön talteenotto	26
5	ATLAS COPCON SMARTLINK	29
6	OPPILAITOKSEN LINJASTON KARTOITUS	34
7	PAINEILMAN HÄVIÖN SELVITYS	36
7.1	Vuotojen etsintä.....	36
7.2	Kustannukset.....	41
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	44
9	POHDINTA.....	46
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	49

ALKUSANAT

Kiitos kaikille, jotka tämän työn mahdollistivat.

Torniossa 22.4.2022

Tommi Heikkilä

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Pa	Paineen yksikkö on SI-järjestelmässä Newtonia neliometriä kohti (1 N/m^2), jolla on nimi Pascal (Pa). Pascal on verrattain pieni yksikkö ja siksi yleisesti käytetään baaria. Yksi baari on 100 000 pascalia, ja se on hieman pienempi kuin normaali ilmanpaine maan pinnalla.
bar	Baari on paineen yksikkö, jota usein käytetään ilmoitettaessa nesteen ja kaasun painetta. Baari ei ole SI-järjestelmän mukainen yksikkö, mutta arjessa paljon käytettynä helpottaa lukijaa ymmärtämään kokoluokkia.
CO ²	Hiilidioksidi, on hiilestä ja hapesta koostuva kemiallinen yhdiste.
PI	Paineilma

1 JOHDANTO

Paineilmajärjestelmän hyötysuhde energiatehokkuuden suhteen on verrattain huono, sähköstä työhön alle 10 %. Lapin Ammattikorkeakoulun Kemin yksikköön on hiljattain hankittu uusi paineilmakompressori ja tehty laajoja tilamuutoksia sekä saneerauksia. Näin suuret muutokset antavat aiheita paineilmajärjestelmän kartoitukseen ja samalla sen energiatehokkuuden arviointiin.

Paineilmajärjestelmät ovat tärkeässä roolissa teollisuudessa ja niiden energiatehokkuuden parantaminen lisää myös yrityksen tuottavuutta. Tällöin ne ovat myös omalta osaltaan vähentämässä hukkaenergian syntymistä tai sen hyötykäyttöä sekä ilmastomuutosta.

Tässä työssä keskitytään oppilaitoksen linjastoon ja sen osiin. Tavoitteena on parantaa oppilaitoksen paineilmajärjestelmän energiatehokkuutta ja muodostaa tuloksista toimenpide-ehdotuksia. Samalla tutustutaan myös laitevalmistaja Atlas Copcon SMARTLINK etävalvontajärjestelmään.

2 LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU

Toimeksiantajana toimii Lapin ammattikorkeakoulu (Lapin AMK), joka aloitti toimintansa 1.1.2014. Tällöin Kemi-Tornion- ja Rovaniemen ammattikorkeakoulut lakkautettiin ja niiden toiminnat yhdistettiin. Oppilaitoksen toimipisteitä on Kemissä, Rovaniemellä ja Torniossa, ja se on Suomen pohjoisin ammattikorkeakoulu. Jo aikaisemmin korkeakoulut muodostivat Lapin yliopiston kanssa yhdessä Lapin korkeakoulukonsernin (LUC). (LUC 2021.)

Lapin korkeakoulukonsernin on kansallisesti sekä kansainvälisesti johtava arktisen tutkimuksen ja osaamisen toimija ja edelläkävijä. Sen erikoisosaaminen kohdistuu arktiseen globaaliin vastuullisuuteen, kestävään matkailuun sekä tulevaisuuden palveluihin ja etäisyyksien hallintaan. (Lapin AMK 2021a.)

Opiskelijoita on noin 5 500 ja henkilökuntaa 370 (1.1.2021). Liikevaihto 44,5 M€, josta tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnan (TKI) volyyymi on noin 9,6 M€. Valmistuvien oppilaiden työllistymisaste on 80 % heti valmistumisen jälkeen ja heistä 78 % työllistyy Pohjois-Suomeen. (Lapin AMK 2021b.)

Ammattikorkeakoulusta valmistuu asiantuntijoita työelämän kehittämistehtäviin. Tutkinnot ovat ammatillispainotteisia korkeakoulututkintoja. 3,5–4 vuotta kestäviä AMK-tutkintoja (Bachelor's degree). Opintoja voi suorittaa päätoimisina päiväopintoina, monimuoto-opintoina työn ohessa sekä kansainvälisinä Bachelor-tutkintoina. (Lapin AMK 2021a.)

Lapin AMK:n koulutusaloja ovat

- Kauppa ja hallinto (liiketalous)
- Maa- ja metsätalous
- Palvelualat (liikunta ja matkailu)
- Sosiaaliala
- Taiteet ja kulttuuri
- Tekniikka, teollisuus ja rakentaminen
- Terveys ja hyvinvointi
- Tietojenkäsittely, tieto- ja viestintäteknikka (ICT). (Lapin AMK 2021a.)

Valmistumisen ja kolmen vuoden työkokemuksen jälkeen opiskelua voi jatkaa ylemmällä ammattikorkeakoulututkinnolla. (Master's degree/ YAMK). AMK järjestää myös erikoistumisopintoja, joilla voi syventää taitojaan ja tietojaan eri ammatillisilla osa-alueilla. (Lapin AMK 2022a.)

Avoimet AMK-opinnot puolestaan on kaikille avoin keino hankkia erikoisosamista, tutustua eri ammatti- ja tieteenaloihin tai täydentää omaa osaamistaan jatkuvan oppimisen ideologian mukaisesti. (Lapin AMK 2022b.)



Kuva 1 Lapin AMK:n Kemin yksikkö (Lapin AMK 2021c)

3 PAINEILMAJÄRJESTELMÄT

Paineilma (PI) on kaikessa yksinkertaisuudessaan ylipaineiseksi paineistettua eli kompressoitua ilmaa. Polkupyörän kumin täyttäminen on tästä yksinkertaisin esimerkki, siinä lihasenergia muutetaan pneumaattiseksi energiaksi. Paineilman tekemää työtä kutsutaan pneumatiikaksi. (Salhydro.fi 2022.)

Pneumatiikkaa käytetään miltei kaikilla teollisuuden osa-alueilla sen helppouden ja turvallisuuden vuoksi. Paineilmaa on saatavilla ja sitä voidaan tuottaa kohdekohtaisesti. Siirrettävällä kompressorilla voidaan tuottaa paineilmaa myös erilaisissa olosuhteissa ilman kiinteää paineilmaverkostoa, kunhan tuotantoon tarvittava energiaa on saatavilla. Myös käytön laajuudesta kertoo se, että erään arvion mukaan kaikesta teollisuuden käyttämästä sähkötehosta 5 % menee paineilman tuottamiseen. (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 7.)

Pneumatiikkaa kannattaa käyttää koneautomaatioon, kun

- Käsitellään keveitä kappaleita
- Vaaditaan nopeita liikkeitä
- Liikkeet tapahtuvat rajalta rajalle
- Vaaditaan pehmeää tartuntaa ja siirtoa
- Vaaditaan hygieenistä järjestelmää
- Toimitaan palo- ja räjähdysvaarallisissa tiloissa. (Ellman ym. 2002, 8.)

3.1 Teollisen paineilman historiaa

Pneumatiikkaa käyttäviä laitteita on tietävästi käytetty ainakin jo pronssikaudella erilaisissa palkeissa noin 3000–2000 vuotta ennen ajanlaskumme alkua. Nykyisenmuotoinen paineilman käyttö on alkanut 1800-luvulla kaivosteollisuuden tarpeista. Jo aikaisemmin mäntäpumput olivat tyhjentäneet kaivoksista liian veden hevos- ja ihmisvoimin, mutta höyrykoneen yleistyessä aloitettiin paineilmatoimisten vasaroiden ja porien käyttö. Tietynlaisia käännekohtia ovat myös olleet 1880-luvulla rakennettu Pariisin paineilmaverkko, josta suunniteltiin sähkön kaltaista käyttöenergiaverkkoa sekä pneumaattista putkistoa putkipostin kuljettamiseen (Kuva 2). (Ellman ym. 2002, 7.)



Kuva 2 Pariisin putkipostin keskuneiti (Messynessychic.com 2022)

1920-luvulla kehiteltiin auto- ja junasovelluksiin paineilmajarrut. 1945 alkaen teollisuusautomaatiossa opittiin tehostamaan osienvalmistamista ensin puoliautomaattisin ja sitten täysin automaattisin keinoin. Kaasun määrän ja tilavuuden mit-

taamiseen tarvittava fluidistoritekniiikan keksiminen 1965 avasi ovia erilaisten loogikkakomponenttien kehittymiselle, jotka kuitenkin sähköinen ohjaustekniikka syrjäytti 1970-luvulla. Tällöin pneumatiikan tärkeimmäksi käyttökohteeksi muodostui venttiiliohjauksen muuttaminen mekaaniseksi liikkeeksi. (Ellman ym. 2002, 7.)

1900-luvulla paineilma ja paineilmalaitteet lisääntyivät. Suihkumootorit käyttävät keskipako- ja aksiaalivirtauskompressoreita. Automaattikoneissa, työvoimaa säästävissä laitteissa ja automaattisissa ohjausjärjestelmissä käytetään pneumaattista tekniikkaa. 1960-luvun lopulla ilmestyi digitaalilogiikan pneumaattiset ohjauskomponentit. (Greelane.com 2022.)

3.2 Paineilma ja pneumatiikka teollisuudessa yleisesti

Paineilman käyttö teollisuudessa on hyvin laajaa. Motivan mukaan paineilman tuottamiseen käytettävän sähköenergian määrä, teollisuuskohteesta riippuen, on 2–12 %:n välillä. Tästäkin tuotetusta paineilma kuiteinkin noin neljännes häviää esimerkiksi vuotoihin. Pitää myös huomioida, että jopa 94 % kompressoriin syötetystä sähköenergiasta muuttuu kompressiolämmöksi (Atlascopco.com 2022a). Tästä syystä paineilma ei ole kovin taloudellinen energiamuoto (Motiva.fi 2022).

Mekaaniseen, sähköiseen, hydrauliseen verrattuna pneumaattisen energian ja voimansiirron merkittävimpiä etuina muihin energiamuotoihin ja voimansiirtoihin voidaan pitää energian varastoimisen helppoutta ja voimansiirron hyviä välitysominaisuuksia. Suurimpana heikkoutena taas huonoa hyötysuhdetta sekä alhaisia voimia. Alhaisesta hyötysuhteesta johtuen paineilma on suhteellisen kallista. (Salhydro.fi 2022.)

Paineilman etuja on kuitenkin haittoihin nähden huomattavasti enemmän ja siksi paineilmalla on oma paikkansa erilaisten energiamuotojen joukossa. Paineilman etuja ja haittoja on listattuna taulukossa 1.

Taulukko 1 Paineilman etuja ja haittoja (edut: Ellman ym. 2002, 9.) (haitat: Salhydro.fi 2022.)

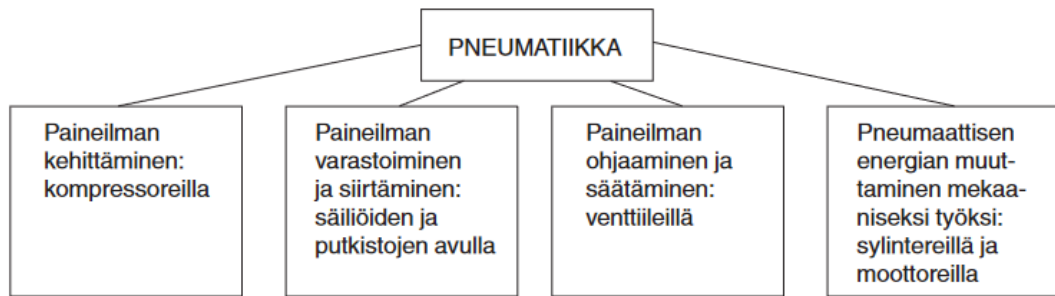
Paineilman etuja
Edullinen toteuttaa
Varastoiminen ja siirtäminen
Ei tarvitse poistoilmalle putkistoa
Huolto ja ylläpito on yksinkertaista
Se ei kipinöi, soveltuu räjähdysvaarallisiin paikkoihin
Ylikuormitus helppo estää eikä toimilaitteen ylikuumentuminen yleensä aiheuta vaurioita
Varmatoimisia melko suurella lämpötila alueella
Hyvin nopeiden liikkeiden toteutus mahdollinen
Säätö, liikenopeuksia ja voimia helppo säätää
Toistuvat toiminnot helppo automatisoida pneumatiikan avulla
Paineilman haittoja
Hinta, huonon hyötysuhteen vuoksi suhteellisen kallis energianmuoto
Voima, pneumatiikkaa ei kannata käyttää suurten voimien saamiseen
Liikkeen epätasaisuus, vaikea saada aikaan aivan tasaista liikettä. Vaatii nestevakauttimen
Poistoilman äänekkyys, voidaan vähentää äänenvaimentimella

3.3 Pneumatiikka

Pneumatiikalla on kaksi toisistaan poikkeavaa määritelmää. Teologiassa se on oppia henkiolennoista ja tekniikassa se tarkoittaa tekniikkaa, joka perustuu paineilman käyttöön. (Ellman ym. 2002, 7.)

Kaasun painetta ja virtausta käytetään tehonsiirtoon, anturitietojen- ja ohjauskomentojen käsittelyyn sekä toteuttamiseen. Pneumatiikka tulee kreikan kielen sanasta πνεῦμα (pneúma), joka tarkoittaa henkeä tai hengitystä. (Amp.fi 2022.)

Pneumatiikkaan kuuluu neljä osa aluetta (Kuva 3), jotka yhdessä luovat kokonaisuuden. Näitä voidaan muokata erilaisten käyttötarpeiden mukaiseksi. (Salhydro.fi 2022.)



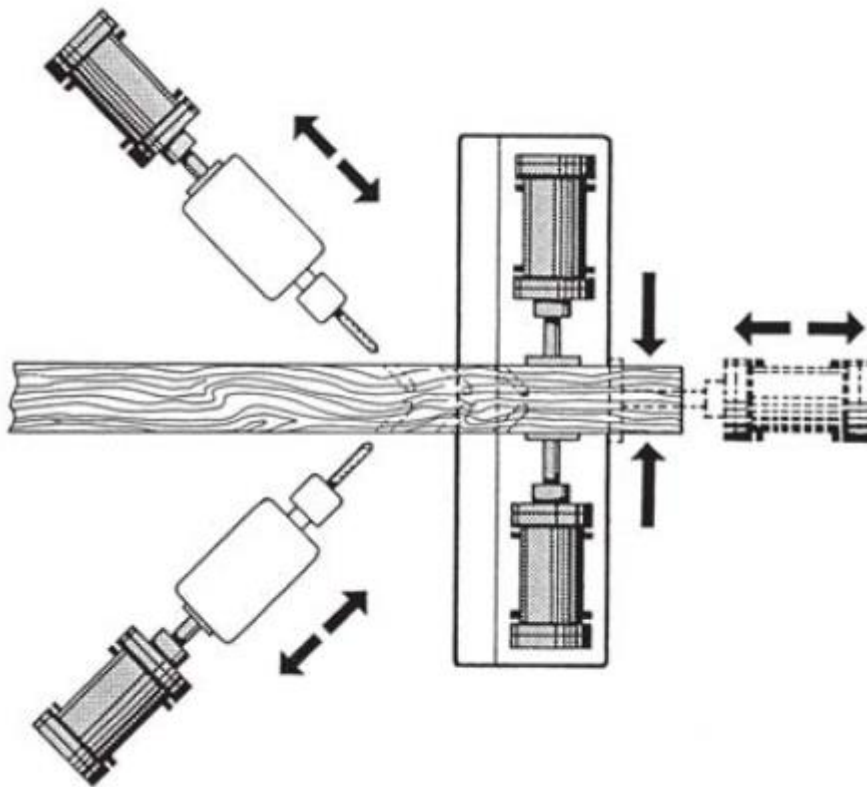
Kuva 3 Pneumatiikan osa-alueet (Salhydro.fi 2022)

3.4 Paineilman käyttö

Paineilmaa käytetään laajasti erilaisissa olosuhteissa ja tarkoituksissa. Varsinkin mekanisoinnin ja automatisoinnin yleistyessä, on se myös tuonut lyhyessä ajassa pneumatiikan auttamaan monissa ihmiselle vaarallisissa, raskaissa tai epämiellyttävissä ympäristössä tapahtuvaa tai jatkuvaa toistoa vaativissa töissä. (Salhydro.fi 2022.)

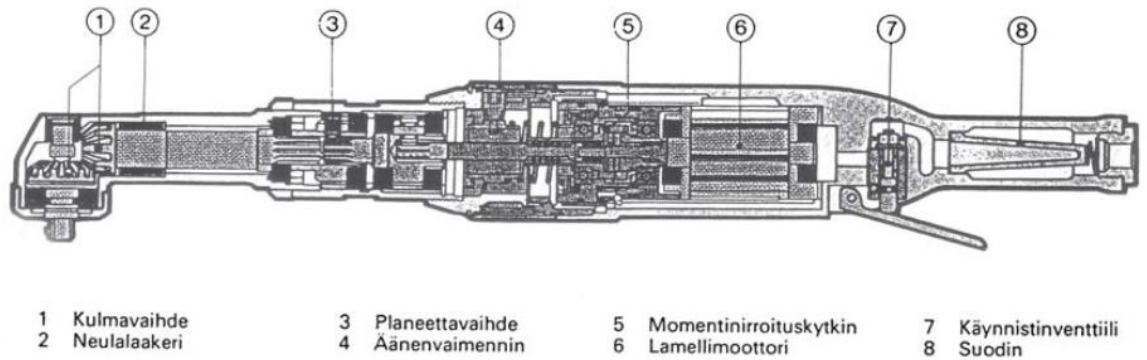
Pneumatiikan käyttö voidaan jakaa pääsääntöisesti kolmeen ryhmään:

1. Sylinteripneumatiikkaa käytetään suoraviivaisten liikkeiden aikaansaamiseksi. Sitä voidaan soveltaa mitä erilaisimpiin käyttökohteisiin ja yleensä se kootaan vakio komponenteista kutakin tapausta varten. Useat sylinteripneumatiikkaan kuuluvat automaattiset paineilmajärjestelmät ohjauspiireineen muistuttavat sähköisiä järjestelmiä (Kuva 4). (Salhydro.fi 2022.)



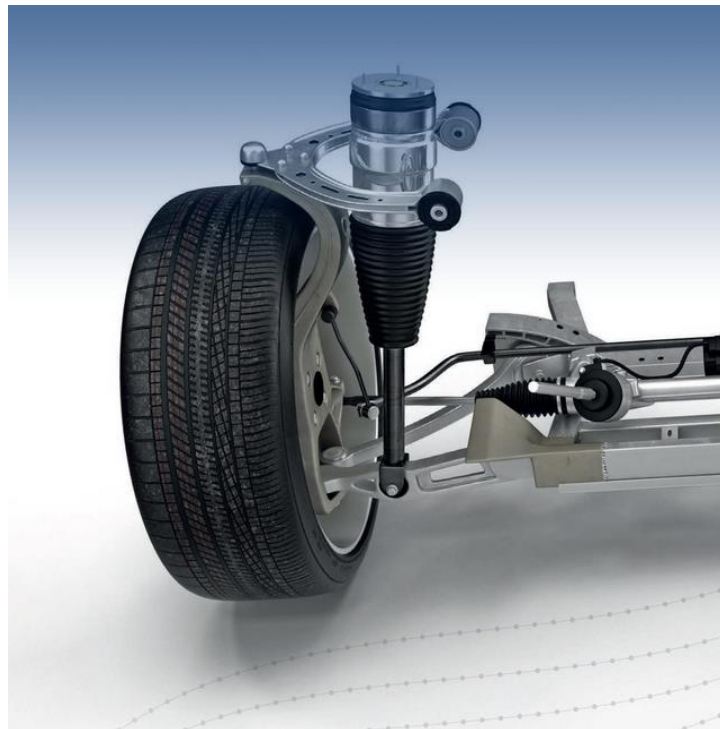
Kuva 4 Kappaleen siirto, kiinnitys ja poraus sylinteripneumatikan avulla (Salhydro.fi 2022)

2. Pyörivien liikkeiden aikaansaaminen, johon kuuluvat erilaiset paineilmamoottorit. Ominaista on se, että voidaan hankkia täysin valmiiksi kasattuna ja sisältävät moottorin, venttiilit ja muut tarvittavat laitteet. Tällöin niitä ei tarvitse rakentaa, vaan voidaan liittää kone suoraan paineilmaverkkoon ja käyttö voidaan aloittaa painamalla nappia tai kääntämällä vipua. Yleisimpinä esimerkkeinä voidaan mainita erilaiset työkalut kuten mutterinvääntimet ja porat- ja hiomakoneet (Kuva 5). (Salhydro.fi 2022.)



Kuva 5 Atlas Copcon kulmamallinen mutterinväännin (Salhydro.fi 2022)

3. Paineilma itse suorittaa varsinaisen työn. Tällöin on kyseessä esimerkiksi ruis-
kumaalaus, hiekka-, puhdistus-, tai jäähdytyspuhallukset, putkikuljetus sekä pai-
neilman käyttö vaimentimena. Näin esimerkiksi auton renkaat ja jousitus (Kuva
6). (Salhydro.fi 2022.)

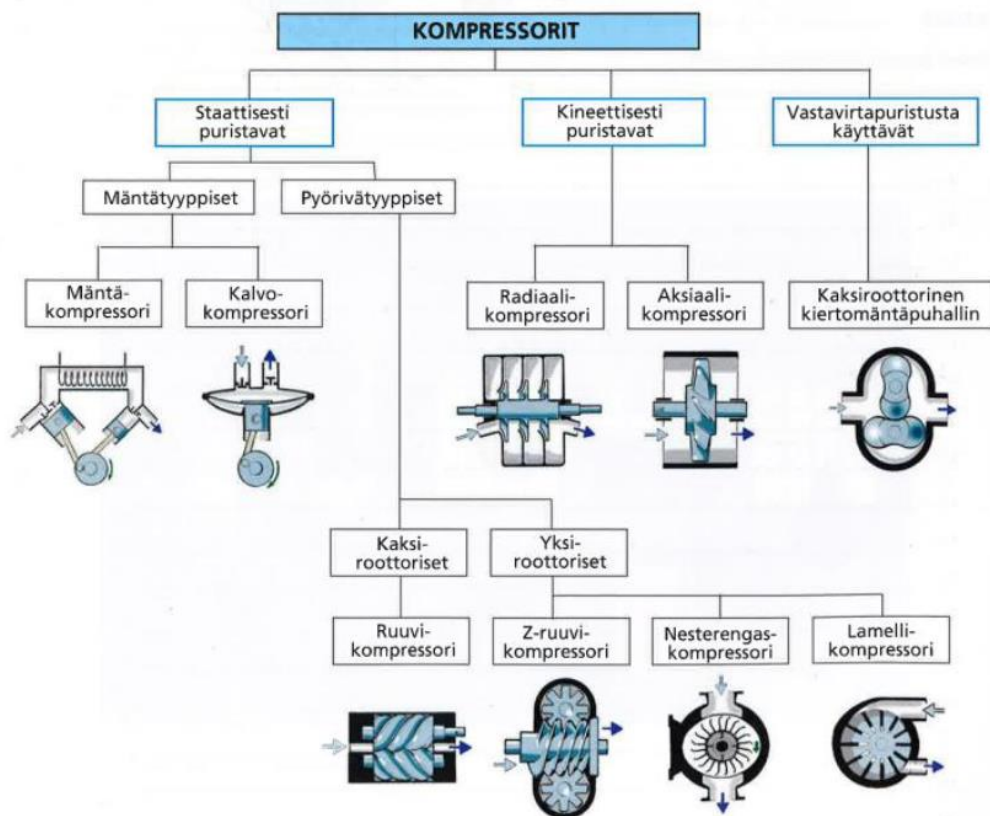


Kuva 6 Paineilman käyttöä vaimentimena jousituksessa sekä renkaassa (Mag-
netimarelli parts and services.com 2022)

3.5 Paineilman tuottaminen

Kun kaasunpaine kaksinkertaistetaan jollain laitteella vähintään kaksinkertaiseksi, laitetta kutsutaan kompressoriksi. Paineilman tuottamiseen käytetään yhtä tai useampaa kompressoria. Näiden muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan paineilma-keskukseksi. Pienempiä paine-eroja saadaan aikaan esimerkiksi puhaltimilla tai ahtimilla. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)

Käyttötarkoitus määrää tavoitepaineen, joka kompressorilla tavoitellaan. Käytännössä vaadittavat ilmamäärät vaihtelevat paljon ja sen vuoksi on kehitelty erityyppisiä toisiaan täydentäviä ja kilpailevia kompressoreita. Kompressorit voidaan jakaa kolmeen päälohkoon puristustavan mukaan. Nämä ovat kineettisesti ja staattisesti puristaviin sekä vastavirtauspuristusta käyttäviin kompressoreihin (Kuva 7). (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)



Kuva 7 Kompressorityypit (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26)

Tuotto ilmoitetaan tilavuusvirtana, jonka yksikkö voi olla l/min, m³ /h tai m³ /s. Pienemmillä paineilmalla kompressorit toimivat yksivaiheisina, jolloin puristus suoritetaan kerralla. Korkeammilla paineilla lämpörasituksen vähentämiseksi puristus tehdään vaiheittain. Tällöin puhutaan kaksi- tai kolmivaiheisesta puristuksesta. Vaiheiden väliin sijoitetaan välijäähdyttimiä. Kompressorin perään sijoitetaan jälkijäähdytin, jonka tehtävä on alentaa ilman lämpötilaa ja poistaa kosteutta. Mäntäkompressorin tuottoilma ennen jälkijäähdytystä on aina yli 100 °C, joten kaikki vesi on vesihöyryä. Jäähtyessään se kondensoituu vapaaksi vedeksi. Tämän vuoksi ilma jälkijäähdytetään ja vesi poistetaan ennen kuin se joutuu paineilma-verkostoon. Jälkijäähdytysaste riippuu paineilman käyttölämpötilasta. Esimerkiksi ulkokäyttöön soveltuva paineilma on jälkijäähdytettävä huomattavasti kuivemmaksi kuin sisäkäyttöön soveltuva. Näin estetään kondenssiveden muodostuminen käyttöolosuhteissa. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)

Taulukko 2 Kompressorien tyypillisiä toiminta alueita (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26)

Tyyppi	Tuotettu paine (Mpa)	Tilavuusvirta (m ³ /min)
mäntäkompressorit	0,1-100	0,005-3
Ruuvikompressorit	0,08-3	0,25-10
Lamellikompressorit	0,02-0,8	0,08-2
Radiaaliturbokompressorit	0,07-30	0,1-50
Aksiaaliturbokompressorit	0,08-0,5	10-100

Nykyään yleisimmät kompressorityypit ovat ruuvi-, mäntä- ja lamellikompressorit. Yleisimpinä ruuvikompressorit asettuvat tuotto- ja paineominaisuuksiensa puolesta keskialueelle. Lamellikompressorit tuottavat puolestaan hieman pienempiä työpaineita ja niiden tuotto on myös pienempää. Kun painevaatimukset ovat korkeita tai ilman tarve vaihtelee suuresti käytön aikana, ovat mäntäkompressorit parhaita. Kun tarvitaan suuria ilmamääriä esimerkiksi siirtoihin, käytetään kineettisiä- eli turbokompressoreja. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)

3.5.1 Ruuvikompressorit

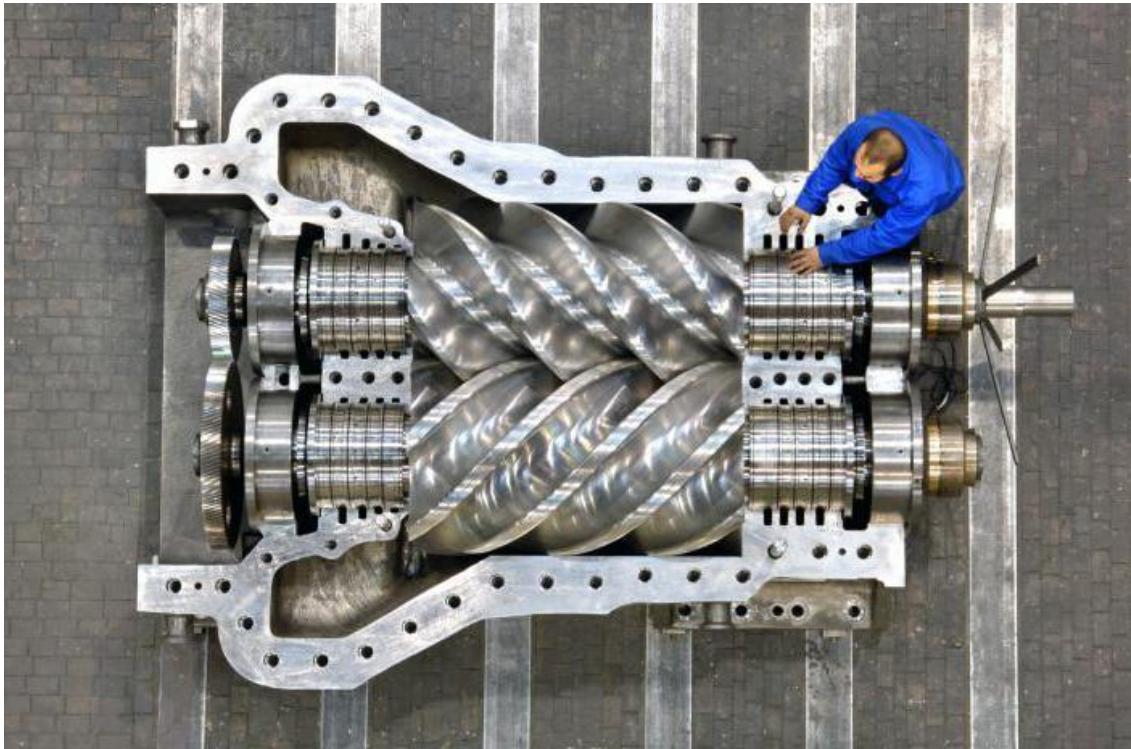
Ruuvikompressoreiden osuus kompressoreista teollisuuskäytössä on yli 90 %. Ruuvikompressoriyksikkö on yleensä heti asennusvalmis, melko hiljainen suu-
rehko kaappi, koostuen ruuviyksikön lisäksi muun muassa öljysäiliöstä sekä ilman ja öljynjäähdyttimistä. (Fonselius ym. 1997, 40.)

Ruuvikompressoreissa tuotto tapahtuu ruuvi- ja luistiroottorin väliin jäävissä urissa. Roottoreiden ympärillä on tiivis pesä, joka tiivistää roottorit kauttaaltaan. Koska ruuvit pyörivät ja puristavat ilmaa tasaisesti on myös tuotettu ilma sykkeitöntä (Kuva 8). (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 27.)



Kuva 8 Ruuvikompressorin toimintaperiaate (Mc-castengineering.com 2022)

Jos roottorit koskettavat toisiaan, tarvitaan öljyvoitelu. Öljyttömissä ruuvikompressoreissa roottorit eivät kosketa toisiaan, vaan niitä pyöritetään hammaspyöräkäytöllä (Kuva 9). (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)

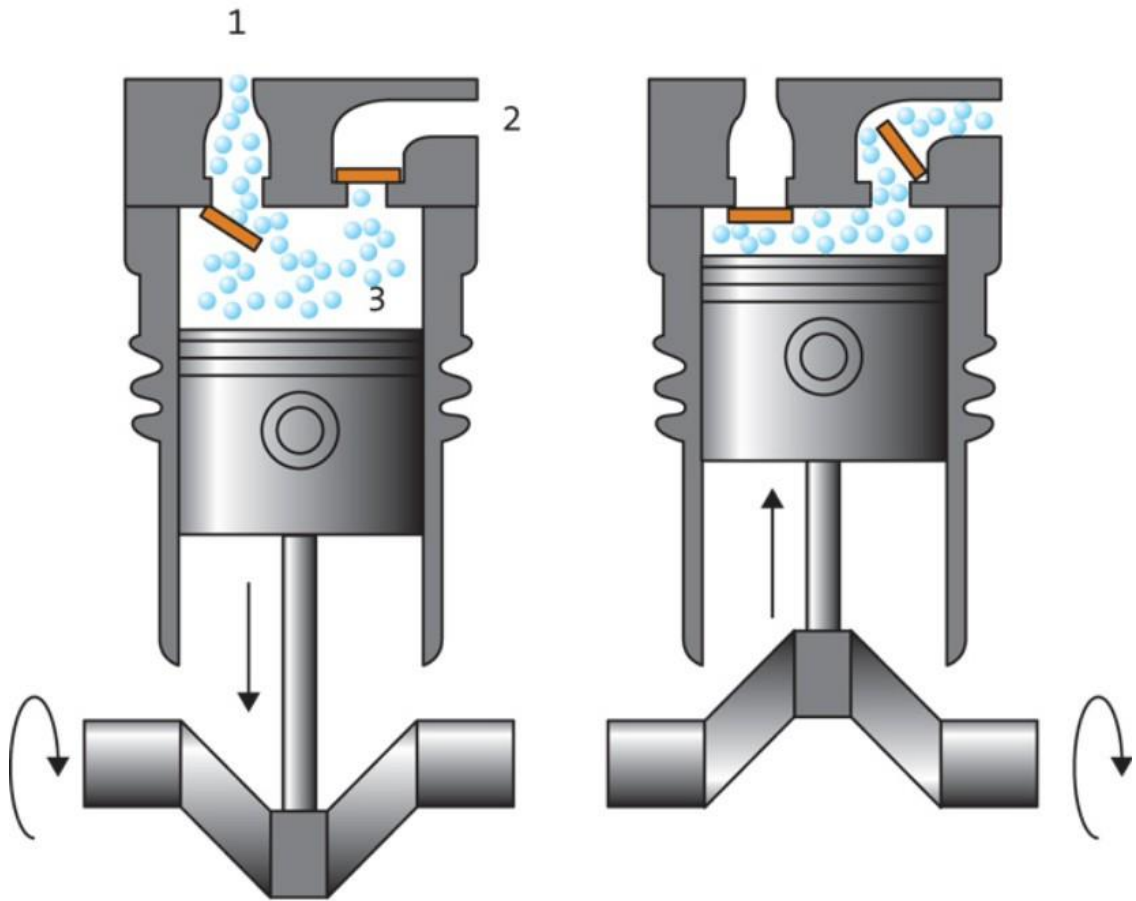


Kuva 9 Ruuvikompressorin pesä ja roottorit (Fi.ilovevaquero.com 2022)

Ruuvikompressorien etuja on myös sen hiljaisuus ja ettei painesäiliötä välttämättä tarvita. Ruuvikompressorit eivät myöskään tarvitse imu- tai paineventtiilejä. Tuoton säätö voidaan toteuttaa esimerkiksi sähkömoottorin taajuusmuuntaja ohjauksella, seis- stop automatiikalla, imuvirtausta kuristamalla tai kierrättämällä painevirtausta takaisin imupuolelle. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)

3.5.2 Mäntäkompressorit

Mäntäkompressorit ovat vanhin kompressorityyppi ja sen käyttöalue on hyvin laaja. Sillä voidaan saavuttaa 1000 baarin (100 000 kPa) tai vastaavasti tuottaa vain 1 baarin (100 kPa) paine. Noin 10 baarin (1000 kPa) paineeseen päästään yksivaiheisella kompressorilla. Mäntäkompressorissa ilma imetään imuventtiilin kautta sylinteriin, josta se puristetaan paineventtiilin kautta säiliöön tai seuraavaan puristukseen (Kuva 10). (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 29–30.)



Kuva 10 Mäntäkompressorin toimintaperiaate (Pipingengineer.org 2022)

Mäntäkompressorin hyötysuhdetta ja iskutilavuutta pudottaa noin 3–10 % tyhjä tila, joka jää männän ja sylinterikannen väliin. Mäntäkompressorin yleisin säätötapa on pysäytys-käynnistysautomaattikka, jonka mahdollistaa imuventtiilien pakko-ohjaus kevennetylle käytölle. Näin ohjataan myös jatkuvasti pyörivää kompressorin tuottotapa saa aikaan paineilmassa sykkeen, jota voidaan tasata paineilmasäiliöllä. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 26.)

3.6 Paineilmaverkostot ja putkiston mitoitus

Teollisuuskohteissa paineilman kulutus on usein vaihtelevaa ja jaksottaista, jolloin tarkka mitoitus voi olla hankalaa. Asiaa on järkevintä lähestyä käytännön kannalta ja varmistaa riittävän ilmamäärän siirtyminen. Liian pienen putkikokoon aiheuttamista ongelmista merkittävin on se, että työkaluihin ei saada tarpeeksi tehoa. (Ellman ym. 2002, 62.)

Putkiverkoston mitoittamisen tarvitaan seuraavat perustiedot:

- Kulutuskohteiden ilmamäärä
- Tarvittava työpaine
- Suoran putkiston pituus
- Putkiston osat, venttiilit ja muut varusteet. (Ellman ym. 2002, 62.)

Paineilmaverkostoa suunniteltaessa on lähtökohtaisesti otettava huomioon ympäristötekijät. Jokainen verkko suunnitellaan yksilöllisesti ja tärkeimpiä tekijöitä on siirtoetäisyydet, kulutuskohteiden jakautuminen ja niiden tarvitsemat ilmamäärät. (Ellman ym. 2002, 59.)

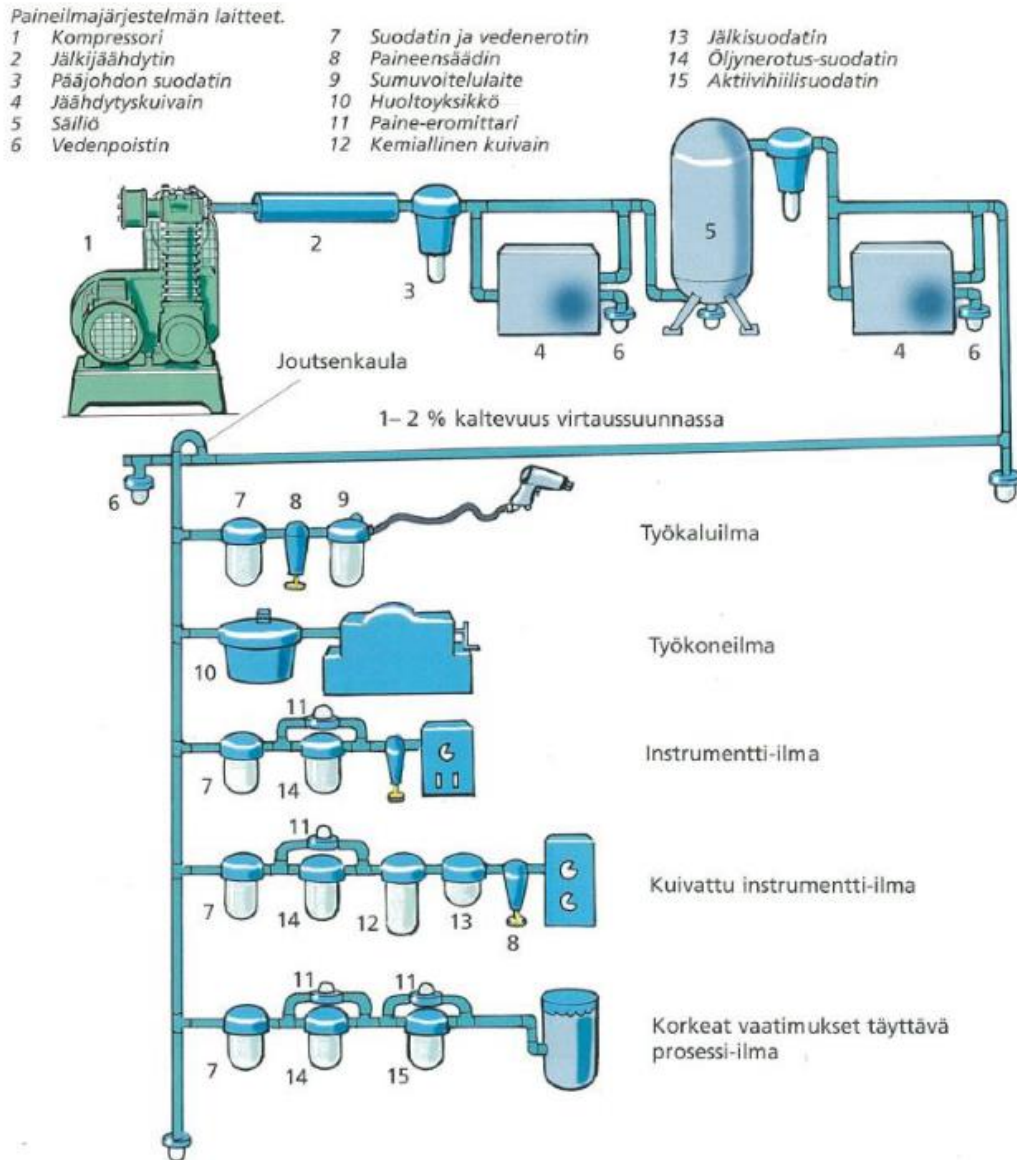
Paineilmakeskuksesta paineilma johdetaan syöttöputkella runkoputkeen. Runkoputket ovat yleensä kiinnitetty joko tilan katto- tai seinärakenteisiin, riippuen tilan korkeudesta, verkon rakenteesta ja liitäntäpisteiden sijoittelusta. (Ellman ym. 2002, 59.)

Kuva 11 vasemmalla on suora verkko, oikealla rengasverkko ja ylhäällä niiden yhdistelmä. Paineilma tuotetaan kompressorilla K ja verkon eri osat voidaan erottaa toisistaan sulkuventtiileillä. (Ellman ym. 2002, 59.)



Kuva 11 Paineilmaverkon rakennemuotoja (Ellman ym. 2002, 60)

Kuva 12 on esitetty yleisesti toimivaan paineilmaverkkoon kuuluvat laitteet erilaisissa käyttöympäristöissä ja tarpeissa. Kulutuslaitteiden koko ja lukumäärä määrittelee järjestelmän koon. Isoissa laitoksissa kuten sairaaloissa ja teollisuuslaitoksissa keskuksen sijoitus on tärkeintä. Keskus pitää myös sijoittaa siten, että pitkien runkolinjojen ja apulaitteiden sähkönsyöttöjen asennus tulee mahdollisimman edulliseksi. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 24.)



Kuva 12 Yleisesti paineilmajärjestelmään kuuluvat laitteet (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 23)

Myös kompressorikeskuksen ilmastonin järjestäminen on erittäin tärkeä peruste. Kompressorikeskus tulisi sijoittaa pohjoispuolen ulkoseinälle, koska siellä ilma on viileämpää. Tällöin myös ennaltaehkäistään vesiongelmia, koska ilman sisältämä vesipitoisuus vaihtelee suuresti ilman lämpötilan mukaan. Korvausilman tulee myös olla mahdollisimman puhdasta, joten sitä ei pidä ottaa vilkkaasti liikennöidyn kadun puolelta. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 24.)

4 ENERGIAN KULUTUS JA LÄMMÖN TALTEENOTTO PAINELMAJÄRJESTELMISSÄ

Paineilma on vakiinnuttanut paikkansa kaikkialla aina teollisuudesta kotitalouksiin. Tämän vuoksi paineilma on yksi tärkeimmistä teollisuuden hyödykkeistä, joskin myös yksi suurimmista energian kuluttajista (Atlascopco.com 2022a). Tämän vuoksi kaikilla kompressoreja koskevilla säästöillä on merkittävä vaikutus kustannuksiin ja ympäristöön (Atlascopco.com 2022a). Nykyisin sähköenergian hinta ja ympäristötavoitteet pakottavat kompressorivalmistajat valmistamaan entistä tehokkaampia laitteita.

Kun tarkastellaan laitteen koko elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä, suunnittelusta romutukseen, voidaan havaita, että käytönaikainen energiankulutus muodostaa 99 % kaikesta CO₂-päästöistä. Kun normaalisti energiankulutus on kompressorin käyttöaikaisista kustannuksista noin 80 %, voidaan todeta, että paineilmajärjestelmän energiankulutuksen säästöillä voidaan saada aikaan huomattavia säästöjä niin yrityksen varoissa kuin myös ympäristössä. (Atlascopco.com 2022a.)

4.1 Energiatehokkuus

Tärkeimmät toimenpiteet energiankulutuksen kartoittamisessa on tutkia ja korjata mahdolliset vuodot. 3 mm reikä maksaa 24/7-käytöllä yli 2700 € (0,08 €/kWh) vuodessa 7 baarin paineella (Atlascopco.com 2022b).

Hitsatuissa putkistoissa harvoin ilmenee vuotoja muutoin kuin viallisten venttiilien tai toimilaitteiden kohdalla. Letkut ja muoviputket ovat taas materiaaleiltaan haavoittuvampia ja niiden käyttö on erilaista ja näin ollen niihin tulee helpommin vuotoja esimerkiksi ulkopuolisen mekaanisen voiman vuoksi. Myös liitoskohdat ovat tavallisimpia vuotokohtia. (Motiva.fi 2022.)

Helpoin tapa ilmapuotojen tarkasteluun ja karkaavan ilmamäärän arviointiin on yksinkertaisesti vain sulkea paineilman tuotto. Tällöin voidaan helposti tarkastella linjaston painetta ja havainnoidaan muutokset. Tämän jälkeen voidaan tarpeen mukaan käydä tarkemmin järjestelmää läpi ja yrittää löytää mahdolliset vuotokohdat. Vuotoja havaitaan yleensä korvakuulolla tai tuntoaistilla, mutta erilaisia vuo-

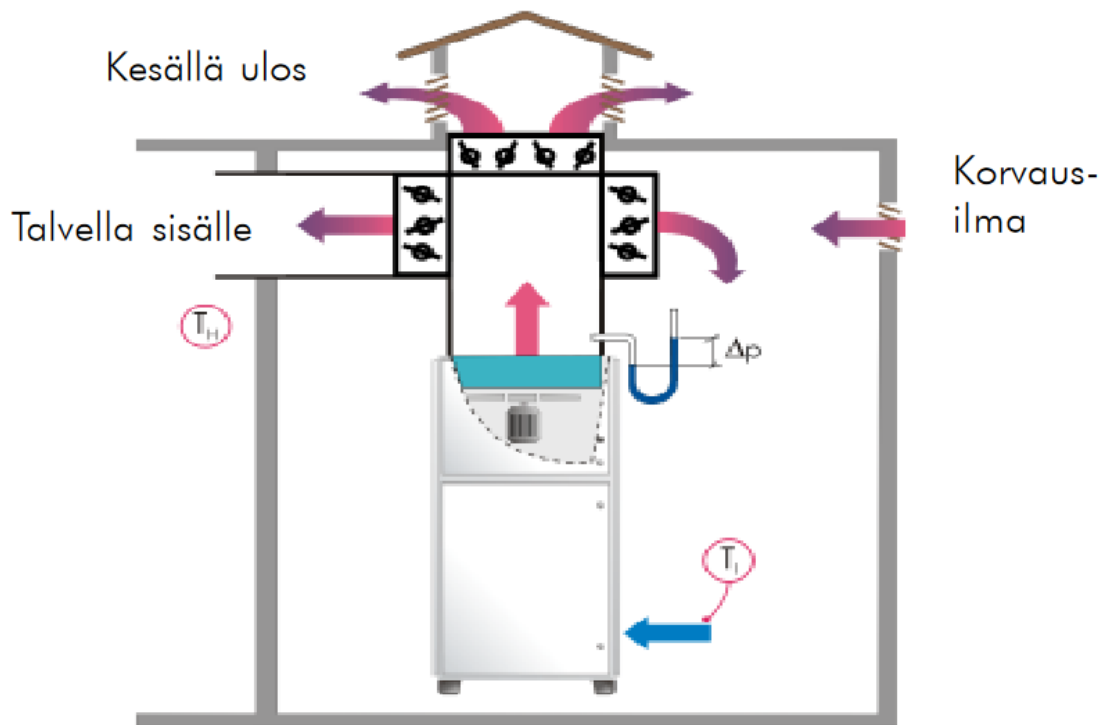
donilmaisimia kannatta myös hyödyntää. Näin, koska aistivaraisesti löytyvän vuodon pitää olla jo melko suuri. Perinteinen saippuavesi suihkepullosta on toimiva ratkaisu sellaisissa paikoissa, joissa sotkeminen ei niin haittaa. Erilaisista ponnekaasu variaatioita on markkinoilla useilta eri valmistajilta. Elektronisella ultraäänimittarilla voidaan kuunnella, laitteesta riippuen, kaukaakin vuotokohtien suihnaa.

4.2 Lämmön talteenotto

Jopa 94 % kompressoriin syötetystä sähköenergiasta muuttuu kompressiolämmöksi. Ilman energian talteenottoa tämä lämpö häviää ympäröivään ilmaan jäähdytysjärjestelmän kautta ja lämpösäteilynä. (Atlascopco.com 2022a.)

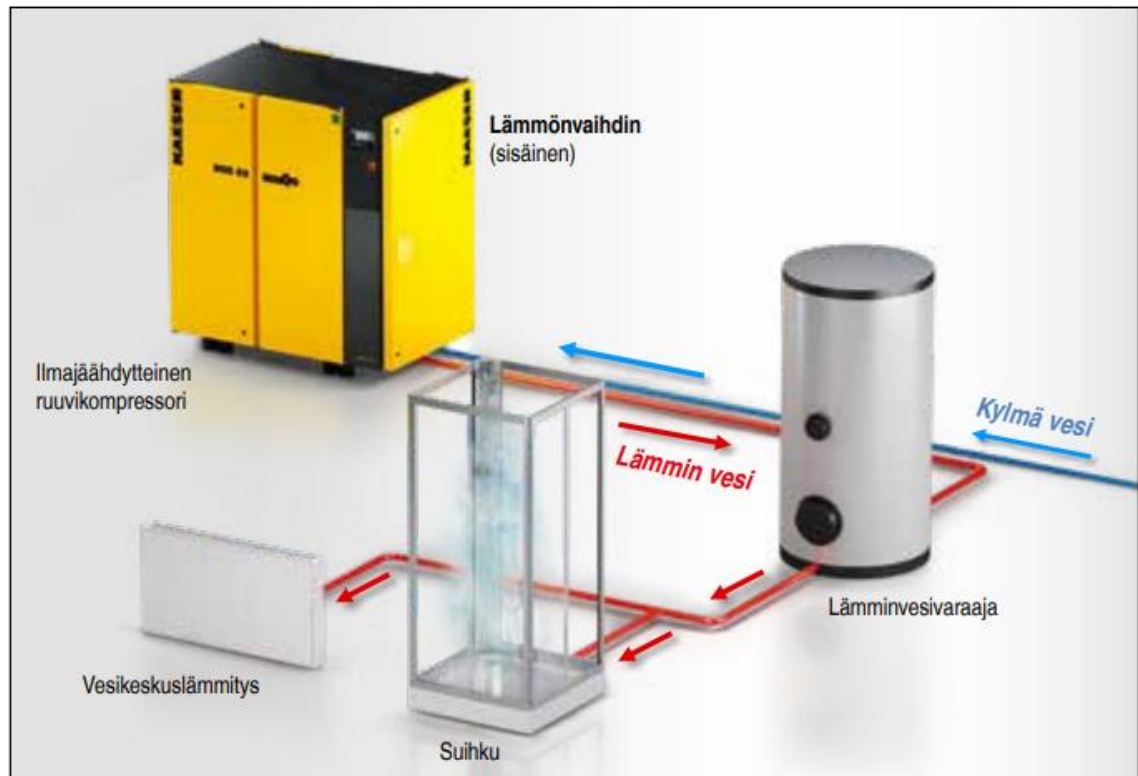
Lämmön kertymisen takia kompressoreita joudutaan jäähdyttämään ja nykyään mahdollinen lämpöenergia otetaan entistä paremmin talteen. Uudiskohteita suunniteltaessa lämmön talteenotto ja energian kulutus yleensäkin on jo niin suuressa roolissa, että tällainenkin vaihtoehtoinen mahdollisuus on hyvä tiedostaa.

Yksinkertaisimmillaan tämä toteutetaan ilmajäähdytteisissä kompressoreissa siirtämällä kompressorin ympäriltä lämmin ilma lämmitettävään tilaan. Tällöin voi riittää pelkkä painovoimainen poistoilmaventtiili huoneen toiselle puolelle ja vastavasti tuloilmaventtiili raittiille ilmalle. Useimmiten kuitenkin rakennetaan ilmakanava poistoilmalle ja tällöin voidaan apuna käyttää myös puhallinta. Näin varsinkin silloin, jos lämmintä ilmaa siirretään kanavissa pidempiä matkoja. Näin myös saadaan paremmin kohdennettua lämmin ilma lämmitettävään tilaan. Jos kompressori sijaitsee esimerkiksi pölyisessä tilassa, olisi hyvä rakentaa ilmakanava myös tuloilmalle (Kuva 13).



Kuva 13 Ilmajäähdytteisen kompressorin lämmöntalteenoton periaate (Compressor.fi 2022)

Vesijäähdytteisissä kompressoreissa käyttökohteita on enemmän, mutta ne vaativat usein kalliimmat lämmöntalteenottojärjestelmät. Vesijäähdytteisessä järjestelmässä jäähdytysvesi jäähdyttää öljynjäähdyttäjää, joskus myös jälkijäähdyttäjää. Vesijäähdytteisissä mäntä- ja ruuvikompressoireista saatava jäähdytysvesi on yleensä +50 °C, joissain tapauksissa jopa +90 °C. Korkeilla lämpötiloilla on huolehdittava, ettei jäähdytysvesivirta jää liian pieneksi, jolloin laitteen jäähdytys ei ole enää tasaista. Liian korkea jäähdytysveden ulostulolämpötila lisää yleensä myös huollon tarvetta. Lämmönvaihtimesta jäähdytysvesi johdetaan käyttökohteeseensa. Niitä voi olla mm. suoravesikiertolämmitys pattereissa tai lattialämmityksessä, lämminvesivaraajien esilämmitykseen tai suoraan käyttövedeksi esimerkiksi saniteettitiloihin (Kuva 14). (Atlascopco.com 2022a.)



Kuva 14 Periaatekuva kompressorin jäähdytyksestä ja lämpimän veden hyötykäytöstä. (Kaeser.com 2022)

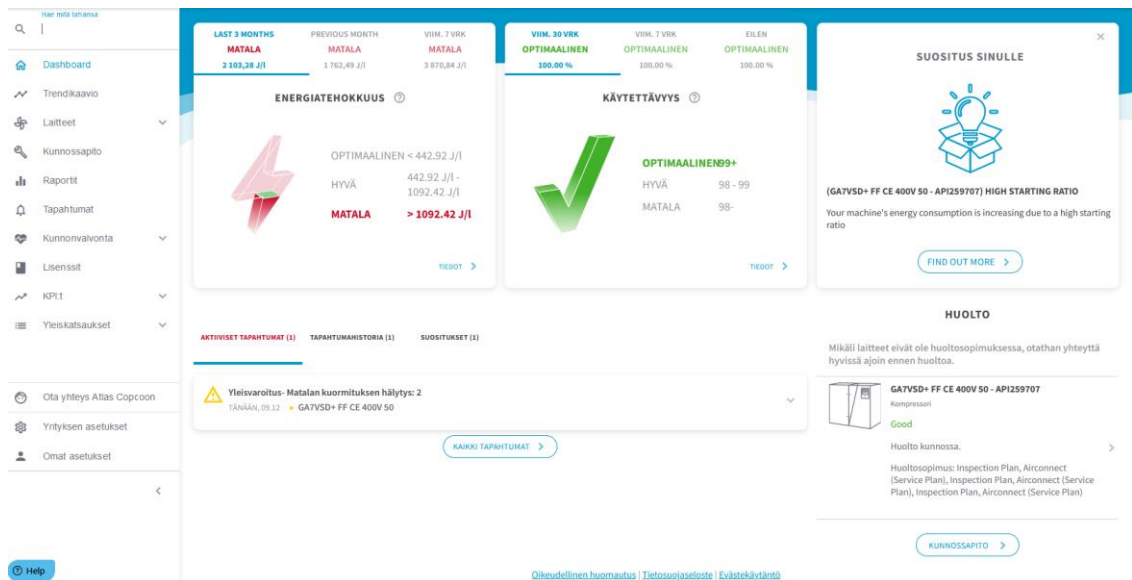
Lämmöntalteenottojärjestelmää suunniteltaessa on kuitenkin huomioitava, ettei paineilmakompressorin tehtävä ei ole tuottaa lämpöä vaan paineilmaa. Siksi lämmön talteenottojärjestelmä ei saa olla ensisijainen jäähdytysjärjestelmä. Tällöin taataan prosessin toimivuus myös lämmitysjärjestelmän poikkeustilanteessa tai kun lämpöä ei välttämättä tarvita, esimerkiksi kesäisin.

5 ATLAS COPCON SMARTLINK

SMARTLINK on Atlas Copcon oma paineilmakompressoreiden valvontaan tarkoitettu seurantasovellus. Sovelluksella pystytään seuraamaan miltei reaaliaikaisesti kompressorin käyntiä, tarkastelemaan huoltohistoriaa ja saamaan ilmoituksia mahdollisista hälytyksistä.

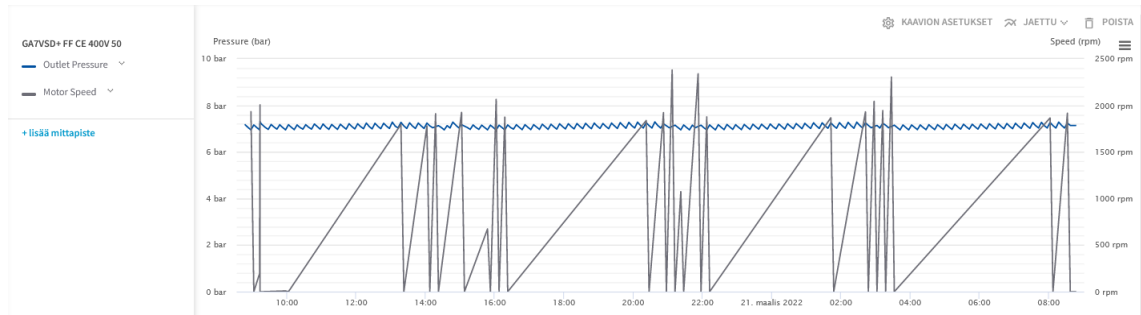
SMARTLINK kerää paineilmalaitteen käyttötietoja ja antaa niistä selkeitä huomioita. Yhdellä vilkaisulla voi esimerkiksi tarkistaa käytettävyyssajan, energiatehokkuuden ja laitteen kunnon (Kuva 15). Etusivulta voi myös etsiä apua ongelmiin

 toiminnon kautta.



Kuva 15 SMARTLINK:n aloitusnäyttö


Sivupaneelista voi tarvittaessa avata lisää informaatiota, esimerkiksi luomalla omia trendikaavioita tai tilaamalla raportin haluttujen mittauspisteiden mittaustiedoista (Kuva 16).



Kuva 16 Trendikaaviot moottorin nopeuden ja paineen muutoksista

Sovellus myös antaa omia suosituksiaan, jos huomaa kompressorin käytössä normaalista poikkeavia tapahtumia, kuten moottorin usein käynnistymisiä (Kuva 17).

SUOSITUS SINULLE



(GA7VSD+ FF CE 400V 50 - API259707) HIGH STARTING RATIO

Smartlink havaitsee koneen käynnistyvän ja pysähtyvän paljon. Tämä aiheuttaa ylimääräistä kulumista joillekin koneen komponenteille ja lisää energiankulutusta. Ota yhteyttä paikalliseen Atlas Copco -palveluun ja selvitä, mitkä toimet voidaan suorittaa asennuksen optimoimiseksi.

[FIND OUT MORE >](#)

Kuva 17 SMARTLINK:n suosituksen esimerkki

Sovellus lähettää myös joka kuukausi huoltoraportin (Kuva 18), josta voi tarkastella kompressorin tilaa, huollontarvetta ja mahdollisia käyttösuosituksia. Myös

mahdollisen huoltosopimuksien ja huollon tarpeen voi tarkastaa parilla klikkauksella. Yleensä huoltosopimukseen kuuluu myös huoltohenkilökunnan saapuminen kohteeseen itsenäisesti, mielellään kuitenkin aiemmin sovittuna ajankohtana.

KUNNOSSAPITO								
LAITTEET								
0 Myöhässä, 0 Erääntyvä, 1 Hyvä								
<input checked="" type="checkbox"/>	NIMI	SARJANUMERO	MALLI	HUOLLON TILA	KÄYTTÖTUNNIT	SEURAAVA HUOLTO	TARVITAAN	HUOLTOSOPIMUKSES:
<input checked="" type="checkbox"/>	GATVSD+ FF CE 400V 50	API259707	GA7VP_13	Hyvä	4 957			Kyllä

Kuva 18 SMARTLINK:n huoltoraportti

Kuukausiraportti pitää sisällään ajankohtaisen yhteenvedon huollon tilasta, suosituksista sekä mahdollisista hälytyksistä (Kuva 19).

Huolto Raportti - Lapin ammattikorkeakoulu

Monthly Service Overview

SERVICE INFORMATION

Number of services due or overdue: **0** BOOK A SERVICE

NIMI:	MALLI	HUOLTO	KÄYTTÖTUNNIT	SEURAAVA SERVICE
GATVSD+ FF CE 400V 50	GA7VP_13	Good	4934	

RECOMMENDATIONS

Number of active recommendations: **1** REVIEW

High starting ratio
2/9/2022 11:09:34 AM - GATVSD+ FF CE 400V 50 - API259707

WARNINGS & SHUTDOWNS

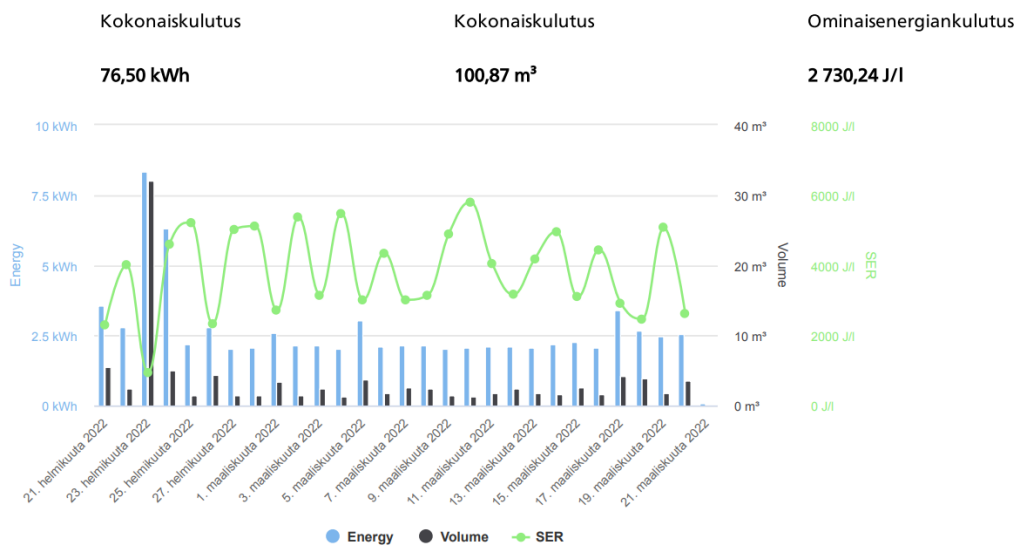
Number of shutdowns and warnings this month: **28** GO TO NOTIFICATION SETTINGS

<input type="checkbox"/> Warning GeneralWarning Compressor API259707	2/28/2022 8:36:05 AM
<input type="checkbox"/> Warning GeneralWarning Compressor API259707	2/27/2022 8:34:05 AM
<input type="checkbox"/> Warning GeneralWarning Compressor API259707	2/26/2022 8:32:05 AM

Kuva 19 SMARTLINKin kuukausiraportti

Sovelluksesta voi myös ladata raportin haluamastaan aiheesta PDF-muodossa. Esimerkkiraportti liitteenä 2. Raportista voi tarkastella esimerkiksi energian kulu- tusta yleisellä tasolla graafisesti tai päiväkohtaisesti taulukkomuodossa. Kuvassa 20 on esitetty pylväinä energia ja tilavuus, sekä käyränä SER eli Specific Energy Requirement. Suomennettuna termi tarkoittaa koneen ominaisenergiantarvetta (Kuva 20).

All machines



Kuva 20 Ladatusta energiaraportista kuukauden kulutuksen yleiskuvaa

Sovelluksen parhaimpana etuna voisin mainita etävalvonnan mahdollisuudet. Varsinkin isoissa teollisuuslaitoksissa, joissa on useampi kompressori, voidaan näitä kaikkia seurata helposti yhtä aikaa. Hälytykset kertovat heti, kun on jotain huomionarvoista tapahtunut. Muistutukset taas pitävä huollot ja käytön optimaalisenä.

Omassa työssäni huomasin etävalvonnan edut ihan konkreettisesti siinä, ettei minun tarvinnut hakeutua paikanpäälle oppilaitokseen seuratakseni kompressorin toimintaa. Tämä säästi minulta käyntikerralle matkoissa aikaa tunnin ja 55 kilometrin ajomatkan.

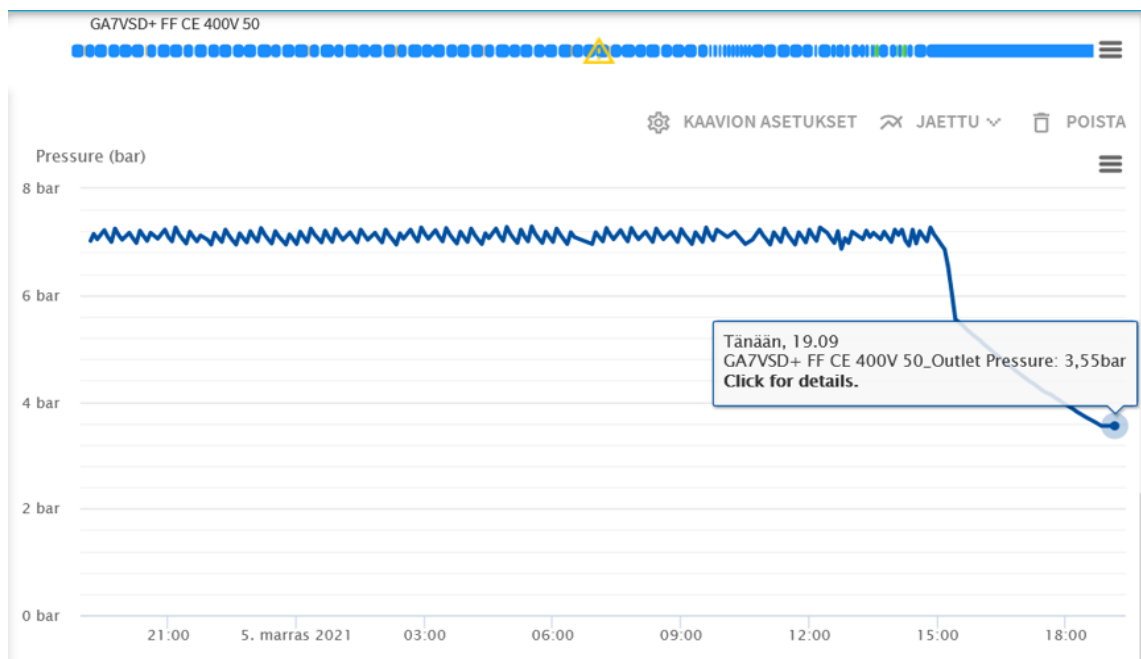
Ainoana huomautuksena voisin mainita, että ohjelman help-toiminto ei ainakaan vielä ymmärrä muuta kieltä kuin englanti. Näin myös silloin, kun oman käyttöliittymän kieli on joku muu. Tämä saattaa aiheuttaa jonkin verran ongelmia teknillistä englantia taitamattomille. Omalla kohdalla asia ilmeni kuvan 19 SER-käyrän merkitystä selvittäessä. Asian selvittämistä ei helpottanut eletroniikkaromun kiertäminen tai lukuisat muut samaa lyhennettä käyttävät tahot. Lopulta sain oikean vastauksen kysymällä sitä suoraan laitevalmistajalta.

6 OPPILAITOKSEN LINJASTON KARTOITUS

Työ suoritettiin, jotta voitiin määrittää paineilmahäviön määrä. Koska paineilmailla on useampi käyttäjä ei sen tuotantoa voitu katkaista hallitsemattomasti. Tämän vuoksi laadittiin suunnitelma, jonka avulla paineilman alasajo suoritettiin hallitusti. (Liite 1) Itse tapahtuma suoritettiin yksinkertaisesti sammuttamalla kompressori ja seuraamalla tilannetta. Tällöin saatiin simuloitua seisakki tilanteen, jolloin paineilmalinjasto on levossa ja kukaan ei kuluta paineilmaa.

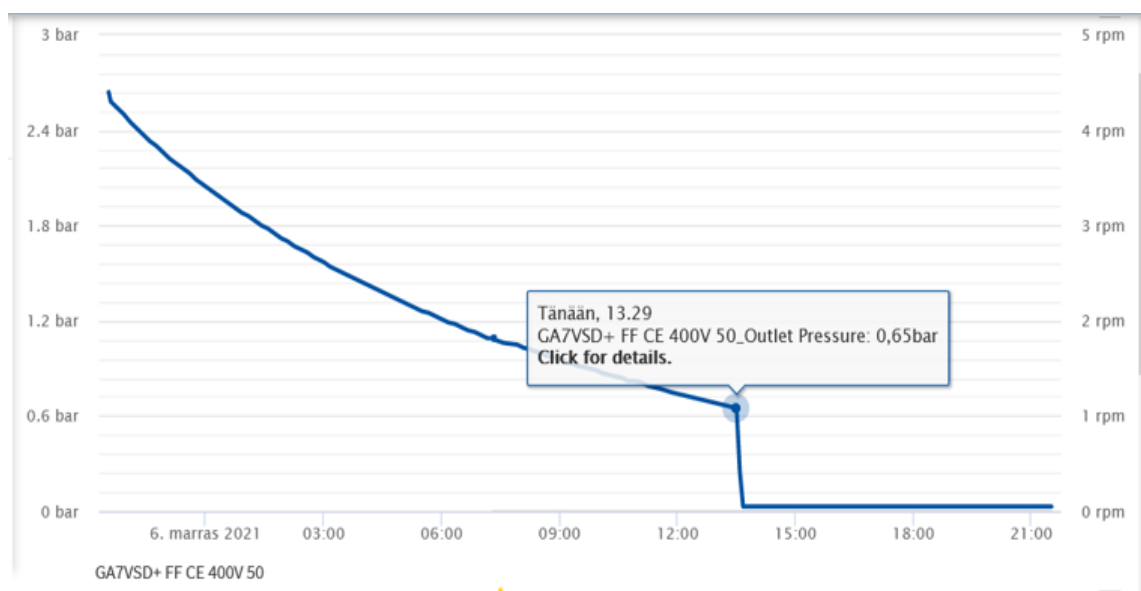
Pysäytys toteutettiin 5-8.11.2021. Ajankohdaksi valittiin viikonloppu, koska tällöin paineilmanverkko saisi olla omillaan useamman päivän. Kokeessa oli mukana koko verkko lukuun ottamatta Kosmos-talossa toimivaa konetekniikan älykästä oppimis- ja kehittämissympäristö Älypajan joitakin osia. Nämä tilat olivat puhtas-tila, hitsaustila sekä projektitila.

Paineen putoamisen seuraamisessa käytettiin suunnitelmasta poiketen hyväksi kompressorin valmistajan omaa SMARTLINK-sovellusta. Muutos tehtiin, jotta pystyttiin seuraamaan ja havainnoimaan paineen katoamista etänä. Myöskään erillisiä mittareita ei tarvinnut asentaa eikä tarvinnut tehdä tarkastuskäyntejä. Tämä muutos myös säästi huomattavasti aikaa ja edestakaista kulkemista (Kuva 21).



Kuva 21 Paineen lasku 5.11 kello 19:10

Etäseurannan käytännöllisyys paljastui siinäkin suhteessa, kun koko linjasto tyhjeni huomattavan nopeasti. Näin siitä jäi selkeä jälki, eikä ajankohtia tarvinnut määrittää laskemalla jälkeenpäin. Ohjelman piirtämältä trendikäyrältä saattoi tarkastaa tarkan ajan tapahtumille. Siitä saatettiin huomata, että koko linjasto säiliöineen oli käytännössä paineeton noin kello 13.35, alle vuorokausi kompressorin pysäyttämisen jälkeen (Kuva 22).



Kuva 22 Paineilmalinjaston tyhjenemisajankohta

7 PAINEILMAN HÄVIÖN SELVITYS

Linjaston tyhjenemisen nopeus antoi aiheita ensimmäiseksi etsiä vuodot. Tätä tukee myös fakta, että kaikki paineilmaverkostot vuotavat. Esimerkiksi konepajateollisuudessa 20–30 %:n vuoto on aivan tavallinen, vaikka alle 5 %:n vuotoa voisi pitää hyväksyttävänä (Motiva.fi 2022). Vuotojen kokonaismäärä on riippuvainen vuotokohtien lukumääristä, mutta myös verkoston paineesta. Esimerkiksi 7 baarin paineessa 1 baarin alennus vähentää vuotojen määrää noin 11 %. (Atlascopco.com 2022b.)

Kiinteä verkosto vuotaa harvoin, joskin poikkeuksen tähän tekee kierreliitokselliset verkostot. Pääsääntöisesti vuodot ovat liittimissä ja kuluttajalaitteiden tiivisteissä. Pahimpia vuotokohteita ovat vanhoissa teollisuuslaitoksissa käytössä olevat kynsilittimet. Näin, koska usein niistä on tiiviste kuoleutunut tai irronnut kokonaan. Myös pikaliittimien tiivistuspintojen väliin jää helposti roskaa ja liittimet alkavat vuotaa. (Motiva.fi 2022.)

7.1 Vuotojen etsintä

Vuotojen etsimisessä käytettiin Ultraprobe 10 000 vuodonilmaisinta. (Kuva 23) Vuodonilmaisimen toiminta oli yksinkertainen. Valmistajan omalta YouTube-kanavalta löytyy noin kolmen minuutin tutorialvideon sen yleisestä käytöstä sekä reilun minuutin videon ilmavuotojen etsimisestä. Näihin tutustumisen jälkeen laitteen käyttö onnistui todella helposti.



Kuva 23 Ultraprobe 10 000 säilytyslaatikossaan

Ainoa hieman aikaa vievä osuus oli laittaa ilmaisimen asetukset ilmavuotojen etsimiseen. Koska samalla laitteella pystyy myös kuuntelemaan paljon muitakin asioita, on asetusten määrittely ennen kuuntelemista tärkeää. Mainittakoon näistä esimerkkinä laakerit, venttiilit tai sähkökeskuksien sisäiset osat, kuten muuntajat tai releet (Kuva 24).



Kuva 24 Ultraproben valikko

Asetuksien säätäminen ei kuitenkaan ollut ylitsepääsemätön opetusvideota ja mukana tullutta ohjekirjaa hyväksi käyttäen. Aikaa meni kokonaisuudessaan vain noin puoli tuntia, mukaan lukien ohjekirjaan tehdyt lisäykset ja suomennokset seuraavan käyttäjän helpottamiseksi.

Itse vuodon etsintä oli yksinkertaista. Laite oli erittäin herkkä ja etsintä suoritettiin kävelemällä keskellä tiloja ja osoittelemalla laitteella linjastoa ja ympäristöä. Samalla kuunnellaan laitteen kuulokkeista mahdollisia vuodon ääniä. Parhaimman tuloksen saa, kun tilat ovat hiljaisia, mutta sitä voidaan käyttää myös käynnissä olevassa tehtaassa. Kun epäilyttävää vuodon ääntä kuului, aloitettiin lähestyminen.

Tarkan paikan löytämiseksi laitteeseen asennettiin kuminen suppilo äänen kohdistumiseksi suoraan edestäpäin. Tällöin voitiin etsiä esimerkiksi kierreltiittimistä tarkka vuotopaikka. Laite osoittautui niin tarkaksi, että sillä voitiin osoittaa mistä kohtaa kierreltiitos vuosi (Kuva 25).



Kuva 25 Vuoto kierreltiimessä seinän puolella

Vuodonetsinnässä huomion vei se, että kaikista löytyneistä vuotokohteista vain yksi oli runkolinjassa. Myöskään viallisia liittimiä ei ollut jo tiedettyjen lisäksi juuri ollenkaan. Vuodot esiintyivät pääsääntöisesti kierreltiimien kierteissä. Oisiko jo asennusvaiheessa kierteisiin jäänyt jonkin verran tilaa ilmalle karata?

Runkolinjassa oleva vuoto oli niin pieni, että sen lopulliseen havaitsemiseen jouduttiin käyttämään saippuavesi menetelmää. Vuotokohta sinänsä oli jo varmaan-kin käyttäjän jo tiedossa, koska kohtaa oli hitsattu aikaisemminkin (Kuva 26).



Kuva 26 Vuoto runkolinjassa. Lopullinen havainnointi tehtiin saippuveden avulla.

Huomionarvoista on myös se, että anturinjalan vuotoa lukuun ottamatta mitään vuotoa ei pystynyt havaitsemaan aistinvaraisesti esimerkiksi tuntemalla kädellä ilmvirtausta tai kuuntelemalla. Vuodot olivat siis hyvin pieniä, mutta niiden yhteisvaikutus on huomattava (Kuva 27).



Kuva 27 Isohko vuoto anturin jalassa

7.2 Kustannukset

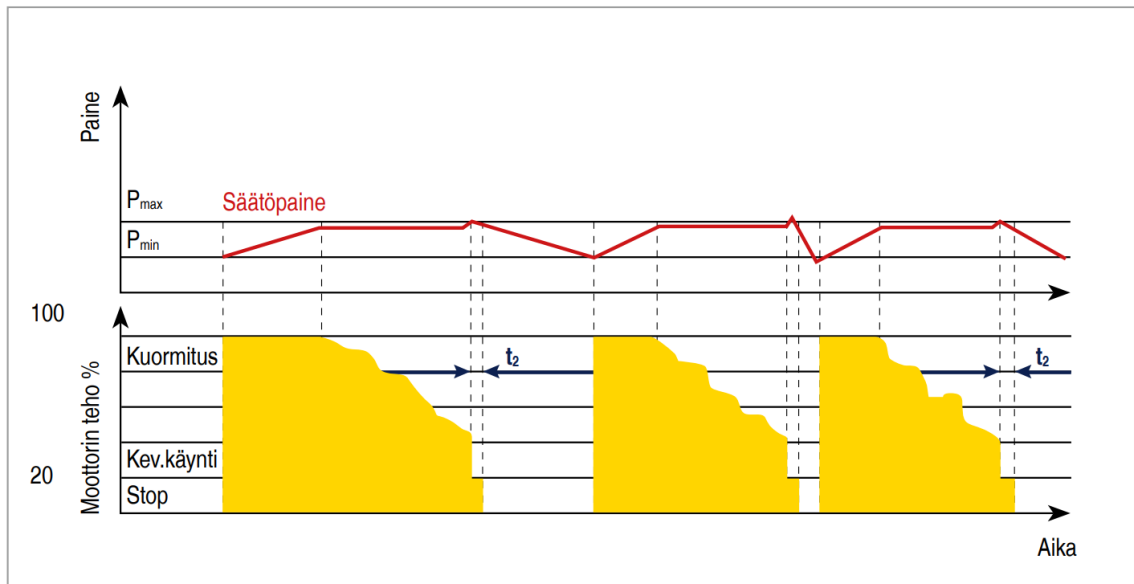
Kompressorivalmistaja Kaeserin sivuilta löytyvää vuotolaskuria käyttäen ja arvioimalla suurin piirtein linjaston tilavuus voitiin karkeasti laskea vuodon kustannukset vuositasolla. Linjaston tilavuudeksi arvioitiin noin 550 litraa, koska siinä on kaksi 250 litran säiliötä ja 50 litraa on arvioitu putkiston osuus. Näin vuotojen arvioiduksi yhteismääräksi saatiin 0,0029 m³/min. Tämä vastaa noin 7,5 mm halkaisijaltaan olevaa reikää. Vuorokausi tasolla tämä tarkoittaa reilun neljän kuution ilmamäärän menettämistä. Rahallisesti, kun energian hintana käytettiin 55 €/MWh, saadaan laskennallisesti vuositasolla reilun tuhannen euron menetys. Pitää kuitenkin huomioida, että oppilaitoksen verkko ei ole kovinkaan kovalla käytöllä, ja SMARTLINKistä ajo tunteja tarkistaessa kokonaisajaksi tuli vain 730 h/365 vrk. Jos taas otetaan laskurissa oletusarvona ollut 8670 h vertailuksi, saadaan rahalliseksi menetykseksi jo lähestulkoon 14000 €. 8670 h on laskennallisesti se aika, jonka kompressori käy koko ajan vuoden ajan 24/7. Näin on esimerkiksi teollisuuslaitoksissa (Kuva 28).

Vuodon määrä	0,08 kg/s	Vuodon määrä	0,08 kg/s
Vuodon määrä	4,14 m ³ /min	Vuodon määrä	4,14 m ³ /min
Hukattu teho	29 kW	Hukattu teho	29 kW
Hukattu energia	21 MWh/a	Hukattu energia	251 MWh/a
Vuodon hinta	1 163 €/a	Vuodon hinta	13 808 €/a

Kuva 28 Samankokoisen vuodon hinta vuositasolla eri käyttötunneilla

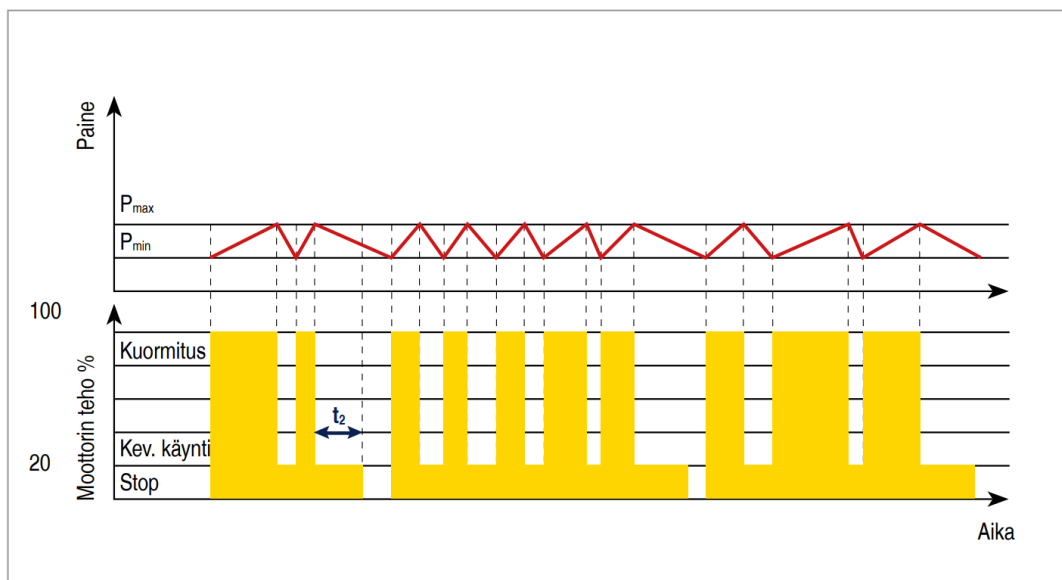
Ero todennäköisesti johtuu siitä, että oppilaitoksen kompressori on taajuusmuuttajaohjattu ja käy tarpeen mukaan.

Taajuusmuuttajaohjattu kompressorikäyttöön käy tarpeen mukaan säätöpaineeseen nähden. Jos on kulutusta, se pitää paineen tasaisena pienemmälläkin kuormituksella. Tarpeen loputtua kone käy hetken kevennettyä käyntiä, jonka jälkeen sammuu. Paineen pudottua alarajalle kone lähtee pyörimään jälleen maksimi kuormituksella. Kevennetty käynti t_2 on huomattavasti lyhyempi kuin kiinteänopeuksisella kompressorilla (Kuvio 1). Käynnistä puhutaan tuoton jatkuvana säätönä moottorin kierrosluvun kautta (Kaeser.com 2022).



Kuvio 1 Taajuusmuuttajalähtöisen kompressorin käynti (Kaeser.com 2022)

Laskurin käyttämä kiinteänopeuksinen kompressori on niin sanottu on-off tyyppinen kompressori. Sellainen käy maksimikuormituksella niin kauan, kun säätöpaineen yläraja on saavutettu ja sitten keventää käyntiä, kunnes sammuu. Kun säätöpaineen alaraja tulee vastaan, käy kompressori taas maksimilla niin kauan, kunnes yläraja saavutetaan. Kevennysaika on pidempi. Kone myös lähtee heti maksimikuormituksella päälle, kun säätöpaineen alaraja saavutetaan (Kuvio 2). Näin käyvän kompressorin käyntiä kutsutaan kuormitus-kevennyskäynti-pysäyttysäänöksi (Kaeser.com 2022.).



Kuvio 2 Suoralla on/off ohjauksella käyvä kompressori (Kaeser.com 2022)

Käyttötunneissa itsessään ei kuitenkaan ole suuria eroja näiden kahden ohjaustekniikan välillä.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Jo havaitut ilmapuodot olisi hyvä saada korjattua. Tämän jälkeen voidaan halutessa tehdä toinen kartoitus sekä etsintäkierros mahdollisuuksien mukaan. Tämä ei kuitenkaan ole välttämätöntä. Olisi kuitenkin hyvä, jos käytäisiin vielä kuuntelemalla linjastot läpi. Tätäkin voidaan helpottaa käymällä pelkät kierreliitokset läpi kaikkialta, koska suurin osa vuodoista oli nimenomaan näissä ja varsinkin venttiileissä sekä ulosotoissa.

Kompressorin käynnin seuranta onnistuu parhaiten seuraamalla kompressorin käyntiä kuormitustuntimittarista (Kaeser.com 2022). Jos kompressori käy tarpeettomasti, on linjastossa edelleen vuotoja.

Käyntitiheyteen pitäisi myös kiinnittää huomiota, koska mitä useammin moottori käy sitä enemmän energiaa se vie. Pitkät ja tasaiset käyntijaksot parantavat energiatehokkuutta ja säästävät myös itse laitetta. Tämän vuoksi suositellaan säätämään yläraja 7,5 baaria.

Vaikka taajuusmuuttajaohjattu kompressori on yksi paineilma-alan energiatehokkaimmista kompressoreista, voivat ne olla väärin käytettynä todellisia energian suurkuluttajia. Säädetävällä kierrosluvulla olevassa kompressorissa hyötysuhde ei ole vakaa koko niiden säätöalueella. Esimerkiksi 90 kW:n moottorissa se alenee 30–100 %:n alueella 94 %:sta 86 %:iin. Moottoreiden hyötysuhde laskee voimakkaasti osatehoilla, joten laitosta ei pitäisi suunnitella siten, että se toimii alle 20 %:n kuormalla (Motiva.fi 2022). Taajuusmuuttajasta johtuva häviö ja kompressorien epälineaariset suoritusominaisuudet on myös huomioitava. Nopeussäädetyt kompressorit ovat kaikkein taloudellisempia 40–70 %:n säätöalueella. Nämä komponentit tulisi mitoittaa 100-prosenttiselle kuormitukselle. (Kaeser.com 2022.)

Olisi myös tärkeää tarkistaa koko paineilmajärjestelmän suunnittelu. Nyt oppilaitoksessa tilanne on todennäköisesti se, että vanhaan järjestelmään on vain tehty suuria muutoksia ja kukaan ei ole ajatellut kokonaiskuvaa.

Energiansäästöjä saadaan aikaan valitsemalla käyttöön oikea puristus-, kuivaus- ja suodatustekniikka, sekä keskusohjauksen hyödyntäminen. Energiankulutusta

voidaan vähentää muun muassa tyhjäkäynnin, painehäviöiden ja käyttöpaineiden minimoinnilla. (Atlascopco.com 2022b.)

Yleisen energiatehokkuuden parantamiseksi olisi syytä miettiä, kuinka voisi järjestää kyseisessä paineilmalaitteistossa lämmöntalteenottoa. Kyseessä on oppilaitos ja tällöin ei lämmöntuotannon määrällä pitäisi olla niin suurta merkitystä, vaan enemmänkin painopiste sijoittuu opetukselliseen ympäristöön. Itse tilassa ei niinkään ole ongelmaa, mutta pedagogisesta näkökulmasta katsoen olisi suotavaa, että asiaa olisi helppo esitellä myös käytännössä. Kompressorihuoneessa on jo valmis reikä seinässä, joka on tällä hetkellä tukittu. Tähän asentamalla poistoilmahuuhtaimen ja riittävän raikkaan korvausilman saamisen varmistamalla saadaan jo aikaan toimiva esimerkki.

Huollon merkitystä ei voi jättää huomiotta. Tämä koskee niin itse kompressoria ja myös linjastoa. Kompressorin osalta laitevalmistajan kanssa sovittu huoltosopimus tekee asiasta vaivatonta, mutta linjaston osalta käyttäjällä on isompi vastuu. Ainakin tiedossa olevat vuodot olisi syytä ottaa heti kiinni. Samoin linjastossa olevien kulutuslaitteiden kunto olisi syytä tarkistaa aika ajoin.

9 POHDINTA

Opinnäytetyön toteuttaminen oli mielenkiintoista, koska en ole aikaisemmin perehtynyt paineilmajärjestelmiin muuten kuin loppukäyttäjänä. Tekeminen ja tutkiminen kartutti tietämystäni niin, että tulevaisuudessa aina mahdollisesti paineilmajärjestelmien kanssa työskennellessä tulen miettimään asiaa laajemmin. Näin varsinkin, jos työskentelen kiinteistössä, johon on rakennettu kiinteä paineilma-verkosto.

Nykyisin energiatehokkuus on niin suuressa merkityksessä, ettei paineilmajärjestelmiä voida ohittaa enää vain pintatarkastuksella. Asiaa tulee tarkastella laajemmin ja havaitut puutteet pitää pyrkiä korjaamaan välittömästi. Suunnittelun merkitys korostuu varsinkin uudisrakentamisessa ja saneerauskohteissa. Vanhaakaan järjestelmää ei tulisi jättää uudelleen suunnittelematta, varsinkaan jos sitä tullaan käyttämään enemmän kuin aikaisemmin tai jos muutoksia on aikojen saatossa tehty huomattavasti.

Lämmön talteenottoon olisi myös hyvä kiinnittää enemmän huomiota, koska erittäin pienellä investoinnilla voidaan saada aikaan hyviä tuloksia. Kaikki toimet ei ehkä säästä tuhansia vuodessa, mutta esimerkiksi hukkalämmön ohjaamisen oikeaan paikkaan olisi järkevää. Samoin kuin raittiin ilman ohjaaminen itse kompressorille.

Suuren energiahukan ja mahdollisten säästöjenkin takia olisi paineilmajärjestelmiin syytä kiinnittää huomattavasti enemmän huomiota, kuin mitä nykyään on nähty tarpeelliseksi. Loppukäyttäjä voi saavuttaa suuriakin säästöjä vuositasolla ihan yksinkertaisilla ja pienillä muutoksilla. Kuitenkin on muistettava, että paineilmajärjestelmän suurimmat kustannukset syntyvät käytön aikana.

LÄHTEET

Amp.fi 2022. Pneumatiikka. Viitattu 24.1.2022. <https://amp.fi.погода-синоптик.pp.ua/88736/1/pneumatiikka.html>

Atlascopco.com 2022a. Kompressorien energiantalteenottojärjestelmät. Viitattu 23.3.2022. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/products/energy-recovery>

Atlascopco.com 2022b. Paineilman energiatehokkuus. Viitattu 18.3.2022 <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/paineilman-perusteet/paineilma-laitteisto-energiatehokkuus>

Compressor.fi 2022. Tamrotor kompressorit oy. Viitattu 25.2.2022 https://www.compressor.fi/media/EsitePDF/Paineilmajarjestelmien_suunnitelu.pdf

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

Fi.ilovevaquero.com 2022. Ruuvikompressori: toimintaperiaate, korjaus. Viitattu 25.3.2022. <https://fi.ilovevaquero.com/domashniy-uyut/15252-vintovoy-kompressor-princip-raboty-remont.html>

Fonselius J., Hautanen J., Mutikainen T., Pekkola K., Salmijärvi O & Simpura A. 1997. Koneautomaatio pneumatiikka. 8., uudistettu painos. Helsinki: OY Edita AB

Greelane.com 2022. Opi pneumaattisten putkien historia. Viitattu 22.3.2022 <https://www.greelane.com/fi/humanistiset-tieteet/historia-ja-kulttuuri/about-pneumatic-tools-1992325/>

Kaeser.com 2022. Paineilmatekniikka. Viitattu 12.3.2022. <https://fi.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:24-5981>

Keinänen T.& Kärkkäinen P, P. 2005, Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. Porvoo: WSOY.

Lapin AMK 2021a. Esittely. Viitattu 4.5.2021 <https://www.lapinamk.fi/fi/Esittely>

Lapin AMK 2021b. Tunnuslukuja. Viitattu 4.5.2021 <https://www.lapinamk.fi/fi/Esittely/Tunnuslukuja>

Lapin AMK 2021c. Älypaja. Viitattu 4.11.2021 <https://www.lapinamk.fi/fi/Yrityksille-ja-yhteisoille/Kehittamisymparistot/Älypaja>

Lapin AMK 2022b. Avoimet AMK opinnot. Viitattu 6.4.2022 <https://www.lapinamk.fi/fi/Hakijalle/Avoin-AMK>

Lapin AMK 2022a. YAMK-tutkinnot. Viitattu 6.4.2022 <https://www.lapinamk.fi/fi/Hakijalle/YAMK-tutkinnot>

LUC 2021. Esittely. Viitattu 4.5.2022 <https://www.luc.fi/fi/LUC/Esittely>

Magnetimarelli parts and services.com 2022. New Air Suspension range. Viitattu 24.3.2022 <https://www.magnetimarelli-parts-and-services.com/news/2021/news/new-air-suspension-range-for-cars.html>

Mc-castengineering.com 2022. Why there is water in my aircompressor. Viitattu 22.3.2022. <https://mc-castengineering.com/reports-blog-en/2019/11/27/why-is-there-water-in-my-air-compressor>

Messynessychic.com 2022. A Love Letter to the Lost World of the Parisian Pneumatic Post. Viitattu 22.3.2022. <https://www.messynessychic.com/2021/02/05/a-love-letter-to-the-lost-world-of-the-parisian-pneumatic-post/>

Motiva.fi 2022. Energiakatselmoijan käsikirja. Viitattu 23.3.2022. <https://www.motiva.fi/files/1720/kat-energiakatselmoijan-kasikirja-osa-3-2-A.pdf>

Pipingengineer.org 2022. Reciprocating Compressors Introduction. Viitattu 25.3.2022. <https://www.pipingengineer.org/reciprocating-compressors-introduction/>

Salhydro.fi 2022. Pneumatiikan perusteita. Viitattu 24.3.2022. <https://www.salhydro.fi/files/PDF/9.pneumatiikan-perusteita.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Paineilmajärjestelmän tarkastussuunnitelma

Liite 2. Ladattu energiaraportti

Liite 1 1(1)

Paineilmajärjestelmän tarkastussuunnitelma

Simuloitu seisakki tilanne

Tarkoitus

Tarkoituksena on saada kuva paineilmajärjestelmän tilasta vuotojen osalta. Mikäli massiivista ulosvuotoa tapahtuu, aloitetaan tarkempi tutkimus, missä näin tapahtuu.

Toteutus

Toteutetaan yksinkertaisesti sulkemalla kompressori ja seuraamalla tilannetta. Paine jätetään linjastoon. Entiseen vesilabraan menevää linjaa ei suljeta, vaan annetaan myös sen osaston vaikuttaa mittaukseen.

Ajankohta päätetään aikaisemmin sellaiseksi, ettei muulle toiminnalle aiheudu häiriötä.

Etukäteen mitataan järjestelmän päätymaisistä pisteistä paineet ja verrataan niitä kompressorin viereisten pisteiden vastaaviin. Tämä olisi hyvä suorittaa yhdellä ja samalla mittarilla. Mittaus suoritetaan vielä kompressorin käydessä.

Jos mahdollista, jätetään mittareita paikoilleen mittauspisteisiin, jottei painetaso pääse heilahtelemaan liittimiä irrottaessa. Tällöin tulee varmistaa, ettei mittarista itsessään tule uutta vuotoa.

Mittausta tulisi jatkaa mahdollisimman pitkä aika, mutta kuitenkin vähintään ainakin kolme ja enintään seitsemän päivää.



Liite 2 2(13)

SMARTLINK**Custom Report****ABOUT THIS REPORT (READ THIS FIRST)**

This is a custom report. In order to edit the settings or generate a new report, go to <https://www.smartlink.atlascopco.com/reports>.

In case you wish to skip through to a particular section, you can click on any of the links in the table of contents. In order to go back to the table of contents, click on the arrow on the top right.

SMARTLINK

Custom Report

TABLE OF CONTENTS

[ABOUT THIS REPORT \(READ THIS FIRST\)](#)

[GENERAL INFORMATION](#)

[CONNECTED MACHINES](#)

[CONTRACTS](#)

[LICENSES](#)

[KUNNOSSAPITO](#)

[ENERGY - OVERVIEW](#)

[ENERGY - EVOLUTION](#)

[ENERGY - SAVINGS](#)

Liite 2 4(13)

SMARTLINK

Custom Report



GENERAL INFORMATION

CONNECTED MACHINES

This section gives a quick summary of your compressed air equipment. Machines are considered connected when equipped with a communication device that sends information to the SMARTLINK cloud (at least once within the last 30 days). Machines that are not connected, are either not equipped to upload data or the communication device is malfunctioning.

MACHINE	MODEL	CONNECTIVITY STATE	CONNECTED RATE
GA7VSD+ FF CE 400V 50	GA7VP_13	Connected	100.00 %

CONTRACTS

MACHINE	MODEL	CONTRACT	EXPIRATION DATE
GA7VSD+ FF CE 400V 50	GA7VP_13	Airconnect (Service Plan)	21.9.2025

Liite 2 5(13)

SMARTLINK

Custom Report



LICENSES

KONE	MALLI	LISENSSITYYPPI	VANHENTUMISPÄIVÄ
GA7VSD+ FF CE 400V 50	GA7VP_13	SMARTLINK: Energy	21.9.2025
GA7VSD+ FF CE 400V 50	GA7VP_13	SMARTLINK: Energy	21.9.2025

KUNNOSSAPITO

NIMI	HUOLLON TILA	KÄYTTÖTUNNIT	SEURAAVA HUOLTO	TARVITAAN:
GA7VSD+ FF CE 400V 50	Good"	4967		

Liite 2 6(13)

SMARTLINK

Custom Report

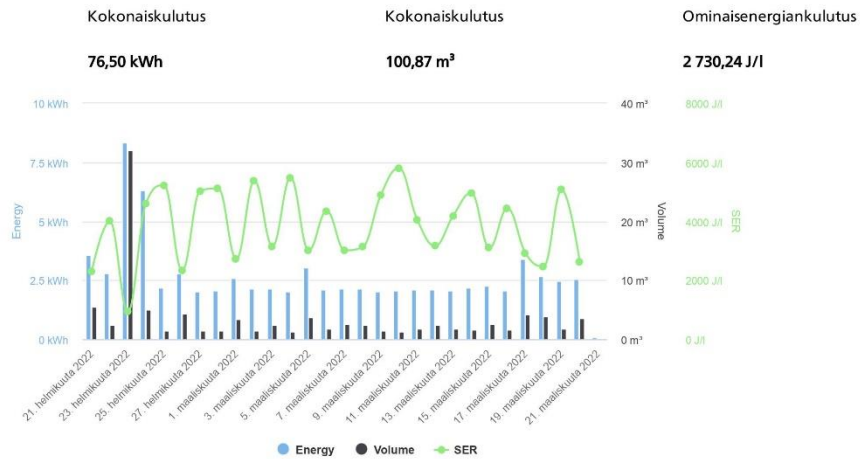


ENERGY - OVERVIEW

This overview consists of different sections. Each section provides clear insights that help you understand the trends in your energy consumption. The sections include energy savings, energy evolution, and central control. For a more detailed overview, visit <https://SMARTLINK.atlascopco.com/kpi/energy-overview>

AIRNET: OTHER

All machines



Laitteet

NIMI	SARJANUMERO	MALLI	KULUTUS	KUORMITUSENERGIA	KEVENNYSENERGIA	KOKONAISKULUTUS
Yhteensä			100,87 m³	76,50 kWh	0,00 kWh	76,50 kWh
GA7VSD+ FF CE 400V 50	API259707	GA7VP_13	100,87 m³	76,50 kWh	0,00 kWh	76,50 kWh

Jakson yleiskatsaus

PÄIVÄMÄÄRÄ	KOKONAISKULUTUS	KOKONAISKULUTUS	SER
21.2.2022	3,56 kWh	5,56 m³	2 305,03 J/l

Liite 2 7(13)

PÄIVÄMÄÄRÄ	KOKONAISKULUTUS	KOKONAISKULUTUS	SER
22.2.2022	2,79 kWh	2,51 m ³	4 001,59 J/l
23.2.2022	8,34 kWh	32,01 m ³	937,96 J/l
24.2.2022	6,33 kWh	4,94 m ³	4 612,95 J/l
25.2.2022	2,19 kWh	1,51 m ³	5 221,19 J/l
26.2.2022	2,78 kWh	4,30 m ³	2 327,44 J/l
27.2.2022	2,04 kWh	1,46 m ³	5 030,13 J/l
28.2.2022	2,06 kWh	1,45 m ³	5 114,48 J/l
1.3.2022	2,58 kWh	3,42 m ³	2 715,79 J/l
2.3.2022	2,15 kWh	1,44 m ³	5 375,00 J/l
3.3.2022	2,13 kWh	2,43 m ³	3 155,55 J/l
4.3.2022	2,01 kWh	1,32 m ³	5 481,81 J/l
5.3.2022	3,05 kWh	3,65 m ³	3 008,22 J/l
6.3.2022	2,09 kWh	1,73 m ³	4 349,13 J/l
7.3.2022	2,16 kWh	2,58 m ³	3 013,95 J/l
8.3.2022	2,16 kWh	2,48 m ³	3 135,48 J/l
9.3.2022	2,03 kWh	1,49 m ³	4 904,69 J/l
10.3.2022	2,08 kWh	1,29 m ³	5 804,65 J/l
11.3.2022	2,10 kWh	1,86 m ³	4 064,51 J/l
12.3.2022	2,11 kWh	2,40 m ³	3 165,00 J/l
13.3.2022	2,05 kWh	1,76 m ³	4 193,18 J/l
14.3.2022	2,19 kWh	1,59 m ³	4 958,49 J/l

Liite 2 8(13)

PÄIVÄMÄÄRÄ	KOKONAISKULUTUS	KOKONAISKULUTUS	SER
15.3.2022	2,28 kWh	2,65 m ³	3 097,36 J/l
16.3.2022	2,06 kWh	1,67 m ³	4 440,71 J/l
17.3.2022	3,42 kWh	4,22 m ³	2 917,53 J/l
18.3.2022	2,66 kWh	3,88 m ³	2 468,04 J/l
19.3.2022	2,45 kWh	1,74 m ³	5 068,96 J/l
20.3.2022	2,57 kWh	3,54 m ³	2 613,56 J/l
21.3.2022	0,07 kWh	0,00 m ³	0,00 J/l

Liite 2 9(13)

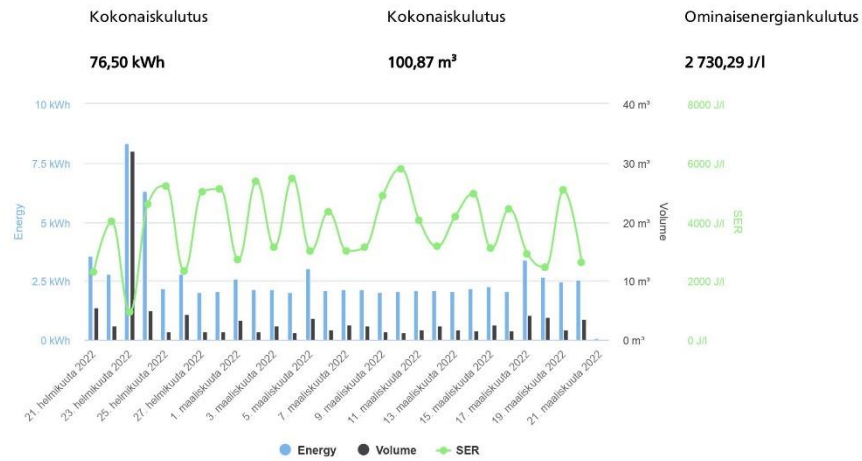
SMARTLINK

Custom Report



ENERGY - OVERVIEW

GA7VSD+ FF CE 400V.50



Jakson yleiskatsaus

PÄIVÄMÄÄRÄ	KOKONAISKULUTUS	KOKONAISKULUTUS	SER
21.2.2022	3,56 kWh	5,56 m ³	2 305,03 J/l
22.2.2022	2,79 kWh	2,51 m ³	4 001,59 J/l
23.2.2022	8,34 kWh	32,01 m ³	937,96 J/l
24.2.2022	6,33 kWh	4,94 m ³	4 612,95 J/l
25.2.2022	2,19 kWh	1,51 m ³	5 221,19 J/l
26.2.2022	2,78 kWh	4,30 m ³	2 327,44 J/l
27.2.2022	2,04 kWh	1,46 m ³	5 030,13 J/l
28.2.2022	2,06 kWh	1,45 m ³	5 114,48 J/l

Liite 2 10(13)

PÄIVÄMÄÄRÄ	KOKONAISKULUTUS	KOKONAISKULUTUS	SER
1.3.2022	2,58 kWh	3,42 m ³	2 715,79 J/l
2.3.2022	2,15 kWh	1,44 m ³	5 375,00 J/l
3.3.2022	2,13 kWh	2,43 m ³	3 155,55 J/l
4.3.2022	2,01 kWh	1,32 m ³	5 481,81 J/l
5.3.2022	3,05 kWh	3,65 m ³	3 008,22 J/l
6.3.2022	2,09 kWh	1,73 m ³	4 349,13 J/l
7.3.2022	2,16 kWh	2,58 m ³	3 013,95 J/l
8.3.2022	2,16 kWh	2,48 m ³	3 135,48 J/l
9.3.2022	2,03 kWh	1,49 m ³	4 904,69 J/l
10.3.2022	2,08 kWh	1,29 m ³	5 804,65 J/l
11.3.2022	2,10 kWh	1,86 m ³	4 064,51 J/l
12.3.2022	2,11 kWh	2,40 m ³	3 165,00 J/l
13.3.2022	2,05 kWh	1,76 m ³	4 193,18 J/l
14.3.2022	2,19 kWh	1,59 m ³	4 958,49 J/l
15.3.2022	2,28 kWh	2,65 m ³	3 097,36 J/l
16.3.2022	2,06 kWh	1,67 m ³	4 440,71 J/l
17.3.2022	3,42 kWh	4,22 m ³	2 917,53 J/l
18.3.2022	2,66 kWh	3,88 m ³	2 468,04 J/l
19.3.2022	2,45 kWh	1,74 m ³	5 068,96 J/l
20.3.2022	2,57 kWh	3,54 m ³	2 613,56 J/l
21.3.2022	0,07 kWh	0,00 m ³	0,00 J/l

Liite 2 11(13)

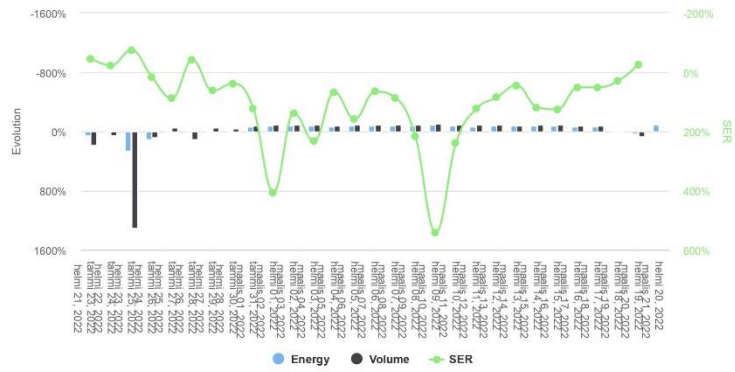
SMARTLINK

Custom Report



ENERGY - EVOLUTION

GA7VSD+ FF CE 400V 50



Liite 2 12(13)

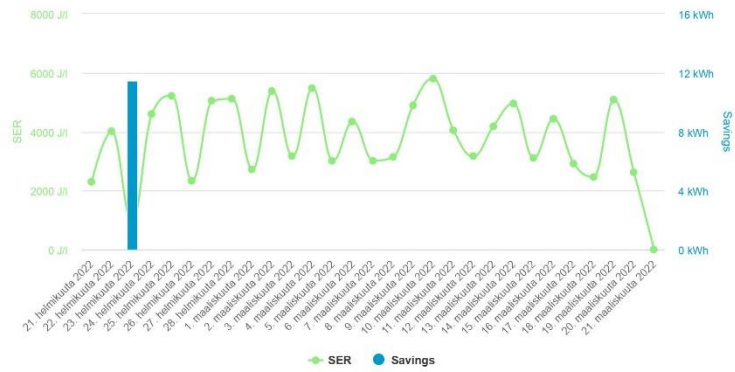
SMARTLINK

Custom Report



ENERGY - SAVINGS

GA7VSD+ FF CE 400V 50



	Energy saved 0,00 kWh	Reduction CO2 0,00 kg	Savings 0,00 EUR	Benchmark SER 2 226,61 J/l	Benchmark period 14.2.2022 - 14.3.2022
	ENERGY SAVED (21.2.2022 - 21.3.2022)		SAVINGS (21.2.2022 - 21.3.2022)	ENERGY SAVED (FROM 14.2.2022)	SAVINGS (FROM 14.2.2022)
SER	2 730,29 J/l			2 612,03 J/l	
Compressed Air	0,00 kWh		0,00 EUR	0,00 kWh	0,00 EUR
Energy Recovery	0,00 kWh		0,00 EUR	0,00 kWh	0,00 EUR
Total	0,00 kWh		0,00 EUR	0,00 kWh	0,00 EUR

Liite 2 13(13)

