



Jani Miettinen

# Ennakoivan kunnossapito-ohjelman rakentaminen teollisuusympäris- tössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tutkinto-ohjelman nimi

Insinöörityö

15.5.2025

# Tiivistelmä

Tekijä:	Jani Miettinen
Otsikko:	Ennakoivan kunnossapito-ohjelman rakentaminen teollisuusympäristössä
Sivumäärä:	24 sivua + 1 liite
Aika:	15.5.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Automaatiotekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Kristian Junno Yksikön päällikkö Tuomas Vahteristo

---

Tässä insinööriyön kehittämisprosessissa tuotettiin ennakoiva kunnossapitosuunnitelma teollisuusympäristössä toimivalle ilmanvaihtojärjestelmälle. Työ toteutettiin yhteistyössä Quant Finland Oy:n kanssa, ja sen kohteena oli asiakkaan käytössä oleva ilmanvaihtojärjestelmä, joka koostuu kahdesta erillisestä koneikosta. Insinööriyössä hyödynnettiin luotettavuuskeskeisen kunnossapidon (RCM) periaatteita ja standardeja, kuten SFS-EN 13306 ja PSK 6201.

Insinööriyö eteni kunnossapidon ja kunnonvalvonnan teoreettisen osuuden kautta järjestelmän nykytilan kartoitukseen, kriittisyysanalyysiin ja lopulta konkreettisen kunnossapitosuunnitelman laatimiseen. PSK 6800 -standardin mukaista kriittisyysindeksin laskentaa sovellettiin keskeisten komponenttien, kuten moottoreiden ja suodatin-kammioiden, arviointiin. Kriittisyysanalyysin perusteella havaittiin järjestelmän moottorit, järjestelmän ainoana ajettavana osana, kriittisimmiksi kunnossapidon kohteiksi.

Insinööriyön tuloksena kehitettiin systemaattinen kunnossapitosuunnitelma, joka sisältää määritellyt huoltotoimenpiteet, huoltojen aikataulun ja järjestelmän mittausdatan hyödyntämisen osien elinkaaren pidentämiseksi. Suunnitelmassa korostettiin erityisesti säännöllisten mittausten ja aistinvaraisten tarkastusten merkitystä huoltojen yhteydessä tarpeettomien aikaa syövien toimenpiteiden sijasta ja huoltojen dokumentoinnin merkitystä jatkuvan kunnossapidon kehityksen osana.

Tämän insinööriyön kehittämisprosessin aikana Quant Finlandin asiakasyrityksen ilmanvaihtojärjestelmän kunnossapitotoimenpiteet ja järjestelmän analysointi laajeni ja selkeytyi. Tässä kehittämisprosessissa hyödynnettiin kunnossapitoon liittyvää mittausdataa, eikä sen hyödyntäminen olisi noussut yhtä keskeiseen asemaan kunnossapidon suunnittelussa. Insinööriyö osoitti, kuinka tärkeää on yhdistää käytännön kunnossapidon kenttäkokemus teoreettisiin menetelmiin kunnossapidon kehittämisessä.

Tulevaisuudessa tutkimusta voitaisiin laajentaa esimerkiksi kunnossapidon vaikuttavuuden arviointiin, kohteen eri mittausmenetelmien vertailuun tai ilmanvaihtojärjestelmän vika-analyysiin. Tämän työn pohjalta syntynyttä kunnossapitosuunnitelmaa voidaan hyödyntää suoraan asiakkaan toiminnassa ja soveltaa myös muihin vastaaviin laitekokonaisuuksiin teollisuusympäristöissä.

Avainsanat:

Kunnossapito, SFS, PSK, standardi, RCM

## Abstract

Author: Jani Miettinen  
Title: Building Proactive Maintenance Program in Industrial Environment  
Number of Pages: 24 pages + 1 Appendix  
Date: 15 May 2025

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Automation Engineering  
Supervisors: Kristian Junno, Lecturer  
Tuomas Vahteristo, Site Manager

---

In this thesis development process, a preventive maintenance program was developed for an industrial ventilation system in an industrial environment. The work was carried out in cooperation with Quant Finland Oy and focused on the customer's system consisting of two separate units. Thesis utilizes principles of Reliability-Centered Maintenance (RCM), along with relevant standards such as SFS-EN 13306 and PSK 6201.

Thesis progressed from the theoretical part of maintenance and condition monitoring to an assessment of the system's current state, a criticality analysis, and finally the creation of a concrete maintenance plan. The criticality index calculation, based on the PSK 6800 standard, was applied to evaluate key components such as motors and filter chambers. With criticality analysis the motors of the system, as the system's only driven part, were identified as the most critical parts of the system.

The result of the thesis was a systematic maintenance plan that includes defined maintenance procedures, maintenance scheduling, and the utilization of system measurement data to extend the life cycle of the parts. The plan emphasized the importance of regular measurements and sensory inspections during maintenance to avoid unnecessary and time-consuming actions, while also highlighting the role of thorough documentation as a key element in the continuous development of maintenance.

During the development process of this thesis, the maintenance measures and system analysis of Quant Finland's customer's ventilation system were expanded and clarified. The process also emphasized the use of maintenance-related measurement data, which would not have become such a central part of maintenance planning without this work. The thesis demonstrated the importance of combining practical field experience with theoretical methods in the development of maintenance operations.

Future research could be extended to include, for example, the evaluation of the effectiveness of maintenance activities, the comparison of different measurement methods used in the system, or the failure analysis of the ventilation system. The maintenance plan developed as part of this thesis can be directly applied to the

customer's operations and adapted for other similar equipment systems in industrial environments.

Keywords: Maintenance, SFS, PSK, standard, RCM

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Quant Finland Oy yrityksenä	1
1.2	Vastuullisuus, turvallisuus ja laatu osana Quantin toimintaa	2
2	Kunnossapito teollisuudessa	3
2.1	Kunnossapito yleisesti	3
2.2	Kunnossapidon merkitys teollisuudessa	4
2.3	Kunnossapidon määritelmät ja lajit	5
2.3.1	Kunnossapito SFS-standardin mukaan	6
2.3.2	Kunnossapito PSK-standardin mukaan	7
3	Kunnonvalvonta teollisuudessa	10
3.1	Kunnonvalvonnan merkitys RCM:ssä	11
3.2	Kunnonvalvonnan integrointi kunnossapitostrategiaan	11
4	Ilmanvaihtojärjestelmän nykytila	12
4.1	Ilmanvaihtojärjestelmän yleiskuvaus	12
4.2	Ilmanvaihtojärjestelmän nykytilan arviointi	14
4.3	Laitteiston kriittisyysanalyysi	15
4.3.1	Kriittisten komponenttien tunnistaminen	16
4.3.2	Ilmanvaihtojärjestelmän kriittisyysanalyysi	17
5	Ilmanvaihtojärjestelmän kunnossapitosuunnitelman laatiminen	17
5.1	Ilmanvaihtojärjestelmän uuden puolen keskipainepuhallin	17
5.2	Ilmanvaihtojärjestelmän vanhan puolen aksiaalipuhaltimet	19
5.3	Ilmanvaihtojärjestelmän suodatinkammiot	20
5.4	Kunnossapitosuunnitelman käytännön kehittäminen	21
5.5	Huoltojen oheinen dokumentointi ja jatkuva kehitys	21
6	Yhteenveto	21
	Lähteet	23

## Liitteet

Liite 1: Ilmavaihtojärjestelmän huoltosuunnitelma

## Lyhenteet

- RCM: Reliability-Centered Maintenance. Luotettavuuskeskeinen kunnossapito
- ISO: International Organization of Standardization. Kansainvälinen standardoimisjärjestö.
- IoT: Internet of Things. Asioiden internet, kollektiivinen verkko useammalle laitteelle, jossa laitteet kommunikoivat keskenään.
- SFS: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry on suomalainen standardisointiorganisaatio, joka vahvistaa ja julkaisee kansallisia ja kansainvälisiä standardeja Suomessa.
- PSK: Prosessiteollisuuden Standardoimiskeskus ry on suomalainen standardisointiyhdistys, joka kehittää ja julkaisee erityisesti prosessiteollisuuden käyttöön tarkoitettuja teknisiä standardeja ja ohjeita.

# 1 Johdanto

Kunnossapidon merkitys teollisuusympäristössä korostuu jatkuvasti kiristyvän kilpailun ja vaatimusten myötä. Laitteiden toimintavarmuuden tärkeys tuotannossa on tärkeää, sillä vikatilanteet voivat aiheuttaa merkittäviä tuotantokatkoksia ja niiden kautta odottamattomia lisäkustannuksia. Tämän takia kunnossapidon strateginen suunnittelu ja kehittäminen ovat keskeisiä yrityksen toiminnassa.

Tässä insinööriyössä keskitytään luotettavuuskeskeiseen kunnossapitoon (RCM) ja sen soveltamiseen käytännössä. Insinööriyön kehittämisprosessissa laaditaan kunnossapitosuunnitelma asiakkaan testausyksikön ilmanvaihtojärjestelmälle, joka on kriittinen osa asiakkaan tuotteiden testausprosessia. Työ toteutetaan yhteistyössä Quant Finland Oy:n kanssa, joka on johtava kunnossapidon palveluntarjoaja teollisuudelle.

Tässä insinööriyössä sovelletaan RCM-menetelmän periaatteita, joiden avulla analysoidaan ilmavaihtojärjestelmän nykytilaa ja tunnistetaan siihen liittyvät kriittiset vikatilanteet. Kehittämistyön tuloksena saadaan suunnitelma, jonka avulla pyritään parantamaan kohteen ilmanvaihtojärjestelmän luotettavuutta, vähentämään tuotantokatkoksia ja optimoimaan huoltokustannuksia.

## 1.1 Quant Finland Oy yrityksenä

Quant Oy on maailmanlaajuinen teollisuuden kunnossapidon palveluntarjoaja, joka on erikoistunut teollisuuslaitosten kunnossapidon ulkoistamiseen ja kehittämiseen. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Ruotsissa, Tukholmassa, ja sillä on yli 35 vuoden kokemus alalta. Quant ylläpitää ja parantaa turvallisuutta sekä tuotannon tehokkuutta yli 400 toimipaikassa ympäri maailmaa. (Quant Finland Oy.)

Quantin toiminnan visio on "Smart services for a sustainable world" – Älykkäät palvelut kestäväää maailmaa varten, jolla kuvataan palveluja, jotka toimitetaan

turvallisesti, tehokkaasti ja aina ajallaan. Yrityksen jatkuvana missiona on laitteiden käynnissä pitäminen älykkäiden ja suorituskykyä parantavien palvelujen avulla, turvallisella ja kestäväällä tavalla. Vision ja mission ohella Quantin arvot pyritään pitämään esillä työelämässä. Quant on intohimoinen turvallisuuteen, vastuullisuuteen ja luotettavuuteen. Quant on ammattitaitoinen toimittamalla älykkäitä palveluja ja innovatiivisia ratkaisuja. Quant on ylpeä kumppanuudesta asiakkaidensa kanssa yhteisen menestyksen saavuttamiseksi. (Quant Finland Oy.)

Quant liittää vastuullisuuden kaikkiin toimintoihinsa, mukaan lukien palvelujen suunnittelun, asiakastarjouksiin, yhteistyöhön toimittajien kanssa, riskien ja mahdollisuuksien arviointiin sekä toimintaan yhteisöissä ja työyhteisöissä. Suomessa Quant on sertifioitu ISO 9001, ISO 14001 sekä ISO 45001 -standardien mukaisesti ja on sitoutunut tuottamaan palvelunsa vastuullisesti ja turvallisesti, pyrkii estämään vahingot työntekijöille, alihankkijoille, asiakkaille, paikallisille yhteisöille ja ympäristölle. Quantin tavoitteena on nolla vahinkoa työympäristössä ja yritys pyrkii olemaan turvallisim toimija alallaan. (Quant Finland Oy.)

Quant pyrkii kehittämään palvelujaan vastaamaan asiakkaidensa odotuksia sekä parantamaan prosessejaan ja järjestelmiään tehokkuuden varmistamiseksi. (Quant Finland Oy.)

## 1.2 Vastuullisuus, turvallisuus ja laatu osana Quantin toimintaa

Quant Oy liittää vastuullisuuden, turvallisuuden ja laadun kaikkiin toimintoihinsa varmistaakseen asiakkailleen kestävän ja tehokkaan kunnossapidon. Yritys on sertifioitu ISO 9001 (laadunhallinta), ISO 14001 (ympäristöjohtaminen) ja ISO 45001 (työterveys ja -turvallisuus) -standardien mukaisesti. Näiden sertifikaattien avulla yritys osoittaa vastuullisuutta jatkuvaan parantamiseen ja turvallisten työskentelyolosuhteiden varmistamiseen. (Quant Finland Oy.)

Quant panostaa ennaltaehkäiseviin toimiin, kuten koulutuksiin, riskienhallintaan ja turvallisuusprosessien kehittämiseen varmistaakseen, että kunnossapito on turvallista kaikissa kohteissa. (Quant Finland Oy.)

Yksi Quantin ydinarvoista on yrityksen tarjoamien palveluiden laatu. Yritys pyrkii jatkuvasti parantamaan palvelujaan asiakkaidensa tarpeiden mukaan. Laatu-standardien noudattaminen ja jatkuva toimintamallien kehittäminen mahdollistavat tehokkaat kunnossapitoratkaisut, jotka tukevat asiakkaiden liiketoimintaa. Quant hyödyntää data-analytiikkaa ja digitalisaatiota kunnossapitoprosessiensa optimoinnissa, mikä mahdollistaa entistä paremmat ennakoivat huoltotoimenpiteet ja vikatilanteiden ehkäisyn tuotannossa. (Quant Finland Oy.)

Tässä luvussa mainittujen periaatteiden avulla Quant Oy tarjoaa asiakkailleen luotettavan, turvallisen ja kestäväen kunnossapitoratkaisun, joka ei ainoastaan pidä laitteistoja toimintakunnossa vaan myös parantaa tuotannon tehokkuutta ja kilpailukykyä pitkällä aikavälillä. (Quant Finland Oy.)

## **2 Kunnossapito teollisuudessa**

### **2.1 Kunnossapito yleisesti**

Kunnossapito yleisesti koostuu kaikista toimenpiteistä, joilla varmistetaan laitteiden ja järjestelmien toimintakunto ja suorituskyky koko niiden elinkaaren ajan. SFS-EN 13306 -standardin mukaan kunnossapito voidaan määritellä toimenpiteiksi, joiden tarkoituksena on säilyttää tai palauttaa kohde toimintakuntoon niin, että se täyttää sille asetetut vaatimukset. Kunnossapitoon sisältyvät ennakoivat ja korjaavat toimenpiteet, joiden avulla pyritään minimoimaan laitteistoviat, optimoimaan tuotannon tehokkuus ja pidentämään laitteiden käyttöikä. (SFS 2017.)

Kunnossapidon merkitys on lisääntynyt teollisuusympäristössä, jossa tuotannon keskeytykset ja odottamattomat laiterikot voivat aiheuttaa merkittäviä taloudellisia tappioita. ISO 55000 -sarjan standardit käsittelevät omaisuudenhallintaa ja

korostavat kunnossapidon strategista merkitystä osana yrityksen liiketoimintaa. Myös PSK 6201 -standardi määrittelee kunnossapidon organisoinnin ja johtamisen periaatteet, jotka auttavat yrityksiä kehittämään tehokkaita kunnossapitostrategioita. (Suomen Standardisoimisliitto SFS; PSK Standardisointiyhdistys 2011.)

Nykyaikaisessa kunnossapidossa hyödynnetään yhä enemmän digitaalisia ratkaisuja, kuten kunnonvalvontajärjestelmiä, data-analytiikkaa ja tekoälypohjaisia ennustemalleja, jotka mahdollistavat tehokkaamman ja tarkemman kunnossapidon suunnittelun. Eri kunnossapitostrategioilla pyritään optimoimaan resurssien käyttö ja vähentämään suunnittelemattomia seisokkeja.

## 2.2 Kunnossapidon merkitys teollisuudessa

Kunnossapito on teollisuusympäristössä keskeinen tukitoiminto, jolla varmistetaan tuotantolaitteiden toimintavarmuus, turvallisuus ja taloudellinen kannattavuus. SFS-EN 13306 -standardin mukaan kunnossapitoon kuuluvat tekniset, hallinnolliset ja johtamiseen liittyvät toimenpiteet, joiden tavoitteena on säilyttää tai palauttaa kohteen toimintakunto ja varmistaa sen suorituskyky. (SFS 2017: 5.)

Modernissa teollisuudessa kunnossapito nähdään yhä enemmän strategisena toimintona, jolla on suora vaikutus yrityksen kilpailukykyyn. Sen merkitys korostuu erityisesti tuotantoprosesseissa, joissa käyttökatojen vaikutukset voivat olla taloudellisesti merkittäviä. (Järviö 2000.) ISO 55000 -standardisarja määrittelee kunnossapidon osaksi omaisuudenhallintaa ja korostaa sen merkitystä pitkän aikavälin kustannustehokkuuden varmistamisessa. Suunnitelmallinen kunnossapito ei ainoastaan ehkäise vikoja vaan myös pidentää niiden elinkaarta. (SFS 2018.)

Kunnossapidon vaikutukset eivät rajoitu pelkästään taloudellisiin hyötyihin, vaan niillä on myös merkittävä vaikutus työturvallisuuteen ja ympäristöön. Huonosti hallittu kunnossapito voi lisätä tapaturmariskiä ja aiheuttaa ympäristöhaittoja,

kun taas ennakoivat ja säännölliset huoltotoimenpiteet parantavat työympäristön turvallisuutta sekä vähentävät energiankulutusta ja materiaalihukkaa. PSK 6201 -standardissa korostetaan kunnossapidon roolia riskienhallinnassa ja laitteiden elinkaaren hallinnassa, mitkä ovat erityisen tärkeitä kriittisissä teollisuusympäristöissä, joissa laitteiden toimintavarmuus on suoraan yhteydessä tuotannon jatkuvuuteen. (PSK Standardisointiyhdistys 2011).

Teollisuuden kehittyessä kunnossapidon merkitys kasvaa entisestään. Digitalisaation ja automaation myötä ennakoivan kunnossapidon ratkaisut, kuten reaaliaikainen kunnonvalvonta ja data-analytiikka, mahdollistavat entistä tarkemman ja tehokkaamman kunnossapidon hallinnan. Tekoäly ja koneoppiminen tukevat kunnossapitoprosesseja, joiden avulla voidaan ennustaa laitteistojen huoltotarpeita ja optimoida huoltovälejä. Näiden ratkaisujen avulla voidaan vähentää suunnittelemattomia seisokkeja, parantaa tuotannon laatua ja vähentää ylläpitokustannuksia. (Järviö 2000.)

Kunnossapidon rooli teollisuudessa on näistä syistä monipuolinen ja kehittyvä. Sen onnistunut toteutus edellyttää asiantuntemusta, suunnittelua, ennakoivaa otetta, sekä standardeihin ja parhaisiin käytäntöihin perehtymistä ja niiden mukaista toimintaa.

### 2.3 Kunnossapidon määritelmät ja lajit

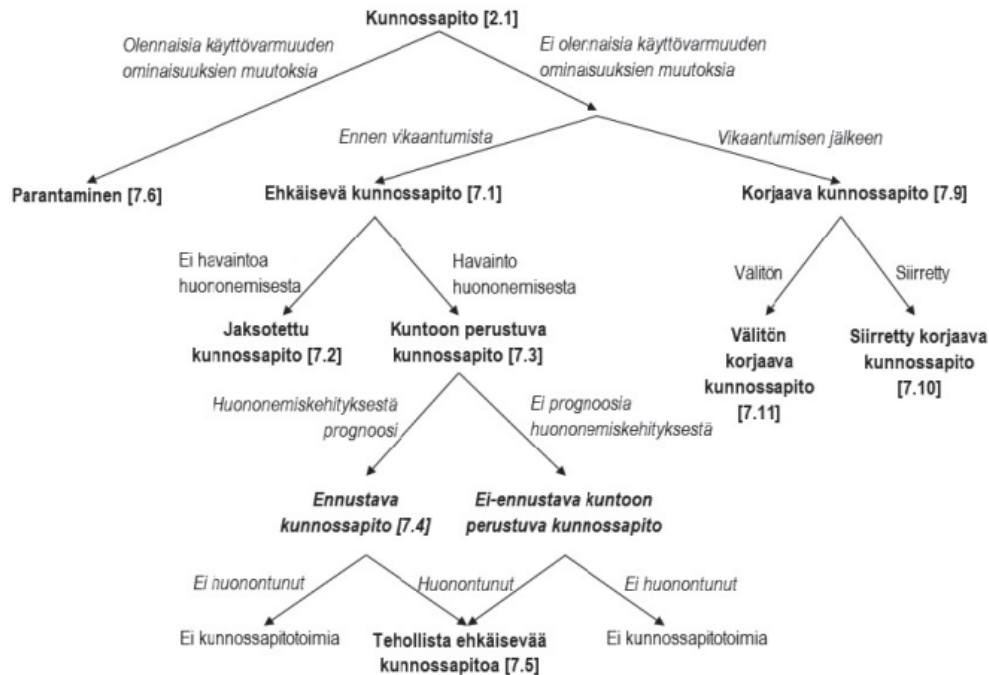
Kunnossapitoa ohjaavat erilaiset standardit, jotka määrittelevät sen peruskäsitteet ja jäsentelyn eri toimintamalleihin. Standardien tavoitteena on luoda yhteisiä käytäntöjä, joiden avulla kunnossapito voidaan organisoida tehokkaasti ja sovittaa osaksi yrityksen toimintaa.

Eri standardit painottavat kunnossapidon eri osa-alueita. PSK 6201:ssä tarkastellaan kunnossapidon organisointia ja hallintaa erityisesti prosessiteollisuudessa, kun taas SFS-EN 13306 tarjoaa laajemman yleiskuvan kunnossapidon käsitteistä ja luokittelusta eurooppalaisessa viitekehyksessä. (PSK Standardisointiyhdistys 2011; SFS 2017.)

### 2.3.1 Kunnossapito SFS-standardin mukaan

Eurooppalainen SFS-EN 13306 -standardi sisältää yhtenäisen määritelmän ja rakenteen kunnossapitotoiminnalle. Sen tavoitteena on luoda johdonmukaiset käytännöt, jotka tukevat laitteiden hallintaa ja kunnossapitostrategioiden kehittämistä eri teollisuudenaloilla. Standardin mukainen kunnossapito voidaan liittää osaksi yrityksen tuotantoa ja liiketoimintaprosesseja. Tämä mahdollistaa laitteiden suorituskyvyn ja elinkaaren parantamisen. SFS-EN 13306 -standardin määritelmä kunnossapidosta on kaikkiin kohteen elinkaaren aikaisiin teknisiin, hallinnollisiin ja liikkeenjohdollisiin toimenpiteisiin, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditut toiminnot. (SFS 2017.)

Kunnossapito jaetaan SFS-standardissa kahteen pääluokkaan, ehkäisevään ja korjaavaan kunnossapitoon (Kuva 1). Ensimmäiseen kuuluvat kaikki suunnitellut toimenpiteet, joilla pyritään arvioimaan ja/tai vähentämään kohteiden heikentymistä ja vikaantumista. Tämä voi perustua joko ennalta määriteltyihin huoltoväleihin tai mittauksiin, jotka osoittavat kulumisen tai suorituskyvyn heikkenemisen. Korjaavaa kunnossapitoa käytetään vikatilanteessa ja sen kiireellisyys riippuu vian vakavuudesta ja vaikutuksista tuotantoon. (SFS 2017.)



Kuva 1. Opastava kunnossapitolajien yleiskuva SFS 13306:n mukaisesti (SFS, 2017: 22).

Kunnossapidon toimenpiteet voidaan lisäksi määrittellä SFS-standardin mukaan kunnossapitomenetelmien perusteella, kuten aikataulutettuun ja aikatauluttamattomaan kunnossapitoon. Aikataulutetussa kunnossapidossa kohteet huolletaan ennalta määrätyin väliajoin riippumatta laitteiston todellisesta kunnosta tai kun kohteen kunnossa havaitaan poikkeama ja sen perusteella suunnitellaan toimenpide. Aikatauluttamattomaan kunnossapitoon turvaututaan, kun kohteessa havaitaan välitön vika, joka vaatii välittömiä korjaavia toimenpiteitä tai kun tilanteenmukaisia ennalta-arvaamattomia vikoja tunnistetaan, mutta ei tarvita akuutteja toimia. (SFS 2017.)

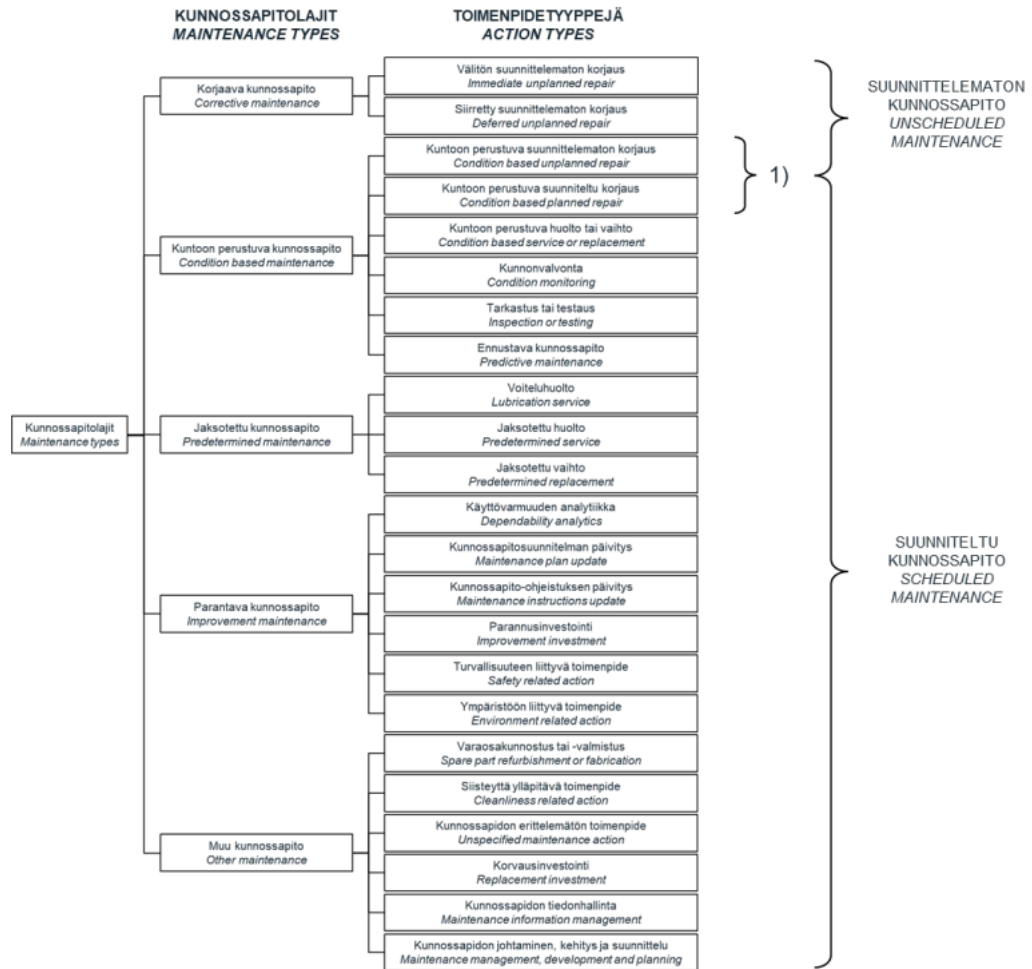
### 2.3.2 Kunnossapito PSK-standardin mukaan

PSK 6201 -standardissa kunnossapito määritellään kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuudeksi, joiden tarkoituksena on säilyttää tai palauttaa kohde tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon koko sen elinkaaren ajan. Standardi painottaa

kokonaisvaltaista lähestymistapaa, jossa kunnossapito nähdään olennaisena osana jatkuvuutta, kustannustehokkuutta ja turvallisuutta. (PSK Standardisointiyhdistys 2011.)

PSK:n mukaan kunnossapidon tavoitteet liittyvät tuotannon kokonaistehokkuuden varmistamiseen ja käyttövarmuuden ylläpitämiseen. Käyttövarmuudella tarkoitetaan kohteen kykyä toimia vaaditulla tavalla silloin, kun sitä tarvitaan. Se koostuu toimintavarmuudesta, kunnossapidettävyydestä ja kunnossapitovarmuudesta. Tämän lisäksi korostetaan ympäristövaikutusten hallintaa ja henkilöturvallisuuden huomioimista. Edellä mainitut tekijät liittyvät usein sidoksissa tehokkaaseen kunnossapitoon. (PSK Standardisointiyhdistys 2011.)

PSK-standardissa kunnossapitotoimenpiteet luokitellaan eri kunnossapitolajeihin (Kuva 2), jotka kuvaavat toimenpiteiden suunnitelmallisuutta ja niiden ajoitusta suhteessa laitteen mahdolliseen vikaantumiseen. Suunniteltuun kunnossapitoon kuuluvat kaikki toimenpiteet, jotka on määritelty ja aikataulutettu etukäteen. Tähän kuuluvat esimerkiksi ehkäisevät kunnossapitotoimet, joiden tarkoitus on pienentää tai poistaa vikaantumisen riski ennen sen toteutumista. Ehkäisevä kunnossapito voi perustua joko aikaan tai laitteiston kunnon seurantaan perustuvaan ennakointiin, jolla pyritään varmistamaan laitteen suorituskyky ja toiminnan jatkuvuus. (PSK Standardisointiyhdistys 2011.)



Kuva 2. PSK:n kunnossapitolajit ja niihin liittyviä toimenpidetyyppejä (PSK Standardisointiyhdistys 2008: 8).

Korjaava kunnossapito sisältää kaikki ne toimenpiteet, joita tarvitaan laitteen toimintakunnon palauttamiseksi sen jälkeen, kun vika on jo havaittu. Näiden toimenpiteiden kiireellisyys voi vaihdella tilanteen mukaan. Jos vika vaikuttaa välittömästi tuotantoon tai turvallisuuteen, kunnossapitotoimenpiteet suoritetaan välittömästi, mutta tilanteissa, joissa vaikutukset ovat vähäisiä tai siedettäviä, voidaan korjaustoimenpiteitä lykätä sopivampaan ajankohtaan. (PSK Standardisointiyhdistys 2011.)

Parantava kunnossapito pyrkii laitteen tai järjestelmän alkuperäisen suorituskyvyn kehittämiseen tai käyttövarmuuden lisäämiseen. Tällaisten toimenpiteiden avulla kehitetään laitteen toimintaa tai parannetaan sen ominaisuuksia. (PSK Standardisointiyhdistys 2011.)

Kunnossapidon suunnittelussa painotetaan erityisesti kohteen kriittisyysanalyysiä, jolla kohteeseen liittyviä riskejä arvioidaan vian vakavuuden ja esiintymistodennäköisyyden perusteella. Analyysin tarkoituksena on auttaa kohdistamaan kunnossapitoresursseja tehokkaasti. (PSK Standardisointiyhdistys 2011.)

### **3 Kunnonvalvonta teollisuudessa**

Kunnonvalvonta on modernin kunnossapidon keskeinen osa, jossa laitteiden ja järjestelmien tilaa seurataan jatkuvasti ja systemaattisesti. Se mahdollistaa ongelmien havaitsemisen jo varhaisessa vaiheessa ennen kuin ne kehittyvät vakaviksi toimintahäiriöiksi tai tuotantokatkoksiksi. Kunnonvalvonta ja reaaliaikainen seurantadata tukee huoltotoimenpiteiden optimointia, pidentää laitteiden käyttöikää ja auttaa yritystä tekemään informoituja päätöksiä omaisuudenhallinnan osalta. (Quant Finland Oy 2023.)

Digitalisaation ja uusien teknologioiden myötä kunnonvalvonta on kehittynyt merkittävästi. Reaaliaikaiset anturit, IoT-ratkaisut ja kehittyneet analytiikkatyökalut tarjoavat nykyään täsmällisempää tietoa laitteiden tilasta. Kyseisten menetelmien avulla saatu data mahdollistaa poikkeamien ja varhaisten merkitysten tunnistamisen ennakoivasti, mikä auttaa estämään odottamattomia seisokkeja ja vähentämään huoltotoimenpiteiden kustannuksia. Kunnonvalvontaan perustuva lähestymistapa tukee sekä korjaavia että ennakoivia huoltotoimenpiteitä ja parantaa tuotannon jatkuvuutta. (Caverion 2025.)

Kunnonvalvonta useasti integroidaan osaksi yrityksen laajempaa kunnossapitostrategiaa ja omaisuudenhallintaa. Järjestelmällisesti kerätty ja analysoitu tieto mahdollistaa huoltotoimenpiteiden kohdentamisen juuri oikeaan aikaan, mikä parantaa laitteiden luotettavuutta ja tehostaa resurssien käyttöä. Tämä

strateginen lähestymistapa auttaa yrityksiä optimoimaan huoltokustannuksiaan ja varmistamaan tuotannon sujuvuuden, mikä on elintärkeää kilpailukyvyyn säilyttämiseksi nykyaikaisessa teollisuusympäristössä. (Edu.fi.)

### 3.1 Kunnonvalvonnan merkitys RCM:ssä

Luotettavuuskeskeisessä kunnossapidossa (RCM) laitteiden tilan seuranta muodostaa perustan oikea-aikaisille huoltotoimenpiteille. Seurantaan perustuva data auttaa tunnistamaan pienet poikkeamat normaaleista toiminta-arvoista, jolloin ongelmat voidaan havaita ja korjata ennen kuin niistä kehittyy kriittisiä vikoja. RCM-menetelmässä riskien arviointi ja kriittisten toimintojen määrittely perustuvat pitkälti tähän reaaliaikaiseen tietoon. (Järviö 2000.)

Laitteiston tilan jatkuva analyysi mahdollistaa ennaltaehkäisevien toimenpiteiden kohdentamisen juuri niihin osiin, joissa riski vikaantumiselle on suurin. Näin huoltotoimenpiteet ajoitetaan laitteiston todellisen kunnon mukaan, mikä vähentää tarpeettomia huoltoja ja ehkäisee odottamattomia seisokkeja. Tämä lähestymistapa ei ainoastaan paranna tuotannon jatkuvuutta, vaan myös optimoi huoltokustannuksia ja pidentää laitteiden käyttöikä. (Järviö 2000.)

Kehittyneiden digitaalisten ratkaisujen ja analytiikkamenetelmien avulla kerättyä tietoa voidaan hyödyntää RCM-analyyseissä tehokkaasti. Seurannan tulokset tukevat strategista päätöksentekoa, mahdollistavat vikojen juurisyiden tunnistamisen ja edesauttavat jatkuvaa prosessien kehittämistä. Näin RCM-menetelmästä tulee entistä ennakoivampi ja dynaamisempi, mikä vahvistaa koko kunnossapitoprosessin tehokkuutta. (Järviö 2000.)

### 3.2 Kunnonvalvonnan integrointi kunnossapitostrategiaan

Kunnonvalvonnasta saatu reaaliaikainen tieto toimii tärkeänä osana kokonaisvaltaista kunnossapitostrategiaa. Kun laitteiden tilaa seurataan jatkuvasti, kerätyn datan analysointi mahdollistaa huoltotoimenpiteiden suunnittelun sen

perusteella, mitä laitteiden kunnosta on havaittu. Näin huollot ajoitetaan tarkasti, mikä vähentää odottamattomia seisokkeja ja minimoi kustannuksia.

Kunnonvalvonnan integroinnilla tarkoitetaan kunnonvalvontajärjestelmien tuottaman tiedon kulkua saumattomasti osaksi yrityksen huolto- ja omaisuudenhallintaprosesseja. Tämä mahdollistaa huoltotoimenpiteiden perustumisen objektiiviseen dataan eikä pelkästään ennakkoluuloihin tai kiinteisiin aikatauluihin. Datan hyödyntäminen tukee strategista päätöksentekoa, jossa päätökset huolloista tehdään automaattisesti tai operatiivisten analyysien pohjalta. (VTT 2025.)

Digitalisaatio ja kehittyneet analytiikkatyökalut tukevat kunnonvalvonnan liittämistä kunnossapitostrategioihin. IoT-laitteiden ja anturiverkkojen avulla kerätty tieto analysoidaan ja yhdistetään yrityksen muihin tuotantotietoihin, jolloin saadaan käsitys laitteiden tilasta. Näin voidaan tunnistaa riskialttiit kohteet ja priorisoida huoltotoimenpiteitä sen mukaisesti. Nämä toimenpiteet tukevat koko kunnossapitoprosessin tehokkuutta ja pitkäjänteistä kehittämistä. (Caverion 2025.)

Integroitu kunnonvalvonta onkin olennainen osa yrityksen strategista omaisuudenhallintaa, koska sen avulla huoltotoimenpiteet voidaan räätälöidä vastaamaan tarkasti laitteiden todellista kuntoa ja käyttöolosuhteita. Integroitu kunnonvalvonta parantaa kunnossapitostrategian teknistä ja taloudellista suorituskykyä, ja mahdollistaa ennakoivien kunnossapitotoimenpiteiden jatkuvan kehittämisen.

## **4 Ilmanvaihtojärjestelmän nykytila**

### **4.1 Ilmanvaihtojärjestelmän yleiskuvaus**

Insinööriyön kunnossapitosuunnitelman kehityskohteenä on teollisuuslaitoksessa käytettävä ilmanvaihtojärjestelmä, joka koostuu kahdesta erillisestä osiosta, uudesta ja vanhasta puolesta. Kummatkin puolet toimivat itsenäisesti erillään toisesta. Kuitenkin ne täyttävät saman perustoiminnon, ja kumpikin puoli on varustettu erillisillä puhallinratkaisuilla.

Ilmanvaihtojärjestelmän uudempi puoli perustuu Dust Control Systems Oy:n DCKT-100/3-s RD90 -tyypin keskipaine puhaltimeen, jota ohjataan ABB ACS880-07-0725A-3+E200+H351+H353+Q957 -taajuusmuuttajalla. Puhallin tuottaa ilmavirran, joka kulkee suodatinkammion läpi varmistaen, että järjestelmään syötettävä ilma täyttää laatuvaatimukset. Suodatinkammiossa on kolme riviä GENERAL FILTER Group NE93434.01 -suodatinpakkoja, joissa jokaisessa on yksitoista kappaletta rivissä. Kammion suorituskykyä seurataan paine-eromittauksilla.

Ilmanvaihtojärjestelmän vanha puoli koostuu neljästä kanavasta, joissa jokaisessa on FläktWoods 100JM2/40/4/9/27-22 3 LL D180 kaksiportainen aksiaali-puhallin. Kaksi kanavista on tuloilmalle ja kaksi poistoilmalle. Jokaisen kanavan toimintaa säädellään erillisillä ABB ACS550-01-072A-4+B055 -taajuusmuuttajilla, jotka mahdollistavat ilmavirran hallinnan tarpeen mukaan. Perustoiminnoiltaan vanha puoli on hyvin samanlainen kuin uudempi puoli. Se kykenee lähes yhtä tehokkaaseen ilmavirran tuottamiseen.

Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa valvotaan useilla mittausmenetelmillä, joiden avulla seurataan järjestelmän tilaa, sekä kriittisiä parametreja. Ilmanpainetta mitataan suodatinkammion molemmin puolin, minkä lisäksi seurataan ilman sisään- ja ulostuloa. Järjestelmässä on myös yleinen lämpötilanseuranta useassa eri pisteessä. Tämä auttaa arvioimaan ilmanvaihdon tehokkuutta ja havaitsemaan mahdolliset poikkeamat. Ilmanohjauksessa käytettävien peltien asentoa seurataan erikseen, jotta voidaan varmistaa ilmanohjauksen suunniteltu toiminta.

Konekohtaisesti seurataan virtaa, tehoa, kierrosnopeutta ja lämpötilaa, jotka kertovat laitteiden toimintakunnosta ja mahdollisista kulumisista. Uudemmalta puolelta seurataan myös moottorin jalustan värähtelyä. Koska molemmat puolet ovat PID-säädettäviä, niiden toimintaa voidaan optimoida taajuusmuuttajien kautta. Taajuusmuuttajat tallentavat ja raportoivat koneiden tilaa, mikä mahdollistaa reaaliaikaisen ilmanvaihtojärjestelmän tilan seurannan ja tukee kunnossapidon päätöksentekoa.

Koko ilmanvaihtojärjestelmän seuranta ja ohjaus tapahtuu valvomosta käsin, mikä mahdollistaa järjestelmän kokonaistilanteen hallinnan keskitetysti ja mahdollistaa reaaliaikaisen toiminnan seuraamisen. Järjestelmän uudempi puoli on teknisesti kehittyneempi ja sen huolto on ollut säännöllistä, kun taas vanha puoli on ollut käytössä pidempään ilman systemaattista huolto-ohjelmaa.

## 4.2 Ilmanvaihtojärjestelmän nykytilan arviointi

Ilmanvaihtojärjestelmän nykytila vaihtelee huomattavasti uuden ja vanhan puolen välillä. Uusi puoli on ollut käytössä lyhyemmän aikaa ja sen huoltotoimenpiteet ovat olleet säännöllisempiä, kun taas vanha puoli on toiminut pidempään ilman systemaattista huolto-ohjelmaa.

Uuden puolen laitteistoa on huollettu säännöllisesti. Huoltoon on kuulunut suodatinpakkauksien imurointi ja sähkömoottorin kevyt rasvaus. Järjestelmä toimii suunnitellusti, eikä sen osalta ole raportoitu merkittäviä suorituskykyongelmia. Suodatinjärjestelmän paine-eromittaukset ovat pysyneet hallinnassa, mikä viittaa siihen, että ilmavirtaus toimii odotetusti eikä merkittävää tukkeutumista ole havaittu.

Vanhan puolen kohdalla kunnossapito on ollut reaktiivisempaa, eikä huoltoja ole toteutettu säännöllisesti ennakoivan kunnossapidon periaatteiden mukaisesti. Suodattimia on putsattu satunnaisesti vuositarkastusten yhteydessä, mutta muita huoltotoimenpiteitä ei ole systemaattisesti dokumentoitu. Tämä voi tarkoittaa, että moottorit, laakerit ja muut kuluvat osat eivät ole välttämättä saaneet tarvittavaa huoltoa, mikä lisää vikaantumisriskiä pitkällä aikavälillä.

Ilmanvaihtojärjestelmän seuranta-arvot, kuten koneiden virta, teho, kierrosnopeus, lämpötila ja värähtely, antavat viitteitä laitteiston kunnosta, mutta niiden analysointi ja systemaattinen käyttö kunnossapidon suunnittelussa ovat tärkeitä mahdollisten kehityskohteiden tunnistamisessa. Erityisesti vanhan puolen osalta voisi olla tarpeen tarkastella esimerkiksi moottoreiden värähtelyarvoja, joilla voidaan saada selville mahdollinen mekaaninen kuluminen tai epätasapaino.

Ilmanohjauksen toiminta vaikuttaa koko järjestelmän tehokkuuteen. Ilmanohjauuspeltien asennon seuranta sekä ilman sisään- ja ulostulon mittaukset tarjoavat tietoa ilmanjakelun tasaisuudesta ja mahdollisista ohivirtausongelmista. Nykyisessä seurannassa on hyödynnettävissä kattavasti dataa, mutta sen analysointia ja kunnossapitoon liittyviä toimenpiteitä voitaisiin kehittää tavoitteellisemmaksi erityisesti vanhan puolen osalta.

### 4.3 Laitteiston kriittisyysanalyysi

Laitteiston kriittisyysanalyysi on tärkeä osa kunnossapitosuunnittelua, sillä sen avulla voidaan tunnistaa järjestelmän keskeisimmät komponentit ja arvioida niiden vikaantumisen vaikutuksia. Tämä analyysi tukee kunnossapitostrategian optimointia ja auttaa priorisoimaan resurssien kohdentamista siten, että järjestelmän luotettavuus ja käyttövarmuus voidaan varmistaa mahdollisimman tehokkaasti.

Tässä insinööriyössä kriittisyysanalyysi toteutetaan hyödyntämällä PSK 6800 -standardin kriittisyysindeksin laskentataulukkoa (Kuva 3), jossa laitteiston eri osia arvioidaan niiden vikaumisriskin, vaikutusten ja korjattavuuden perusteella. Kriittisyystarkastelussa keskitytään uuden ja vanhan puolen eroihin sekä niiden kunnossapitotarpeisiin.

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$	1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta	$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski
			$M_s = 16$	Vakava turvallisuusriski
	Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä
			$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski
			$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski
			$M_e = 8$	Merkittävä ympäristöriski
			$M_e = 16$	Vakava ympäristöriski
Tuotantovaikutukset	Tuotannon menetykset $W_p = 0 \dots 100$	$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle	
		$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi $\leq 3$ h)	
		$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi $\leq 10$ h)	
		$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)	
		$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi $> 24$ h)	
	Laatukustannus $W_q = 30$	$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.	
		$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 1$ h)	
		$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 3$ h)	
		$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h)	
		$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $> 8$ h)	
Korjaus- tai seurauskustannukset	Korjaus- tai seurauskustannus $W_r = 20$	$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauskustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.	
		$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 2$ h)	
		$M_r = 2$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 10$ h)	
		$M_r = 3$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h)	
		$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $> 24$ h)	

Kuva 3. PSK 6800:n mukainen laitetaso kriittisyyden laskentataulukko (PSK Standardisointiyhdistys 2008: 7).

#### 4.3.1 Kriittisten komponenttien tunnistaminen

Tässä insinööriyössä tarkasteltavan ilmanvaihtojärjestelmän toiminta perustuu ilman siirtämiseen ja hallintaan, mikä asettaa erityisiä vaatimuksia sen mekaanisille ja sähköisille komponenteille. Keskeisimmät kriittiset osat voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

- Moottorit ja puhaltimet
- Suodatinkammiot
- Taajuusmuuttajajärjestelmät.

Näiden komponenttien suorituskyky ja luotettavuus vaikuttavat koko järjestelmän toimintaan, minkä vuoksi niiden arviointi on olennainen osa kriittisyysanalyysissä käsiteltävää kokonaisuutta.

#### 4.3.2 Ilmanvaihtojärjestelmän kriittisyysanalyysi

PSK 6800 -standardin mukainen kriittisyysanalyysin laskentamalli perustuu laitteen kriittisyyteen tuotannossa, vikaantumisväliin vikahistorian mukaan ja riskikertoimeen tai vikaantumisen vaikutuksen suuruuteen. (PSK Standardisointiyhdistys 2008.)

Kriittisyysanalyysin perusteella moottorit osoittautuvat kriittisimmiksi komponenteiksi. Suodatinkammiot eivät ole yhtä kriittisiä kuin moottorit, mutta niiden tukkeutuminen tai likaantuminen voi pitkällä aikavälillä vaikuttaa järjestelmän suorituskykyyn.

## 5 Ilmanvaihtojärjestelmän kunnossapitosuunnitelman laatiminen

Kunnossapitosuunnitelman olennaisin tavoite on varmistaa järjestelmän toimintavarmuus ja ehkäistä odottamattomia vikaantumisia, jotka voisivat vaikuttaa tuotantoon. Suunnitelma pohjautuu kriittisyysanalyysiin, laitteiden valmistajien manuaalien määrittelemiin huoltotoimenpiteisiin, sekä tehtaan vaatimuksiin.

Huoltotoimenpiteiden suunnittelussa on tavoitteena tunnistaa mahdolliset vikaantumiset etukäteen ja suorittaa huoltotoimenpiteet ennen kuin ne vaikuttavat järjestelmän tuotantokapasiteettiin. Suunnitelma perustuu säännöllisiin tarkastuksiin ja laitteistosta kerättävän seuranta- ja mittausdatan analysointiin.

### 5.1 Ilmanvaihtojärjestelmän uuden puolen keskipainepuhallin

Moottorin nykyinen kunnossapitokäytäntö sisältää noin kvartaaleittain suoritettavan kevyen rasvauksen, joka tukee laakerien käyttöikää ja vähentää

mekaanista kulumista. Lisäksi järjestelmän mittausdata tarjoaa mahdollisuuden havaita mahdollisia poikkeamia ennen merkittävien vikojen syntymistä. Seuratavia parametreja ovat virta, teho, kierrosnopeus, lämpötila, jalustan värähtely ja paine-erot suodatinkammiossa, jotka voivat paljastaa alkavat häiriöt ennen niiden eskaloitumista vakaviksi vioiksi.

Moottori vuotaa pari millia rasvaa kuukausittain kummastakin akselipäädystä jalustalleen. Vuoto johtuu moottorille suunnitellun synteettisen rasvan ominaisuuksista ja vuoto on suunniteltu ominaisuus moottorin toiminnalle. Rasvana moottoriin käytetään korkealaatuisia litiumkompleksi Mobil Unirex N2 / N3 -rasvaa, jonka ominaisuutena on muuttua juoksevammaksi lämpötilan noustessa. (ABB 2022; Mobil.) Rasvan vuoto ja säännöllinen lisäys puolestaan takaa rasvan hyvän laadun moottorin sisällä.

ABB:n moottoreihin on integroitu värähtelymittauspisteet, joista saadaan mitattua sisäistä akselin värähtelyä ajossakin erillisellä mittarilla tai anturilla. Moottorin osien ominaisvärähtelyä ei ole aikaisemmin mitattu eikä sen takia siitä ole vanhaa dataa mihin verrata. Jatkossa kunnossapitosuunnitelmassa tulisi sisällyttää huolto-ohjeeseen ja varmistaa huollon yhteydessä, että värähtelymittaukset suoritettaisiin moottorille datan saamiseksi referenssiksi tulevia kertoja varten.

Moottorin taajuusmuuttajayksikön yleisimpiin huoltotoimenpiteisiin kuuluu suodattimien puhdistus tai vaihto, yleisen siisteyden varmistaminen, sekä osien kunnan varmistaminen. Laitteiston manuaalissa on suositeltujen huoltotoimenpiteiden taulukko aikajaksoittain, jonka mukaan vuotuisesti tulisi vaihtaa vain suodattimet ja muille osille riittäväksi todetaan tarkistus. Muutoin ensimmäiset huoltotoimenpiteet tulevat vasta kuuden vuoden kuluttua käynnistyksestä. (ABB 2014; ABB 2023.)

Kuitenkin ottaen huomioon kohteen käyttöasteen, suosituksiin on hankala luottaa sokeasti. Taajuusmuuttajayksikön tarkastus ja sen mukainen tarpeenmukainen huolto on riittävä. Tarkastuksessa tulisi käydä läpi suodattimien kunto, osien aistinvarainen tarkastus, tarvittava siivous ja toiminnan varmistus.

Toimintaa seurataan aktiivisesti valvomosta käsin, joten parhaan ja täsmällisimmän toimintatiedon saa operaattoreilta.

Kun nämä kaikki edellä mainitut kohdat saadaan huomioitua kunnossapitosuunnitelmassa, voidaan varmistaa moottorin pysyminen luotettavana ja sen käyttöikä saadaan maksimoitua ilman odottamattomia tuotantohäiriöitä.

## 5.2 Ilmanvaihtojärjestelmän vanhan puolen aksiaalipuhaltimet

Vanhan puolen ilmanvaihtoa ohjaa yhteensä kahdeksan pareittain toimivaa aksiaalipuhallinta, jotka toimivat kahdessa ilman tulokanavassa ja kahdessa poistokanavassa. Ne ovat integroitu osaksi kiinteää IV-putkistoa, mikä tekee niiden tarkastamisesta hankalaa ja rajoittaa huoltotoimenpiteiden toteuttamista huomattavasti.

Kriittisyysanalyysin perusteella aksiaalipuhaltimet eivät yksittäin ole yhtä kriittisiä kuin uuden puolen keskipaine puhallin, mutta niiden yhteisvaikutus ilmanvaihtojärjestelmään on merkittävä. Koska ne toimivat pareittain ja useampi yksikkö on käytössä, yksittäisen moottorin vikaantuminen ei välittömästi pysäytä järjestelmää. Kuitenkin pitkäaikainen vajaakapasiteetti voi lisätä jäljelle jäävien moottorien kuormitusta ja johtaa pidemmällä aikavälillä suurempiin ongelmiin.

Aksiaalipuhaltimien huoltohistoria on suppea ja dokumentoimaton. Aksiaalipuhaltimien huoltamatta jättämisen syy voi olla se, että sitä on vaikea huoltaa suunnitelmallisen rakenteen vuoksi. Aksiaalipuhaltimet ovat kestorasvattuja ja kiinteästi integroituja putkistoon, joten niiden huoltotarve on lähes olematon. (Fläkt Woods 2019.)

Vanhan puolen taajuusmuuttajat ovat osittain samankaltaisessa tilanteessa kuin puhaltimet, eli niitäkään ole huollettu. ABB ACS550-01-072A-4+B055 -taajuusmuuttajat ovat ABB:n tuotteiden elämänkaariselvityksessä siirretty valmistus ja myynti lopetettu -tilaan, eli niille ei saa enää varaosia ja ne pyritään korvaamaan uudemmilla versioilla hajotessaan. (ABB 2025.) Taajuusmuuttajat ovat kuitenkin toimineet pitkään moitteetta ja aktiivisen kunnossapitosuunnitelman integrointi

takaisi paremman käyttövarmuuden niille ja pidentäisi niiden elinikää. Rutiininomainen putsaaminen, aistinvaraiset tarkistukset sekä valvomon avulla toiminnan tarkastukset riittäisivät ehkäisevinä toimina. Mikäli laitteet hajoaisivat, vaihto uudempaan olisi käyttövarmuuden takia järkevämpää.

Koska suoraa huoltotoimenpidettä ei voida tehdä, ilmanvaihtojärjestelmän vanhan puolen osassa kunnossapitosuunnitelmaa korostetaan mittausdatan hyödyntämistä. Fyysiset tarkastukset ovat hankalia, joten ilmanvaihtojärjestelmän vanhan puolen kunnossapito perustuu pääosin mittauksista saatavaan dataan. Ilmanvaihtojärjestelmän vanhan puolen seurannan tehostaminen lisäisi sen käyttövarmuutta taajuusmuuttajien ja ohjausjärjestelmien tallentaman datan analysoinnilla säännöllisesti. Myös manuaaliset värähtelymittaukset tarkemmin kohdistettuihin kohtiin tulisi liittää osaksi kunnossapitosuunnitelmaa.

### 5.3 Ilmanvaihtojärjestelmän suodatinkammiot

Ilmanvaihtojärjestelmän uuden ja vanhan puolen suodatinkammiot ovat rakenteeltaan identtisiä, mutta niiden kunnossapitohistoriassa on eroja. Uuden puolen suodatinkammioiden huolto on ollut säännöllisempää. Vanhan puolen kunnossapito on ollut satunnaisempaa ja suodattimia on puhdistettu pääasiassa paineerojen poikkeamien perusteella.

Suodatinkammioiden ollessa käytännössä identtiset, voidaan niille hyödyntää samaa suunnitelmaa suorituskyvyn varmistamiseksi ja ilmanvaihdon häiriöiden minimoimiseksi. Kunnossapitosuunnitelmaan tulisi sisältää säännöllinen puhdistus, aistinomainen tarkastus ja suorituskyvyn seuranta valvomon kautta.

Koska suodatinkammioiden kunnossapito on suoraviivaista mutta kriittistä, sen toteutuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota systemaattisuuteen ja ennaltaehkäisevään seurantaan.

## 5.4 Kunnossapitosuunnitelman käytännön kehittäminen

Kunnossapitosuunnitelman kehittäminen voidaan jakaa säännöllisiin huoltoväleihin, joissa huomioidaan järjestelmän keskeiset huoltotoimenpiteet tarpeeksi aktiivisella aikavälillä. Liitteessä 1 on esitelty aikataulu puolivuosi- ja silloin suoritettaville toimenpiteille.

Liitteessä 1 mainitut toimenpiteet muodostavat yhtenäisesti kunnossapito-ohjelman käytännön osuuden. Se on myös huolto-ohjeen pohjana, joka tulisi liittää kunnossapidon aikatauluun. Kaikki toimenpiteet olisi hyvä suorittaa samalla kerralla ylimääräisten katkosten vähentämiseksi. Otollisimmat ajat kalenterivuoden aikana olisivat suodatinpakkojen takia kesällä siitepölykauden ohella ja siitä peilaten kuusi kuukautta edemmäs talvelle.

## 5.5 Huoltojen oheinen dokumentointi ja jatkuva kehitys

Ilmanvaihtojärjestelmän kunnossapidon seuranta perustuu huoltojen yhteydessä kerätyn mittausdatan analysointiin ja toimenpiteiden dokumentointiin. Kaikki suoritettavat huoltotoimenpiteet tulee kirjata järjestelmällisesti ja poikkeamat sekä muut mainitsemisen arvoiset seikat mainita, jotta huoltohistorian perusteella voidaan arvioida toimenpiteiden vaikutuksia ja kehittää ennakoivaa kunnossapitoa.

# 6 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä laadittiin ennakoiva kunnossapitosuunnitelma Quant Finland Oy:n asiakkaan ilmanvaihtojärjestelmälle. Insinööriyössä pyrittiin tunnistamaan ilmanvaihtojärjestelmän kriittisimmät osat ja kehittää niiden kunnossapitoa niin, että oheistuotteena saadaan kunnossapitosuunnitelma kohteelle. Uuden kunnossapitosuunnitelman avulla tuotannon luotettavuus paranee, kustannukset vähenevät ja toimintavarmuus kasvaa.

Insinööriyössä perehdyttiin ensin kunnossapidon teoriaan ja alan standardeihin, erityisesti SFS- ja PSK-standardeihin, joiden avulla määriteltiin kunnossapidon käsitteistö ja keskeiset periaatteet. Tämän jälkeen suoritettiin kohdejärjestelmän nykytilan kartoitus, jossa tunnistettiin järjestelmän rakenne, toimintaperiaate ja kunnossapitohistorian tilanne. Järjestelmälle toteutettiin myös kriittisyysanalyysi PSK 6800 -standardin menetelmällä. Kriittisyysanalyysin avulla kartoitettiin moottori ja suodatinkammiot yksittäisinä komponentteina järjestelmän kriittisimmiksi osiksi.

Työn tuloksena laadittiin kunnossapitosuunnitelma, joka sisältää selkeät toimenpiteet eri laitekokonaisuuksille. Suunnitelmassa kuvattiin säännölliset tarkastukset ja huollot sekä ennakoivan kunnossapidon toimenpiteet, kuten mittausdatan analysointi. Työn tavoitteet saavutettiin, sillä järjestelmälle saatiin aikaan systemaattinen ja realistisesti toteutettavissa oleva kunnossapitostrategia.

Tässä insinööriyön kehittämissuunnitelmassa tunnistettiin järjestelmän kriittisyydet ja kunnossapidon painopisteet sekä otettiin käyttöön mittausdatan hyödyntäminen. Ilmanvaihtojärjestelmän huoltotoimenpiteitä tehostettiin ja toimintavarmuutta parannettiin.

Insinööriyössä ei käsitelty yksityiskohtaisesti kaikkia mittausmenetelmiä eikä tarkasteltu yksityiskohtaisesti järjestelmän mahdollisten vikojen juurisyitä. Tulevissa kehittämistöissä voidaankin keskittyä tarkemmin järjestelmän pitkäaikaiseen suorituskäytönsuorintaan ja kunnossapidon vaikuttavuuden analysointiin. Lisäksi olisi tärkeä tarkastella tarkemmin miten eri mittausmenetelmiä voidaan hyödyntää kunnossapidon optimoinnissa.

Tämän insinööriyön aikana laadittua kunnossapitosuunnitelmaa voidaan hyödyntää asiakkaan toiminnassa sekä perustana myös muiden vastaavanlaisten järjestelmien kunnossapidon kehittämisessä. Insinööriyöprosessin aikana opittiin erityisesti kunnossapidon kokonaisvaltaisen hallinnan merkityksestä ja mittausdatan systemaattisen käytön tärkeydestä. Samalla korostui dokumentaation merkitys kunnossapidon jatkuvassa kehittämisessä ja suunnittelussa.

## Lähteet

ABB. 2014. ACS550-01 Drives (0.75...160 kW) / ACS550-U1 Drives (1...200 hp) User's Manual. ABB Oy. Verkkoaineisto. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AFE64804588&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>> Päivitetty 4.7.2014. Luettu 5.3.2025.

ABB. 2022. Low voltage motors: Installation, operation, maintenance and safety manual. Verkkoaineisto. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3GZF500730-85&LanguageCode=en&DocumentPartId=EN&Action=Launch>> Päivitetty 6.2022. Luettu 10.2.2025.

ABB. 2023. ACS880-07 drives (45 to 710 kW, 50 to 700 hp): Hardware manual. ABB. Verkkoaineisto. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000105718&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>> Päivitetty 13.6.2023. Luettu 5.3.2025.

ABB. 2025. Product life cycle statement ACS550, ACH550 and ACQ550. Report. ABB. Verkkoaineisto. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=4FPS10001174825&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>> Päivitetty 1.1.2025. Luettu 5.3.2025.

Caverion. 2025. Ennakoivaa kunnossapitoa IoT- ja tekoälyratkaisuilla. Verkkoaineisto. <<https://www.caverion.fi/katalogi/palvelut/teollisuuden-digitaaliset/>> c Päivitetty 2025. Luettu 2.3.2025.

Edu.fi. Johdanto kunnonvalvontaan. Verkkoaineisto. <[http://www03.edu.fi/oppi-materiaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_k1\\_johdanto\\_kunnonvalvontaan.html](http://www03.edu.fi/oppi-materiaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html)> Luettu 15.2.2025.

Fläkt Woods. 2019. JM2 / HT JM2 Multi-Stage Axial Flow Fan – Specification Sheet. Tekninen erittely. Colchester: Woods Air Movement Limited. Verkkoaineisto. <<https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/1241942?analytics=0>> Julkaistu 2019. Luettu 5.3.2025.

Fläkt Woods. 2019. JM Aerofoil moniportaiset aksiaalipuhaltimet 50 Hz. Tekninen esite. Fläkt Woods. Verkkoaineisto. <<https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/132418?analytics=0>> Julkaistu 2019. Luettu 5.3.2025.

Järviö, J., 2000. Luotettavuuskeskeinen kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy

Mobil. UNIREX™ N -sarjan rasvat. Verkkoaineisto. <<https://www.mobil.com/fi-fi/grease/pds/gl-xx-unirex-n-series>> Luettu 10.3.2025.

PSK Standardisointiyhdistys. 2008. PSK 6800:2008 Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.

PSK Standardisointiyhdistys. 2011. PSK 6201:2011 Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.

PSK Standardisointiyhdistys. 2024. PSK 7501:2024 Kunnossapito. Kunnossapidon tunnusluvut. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.

PSK Standardisointiyhdistys. PSK Standardisointi. Verkkosivu. <<https://psk-standardisointi.fi/psk/yleista/>> Luettu 26.2.2025.

Quant Finland Oy. 2023. Yritys. Quant Finland Oy. Verkkosivu. <<https://www.quantservice.com/fi/yritys/>> Päivitetty 2023. Luettu 1.2.2025.

Quant Finland Oy. 2023. Kunnonvalvonta – Aloita suunnitelmallinen ja ennakoiva huolto. Verkkoaineisto. <<https://www.quantservice.com/fi/news/kunnonvalvonta-aloita-suunnitelmallinen-ja-ennakoiva-huolto/>> Päivitetty 2023. Luettu 12.2.2025.

SFS. 2017. SFS-EN 13306:2017 Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS. 2018. SFS-ISO 55002:2018 Omaisuudenhallinta. Hallintajärjestelmät. Ohjeita standardin ISO 55001 soveltamiseen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS. 2024. SFS-ISO 55000:2024:en Asset management — Vocabulary, overview and principles. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen Standardisoimisliitto SFS. ISO 55000 - Omaisuudenhallinnan standardisarja. Verkkosivu. <<https://sfs.fi/standardeista/tutustu-standardeihin/suosittu-standardit/iso-55000-omaisuudenhallinnan-standardisarja/>> Luettu 2.3.2025.

VTT. 2025. Älykäs ennakoiva kunnossapito. Verkkosivu. <<https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/alykas-ennakoiva-kunnossapito>> Päivitetty 2025. Luettu 2.3.2025.

## Liite 1: Ilmanvaihtojärjestelmän huoltosuunnitelma

Keskipainepuhallin, 6:n kuukauden välein

- Aistinvarainen tarkastus. Moottorin ja taajuusmuuttajayksikön kunto tarkastellaan ulkoisesti, sekä kuunnellaan jos käynnin aikana kuuluu poikkeavia ääniä ja tarkistetaan jalustan pulttien kireys katsomalla, onko pulttiin tussilla piirretty viiva kohdallaan.
- Rasvaus. Käyttäen rasvaprässiä, lisää moottoriin Unirex N2 tai Unirex N3 -rasvaa kummankin päädyn rasvanippaan 2 puristusta.
- Puhdistus. Siivotaan ylimääräiset pölykertymät moottorin ja taajuusmuuttajayksikön pinnoilta, putsataan moottorin rasvavalumat ja putsataan taajuusmuuttaja yksikkö kaapin sisäpuolelta.
- Värähtelymittaukset. Mitataan ja kirjataan moottorin värähtely niille tarkoitetuista mittapisteistä, jotka ovat sijoitettu moottorin kotelon ulkopuolelle ja peitetty punaisilla kumisilla hupuilla.
- Mittausdatan analysointi. Varmistetaan valvomon operaattoreilta käytön aikana antureilla havaitut poikkeamat ja tarvittaessa seurataan valvomosta käsin itse.

Aksiaalipuhaltimet, 6:n kuukauden välein

- Aistinvarainen tarkastus. Puhaltimien äänen kuuntelu poikkeamien varalta sekä taajuusmuuttajien ulkoinen tarkastus.
- Puhdistus. Siivotaan ylimääräiset pölykertymät taajuusmuuttajien pinnoilta, väleistä, sekä kannen alta.
- Värähtelymittaukset. Mitataan ja kirjataan ylös puhaltimien värähtelyä niille tarkoitetuista mittapisteistä, jotka ovat merkattu puhaltimen runkoon punasilla pisteillä.
- Mittausdatan analysointi. Varmistetaan valvomon operaattoreilta käytön aikana antureilla havaitut poikkeamat ja tarvittaessa seurataan valvomosta käsin itse.

Suodatinkammiot, 6:n kuukauden välein

- Aistinvarainen tarkastus. Suodatinkammioiden sisäisen kunnon ja suodattimien puhtauden tarkastus silmämääräisesti.
- Puhdistus. Imuroidaan ylimääräiset roskat suodatinpakoista.
- Vaihto. Mikäli suodattimien kunto on alentunut huomattavasti tai niitä ei saada puhdistettua, ne vaihdetaan. Suodattimet ovat reunoista kiinnitetty kehikkoon ja ne irtoavat yksitellen kiinnikkeet irrottamalla.

- Mittausdatan analysointi. Varmistetaan valvomon operaattoreilta käytön aikana antureilla havaitut poikkeamat ja tarvittaessa seurataan valvomosta käsin itse.