



Ennakoivan kunnossapidon raportoinnin kehittäminen

Kalle Rannila

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2024

Energia- ja ympäristötekniikka

Rannila, Kalle

Ennakoivan kunnossapidon raportoinnin kehittäminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2024, 69 sivua

Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Teollisuudessa kunnossapidon raportointi on olennainen osa jokapäiväistä työskentelyä. On tärkeää, että raportointi on sujuvaa ja tehokasta. Usein käytetään CMMS-järjestelmiä raportoinnin ja työtilausten hallintaan, mutta nykyiset järjestelmät eivät aina kata kaikkia tarvittavia osa-alueita, eivätkä kaikki yritykset käytä näitä järjestelmiä. Toimeksiantaja Tabox Services halusi kehittää raportointiohjelmia, jotka vastaavat pk-yritysten tarpeisiin kuntokartoitusten ja paineilman kunnonvalvonnan osalta.

Opinnäytetyössä käytettiin laadullisia menetelmiä, kuten haastatteluja ja kirjallisuuskatsauksia. Haastattelut tehtiin eri vaiheissa raportointiprosessia, jotta saatiin kattava kuva raportoinnin tarpeista. Keskeisimmät haastateltavat olivat toimeksiantajan asiakkaiden edustajat sekä kunnossapitoasentajat.

Tuloksena kehitettiin Word-pohjainen raportointipohja työstökoneiden kuntokartoituksiin ja Excel-pohjainen sovellus yhdistettynä Forms-kyselyyn paineilman kunnonvalvonnan tehokkuuden seuraamiseksi ja mitaroimiseksi. Lisäksi luotiin kehitysaskleet yrityksen sisäisen tiedostonhallinnan parantamiseksi SharePoint-ympäristössä. Tuloksia suositellaan jatkojalostettavaksi ja integroitavaksi CMMS- tai ERP-järjestelmiin.

Avainsanat (asiasanat)

Kunnossapito (YSO), Raportointi (YSO), Pneumatiikka (YSO), Paineilma (YSO), Kunnonvalvonta (YSO), Kuntokartoitus (YSO)

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Rannila, Kalle

Development of Predictive Maintenance Reporting

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2024, 69 pages

Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

In the industrial sector, maintenance reporting is an essential part of daily operations. Therefore, it is crucial that reporting is smooth and efficient. CMMS systems (Computerized Maintenance Management Systems) are often used for reporting and work order management, but these systems do not always cover all necessary areas, and not all companies use such systems. The client, Tabox Services, wanted to develop reporting programs that meet the needs of SMEs for condition surveys and compressed air quality monitoring.

The thesis utilized qualitative methods such as interviews and literature reviews. Interviews were conducted at different stages of the reporting process to gain a comprehensive understanding of the reporting needs. The key interviewees were representatives of the client's customers and maintenance technicians.

As a result, a Word-based reporting template was developed for machine tool condition surveys, and an Excel-based application combined with a Forms survey was created to monitor and measure the efficiency of compressed air quality monitoring. Additionally, development steps were outlined to improve the company's internal file management in the SharePoint environment. The results are recommended to be further refined and integrated into CMMS or ERP systems.

Keywords/tags (subjects)

Maintenance (YSO), Reporting (YSO), Pneumatics (YSO), Compressed Air (YSO), Condition Monitoring (YSO), Condition Assessment (YSO)

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Tutkimusasetelma	5
2.1	Tavoitteet ja kehittämistehtävät.....	5
2.2	Toteutus	6
3	Kunnossapidon raportointi	7
3.1	Kunnossapito.....	7
3.1.1	Korjaava kunnossapito.....	8
3.1.2	Ehkäisevä kunnossapito.....	9
3.1.3	Kunnonvalvonta.....	9
3.2	Raportointi	10
3.3	Raportointiprosessi	12
3.4	Kunnonvalvonnan raportointi.....	13
4	Paineilman kunnonvalvonta.....	14
4.2	Paineilma teollisuudessa	16
4.3	Häviöt paineilmaverkostossa	17
4.3.1	Vuotojen havainnointi	18
4.4	Määrällinen kunnonvalvonta	18
4.4.1	Tuotannon ja kulutuksen optimointi	19
4.5	Laadullinen kunnonvalvonta	19
5	Tallennuskäytänteet ja raportointimallit	22
5.1	Kuntotarkastusraportin kehittäminen	22
5.1.1	Taustoitus kuntotarkastuksiin	23
5.1.2	Raportointipohja.....	24
5.2	Raportoinnin kehittäminen paineilman kunnonvalvonnassa	28
5.2.1	Raportoinnin nykytilanne	29
5.2.2	Raporttissa annettavat tiedot.....	29
5.2.3	Raportinluominen LeakReporterissa	30
5.2.4	Excel-pohjainen raportointisovellus	31
5.2.5	Vaihtoehtojen vertailu.....	34
5.3	Dokumentoinnin kehitysaskeleet.....	35

6 Johtopäätökset.....	38
7 Pohdinta.....	39
Lähteet	42
Liitteet	47
Liite 1. Tohtorointiraportti	47
Liite 2. Paineilmaraportti LeakReportterista	50
Liite 3 Puutteellinen kuntotarkastusraportti	56
Liite 4. Alkuperäinen Tohtorointi raportti.....	59
Liite 5. Paineilmaraportti Excel-sovelluksesta.....	60
Liite 6. PSK 6202. Kuntokartoituksen raportointilomake.....	61

Kuviot

Kuvio 1. Paineilman kokonaiselinkaarikustannukset	16
Kuvio 2. Putkistomateriaalit.....	21
Kuvio 3. Puutteelliset kirjaukset	24
Kuvio 4. Tarkastusohje kuntokartoitukseen	25
Kuvio 5. Valintaruutu (Lomakeohjausobjekti).	25
Kuvio 6. Valmis raportointipohja	26
Kuvio 7. Kuntoluokat.....	27
Kuvio 8. Huomiot ja lisäselvitystarpeet.....	29
Kuvio 9. Vuotoraportti	30
Kuvio 10. Paineilmatyökirjan aloitussivu	32
Kuvio 11. Data-välilehti	33
Kuvio 12. Vuotoraportti	33
Kuvio 13. Vuodon merkkkaus	35
Kuvio 14. Alkuperäinen tiedostorakenne	36
Kuvio 15. Päivitetty kansiorakenne.....	37
Kuvio 16. Kehitysaskeleet	38

Taulukot

Taulukko 1. Vuoto-indeksi	31
---------------------------------	----

1 Johdanto

Tiedonkulku ja raportointi ovat olennainen osa toimivaa organisaatiota ja tuottavaa työelämää. Käytännön arjessa on usein haasteita näiden prosessien selvydessä, kuten tiedon puuttumisen tai löydettävyyden kanssa. Teollisuuden kunnossapidossa raportoinnilla on merkittävä rooli toiminnan seurannassa ja kehittämisessä. Valitettavasti nykyiset raportointikäytännöt jättävät usein toimomisen varaa, mikä voi johtaa tehottomuuteen, kustannusten kasvuun sekä huonoihin teollistaloudellisiin päätöksiin.

Kunnossapidossa on usein käytössä kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmiä (CMMS), joiden kautta suurin osa päivittäisistä kunnossapitotöistä raportoidaan. On olemassa myös kunnossapitolajeja, joiden raportointi ei suoraan onnistu kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmien kautta. Näitä ovat kuntokartoitukset, juurisyyanalyysit ja öljy- ja värinämittaukset, joiden mittarointiin ja raportointiin on omat ohjelmat. Näitä ohjelmia pystytään integroimaan kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmiin, toisaalta se ei aina ole mutkatonta.

Teollisuudessa ehkäisevän kunnossapidon merkitys on ymmärretty laajasti, ja sen mukanaan tuomat hyödyt ovat selkeitä. Raportoinnin laatu on toiminnassa avainasemassa, sillä se varmistaa, että havaitut tarpeet kunnossapitotöille myös toteutetaan. Paineilmaverkostojen kunnonvalvonta on kriittinen osa energiatehokasta paineilman käyttöä, jolla edistetään energiankulutuksessa tapahtuvia säästöjä. Tieto tulee olla helposti löydettävissä ja säilytettävissä, mikä parantaa tiedonkulkua niin asiakkaiden ja alihankkijoiden välillä kuin myös eri kunnossapitoasentajien kesken.

Tämä opinnäytetyö on osa suurempaa pyrkimystä kehittää työelämän tehokkuutta ja toimivuutta. Työssä tarjotaan käytännönläheiset lähestymistavat organisaation sisäisten haasteiden ratkaisemiseen ja samalla edistetään kestäväää kehitystä vähentämällä energiankulutusta ja siten ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Opinnäytetyössä keskitytään paineilman kunnonvalvonnan sekä kuntokartoitusten raportoinnin kehittämiseen. Työssä tarkastellaan myös, miten näitä raportteja tallennetaan yrityksen sisällä ja täten parannetaan yrityksen sisäistä tiedonkulkua.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Tavoitteet ja kehittämistehtävät

Nykyaikaisessa teollisuusympäristössä yritykset hakevat kilpailukykyä ja kannattavuutta keskittymällä tarkemmin ydinliiketoiminnan kehittämiseen. Kunnossapito on erilaista kuin muu teollinen tuotanto, joten kunnossapito on usein ulkoistettu teollisuuden eri toimialoilla. Tämä mahdollistaa keskittymisen ydinliiketoimintaan, joka toisaalta myös mahdollistaa kunnossapidon kehittämisen kunnossapitäjän toimesta. Yleisesti kunnossapitotöistä raportoidaan CMMS (kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmiin). Kaikista kunnossapitotöistä ei kuitenkaan saada tarpeeksi laadukkaita raportteja suoraan ERP- (toiminnanohjausjärjestelmä) ja CMMS-järjestelmistä. Laadukas ja huolellinen raportointi on välttämätön osa hyvää asiakassuhdetta ja -tyytyväisyyttä.

Perinteisesti häiriönkorjauksen ja ennakoivan kunnossapidon toimet raportoidaan laadukkaasti kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmiin. Toimeksiantaja suorittaa myös kuntokartoituksia asiakkailleen, joista on haastava raportoida suoraan ERP- tai CMMS-järjestelmään riittävällä laadulla. Toisaalta kaikilla asiakkailla ei välttämättä ole toiminnanohjausjärjestelmiä, minne raportoida. Kuntokartoituksiin haluttiin yhdenmukainen ja helppokäyttöinen raportointimalli, jolla raportoidaan laadukkaasti asiakkaille kuntokartoituksista.

Paineilma on yksi teollisuuden tärkeimmistä voimavaroista ja resursseista. Paineilman tuotanto on kuitenkin kallista ja sen käytön tulisi olla mahdollisimman tehokasta ja laadukasta, jotta paineilman käyttö olisi vähän energiahukkaa ja tuotannonmenetyksiä aiheuttavaa. Opinnäytetyön toimeksiantaja suorittaa paineilman kunnonvalvontaa asiakkailleen. Paineilman kunnonvalvontaa suoritetaan pääasiakkaalle säännöllisesti ja näistä kunnossapitotöistä tehdään työtilaukset ja raportit CMMS-järjestelmään. Havaituista vioista ja vuodoista ilmoitetaan asiakkaan edustajalle, joka vastaa työtilausten tekemisestä. Kun vuotojen ja vikojen ilmoittaminen jää ihmismuistin varaan, on riskinä informaatiokatkokset ja inhimilliset virheet. Tähän haasteeseen toimeksiantaja halusi raportointityökalun, jolla voidaan seurata paineilman kunnonvalvonnan kriittisimpiä mittareita.

Raportointi itsessään ei ole oikotie onneen. Pääasiakkaille raportoitessa CMMS-järjestelmät hoitavat tallentamisen ja raporttien löytymisen, toisaalta yrityksen sisäisesti tallennetaan myös CMMS-järjestelmiin luodut erilliset raportit kuten kuntotarkastusraportit. Täten yrityksen sisäisen

tiedonhallinnan kannalta yhtenevät, selvät tiedostorakenteet sekä ohjeistukset tallentamiseen ovat elinehto tiedonhallinnan kannalta. Toimeksiantaja halusi selvittää, miten sisäistä tiedonhallintaa tulisi lähteä kehittämään.

Näiden kolmen kehityskohdan perusteella opinnäytetyön tutkimuskysymyksiksi muodostuivat:

- Minkälainen raportointipohja/ohjeet sopii Tabox Service Oy:n paineilmakartoituksen raportointiin?
- Minkälainen raportointipohja/ohjeet sopii Tabox Service Oy:n kuntokartoituksen raportointiin?
- Minkälainen tallennuskäytäntö sopii Tabox Service Oy:lle ennakoiden kunnossapitotöiden tallentamiseen?

Työn lopputuloksina saavutettiin kehitysaskleet sisäisen tiedonhallinnan kehittämiseen Pk-yrityksen tarpeisiin ja täten edistettiin työhyvinvointia ja työnmielekkyyttä. Muina kehityskohteina opinnäytetyön lopputuloksena saavutettiin kuntokartoitusten raportoinnin laadun parantumista ja yhtenevääisyyttä. Tämä edesauttaa niin hyviä ja pitkäikäisiä asiakassuhteita kuin myös informaation liikkumista asiakasrajapinnassa. Kolmantena työssä kehitettiin paineilman kunnonvalvonnan raportointia ja jäljitettävyyttä paineilmajärjestelmien vuotojen osalta. Tällä kehitystyöllä parannettiin suoritettavien kunnossapitotöiden korjausnopeutta ja varmuutta, joka edesauttaa energiahukkien vähenemistä ja kestäväää kehitystä.

2.2 Toteutus

Opinnäytetyö tehtiin Pk-yritykseen, joka toimii kunnossapitäjänä teollisuusyritykselle. Kohderyhmänä työlle on kunnossapidon alan ammattilaiset ja teollisuuden parissa työskentelevät henkilöt. Työssä pyritään ymmärtämään ja tutkimaan kunnossapidon raportointia eri näkökulmista, aina asiakkaan tarpeista raportoinnin vaivattomuuteen liittyen. Jotta pystytään ymmärtämään kehittämissuhteet mahdollisimman moniulotteisesti, hyödynnetään opinnäytetyössä laadullisia tutkimusmenetelmiä. Näistä menetelmistä haastattelut sekä tapaustutkimukset ovat keskeisimmät menetelmät.

Työssä on osin käytössä valmista tutkimusaineistoa, kuten valmiita kuntokartoitusraportteja sekä CMMS-järjestelmistä saatuja raportteja tehdyistä kunnossapitotöistä. Näistä raporteista selvitetään, miten kunnossapitotöitä on raportoitu. Raportointia käydään asiakkaiden kanssa läpi, jotta löydetään, mitä kehityskohteita raportoinnille olisi. CMMS-järjestelmien raportointiin ja kehittämiseen ei tässä opinnäytetyössä keskitytä, vaan pyritään ymmärtämään, minkälaista on hyvä raportointi. Raportointia kehitetään ehkäisevien kunnossapitotöiden raportointiin, joiden raportteja voidaan liittää CMMS-järjestelmiin. Dokumentoinnissa aineistona on yrityksen sisäiset dokumentoinnit toimipisteen alueelta ja sinne tallennetut tiedostot. Dokumentoinnin osalta keskitytään yleiseen rakenteeseen ja toimintamalliin dokumentoinnin osalta, eikä puututa CMMS-järjestelmien dokumentointiin. Kehitystyötä tehdään sisäisten dokumenttien hallinnan ymmärtämiseen ja luodaan kehitysaskleet siihen, miten dokumentointia yrityksen sisällä tulisi kehittää. Varsinaista kehitystyötä ei opinnäytetyössä tehdä.

Opinnäytetyössä varmistetaan lähdesuoja sekä asiakkaan anonymisuus, koska asiakas ei ole suoraan opinnäytetyön toimeksiantajana. Tämä varmistetaan sillä, että asiakkaan nimeä ei julkaista eikä asiakkaan edustajista kerrota henkilötietoja. Laadullisen tutkimukseen kuitenkin tehdään haastatteluita, joihin haastateltavilta kysytään julkaisulupa.

3 Kunnossapidon raportointi

3.1 Kunnossapito

Kunnossapito määritellään PSK-standardisoinnin (PSK 6201:2022) mukaan: ”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” Toisin sanoen jokaisella laitteella on siltä vaadittu toiminto ja kunnossapidolla ylläpidetään tai palautetaan laite sellaiseen tilaan, jossa laite voi suorittaa siltä vaaditun toiminnon.

Nykyaikaisessa ympäristössä ja niin sanotulla teollisuuden neljännellä aikakaudella myös kunnossapito on kehittynyt kohti teknologisempia lähestymistapoja, kuten esineiden internetiä (IoT), pilvipalveluita, koneoppimista ja tekoälyä. Näitä teknologioita hyödyntämällä yritykset voivat parantaa tuotantolinjojensa kunnossapitoa ja omaisuudenhallintaa, mikä johtaa nopeampiin markkinoille tuloaikoihin, korkeampiin laatuvaatimuksiin ja yksilöllisyyden tarpeisiin. (Öhman n.d.)

Kunnossapito mielletään usein koneiden ja laitteiden vikaantumisien korjaamiseksi. Arjessa tällaisia toimia ovat muun muassa hajonneen renkaan vaihto autoon ja hajonneen puhelimen näytön vaihtaminen. Tällaiset toimet ovat häiriökorjausta. Moderni kunnossapito käsittää häiriökorjauksen lisäksi myös ennakkohuollot sekä ehkäisevät kunnossapitotoimet. Nämä kunnossapidon muodot ovat kehittyneet sekä niiden hyödyt ovat erityisesti tunnistettu korkean tuotantokustannuksen prosessiteollisuudessa. (Wang 2002; Stadhe & Zuckerman 1992.)

Maailma on globalisoitunut viime vuosikymmenten aikana, joka on etenkin länsimaissa aiheuttanut kustannuspaineita teollisuudelle. Tästä johtuen useampi yritys hakee kilpailuetuja niin laadun, palvelun kuin toimitusaikojen suhteen. Tehokkaalla kunnossapidolla saadaan taattua niin parempaa ja tasaisempaa laatua lopputuotteelta, kuin myös parempia toimitusaikoja ja kilpailukykyisempää hintaa. (Järviö & Lehtiö 2017.)

Kunnossapidon modernit lähestymistavat sisältävät ehkäisevät kunnossapitotoimet, jotka perustuvat laitteiden reaaliaikaiseen seurantaan. Ehkäisevän kunnossapidon menetelmillä vikaantumisia voidaan ennakoida ja näin minimoida tuotannon menetykset. (Taboada, Diaz-Casas & Yu 2021.)

3.1.1 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito on kunnossapitoa, jossa laitteen vikaantuessa se korjataan mahdollisimman nopeasti siihen tilaan, jolla se suorittaa laitteelta vaaditun toiminnon. Prosessi sisältää vianmäärittäksen, viallisten osien korjaamisen tai vaihtamisen ja laitteiston palauttamisen normaaliin toimintakuntoon (PSK 6201:2022 4). Tavoitteena on minimoida seisokkiaika ja varmistaa laitoksen sujuva ja turvallinen toiminta. Korjaava kunnossapito on välttämätön osa teollisuuslaitosten kunnossapitostrategiaa, ja sen avulla pyritään palauttamaan tuotannon tehokkuus mahdollisimman nopeasti. (Järviö & Lehtiö 2017.)

3.1.2 Ehkäisevä kunnossapito

”Ehkäisevä kunnossapito tarkoittaa toimenpiteitä, jotka tapahtuvat ennalta määriteltujen jaksojen tai kriteerien mukaan tavoitteena arvioida ja/tai vähentää kohteen tilan huononemista ja alentaa vikaantumisen todennäköisyyttä” (PSK 6201:2022 13). Täten ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan kaikkia niitä toimenpiteitä, joilla laite pidetään toimintakuntoisena, ennen kuin laite vikaantuu. Ehkäisevä kunnossapito kattaa niin jaksotetut kuin kunnonvalvontaan perustuvat toimenpiteet. (Järviö & Lehtiö 2017.)

Ennakoiva kunnossapito, Predictive Maintenance (PdM) on strategia, joka pyrkii vähentämään odottamattomia laitteiston vikoja ja parantamaan tehtaiden kokonaiskäytettävyyttä. Toisin kuin perinteiset kunnossapidon menetelmät, jotka perustuvat laitteiston rutiininomaiseen huoltoon vikojen vähentämiseksi, ennakoivat kunnossapito-ohjelmat aikatauluttavat tiettyjä kunnossapito-tehtäviä todellisen tarpeen mukaan, perustuen laitteiston käyttöolosuhteisiin. Ennakoiva kunnossapito ei korvaa perinteisiä kunnossapito-ohjelmia, mutta jos sitä toteutetaan oikein, se voi merkittävästi lisätä laitoksen käytettävyyttä. Kattavat ennakoivan kunnossapidon ohjelmat sisältävät valvonta- ja diagnostiikkatekniikoita, kuten värähtelymittauksia, lämpökuvauksia, öljyanalyyseja, ultraäänitutkimusta ja muita tuhoamattomia testaustekniikoita. (Nachlas 2017.)

Ehkäisevä kunnossapito pyrkii hoitamaan kaikki viat, vaikka välitöntä vikavaaraa ei olisikaan, varmistaakseen laitteen tehokkaan sekä suunnitelmallisen käytön. Ehkäisevä kunnossapito on otettu käyttöön useissa valmistus- ja palvelualoilla luotettavuuden, turvallisuuden, saatavuuden, tehokkuuden ja laadun parantamiseksi. Ehkäisevä kunnossapito vähentää vikoja, joten myös ympäristölliset riskit ja vahingot vähenevät. (Wang, Deng, Jun, Yingchyn & Xiong 2014.)

3.1.3 Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonta on kehittynein kunnossapitolaji. Kunnonvalvonnalla pyritään optimoimaan kunnossapidon toimet siihen hetkeen, kun laite on vikaantumassa. Täten kunnossapidon kustannukset saadaan minimoitua, kun varaosat saadaan kulutettua loppuun. Toisaalta myös tuotannon menetykset kustannukset saadaan minimoitua, kun laitteet voidaan huoltaa silloin, kun tuotannollisesti se on kustannustehokkainta. Tämä mahdollistetaan sillä, että laitteet saadaan ajettua hallitusti alas ja

tuotannolle saadaan suunniteltu huoltoseisakki. (Mikkonen, Miettinen, Leinonen, Jantunen, Kokko, Riutta, Sulo, Komonen, Lumme, Kautto, Heinonen, Lakka & Mäkeläinen 2009.)

Kunnonvalvonta menetelmiin kuuluu perinteisimmin värinämittaukset, joilla tarkkaillaan mm. moottoreiden ja laakereiden ominaistajuuksia ja niiden poikkeamia. Ominaistajuuden poikkeamista voidaan päätellä laakereiden vikaantumisien alkamisia. Toisaalta myös öljyanalyysit ovat tärkeä osa kunnonvalvontaa, sillä niillä pystytään selvittämään muun muassa voiteluöljyjen sekaan irronneiden partikkelien perusteella puslien, laakereiden ja hammasrattaiden kuntoa ja vikaantumisen alkamisia. (Mikkonen ym. 2009.)

Teollisuuden 4.0 aikakaudella kunnossapito on kehittynyt merkittävästi hyödyntämään sensoriteknologiaa ja etädatan siirtoa. Tämä mahdollistaa laitteiden kunnon reaaliaikaisen seurannan ja ennakoinnin huollon, mikä vähentää odottamatonta seisonta-aikaa ja lisää tuotannon kokonaistehokkuutta. (Zahrah, Yesof, Kumar & Sorooshian 2018.) Tässä opinnäytetyössä perehdytään tarkemmin paineilmaverkkojen kunnonvalvontaan.

3.2 Raportointi

Kunnossapidon raportointi on keskeinen tekijä teollisuuden kunnossapidossa, sillä se mahdollistaa laitteiden ja infrastruktuurin kunnossapidon seurannan ja hallinnan. Tämän prosessin avulla yritykset voivat varmistaa laitteistonsa toimivuuden ja ennakoida mahdolliset huoltotarpeet, mikä johtaa parempaan resurssienhallintaan ja päätöksentekoon. Laadukkaan raportoinnin avulla tunnistetaan laitteiden toistuvat ongelmat, mikä auttaa suunnittelemaan kunnossapitotoimia tehokkaammin ja vähentämään käyttökatoja, parantaen näin tuotantolaitteiston kokonaistehokkuutta. (Pintelon & Puyvelde 1997.)

Kunnossapidon raportointiin käytetään yleisesti ERP- ja CMMS-järjestelmiä niiden tarjoamien kattavien toimintojen vuoksi. ERP-järjestelmät (toiminnanohjausjärjestelmät) integroituvat laajasti eri toimintojen, kuten tuotannon, varastonhallinnan ja taloushallinnon kanssa, tarjoten yhtenäisen näkymän yrityksen resursseista. Tämä mahdollistaa kunnossapidon paremman yhteensovittamisen muiden toimintojen kanssa ja parantaa resurssien käytön tehokkuutta. (Ng, Gable & Chan 2002.) Toisaalta CMMS-järjestelmät (kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmät) ovat erikoistu-

neet kunnossapidon hallintaan ja raportointiin, tarjoten työkaluja töiden aikatauluttamiseen, seurantaan ja analysointiin. CMMS-järjestelmien avulla voidaan parantaa laitteiden huoltohistorian kirjaamista ja seurantaa, mikä edistää tehokkaampaa ylläpitoa ja vähentää virheitä (Ogbeifun, Pasipatorwa & Pretorius 2021).

Kunnossapidon raportoinnin yleisimmät ja helpoimmat menetelmät sisältävät tyypillisesti standardoitujen lomakkeiden ja raportointipohjien käytön, jotka sisältyvät näihin järjestelmiin. Järjestelmät tarjoavat usein käyttäjäystävällisiä käyttöliittymiä ja valmiita raportteja, jotka helpottavat tietojen syöttämistä ja raporttien luomista. Lisäksi jotkut järjestelmät sallivat räätälöityjen raporttien luomisen vastaamaan organisaation erityistarpeita. Viimeaikaiset kehitykset, kuten keskustelevat käyttöliittymät (CUI), voivat myös tehostaa raportointiprosessia tarjoamalla vuorovaikutteisen ja intuitiivisen tavan luoda ylläpitokertomuksia. (Freire, Niforatos, Rusak, Aschenbremmer & Bozzon 2022.)

Teollisuudessa kunnossapidon raportoinnin yleisimmät haasteet liittyvät usein tiedonkulun, datan laadun ja järjestelmien käyttöönoton ongelmiin. Yksi suurimmista haasteista on kunnossapito- ja IT-henkilöstön välisen ymmärryksen puute, mikä voi johtaa kommunikaatiovaikeuksiin ja siten järjestelmien alikäyttöön (Freire ym. 2022). Lisäksi datan laadun ja ajantasaisuuden ylläpitäminen vaatii jatkuvaa huomiota. Huonolaatuinen tai vanhentunut data voi johtaa virheellisiin päätöksiin ja tehottomiin kunnossapitotoimiin. (Madhikermi, Kubler, Rokert, Buda & Främling 2016.)

Raportit laativat kunnossapitoasentaja(t), ja ne kohdistetaan tyypillisesti eri sidosryhmille organisaation sisällä, kuten kunnossapitopäälliköille, tehdasinsinööreille, tuotantopäälliköille ja johdolle. Raporttien tarkoitus on tarjota ajantasainen kuva kunnossapidon tilasta, laitteiston kuntoon liittyvistä ongelmista, suoritetuista korjaustoimenpiteistä ja niiden vaikutuksista tuotantoon. Ylätason raportit, jotka sisältävät yhteenvedon suoritettujen toimien tehokkuudesta ja kunnossapidon kustannuksista, ovat erityisen hyödyllisiä ylemmälle johdolle strategisten päätösten tekemiseen. Näitä raportteja pystytään luomaan suoraan CMMS ja ERP-järjestelmistä. (Pintelon & Puyvelde 1997.)

Käytännössä raportointiprosessi ja raporttien vastaanottajat vaihtelevat organisaation tyyppin, rakenteen ja käytäntöjen mukaan. Tehokas raportointi ja tietojen jakaminen asianomaisten sidosryhmien kanssa ovat avainasioita kunnossapidon hallinnan parantamisessa ja organisaation suori-tuskyvyn optimoinnissa.

3.3 Raportointiprosessi

Kunnossapidon raportoinnin prosessit eroavat merkittävästi riippuen siitä, keskitytäänkö häiriönkorjaukseen, korjaavaan vai ennakkoivaan kunnossapitoon. Jokainen lähestymistapa vaatii erilaisia raportointimenetelmiä ja -työkaluja, jotka on suunniteltu täyttämään kunkin menetelmän tarpeet ja vaatimukset.

Jaksotetun kunnossapidon raportit ovat usein ennalta määrättyjä ja perustuvat aikatauluun, joka voi olla päivittäinen, viikoittainen, kuukausittainen tai vuosittainen (Järviö & Lehtiö 2017, 104). Tämä lähestymistapa keskittyy laitteiden ja järjestelmien säännölliseen tarkistukseen ja huoltoon, jotta varmistetaan niiden jatkuva toimivuus. Jaksotetut kunnossapitotoimet sisältävät vakiintuneita tarkistuslistoja ja huoltotoimenpiteitä, jotka on suunniteltu estämään mahdolliset viat ja varmistamaan laitteiden optimaalinen suorituskyky. CMMS- ja ERP-järjestelmät tarjoavat kunnossapidon tueksi moduuleja, jotka mahdollistavat huoltopyyntöjen luomisen, aikataulutuksen ja seurannan sekä historiatietojen tallentamisen laitteistosta ja suoritetuista toimenpiteistä (Duffuaa & Raouf 2015).

Korjaavan kunnossapidon raportoinnissa keskitytään laitteiden vikojen ja toimintahäiriöiden dokumentointiin ja analysointiin. Korjaavassa kunnossapidossa raportointi on kriittistä, koska se mahdollistaa vikatilanteiden nopean tunnistamisen ja korjaamisen. Raportit sisältävät yksityiskohtaisia tietoja laiteviasta, korjaustoimenpiteistä, käytetystä ajasta ja resursseista sekä toimenpiteiden tehokkuudesta. CMMS-järjestelmät ovat tässä yhteydessä arvokkaita, sillä ne mahdollistavat reaaliaikaisen seurannan ja analysoinnin. CMMS-järjestelmät nopeuttavat vianmäärittystä ja laitteiden palautusaikoja. (Labib 2004.)

Ehkäisevän kunnossapidon raportointi puolestaan perustuu laitteiden kunnon seurantaan ja analysointiin reaaliaikaisesti käyttäen sensoreita ja edistyneitä analytiikkatyökaluja. Ehkäisevässä kunnossapidossa hyödynnetään kerättyä dataa laitteiden vikaantumisennusteiden laatimiseen, mikä

mahdollistaa huoltotoimenpiteiden ajoittamisen ennen mahdollisten vikojen ilmenemistä. Tämä lähestymistapa vaatii kunnossapidon raportointijärjestelmältä kykyä kerätä, tallentaa ja analysoida suuria datamääriä sekä tehdä ennusteita laitteiden kunnan perusteella. ERP- ja CMMS-järjestelmien on tuettava ennakoivan kunnossapidon vaatimuksia, mukaan lukien kehittyneet analytiikkatyökalut ja integraatiot ulkoisiin kunnanvalvontajärjestelmiin. (Sipos, Fradkin, Mörchen, & Wang 2014).

Voidaan siis todeta, että rutiininomaisen, korjaavan ja ehkäisevän kunnossapidon raportointi eroaa toisistaan merkittävästi. ERP- ja CMMS-järjestelmien valinnassa ja määrittelyssä on otettava huomioon kunkin kunnossapitotyyppin erityisvaatimukset, jotta voidaan varmistaa laitteiston tehokas ja luotettava kunnossapito. Järjestelmien on oltava joustavia ja skaalautuvia, jotta ne voivat tukea erilaisia kunnossapitotoimenpiteitä ja raportointivaatimuksia eri organisaatioissa ja toimintaympäristöissä.

3.4 Kunnanvalvonnan raportointi

Kunnanvalvontaan perustuva kunnossapito (Condition-Based Maintenance, CBM) edellyttää erityispiirteitä raportoinnissa, jotka erottavat sen perinteisestä kunnossapidosta. CBM-strategiassa keskeistä on luotettavan ja ajankohtaisen tiedon kerääminen laitteiston kunnosta, joka saadaan reaaliaikaisesti erilaisista antureista ja seurantajärjestelmistä. Tämä prosessi käsittää laitteiston eri parametrien, kuten värähtelyn ja lämpötilan, jatkuvan seurannan ja analysoinnin. Datan keräämisen tarkoituksena on tunnistaa mahdolliset vikatilanteet tai kulumisen merkit ennen kuin ne muodostuvat kriittisiksi, jotta voidaan suunnitella ja toteuttaa tarvittavat huoltotoimenpiteet ennakoivasti. (Jardine, Lin, & Banjevic 2006).

Raportoinnissa tärkeää on myös reaaliaikainen seuranta ja laitteiston kunnan ennusteet. Kunnanvalvonnan tavoitteena on mahdollistaa kunnossapitopäätösten tekeminen todellisten tarpeiden perusteella, vähentäen tarpeettomia huoltoja ja parantaen näin laitteiston käytettävyyttä. Tämä lähestymistapa vaatii edistyneitä analyysityökaluja ja IT-ratkaisuja, jotka pystyvät integroimaan ja analysoimaan suuria datamääriä. Lisäksi raportointijärjestelmän tulisi tukea päätöksentekoa tarjoamalla selkeää ja ymmärrettävää tietoa laitteiston kunnosta, mahdollisista riskeistä ja suositelluista huoltotoimenpiteistä. (Hohwieler, Berger, & Geisert 2004).

Kunnonvalvontaan perustuvan kunnossapidon raportoinnin onnistuminen edellyttää tehokkaita työkaluja ja järjestelmiä, kuten kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmiä (CMMS), jotka pystyvät käsittelemään ja analysoimaan kerättyä dataa. Näiden järjestelmien tulisi mahdollistaa erilaiset kunnonvalvontamenetelmät ja tarjota käyttäjille joustavat työkalut datan integrointiin, analyysiin ja raportointiin. Raportointiprosessi edellyttää myös eri sidosryhmien, kuten kunnossapitohenkilöstön, laitevalmistajien ja insinöörien välistä tiivistä yhteistyötä, jotta varmistetaan tiedon oikeellisuus ja päätöksenteon tehokkuus. (Martin-del-Campo & Sandin, 2017.)

4 Paineilman kunnonvalvonta

Paineilma on kompressorin avulla muodostettua paineenalaista ilmaa. Paineilmaa käytetään laajasti monilla toimialoilla, aina terveydenhuollosta raskaaseen teollisuuteen. Paineilma on varhainen keksintö ja sitä on käytetty teollisuudessa jo 1800-luvun lopulta (Fonselius, Hautanen, Mutikainen, Pekkola, Salmijärvi & Simpura 1997). Täten paineilmasta on muodostunut teollisuuden neljäs hyödyke veden, sähkön ja kaasun lisäksi (Vuodontunnistus n.d.). Teollisuudessa käytetty paine paineilmassa vaihtelee 6–10 MPa välillä (Fonselius ym. 1997, 37).

Yhtenä teollisuuden keskeisimmistä voimavaroista, paineilmaa käytetään monipuolisesti eri prosesseissa. Paineilman monipuolisuuden vuoksi sitä käytetään aina tuotantolaitteiden käytöstä ja ohjauksesta puhdistus- ja jäähdytystoimiin. Suomessa teollisuuden sähkönkulutus on huomattavaa, noin 43 400 GWh vuodessa, joka vastaa puolta koko maan sähkönkulutuksesta. Teollisuuden käyttämästä sähköstä paineilman osuus on arviolta 10 %. (Atlas Copco n.d.) Tämä merkitsee sitä, että paineilmaa käytetään suurena energianlähteenä ja sen tehokkuudella on suora vaikutus teollisuuden energiankulutukseen, kustannustehokkuuteen sekä ympäristökuormitukseen.

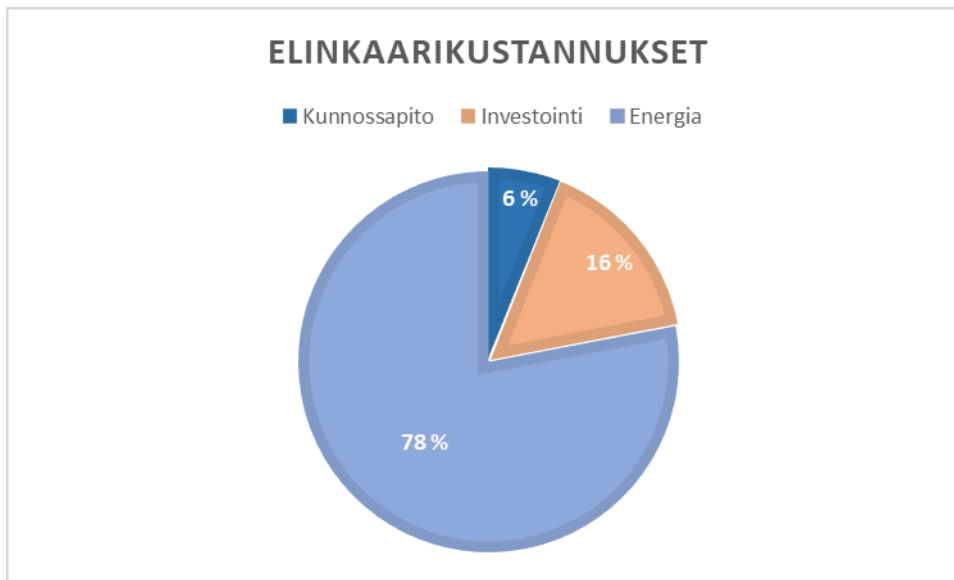
Vuotojen aiheuttamat hävikit paineilmasysteemeissä ovat merkittävä niin taloudellinen kuin myös ympäristöllinen haaste. Arvioiden mukaan jopa 20 % tuotetusta paineilmasta hukataan vuotojen seurauksena, mikä Suomessa tarkoittaa noin 800 GWh:n energiahävikkiä vuosittain. Taloudellisesti

mitattuna tämä vastaa noin 160 miljoonan euron vuosikustannusta, mikäli sähkön hinta on 0,20 €/kWh. Näin ollen paineilmajärjestelmien vuodot eivät ainoastaan lisää yritysten operatiivisia kustannuksia, vaan ne myös heikentävät laitosten ympäristösuorituskykyä tarpeettoman energiankulutuksen myötä. (Atlas Copco n.d.)

Paineilman haasteena on ilman ominaistiheys. Omimaistiheys on ilmalla pieni, joten sitä puristettaessa kasaan kuluu paljon energiaa. Tästä syystä paineilman kustannukset voivat olla jopa 7–8 kertaa kalliimmat kuin vastaavalla sähkölaitteella (Atlas Copco n.d.). Lisäksi pneumaattiset toimitteet toimivat usein päädyistä päätyyn, sillä ilman puristuvuuden takia jäykkien välisientojen toteuttaminen on haastavaa (Fonselius ym. 1997, 52). Paineilman suurien tuotantokustannusten vuoksi on hyvä tarkastella paineilmaa LCC-menetelmällä (kokonaiselinkaarikustannuksien) avulla. LCC-menetelmällä saadaan kattavampi kuva, miten paineilman käytön kustannukset muodostuvat ja, kuinka paineilman tuotantoa voidaan tehostaa.

4.1 Paineilman elinkaarikustannukset

Paineilma kokonaiselinkaarikustannusten (LCC) mukaan alkuinvestointi ja kunnossapitokustannukset ovat murto-osa energiakustannuksista. Paineilman tuottamiseen käytettävän energian osuus on LCC-kustannuksista jopa 75 % (ks. kuvio 1). Paineilmajärjestelmiä tehostamalla voidaan saavuttaa jopa 20–50 % energiasäästöt. Kaksi tärkeintä paineilman käytön hintaan vaikuttavaa tekijää ovat kompressorin oikea mitoitus sekä sen ohjauksen tyyppi. Ylimitoitettujen ja tehottomilla ohjausjärjestelmillä ohjatut paineilmalaitteistot omaavat korkean yksikköenergian ja täten suuret vuotuiset käyttökustannukset. (Saidur, Rahim & Hasnuzzaman 2010.)



Kuvio 1. Paineilman kokonaiselinkaarikustannukset

Voidaan todeta, että paineilmaa käytettäessä kannattaisi panostaa energiahukkien minimointiin, sillä energiakustannukset muodostavat suurimman osan kokonaiselinkaarikustannuksista. Täten hukkien poistaminen on niin ympäristön kuin myös talouden kannalta järkevää.

4.2 Paineilma teollisuudessa

Paineilmaa tarvitaan etenkin kaivos- ja prosessiteollisuudessa sen tuomien etujen vuoksi. Näistä eduista tärkeimpinä pidetään parempaa vääntömomenttia, muuttuvaa nopeutta sekä pienemmän koon ja paremman luotettavuuden tuomia hyötyjä. Hyödyt korostuvat muuttuvissa lämpötiloissa ja kosteissa olosuhteissa. Toisaalta myös paineilmalaitteiden ergonomia ja käyttöikä ovat parempia kuin vastaavilla sähkölaitteilla. Parempi turvallisuus kosteissa olosuhteissa on suuri etu paineilmalaitteille verrattaessa niitä sähkölaitteisiin. (Atlas Copco n.d.). Myös säiliötöissä pyritään välttämään sähkötyökaluja niiden paloriskin takia (Säiliöturvallisuuskoulutus 2024).

Teollisuudessa on tyypillistä, että paineilmasta muodostuu aina saatavilla oleva hyödyke, johon ei puututa niin kauan kuin sitä on saatavilla. Vasta kun ilmavuodot, likaiset suodattimet ja jumittuneet venttiilit haittaavat tuotantoa, niihin puututaan (Camber & Mehlretter 2015). Kuitenkin yksinkertaisia huoltotoimenpiteitä suorittamalla voitaisiin löytää nopeasti itsensä takaisinmaksavia kunnossapitotöitä. Lisäksi pienillä muutoksilla on todistettu tuotettavan suuria säästöjä ja lyhyitä

takaisinmaksuaikoja. Tällaisia muutoksia ovat muun muassa vuotojen vähentäminen, tarjonnan sovittaminen kysyntään ja verkostopaineen alentaminen, mikäli pienempi verkostopaine on riittävä. Toisaalta myös pienemmän kompressorin käyttö täydellä kuormituksella on energiatehokkaampaa kuin suuren kompressorin käyttäminen vajaalla kuormalla. (Saidur ym. 2009.)

4.3 Häviöt paineilmaverkostossa

Teollisuudessa paineilmalinjastot ovat pitkiä ja monimutkaisia. Häviötä syntyy paljon putkien mutkista, t-haaroista ja liitoksista (Camber & Mehlretter 2015). Kuten Camber & Mehlretter (2017) totesivat, vuodot aiheuttavat suurimman osan häviöistä teollisuuden paineilmassa. Häviöiden vähentämisen ja kustannustehokkuuden kannalta paineilman ja etenkin paineilmalinjastojen kunnonvalvonta on tärkeää.

Paineilmavuodot ovat usein pieniä, hajuttomia ja vaarattomia, joten ne eivät itsessään aiheuta haittaa tuotantoprosessille. Sen sijaan isot vuodot ja vikaantumiset saattavat aiheuttaa koko laitoksen tuotannon keskeytyksen. Isoissa tehtaissa paineilmalinjastoja on useita satoja metrejä, joten vuotojen paikantaminen voi olla niissä haastavaa ja aikaa vievää. Tehokkaalla paineilman kunnonvalvonnalla pyritään huomaamaan ja korjaamaan vuodot ennekuin ne johtavat häiriöihin tai turvallisuusriskien kasvuun. (Camber & Mehlretter 2017.)

Kunnonvalvonnalla voidaan helpottaa paineilman kulutuksen seurantaa ja tätä kautta saada kustannussäästöjä sekä tehostaa koko tuotantoyksikön tuottavuutta (Camber & Mehlretter 2015). Lisäksi on huomattava, että siinä missä energiatehokkuus on yrityksille myyntivaltti, parantaa se myös suoraan yrityksen kannattavuutta.

Voidaan siis todeta, että paineilmaavuodot voivat olla vaikeita löytää, etenkin meluisissa ympäristöissä. Lisäksi varsinkin pienet vuodot ovat haasteellisia niiden äänettömyyden takia. Pienetkin vuodot ovat vuositasolla kalliita, halkaisijaltaan 2 mm reikä aiheuttaa 3000 euron vuotuiset energiakustannukset verkostopaineella 6 MPa (Paineilma – ja kaasujärjestelmien vuodot ovat hukkaan heitettyä omaisuutta n.d.).

4.3.1 Vuotojen havainnointi

Parhaat tavat havaita paineilma vuotoja ovat ultraääniakustiikkaan perustuvat ratkaisut. Ultraäänellä tarkoitetaan yli 20 kHz olevia äänen taajuuksia, jotka sijaitsevat ihmisen kuuloalueen ulkopuolella (Leighton 2007). Paineilmavuodot synnyttävät korkeita taajuuksia, jotka pystytään havaitsemaan ultraäänikameroilla. Ultraäänikuvauksilla selvitetään hetkellinen tilanne järjestelmässä olevista vuodoista. Kuvausten yhteydessä voidaan selvittää myös vuotomäärät joko erillisellä mittauksella tai kameraan integroiduilla mittauksilla. (Multi-frequency Ultrasound and Acoustic Imaging Camera n.d.)

Tabox Services suorittaa säännöllisiä ultraäänikamerakuvauksia asiakasyritykselleen, jotta päästään käsiksi vuotoihin ja saadaan parannettua laitoksen käyttövarmuutta. Asiakasyrityksen tehtaassa kaikki paineilma tehdään keskitetysti yhdessä yksikössä, josta se jaetaan ympäri tehdasaluetta. Täten paineilma-verkon suuri vuoto voi aiheuttaa koko tuotannon alasajon, ja täten myös suuret tuotannon menetykset. Asiakasyrityksen tuotteiden valmistuksessa on vaiheita, jotka eivät voi keskeytyä tuotteen valmistuksen aikana. On erityisen tärkeää, että kaikki mahdolliset vuodot löydetäisiin ennakoivasti.

4.4 Määrällinen kunnonvalvonta

Määrällinen paineilman kunnonvalvonta perustuu numeerisiin mittauksiin, jotka antavat yksityiskohtaista ja mitattavissa olevaa tietoa paineilma-järjestelmän tilasta. Tämä kunnonvalvontamenetelmä hyödyntää jatkuvaa datan keruuta ja sen syvällistä analysointia, jotta voidaan ymmärtää paineilman käytön tehokkuutta ja havaita mahdolliset ongelmat ennakoivasti (Järviö & Lehtiö 2017, 101). Täten säästytään suunnittelemattomilta seisakeilta ja tuotannon menetyksiltä. Seisakkiajan väheneminen parantaa tuotantolaitoksen käyttövarmuutta ja tuotannon kokonaistehokkuutta.

Paineilman määrällisessä kunnonvalvonnassa keskitytään muun muassa paineen, virtauksen ja kosteuden kaltaisten parametrien seurantaan. Modernit sensortechnologiat ja datan analysointiohjelmistot mahdollistavat reaaliaikaisen seurannan, joka ilmoittaa automaattisesti poikkeamista normaaliarvoista. Kun paineilma-järjestelmässä havaitaan vuoto, se voidaan paikantaa välittömästi ja korjata ennen kuin se aiheuttaa laajempia häiriöitä tuotannolle tai turvallisuudelle. (Tehokas

paineilman valvonta älykkäillä virtausantureilla. N.d.) Tämän seurauksena voidaan vähentää energiahukkaa ja pienentää kustannuksia, mikä tekee paineilman määrällisestä kunnonvalvonnasta paitsi teknisesti myös taloudellisesti kannattavan investoinnin.

4.4.1 Tuotannon ja kulutuksen optimointi

Paineilman kulutusta voidaan mitata virtaus- ja painemittauksilla. Mittaukset tulisi olla jatkuvia ja niistä luoda graafista dataa, jolla voidaan tarkkailla kulutuksen ja tuotannon suhdetta. Mittauksia tulisi olla useita verkostossa, jolloin voidaan havaita poikkeamat paineessa tai virtauksessa eri puolilla paineilmaverkostoa. Poikkeamista havaitaan vuotojen alkamiset paineen alentumisen tai virtauksen kasvamisen muodossa. (Tehokas paineilman valvonta älykkäillä virtausantureilla. N.d.) Alkaviin vikaantumisiin voidaan helpommin päästä käsiksi ja pystytään priorisoimaan kunnonvalvontaa verkon osiin, jossa kulutus on normaalista poikkeavaa. Laitoksen toimintavarmuutta tukemaan voidaan asentaa venttiilejä, joilla voidaan eristää vuotava osa linjastosta. Vuotava osa linjastoa voidaan korjata keskeyttämättä koko tuotantoa, jolloin laitoksen käytettävyys ja tuotannon kokonaistehokkuus, KNL paranee.

Paineilmaa käytettäessä olisi hyödyllistä mitata kohdekohtaisesti paineilman kulutusta sekä samanaikaista tuotantomäärää. Tämä mahdollistaa vuotojen ja häviöiden laskemisen reaaliajassa paineilmajärjestelmästä, vertaamalla tuotannon määrää ja kulutusta. (Atlas Copco n.d.; Camber & Mehlretter 2015.) Vuotojen alkaminen ja niiden sijainti linjastossa olisi mahdollista tunnistaa, kun linjastossa on useita mittauspisteitä. Trendikäyrien avulla havaitaan vuotojen alkamiskohtia ja sijainteja tehokkaasti. Paineilman kulutuksen reaaliaikainen mittaus mahdollistaisi kompressorien kustannustehokkaamman ohjauksen, parantaen energiatehokkuutta ja vähentäen tarpeettomia kustannuksia. (Camber & Mehlretter 2017.)

4.5 Laadullinen kunnonvalvonta

Laadullinen kunnonvalvonta paineilman hallinnassa keskittyy paineilman laadun arvioimiseen ja varmistamiseen, mikä on yhtä kriittinen osa-alue kuin määrällinenkin kunnonvalvonta. Laadullisessa kunnonvalvonnassa painotetaan paineilman puhtauden, öljypitoisuuden, kosteuden ja muiden kemiallisten epäpuhtauksien seurantaa, jotka vaikuttavat sekä tuotantoprosessien tehokkuuteen että tuotteiden laatuun (Fonselius ym. 1997). Tärkeimmät laadulliset mittarit ovat kosteus ja

öljy, sillä ne aiheuttavat paineilmassa korroosiota ja muita vaurioita pneumaattisille komponenteille. Korroosio johtaa tuotantokatkoksiin ja korjauskustannusten kasvuun (Camber & Mehlretter 2017).

Paineilman puhtausluokan valinta on tärkeää. Luokan tulisi määräytyä tarpeen mukaan, sillä liian alhainen paineilmalaatu aiheuttaa pneumaattisten laitteiden häiriöitä, ennen aikaista kulumaa sekä järjestelmän tehottomuutta. Toisaalta liian hyvä laatu paineilmassa aiheuttaa hukkaa, sillä korkeat laatuvaatimukset aiheuttavat kustannuksia paineilman tuotannolle. (Camber & Mehlretter 2017.)

Paineilman laatustandardissa (ISO 8573-1:2010) määritellyt arvot paineilmalle ovat partikkelikoko ja -määrä, sekä kastepiste paineen alaisena ja öljypitoisuus. Tärkeänä arvona pidetään kastepistettä eli lämpötilaa, jossa ilma saavuttaa kylläisen tilan. Kylläisyystila on tila, jossa ilmassa oleva vesihöyry alkaa tiivistymään vedeksi (Lämpötila ja kosteus n.d.). Pneumaattisia laitteita käytetään myös ulkoilmassa, jossa ne etenkin Suomessa ovat alttiina jäätymiselle. Jäätyminen aiheutuu kylmän ilman alhaisemmasta kastepisteestä. Lämpötilan laskiessa ilmasta tiivistyy vettä putkistoihin ja toimilaitteisiin, joka jäätyy ja estää ilman liikkumisen. Toisaalta kosteus järjestelmässä aiheuttaa samalla ruostumista, joka edesauttaa laitteiden vikaantumista ja toisaalta vaikeuttaa ilman liikkumista linjastossa. Ruoste putkistossa aiheuttaa turbulenttista virtausta, joka lisää energiankulutusta (ks. kuvio 2). Täten olisi tärkeä valita niin oikea paineilman laatuluokka kuin myös oikeat materiaalit paineilmalinjastolle. (Camber & Mehlretter 2017.)

Why Piping Materials Matter

- Contaminants enter system through compressor
- Build up in pipes over time
- Results in turbulent flow
- Type of material impacts how contaminants build up in piping



Kuvio 2. Putkistomateriaalit

Paineilmalinjastoissa käytetään ilmasäiliöitä osana järjestelmää. Usein tankit ja säiliöt mielletään varastoina sekä puskureina tuotannolle. Toisaalta tehtaissa on yleensä suuret ja pitkät linjastot, jotka jo itsessäänkin toimivat puskurina. Tankit oikein käytettynä tehostavat tuotantoa ja parantavat ilmanlaatua. (Camber & Mehlretter 2015.) Tankit tulisi olla linjastossa kompressorin jälkeen, ennen kuivainta. Säiliössä olevan ilman tulisi rauhoittua ja jäähtyä ennen kuivainta, joka niin helpottaisi kuin myös tehostaisi kuivaimen toimintaa (Asianmukainen paineilman jakelu n.d.). Lämpimästä ilmasta on vaikeampi saada kosteutta pois kuin viileästä, sen korkeamman kylläisyyspisteen vuoksi (Kosteus ja lämpötila n.d.). Tällöin tankissa tapahtuvan jäähtymisprosessin aikana ilmasta tiivistyy osa vedestä tankin pohjalle, josta se voidaan poistaa ennen kuivainta. Siten saavutetaan tehokkuutta kuivaimelle ja kuivempi lopputuote. Ilman rauhoittuessa tankissa, siinä olevat epäpuhtaudet laskeutuvat tiivistyvän veden mukana tankin pohjalle. Nämä on mahdollista saavuttaa vain, mikäli säiliöntulo on ylhäällä, ja lähtö vastakkaisessa suunnassa alhaalla. Ilman tulee siis virrata ilmasäiliön läpi. (Mikä on ilmasäiliö? n.d.)

5 Tallennuskäytänteet ja raportointimallit

Opinnäytetyössä ratkaistiin kolme toimeksiantajalla olevaa kehityskohtaa. Nämä olivat kunnonvalvonta- ja paineilmaraporttien yhdenmukaistaminen sekä dokumentointisuunnitelman kehittäminen. Kunnonvalvontaraporteille luotiin yrityksen tarpeisiin sopiva raportointipohja, jota kunnossapitoasentajat voivat hyödyntää kaikissa yrityksen kuntotarkastustehtävissä. Pohjasta tehtiin myös helposti muokattava ja visuaalinen. Paineilmaraportoinnille rakennettiin sovellus, joka tarkkailee vuotojen löytymisiä sekä laskee niin vuotomääriä kuin niistä aiheutuvia kuluja. Yrityksen käytössä olevaan SharePointtiin suunniteltiin kehitysaskleet, joilla helpotettiin tiedostojen tallentamista yksinkertaistamalla kansiorakenteita. Kehitysaskleilla mahdollistettiin SharePointin skaalaaminen yrityksen kasvaessa.

5.1 Kuntotarkastusraportin kehittäminen

Tabox Services Oy tuottaa asiakkailleen muiden kunnossapito ja huoltotöiden ohessa tohtorointiliiketoimintaa, joka kattaa perinteisiä kuntokartoituksia. Kuntokartoituksessa tarkistetaan kunto tuotantolaitteesta, kuten turvalaitteiden toiminta, sähköturvallisuus sekä lisälaitteiden ja komponenttien toiminta. Pääsääntöisesti tohtorointeja suoritetaan osana laitteiden vuosihuoltoja, jolloin laitteen tilasta saadaan niin laadukas kuin myös moniulotteinen katsaus. Yrityksellä on kuitenkin haasteita laadukkaan raportoinnin puuttuessa, jolloin laadukas työnjälki välittyy heikosti asiakkaille.

Toimeksiantaja toimii alihankkijana suurelle organisaatiolle. Suuressa organisaatiossa on usein haasteena tiedonkulku sekä niin tiedon hitaaseen liikkumiseen kuin myös liikkumavarmuuteen liittyvät haasteet. Kunnossapitoasentajan ja asiakasyrityksen kunnossapitopäällikön haastatteluissa nousi huoli tiedon kulkemisesta asiakasrajapinnassa. Haastateltavat kertoivat tilanteesta, jossa tuotantolaitteessa oli ollut pieni vika. Vika oli ollut kunnossapitoasentajilla ja operaattoreilla tiedossa, mutta ei kunnossapidon ja verstaan esimiehillä. Vika ei ollut estänyt koneen käyttöä, mutta kiireellisellä tuotannon hetkellä kone oli tämän vian seurauksena vikaantunut. Pienen vian takia oli aiheutunut pitkä seisokkiaika, josta oli seurannut tuotannon menetyksiä. Vikaantumiseen olisi voitu varautua korjaamalla se ennakoivasti tai hankkimalla tarvittavat varaosat viankorjaukseen valmiiksi.

Tällaisia laitekohtaisia vikoja ja huomiota kerätään varsinkin vuosihuoltojen yhteydessä. Yleensä näistä on toimeksiantajalla täytetty tohtorointiraportti, johon haettiin selkeyttä toimeksiantajan kanssa. Tohtoroinnille laadittiin selkeä raportointipohja, jolle määritettiin aluksi selkeät rajat ja tavoitteet. Tärkeimpinä kriteereinä oli helppo täytettävyyys sekä selkeä ja informatiivinen ulkoasu.

5.1.1 Taustoitus kuntotarkastuksiin

Haastatteluissa yrityksen sisällä selvisi, minkälainen olisi hyvä pohja ja, mitkä tiedot olisivat tarpeellisia. Aikaisempien raporttien perusteella raportointi oli pinnallista, sillä raportit sisälsivät lähinnä huomiota, jotka olivat kuntotarkastuksissa havaittu (Ks. Liite 4. Alkuperäinen tohtorointiraportti). Toimeksiantajalle alihankkijan toimesta luotu kuntokartoitus oli puutteellinen, joka auttoi määrittämään mitä tietoja raportissa tulisi olla (Ks. liite 3 Puutteellinen kuntotarkastusraportti). Kirjaukset tehdyistä havainnoista, suoritetuista toimenpiteistä ja mittauksista eivät sisältäneet tarpeeksi informaatiota, kuten laakerityyppejä ja mittaustuloksia (ks. kuvio 3). Tämä hankaloittaa varastonhallintaa, kun ei ole varmuutta oikeiden varaosien saatavuudesta.

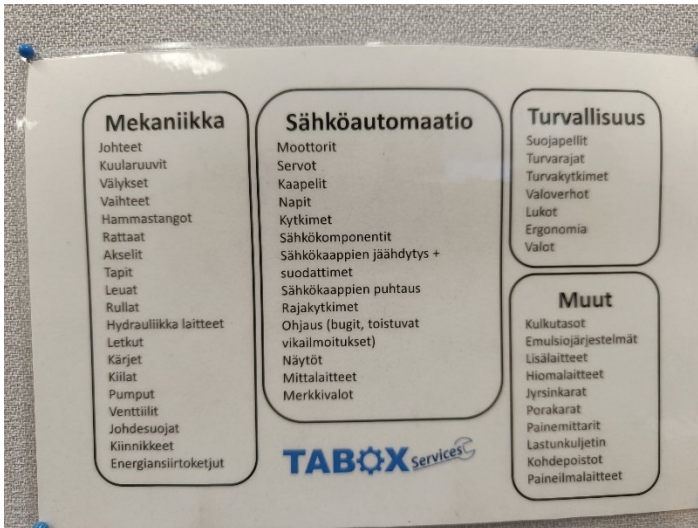
Suoritetut toimenpiteet:			
Moottori	1.	<input checked="" type="checkbox"/> Resistanssimittaus	Mittaustulokset?
	2.	<input checked="" type="checkbox"/> Eristysvastus mittaus	Mittaustulokset?
	3.	<input checked="" type="checkbox"/> Toistoaltotestaus	Mittaustulokset?
	4.	<input type="checkbox"/> Resolverin tarkastus	
	5.	<input type="checkbox"/> Pulssianturin testaus	
	6.	<input type="checkbox"/> Staattinen momentti	
	7.	<input type="checkbox"/> Generointi koe	
	8.	<input type="checkbox"/> Kommutointipisteen mittaus	
	9.	<input type="checkbox"/> Puhaltimen huolto	
	10.	<input type="checkbox"/> Jarrun huolto	
	11.	<input type="checkbox"/> Vaihteiston laakerit uusittu	
	12.	<input type="checkbox"/> Vaihteiston öljy/rasva uusittu	
	13.	<input checked="" type="checkbox"/> Tiivisteet uusittu	Mitkä tiivisteet uusittu?
	14.	<input checked="" type="checkbox"/> Laakerit uusittu	Mitkä kaikki laakerit uusittu?
	15.	<input type="checkbox"/> Vetoakseli korjattu	
	16.	<input type="checkbox"/> Laakerikilvet koneistettu	
	17.	<input type="checkbox"/> Laakerikaula korjattu	
	18.	<input checked="" type="checkbox"/> Käämien pesu ja kuivaus	
	19.	<input checked="" type="checkbox"/> Pintamaalattu	

Kuvio 3. Puutteelliset kirjaukset

5.1.2 Raportointipohja

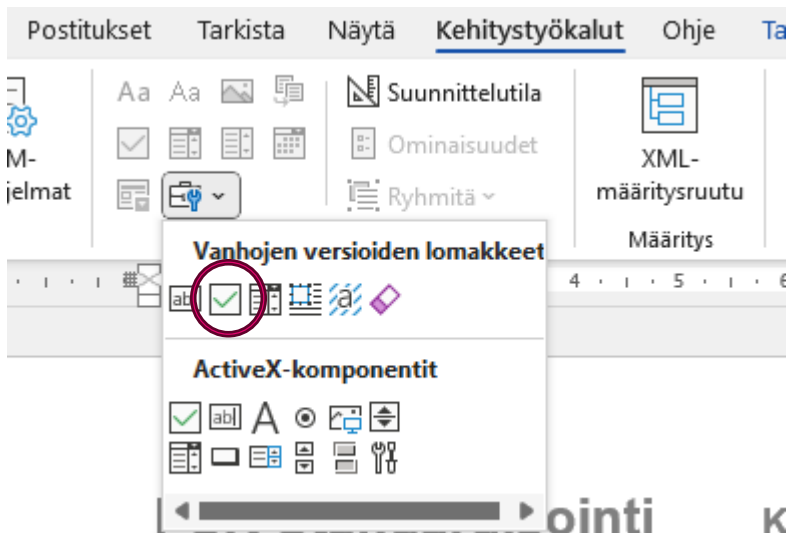
Raportointipohjasta luotiin helppokäyttöinen ja selkeä. Helppokäyttöisyyden kriteerinä oli, että raportti tulisi pystyä luomaan vähintään tietokoneella. Aluksi tutkittiin, mitä standardeja aiheesta on tehty. PSK-standardisointi yhdistyksen standardiryhmä 62, kattaa standardeja teollisuuden kuntokartoituksiin, josta PSK 6202 Prosessiteollisuuden kuntokartoitus käsittää laitekohtaisia kartoituksia. Kuntokartoituksen raportointilomake antoi hyvän lähtökohdan siihen, millainen raportointilomake on hyvä (ks. Liite 6. PSK 6202. Kuntokartoituksen raportointilomake).

Yrityksen kunnossapitoasentajilta löytyi heidän käyttämä tarkastusohje kuntotarkastukseen. Ohje-lapussa on eritelty tarkastettavat kohteet turvallisuuteen sekä niin mekaanisiin, hydraulisiin kuin myös sähkö- ja automaatio komponentteihin. Toteutuksessa sovellettiin niin PSK-6202 standardia (ks. liite 6) kuin yrityksen tarkastusohjetta (ks. kuvio 4).



Kuvio 4. Tarkastusohje kuntokartoitukseen

Raportointipohjasta tehtiin Excel-versio, mikä osoittautui kuitenkin vaikeakäyttöiseksi niin kirjaimisen kuin myös sen muokattavuuden vuoksi. Excelin käyttöä sen sijaan puolsi tiedoston valintanappi, jota pystyi hyödyntämään myös standardissa olevan kuntoluokkarivin luomiseen (ks. kuvio 5). Tutkittiin myös muita mahdollisuuksia luoda helppokäyttöinen raportointipohja, ja tämän vuoksi luotiin versio myös Microsoft Wordiin.



Kuvio 5. Valintaruutu (Lomakeohjausobjekti).

Word-versiossa käytettiin samaa valintanappiominaisuutta kuin Excelissä, mikä mahdollisti helppokäyttöisen kuntoluokkarivin luomisen. Tämä taulukko osoittautui selkeäksi ja käyttäjäystävälliseksi, mikä tekee raportoinnin kirjaamisesta ja muokkaamisesta huomattavasti helpompaa. Wordin tarjoama joustavuus ja visuaalinen selkeys vahvistivat päätöstä tämän työkalun kehittämistä ja hyödyntämistä. (ks. kuvio 6).

		Kuntoluokka				
1.0	Turvallisuus	1	2	3	4	Toimenpide ehdotukset
1.1	Suojat	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1.2	Turvarajat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Kopin edessä oleva keltainen merkkivalo, jonka pitäisi aktivoitua porttien aukaisuun toimii vain ajoittain tai viiveellä
1.3	Turvakytkimet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Kuvio 6. Valmis raportointipohja

Kunnossapitoasentajalta heräsi kuitenkin huoli kuntoluokista ja lähinnä niiden tulkitsemisesta. Asentaja oli huolissaan siitä, että hänen ja asiakkaan näkemykset kuntoluokista eivät välttämättä kohtaa. Ongelmaksi muodostuu yhteneväisyys raportoidessa. Asentaja voi luokitella komponentin kuntoluokkaan 3. ja asiakas kuntoluokkaan 4. Tämän palautteen pohjalta kävin keskusteluja toimeksiantajan, asentajan ja pääasiakkaan edustajan kanssa. Keskustelujen tuloksena onnistuimme yhdenmukaistamaan kuntoluokkien määritelmät, mikä parantaa jatkossa raportoinnin luotettavuutta ja yhteneväisyyttä (ks. kuvio 7).

Raportissa hyödynnetyt pohjatiedot/olettamukset

1. Turvallisuusriskeistä tehdään ilmoitus ECO-Onlineen.
2. Kuntoluokat

1	Hyvä			
	Ei uusimis- tai korjaustarpeita			
	Ei koneen käyttöä haittaavaa kulumista			
2	Tyydyttävä			
	Ei välitöntä uusimis- tai korjaustarvetta			
	Tarkkailua osalle on lisättävä			
3	Välttävä			
	Uusimis- tai korjaus tarve ennen seuraavaa vuosihuoltoa			
	Ei välitöntä riskiä koneen pysähtymiselle			
4	Hälyttävä			
	Heti korjattava tai uusittava, riski koneen pysähtymiselle			
	Turvallisuus riski			

Kuvio 7. Kuntoluokat

Tabox Servicellä on käytössä ECO-Online palvelu, jonne raportoidaan turvallisuuteen liittyvät huomiot ja tapaturmat. Raportin pohjatietoihin lisättiin, että turvallisuusriskeistä ja huomiosta tehdään ilmoitukset ECO-Onlineen (ks. kuvio 7). Tämä mahdollistaa turvallisuuteen liittyvien asioiden jäljitettävyyden ja asianmukaisen merkkauksen varmistamisen. Lisäksi turvallisuuteen liittyvät huomiot laitteessa ilmoitetaan aina kuntoluokassa 4.

Raportointipohjaan lisättiin myös vapaa tekstikenttä, joka mahdollistaa yksityiskohtaisempien huomioiden kirjaamisen kuntotarkastusten yhteydessä. Tämän lisäksi integroitiin toimintoja, kuten varmuuskopiointi ja logiikan mukainen paristojen vaihdon kuittaus. Nämä lisättiin raportin loppuun (ks. kuvio 8).

Muut:

Varmuuskopiointi: Suoritettu ☐ Päivämäärä:
 Logiikan paristojen vaihto: Suoritettu ☐ Päivämäärä:

Huomiot ja lisäselvitys tarpeet.

	Viikkohuolto ohje tekemättä
	Suojien mekaanisien lukkojen avaimia tarvitaan lisää, tällä hetkellä 2kpl
	Lastunkuljettimen luona olevan oveen toivotaan muutosta, että aukeisi sisäänpäin tilanpuutteen takia
	Jos sähkökaapin päällä olevat laskeutuvat tikkaat ovat vielä käytössä niitä ei voi käyttää. Sähkökaapin jäähdyttimet ovat tiellä
	Varmuuskopiointia ei ole tehty

Kuvio 8. Huomiot ja lisäselvitystarpeet

5.2 Raportoinnin kehittäminen paineilman kunnonvalvonnassa

Tabox Services suorittaa säännöllisesti paineilman kunnonvalvontaa asiakkailleen. Kuitenkaan käytössä ei ole yhtenevää raportointia, eikä sovellusta, jolla pystyisi seuraamaan kokonaistilannetta verkostossa olevista vuodoista. Täten ei reaaliaikaisesti saada selville, kuinka paljon asiakkaiden paineilmalinjastoissa on vuotoja, eikä sitä kuinka paljon niitä on korjattu tai löydetty. Tästä muodostui opinnäytetyön toinen kehitysongelma.

Aluksi selvitettiin pääasiakkaan paineilmajärjestelmän pohjakuorma eli järjestelmän itse aiheuttamaa kuormaa, kun paineilmaa ei käytetä tehtaassa. Pohjakuorma kertoo suoraan laitteiston sekä linjaston aiheuttaman vuodon määrän tehdasalueella. Toisaalta pohjakuorma ei ole täysin verrannollinen tehtaassa tapahtuviin vuotoihin, sillä jotkin prosessit kuten ilmanvaihto kuluttavat paineilmaa tehtaan muuten ollessa seisakissa. Kuitenkin pohjakuormaa tutkimalla pystytään selvittämään, onko paineilman hallinta suuruusluokaltaan hyvässä kunnossa.

Asiakkaan paineilmajärjestelmän pohjakuorma oli kompressoritehosta noin 20 %, joka todettiin laitoksen tuotannon ollessa seisakissa. Lukua voidaan pitää realistisena, sillä tehdasalue on vanha ja linjastoa on alueella laajasti. Varsinkin vanhoissa tehtaissa paineilmastossa voi olla vuotoja 20 %.

(Camber & Mehlretter 2017; Atlas Copco n.d.) Paineilmajärjestelmässä on siis vuotoja, ja paineilman kunnonvalvonnalla voidaan löytää merkittäviä taloudellisia säästöjä kuin myös vähentää laitoksen ympäristökuormaa.

5.2.1 Raportoinnin nykytilanne

Toimeksiantaja suorittaa säännöllisiä tarkastuksia asiakkaan paineilmaverkostoon. Nämä viikoittaiset kierrokset kattavat ultraäänikuvaukset halleissa sekä paineilmaverkoston runkolinjastossa. Runkolinjastoa kuvatessa tyhjennetään ja tarkastetaan paineilma verkoston vedenerottajat sekä linjaston yleinen kunto.


Verkostokierroksilta kirjataan muistiin vuotokohdat ja niistä otetaan ultraäänikameralla kuvat. Asiakasyritys edellyttää kompressorien sekä kuivainten päivittäiset tarkastukset, joista raportoidaan automaattisesti asiakasyrityksen CMMS-järjestelmään. Näistä muodostuu automaattisesti työtilaukset kunnossapitojärjestelmään, joten raportointi näiden osalta tapahtuu automaattisesti. Löydetyistä vuodoista ei tehdä merkkauksia, eikä toisaalta niitä kirjata mihinkään järjestelmään. Vuodoista ilmoitetaan vuotoalueen työnjohtajalle, joka vastaa siitä, että asiakas tekee näistä työtilaukset vuotojen korjaamiseksi.

Tabox Services halusi tutkia ja raportoida paineilmatarkastusten tehokkuutta, joten he halusivat mittaroida vuotomäärää, vuotojen lukumäärää sekä löytymis- ja korjauspäivämääriä. Heidän käytössään ei ollut kunnollista järjestelmää tämän toimenpiteen suorittamiseen. Toisaalta ei olisi haittaa myöskään paremmasta vuotokierrosten jäljitettävyydestä, kuten siitä mitkä kohteet on tarkastettu. Asiakkaan tehdasalue on suurikokoinen ja joka kierroksella ei välttämättä pystytä koko tehdasaluetta tarkistamaan. Raportoinnilta olisi hyvä pystyä raportoimaan määrätyn aikavälin löydetty ja korjatut vuodot sekä näiden perusteella säästetyt eurot.

5.2.2 Raporttissa annettavat tiedot

Asiakasrajapinnassa raportoinnissa olennaisia tietoja on löydetty vuodot, niiden vuotomäärät sekä niistä aiheutuvat kulut (ks. kuvio 9). Näistä tiedoista lasketaan takaisinmaksuaikoja sekä perustel-

laan kunnonvalvonnan tarpeellisuutta. Toisaalta yrityksen sisäisessä raportoinnissa on tärkeitä tietoja vuotojen sijainti, löytymispaikka sekä avonaiset vuodot. Toimeksiantaja halusi raportoida yhdellä raportointityökalulla niin yrityksen sisäiset kuin myös ulkoiset raportit.



Detailed List of Compressed Air System Leaks
Prepared for: ABC Industries

Report Prepared By:

Assumptions for Calculation							Cost and Energy Avoidance			
Annual Operating Hours		Electricity Cost		Cost per 1000 cubic feet			Identified	cfm	kWh	CO ₂
8,760		\$ 0.10		\$ 0.33			\$73,639.76	426	703,717	424,986
Tag Number	Location Name / Machine Number	Pressure at Leak (psi)	dB Reading	Problem Description	Repaired (Y/N)	Work Order	Identified Leaks Cost Avoidance	Size of Leak (cfm)	Energy Avoidance (kWh)	CO ₂ Avoidance (lb)
N/A	machine1441	75	86				\$1,119.84	6.5	11198	6763
151	filters on 1223	75	82				\$1,042.74	6.0	10427	6297
153	filters on 248	75	78				\$967.49	5.6	9675	5843
133	filters	75	76				\$930.57	5.4	9306	5620
175	481	75	74	torn hose			\$894.13	5.2	8941	5400

Kuvio 9. Vuotoraportti

5.2.3 Raportinluominen LeakReporterissa

Paineilmakuvauksiin yrityksellä on käytössä SonaVu Pro -ultraäänikamera. Valmistajalta on saatavissa myös LeakReporter sovellus, jolla pystyy valmistamaan raportteja paineilmakuvauksista. Sovellukseen liitetään kamerasta kuvat, joista saadaan automaattisesti luotu raportti. Raportista ei saa jäämään muistijälkeä vuodoista, eikä täten keräämään dataa vuotomääristä, vaikka kamera kykenee vuotomäärää mittaamaan. Tämä ilmoitetaan vuotokuvassa vuotoindeksinä, joka on asetettu asteikolle 1–5 (ks. taulukko 1).

Taulukko 1. Vuoto-indeksi

Vuoto-indeksi		Vuotomäärä
1		alle 200 cm ³ /min
2		200-400 cm ³ /min
3		400-600 cm ³ /min
4		600-800 cm ³ /min
5		yli 800 cm ³ /min

Kameran tukena olisi mahdollista käyttää erillistä vuotomittaria, jolloin raportit luotaisiin LeakReporterin puhelinsovelluksella. Puhelinsovelluksella olisi mahdollista kirjata vuotomäärät lisäämällä vuotomittarin antaman äänen amplitudin sekä vuotomittarin tyyppin. Tällöin sovelluksella pystyisi seuraamaan vuotomääriä, niistä aiheutuneita kuluja sekä vuotojen ilmoitus- ja korjauspäivämääriä (Kunnonvalvonta ultraäänimittauksella n.d.). Toimeksiantajalla ei ole käytössä erillistä vuotomittaria tarkkojen mittausten tekemiseen. Vuotomääriä haluttaisiin kuitenkin tarkkailla, joten tästä tulee haaste LeakReporterin käyttöön.

Vuotomittarilla olisi etuja, kun sitä käytettäisiin ultraäänikameran rinnalla. Ultraäänikamera tunnistaa äänen amplitudin. Amplitudi eli äänenpaineen vaihtelu on mitattava suure ja korkein amplitudi peittää alleen pienemmät amplitudit (Sound n.d.). Täten ultraäänikamera tunnistaa vain korkeimman amplitudin, joka vaikeuttaa useiden lähekkäisten vuotojen havaitsemista. Toisin sanoen pienet vuodot jäävät löytymättä isomman vuodon läheltä. Tämä koskettaa erityisesti pneumaattisia toimilaitteita sekä paineilmakeloja, joissa on usein useampia vuotoja käyttöiän loppupäässä. Toisaalta erillinen vuotomittari olisi tarkka työkalu vuotojen paikkausten tarkastamiseen. (Multi-frequency Ultrasound and Acoustic Imaging Camera n.d.)

5.2.4 Excel-pohjainen raportointisovellus

Ongelma ratkaistiin Excel-tiedoston avulla, joka tallentaa vuotoja sekä laskee vuotoindeksin perusteella arvion vuotomääristä ja vuotojen aiheuttaman kulun. Tämä on mahdollista, sillä asiakkaan

paineilmaverkon paine on vakio ja täten vuodon aiheuttama kulu on helposti laskettavissa. Työkirjasta voidaan helposti monistaa uusia versioita, joita voidaan käyttää toimeksiantajan muissa toimipisteissä.

Sovelluksen aloitussivusta tehtiin mahdollisimman informatiivinen. Aloitussivulta voidaan lisätä vuotoja, muuttaa niitä korjatuiksi ja myös nähdä avoimet eli korjaamattomat vuodot. Vuotojen ilmoittaminen mahdollistettiin myös puhelimella, yhdistämällä Excel-sovellukseen Microsoft Forms -kysely (ks. kuvio 10).

Lisää vuoto			Korjaa vuoto		
Pvm	6.4.2024 12:21		ID		Valitse ID
ID	18		Sijainti		
Sijainti			Vuoto-indeksi		
Vuoto indeksi			Havainto pvm		
Korjattu			Tilanne		
Kommentti			Kommentti		
Lisää vuoto			Kuittaa vuoto korjatuksi		

Avoimet vuodot							
ID	Sijainti	Vuoto-indeksi	Havainto pvm	Korjaus pvm	Vuotomäärä m3/h	Kulu €/a	Kommentti Vuodosta
14	Testi	2	5.4.2024	Avoin	1,8	275,94 €	Testi
12	P-145	4	5.4.2024	Avoin	4,2	643,86 €	Testi
11	P-130	4	5.4.2024	Avoin	4,2	643,86 €	Testi
6	p145	2	26.3.2024	Avoin	1,8	275,94 €	Testi
5	LP-31	5	26.3.2024	Avoin	7,2	1 103,76 €	Testi
4	LP-31	5	26.3.2024	Avoin	7,2	1 103,76 €	Testi
3	LP-31	5	26.3.2024	Avoin	7,2	1 103,76 €	Testi
2	LP-31	2	26.3.2024	Avoin	1,8	275,94 €	Testi
1	LP-31	3	26.3.2024	Avoin	3	459,90 €	Testi

Kuvio 10. Paineilmatyökirjan aloitussivu


Tietokoneella vuodot merkataan sovelluksen aloitussivulta. Vuotoja on kuitenkin helpompi lisätä suoraan vuodon löydyttyä. Tämä mahdollistettiin sillä, että Exceliin yhdistettiin Forms-kysely, joka tallentaa vuodosta samat tiedot työkirjaan. Data kerätään omalle välilehdelle, jossa näkyy kaikki

tieto kyseisestä vuodosta (ks. kuvio 11). Tällä pyritään pitämään tiedonkulku selkeänä niin asentajien kuin myös asiakkaan ja toimeksiantajan välillä.

ID	Sijainti	Vuoto-indeksi	Havainto pvm	Korjaus pvm	Vuotomäärä m ³ /h	Kulu €/a	Kommentti Vuodosta	Tehohäviö kW	Kommentti korjauksesta	Kulu/d	Säästetty määrä
17	Testi	5	6.4.2024 12:21	Avoin	7,2	1103,76		0,84		3,02 €	
16	Testi	3	5.4.2024 9:42	5.4.2024 11:45	3	459,90 €	Testi	0,35	Kaksi testi	1,26 €	32,76 €
15	Testi	1	5.4.2024 9:32	5.4.2024 11:44	0,9	137,97 €	Testi	0,105	Kaksi testi	0,38 €	9,83 €
14	Testi	2	5.4.2024 9:23	Avoin	1,8	275,94 €	Testi	0,21		0,76 €	
13	Toimisto	1	5.4.2024 9:21	5.4.2024 9:42	0,9	137,97 €	Testi	0,105		0,38 €	9,83 €
12	P-145	4	5.4.2024 8:02	Avoin	4,2	643,86 €	Testi	0,49		1,76 €	
11	P-130	4	5.4.2024 7:59	Avoin	4,2	643,86 €	Testi	0,49		1,76 €	
10	P-150	5	26.3.2024 15:13	5.4.2024 9:09	7,2	1 103,76 €	Testi	0,84		3,02 €	78,62 €
9	LP-31	5	26.3.2024 15:11	5.4.2024 9:09	7,2	1 103,76 €	Testi Ei korjattu	0,84		3,02 €	78,62 €
8	LP31	3	26.3.2024 15:10	26.3.2024 15:10	3	459,90 €	Testi korjattu	0,35		1,26 €	45,36 €
7	p145	2	26.3.2024 15:10	26.3.2024 15:10	1,8	275,94 €	Testi	0,21		0,76 €	27,22 €
6	p145	2	26.3.2024 15:10	Avoin	1,8	275,94 €	Testi	0,21		0,76 €	
5	LP-31	5	26.3.2024 15:04	Avoin	7,2	1 103,76 €	Testi	0,84		3,02 €	
4	LP-31	5	26.3.2024 15:04	Avoin	7,2	1 103,76 €	Testi	0,84		3,02 €	
3	LP-31	5	26.3.2024 13:34	Avoin	7,2	1 103,76 €	Testi	0,84		3,02 €	
2	LP-31	2	26.3.2024 13:34	Avoin	1,8	275,94 €	Testi	0,21		0,76 €	
1	LP-31	3	26.3.2024 13:34	Avoin	3	459,90 €	Testi	0,35		1,26 €	

Kuvio 11. Data-välilehti

Työn tuloksena parannettiin paineilmaverkkokuvauksien raportointia asiakkaalle. Raportointia varten työkirjassa on Raportointi-välilehti, jossa luodaan automaattisesti raportti valittujen päivämäärien perusteella. Raporttiin valitaan päivämäärät ja niiden perusteella asiakirja suodattaa näiden päivämäärien välillä tapahtuneet tapahtumat. Raportissa on esillä kaikki laskentaan käytettävät esiolettamat, sekä erikseen niin löydetty vuodot kuin myös löydettyjen, kuitenkin korjaamattomien vuotojen määrä ja niistä aiheutuva kulu (ks. kuvio 12). Avoimet vuodot ilmoitetaan sen vuoksi, ettei toimeksiantaja ei voi korjata vuotoja ilman, että niistä tehdään työtilaus asiakkaan pyynnöstä.

Vuotoraportti aikaväliltä		1.4.2024		3.5.2024		Laadittu		3.5.2024			
Asiakas Oy						Laatija		Kalle Rannila			
		Laskenta perusteet				Löydetyt vuodot		Avoimet vuodot			
		Paineilman vaatima teho				7 kW/m3/min		Määrä		5 kpl	
		Vuosittaiset käyttötunnit				Verkostopaine		Energia hinta		Vuosikustannus	
		8760 h				6,2 bar		0,15 €		Tehohäviö	
								0 kW		Vuosikustannus	
										10,2 m3/h	
										1 563,66 €	
ID	Sijainti	Vuoto-indeksi	Havainto pvm	Korjaus pvm	Vuotomäärä	Kulu €/a	Teho häviö	Kommentti			
1	Kuivain	4	2.5.2024	2.5.2024	4,2 m3/h	643,86 €	0,49 kW	Tämä on testi			
2	Venttiili TK100	3	23.4.2024	Avoin	3 m3/h	459,90 €	0,35 kW	Tämä on testi			
3	Kone 96	2	30.4.2024	30.4.2024	1,8 m3/h	275,94 €	0,21 kW	Tämä on testi			
4	Kompressor	5	30.4.2024	30.4.2024	7,2 m3/h	1 103,76 €	0,84 kW	Tämä on testi			
5	Venttiili TK110	5	30.4.2024	Avoin	7,2 m3/h	1 103,76 €	0,84 kW	Tämä on testi			

Kuvio 12. Vuotoraportti

5.2.5 Vaihtoehtojen vertailu

Näiden kahden vaihtoehdon väliltä valittiin, kumpi ratkaisu valitaan. Leakreportter sovelluksessa ei ole mahdollista seurata käytössä olevan kameran avulla vuotomääriä, vaikka sitä selvitettiin laitteen maahantuojalta. Heillä ei myöskään ollut toista sovellusta vuotojen raportointiin. Excel-pohjainen sovellus ei ole niin vaivaton, mitä valmis sovellus. Toisaalta Excel-pohjaista sovellusta pystyy muokkaamaan paremmin toimeksiantajan tarpeita vastaavaksi. Vuotomäärien ollessa ratkaisevassa roolissa, valittiin Excel pohjainen ratkaisu käyttöön. Tätä kehitetään jatkossa, kun kehityskohteita nousee käytössä esille. Pidemmällä aikavälillä tulisi harkita sovelluksen kehittämistä esimerkiksi verkkopohjaiseksi ratkaisuksi. Näin mahdollistettaisiin laajempien toimintojen käyttöönotto, kuten kuvien lisääminen raporttiin.

Raportointi ei ole kuitenkaan pelkästään asiakkaalle raportointia, vaan asentajien välilläkin tulee raportoida ja tehostaa tiedonkulkua. Usein vuotoja ei korjaa sama henkilö, joka suorittaa vuotojen kuvaamista. Tähän ratkaisuksi löytyy vuotojen merkkaaminen näkyvällä merkillä (ks. kuvio 13). On tärkeää, että kaikki havaitut vuodot merkattaisiin linjastoissa, jotta niiden uudelleen etsimiseen ei käytettäisi aikaa. Vuodon merkkaamisessa olisi tärkeää hyvin huomiota herättävä väri ja, että vuotoon merkattaisiin vuodon löytymispäivä ja järjestelmään merkattu vuotonumero. Täten vuotojen korjaamisesta tehtäisiin mahdollisimman vaivatonta ja vuodot olisivat helposti raportoitavissa korjatuiksi.

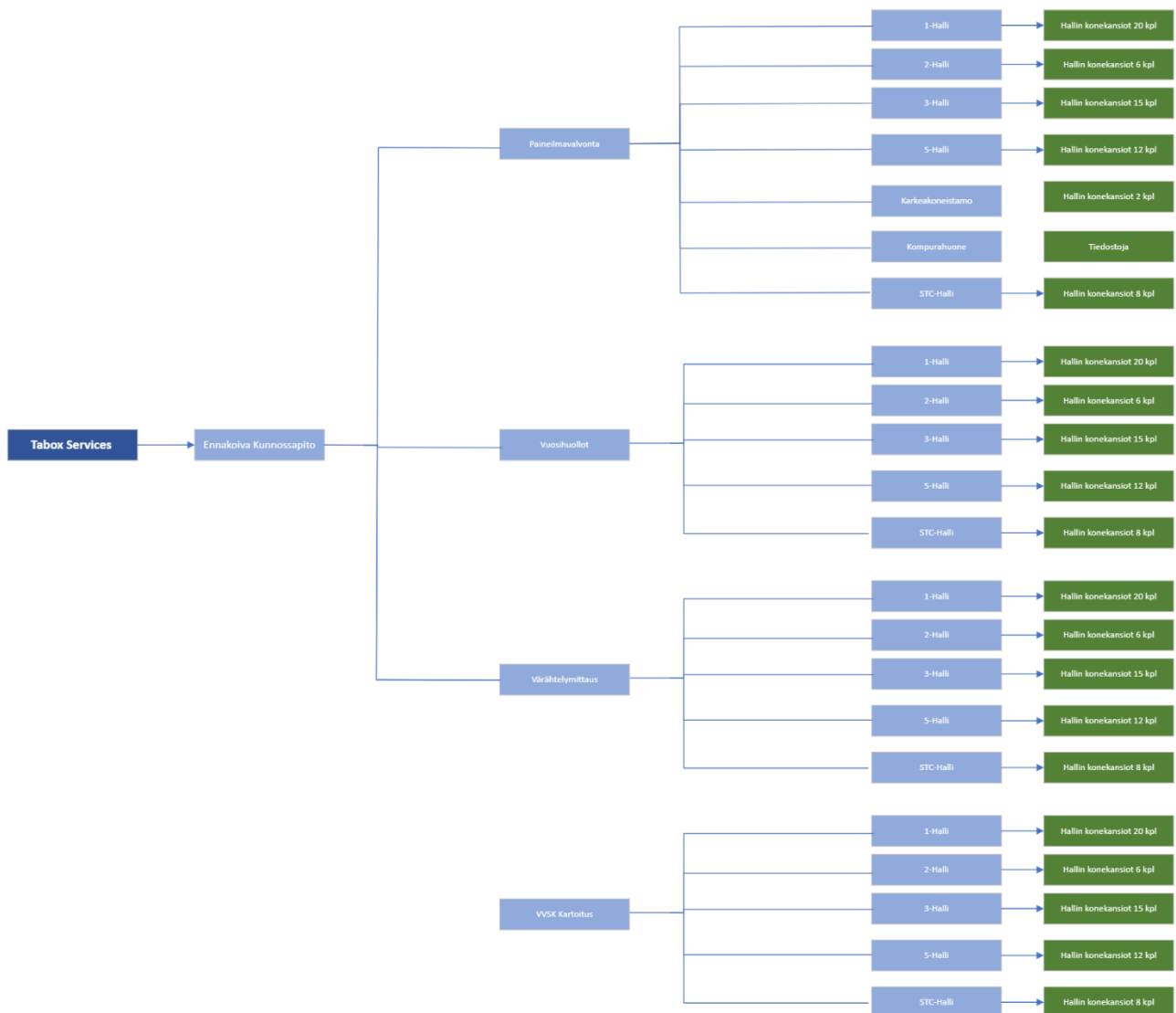


Kuvio 13. Vuodon merkkkaus

5.3 Dokumentoinnin kehitysaskleet

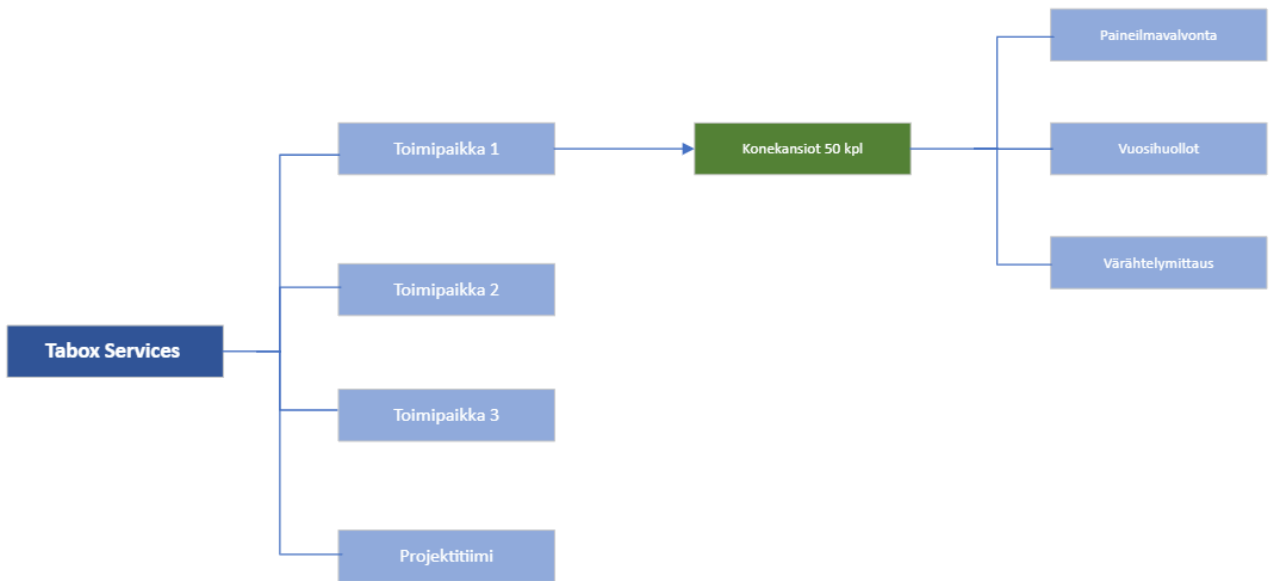
Tabox Servicellä on käytössä Sharepoint, jonne tallennetaan yrityksen sisäiset dokumentit sekä asiakkaille tehdyt raportit. Yhtenevien tallennuskäytänteiden ja heikon suunnitelmallisuuden vuoksi Sharepointista oli muodostunut sekava. Käytännössä tämä tarkoittaa, että työntekijät etsivät tallennuspaikat manuaalisesti tiedostosijainneista, joka vaikeuttaa yhteneväisyyttä sekä tiedon kulua työntekijöiden välillä.

Kuten alla olevasta kaaviosta huomataan, on yrityksellä ollut todella paljon kansioita, joista tietojen etsiminen ja oikean tallennuspaikan löytyminen on haastavaa. Loppujen lopuksi tallennettaessa ja tietoa etsiessä, etsitään oikeaa konekohtaista kansiota. Koneet on nimetty kyseisessä toimipisteessä koneen alkutunnuksen (Hi=Hiomakone, S=Sorvi jne.) mukaan, jota seuraa koneen numero (esim. Hi-1). Kansiota etsiessä olisi helpoin etsiä konekohtaisia kansiota aakkosjärjestyksessä olevasta tiedostorakenteesta (ks. kuvio 14).



Kuvio 14. Alkuperäinen tiedostorakenne

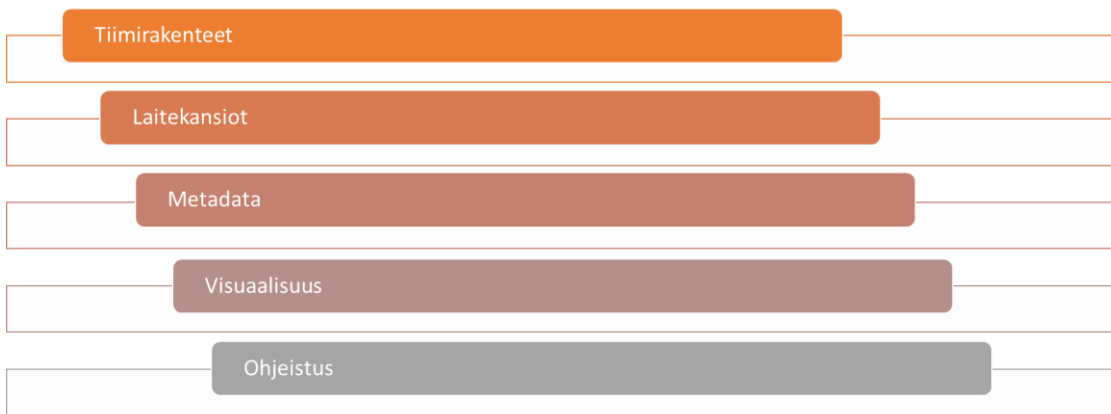
Tutkimme ongelmaa yrityksen sisäisesti ja totesimme, että Sharepointtiin rakennettaisiin tiimisivustot toimipisteille ja tallennuspaikat näiden alle. Tiimipaikat nimettäisiin toimipaikkojen mukaan, ja niiden alle rakennettaisiin suoraan kaikki toimipaikan alla olevat konekohtaiset kansiot. Konekohtaisiin kansioihin lisättäisiin metadatat, kuten koneen ERP-järjestelmän tunnus, hallipaikka ja työnjohtaja. Tällä metadatatalla voitaisiin rakentaa suodattukset, joka mahdollistaisi erilaiset suodattukset sijaintipaikan (hallin) tai nimen perusteella. Toisaalta yleensä koneita haetaan suoraan koneen tunnuksesta, joten tämä helpottuisi. Kansioihin luotaisiin alakansiot eri huoltotyypeille, kuten värinämittaukset, öljyanalyysit ja tohtorointiraportit (ks. kuvio 15). Tällä rakenteella ehkäistäisiin tuplatallennukset sekä väärät tallennuspaikat. Toisaalta metadatatalla voitaisiin automatisoida raportteihin tulevia tietoja sekä automaattisesti lähettää tiedostoja asiakkaan työnjohtajille.



Kuvio 15. Päivitetty kansiorakenne

Tiimisivustot luotaisiin mahdollisimman yksinkertaisiksi sisältäen pikalinkkejä tallennuspaikkoihin ja suodatuksiin. Tiimisivustoihin voitaisiin liittää myös muita ominaisuuksia, joita Sharepoint mahdollistaa kuten sisäisen tiedon ja uutisten jakamisen. Työntekijöille luotaisiin oikeudet vain niiden toimipisteiden tiimisivuille, joissa hän työskentelee. Tämä helpottaa työntekijän työtä ja parantaa samalla tiedonkulkua sekä löytymistä.

Kehitysaskeleina sisäisen tiedon kulun parantamiseksi löytyi viisi pääkohtaa (ks. kuvio 16). Ensiksi luotaisiin tiimikohtaiset Sharepoint-sivut, joiden alle luodaan tiimikansiot. Metadatatalla hallittaisiin tiedostojen automaattisia nimeämisiä, oikeita tallennuspaikkoja sekä automatisoitaisiin eri prosesseja kuten valmiiden raporttien lähettämistä asiakkaalle. Lisäksi metadatatalla pyritäisiin siihen, että saataisiin automatisoitua mekaanisia prosesseja ja tekemistä. Tämän jälkeen suoritetaan visuaalinen suunnittelu ja rakentaminen. Lopuksi luodaan ohjeistukset yrityksen sisälle uusien kansioden ja tiedostojen nimeämiseen ja tallentamiseen liittyen.



Kuvio 16. Kehitysaskeleet

6 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää ennakoivan kunnossapidon raportointia Tabox Services Oy:ssä sekä lisäksi asettaa kehitysaskeleet yrityksen sisäisen dokumentoinnin kehittämiseksi. Tämä kohdistui kuntokartoitus ja paineilman kunnonvalvonnan raportointiin. Yrityksen sisäisen dokumentointiin oli saatava kehitysaskeleet, jotka mahdollistavat yrityksen kasvumahdollisuudet sekä tiedon tehokkaan liikkumisen yrityksen sisällä.

Tohtorointi- eli kuntokartoitusraportointiin rakennettiin yleispätevä sekä skaalautuva että muokattava raportointipohja, joka mahdollistaa laadukkaat sekä informatiiviset raportit asiakkaille. Raportointi kehittyi selkeämmäksi ja yhteneväisemmäksi sekä oli kunnossapitoasentajien mukaan helppoa ja vaivatonta kyseisellä raportointipohjalla. Tuloksiin siis päästiin ja oltiin tyytyväisiä.

Paineilman kunnonvalvonnan raportoinnissa haluttiin kehittää sekä raportoinnin ulkoasua että parantaa kunnonvalvonnan jäljitettävyyttä. Yksittäisellä raportointipohjalla ei tähän pystytty, joten päädyttiin rakentamaan Excel-pohjainen sovellus, joka tarkkailee paineilmankunnonvalvonnalla mitattavia suureita ja toisaalta myös luo raportin halutulla aikavälillä. Tuloksiin päästiin hyvin,

mutta visuaalisuudessa Excel-pohjainen ratkaisu ei ole paras mahdollinen. Helppokäyttöisyys ja monipuolisuus kuitenkin toteutuvat hyvin sovelluksessa.

Toimeksiantajan dokumentointiin haluttiin selvyttä ja järjestelmällisyyttä, jotta tiedonkulku asentajien välillä paranisi sekä väärät tallennuspaikat ja tuplatallennukset estettäisiin. Kehitysaskelista näille toimille saatiin selkeät ja toteutettavissa olevat ratkaisut. Yrityksen sisäistä tietotaitoa ja kykyä hyödynnettiin tämän tutkimuskysymyksen ratkaisemiseksi, mistä oli suuri apu.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön kirjoittaminen onnistui mielestäni hyvin. Työn rajaaminen oli tietyillä osin haastavaa ja moniulotteisuus sekoitti tekemistä ja aiheessa pysymistä. Rajaamisen haasteina oli tapaus- tutkimuksien rajaaminen siihen, kuinka syvää tutkimusta kehityskohteista tehdään ja, mitkä ovat tarkat tavoitteet näille. Rajaamista kävin uudelleen läpi toimeksiantajan kanssa, jolloin saatiin tarkemmat tavoitteet opinnäytetyölle. Tulevaisuudessa tulen rajaamaan ja tarkastelemaan omia ja muille antamiani projekteja tarkemmin sekä suunnittelemaan lopputuloksen tarkemmin, vaikka se veisi enemmän aikaa suunnitteluvaiheessa.

Oli mielekästä tehdä opinnäytetyö ikään kuin kolmesta eri tapaustutkimuksesta, mutta olisi ollut helpompaa ja mielenkiintoisempaa tutkia yhtä kokonaisuutta syvemmin. Tällöin olisi ollut enemmän resurssia käytettävissä esimerkiksi kokeilemaan eri vaihtoehtoja kuntokartoitusraportin luomiseen. Yhtenä mahdollisuutena olisi ollut verkkopohjaisen raportointilomakkeen luominen. Paineliman kunnonvalvonnassa olisi voinut tutkia CMMS-järjestelmien taipuvuutta ja muokattavuutta tämän osalta. Asiakasyrityksen käytössä olevassa CMMS-järjestelmässä on paljon mahdollisuuksia, joita olisi voinut tutkia laajemmin ja hyödyntää raportoinnissa.

Paineilmaverkostosta olisi mahdollista luoda CMMS-järjestelmään laite ja tälle järjestelmälle luoda työtilaukset. Tämän jälkeen olisi voinut tutkia järjestelmään havaittujen vuotojen ilmaisia sekä automaattista laskentaa kunnonvalvonnan suureista CMMS-järjestelmässä. Saamani tulokset ovat käytännöllisiä ja toimivia. Mikäli olisin perehtynyt yhteen tapaukseen syvemmin, olisin voinut oppia enemmän eri kunnossapitojärjestelmistä tai web-pohjaisten sivustojen ja sovellusten luomisesta. Lisäksi työn tuloksesta olisi voinut saada monipuolisemman ja tukemaan eri laitetyppejä kuten älypuhelimia ja tablettitietokoneita.

Odotuksina oli saada kuntokartoituksille raportointipohja, jolla saataisiin raportoitua kaikki yrityksen kuntokartoitukset. Tämä onnistui täysin ja raportointipohjalla voidaan raportoida kaikki työstökoneiden kuntokartoitukset. Lomakkeesta tuli myös visuaalinen, helppokäyttöinen ja informatiivinen. Jatkokehitystä lomakkeelle olisi web-version tai sovelluksen kehittäminen lomakkeesta, jota voisi täyttää niin tietokoneella kuin myös ainakin tablet-tietokoneella, jolloin raportointi olisi helpompaa suoraan kuntokartoitusta tehdessä.

Paineilman kunnonvalvonnan raportointilomakkeen odotuksena oli saman tyylinen raportointilomake. Tämä ei täysin toteutunut, koska paineilman kunnonvalvonnassa halutaan raportoida hetkellisen tilanteen lisäksi myös historialliset toimet. Tämän vuoksi raportoinnin tulee perustua historiatietoa laskevaan malliin, eli sovellukseen, joka tarkkailee havaittuja, korjattuja sekä avoimia vuotoja. Päädyttiin Excel-pohjaiseen sovellukseen, joka luo myös raportit. Mielestäni tuloksiin päästiin hyvin, koska odotuksena oli hetkellisen raportoinnin tekeminen, ja sovellus mahdollistaa myös takautuvan raportoinnin. Jatkokehityksenä voisi olla web-pohjainen ratkaisu, jolloin mahdollistettaisiin monialustaisuus puhelimelle ja tietokoneelle. Samalla tulisi tutkia kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmien kehittämistä ja muokkaamista tukemaan paineilman kunnonvalvontaa ja sen raportointia.

Dokumentoinnin kehitysaskeleista tuli selkeät ja mahdollistavat yrityksen kasvumahdollisuudet. Dokumentointia tulisi alkaa yrityksessä kehittämään kehitysaskeleiden mukaisesti mahdollisimman nopeasti, ennen kuin tilanne etenee ja syntyy ylimääräistä työtä. Ylimääräistä työtä raportoinnin kehittämiseksi syntyy, kun tiedostoja luodaan ja tallennetaan lisää. Dokumentoinnin kehittämisessä on paljon mekaanista työtä, joten mitä vähemmän tiedostoja on, sitä nopeampaa ja tehokkaampaa työ on.

Web-pohjaiset ratkaisut tarjoaisivat monia merkittäviä hyötyjä, jotka parantavat operatiivista tehokkuutta, vähentävät kustannuksia ja lisäävät työntekijöiden tyytyväisyyttä, samalla tukien yrityksen strategisia tavoitteita. Ne mahdollistavat raportoinnin automatisoinnin, mikä pienentäisi manuaalisen työn tarvetta ja virhemarginaalia. Intuiitiiviset käyttöliittymät ja mobiiliyhteensopivuus mahdollistavat tietojen päivityksen suoraan työkohteesta, mikä tehostaa ja helpottaa raportointia. Järjestelmien skaalautuvuus ja joustavuus mahdollistavat yritysten kasvun tukemisen ilman merkittäviä lisäinvestointeja, ja edistävät saumattomampaa tietojen virtaa yrityksen eri osastojen välillä. Lisäksi laadukkaan ja monipuolisen web-pohjaisen raportointisovelluksen rakentaminen voisi tarjota mahdollisuuden laajentaa yrityksen liiketoimintaa uusille alueille myymällä sitä ulkoisille sidosryhmille.

Lähteet

Asianmukaisen paineilman jakeli. N.d. Tieteellinen artikkeli Atlas Copcon verkkosivuilla. Viitattu 19.5.2024. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/compressed-air-distribution>.

Camber, M. & Mehlretter, N. 2015. Compressed Air Training: Fundamentals, Air Audits, and Heat Recovery. Youtube video Kaeser USA -kanavalla. Julkaistu 3.12.2015. Viitattu 22.4.2024. <https://www.youtube.com/watch?v=Q7ChQBfBrmc>.

Camber, M. & Mehlretter, N. 2017. How to Get the Most Out of Your Compressed Air System. Youtube video Kauser USA -kanavalla. Julkaistu 10.4.2017. Viitattu 22.4.2024 <https://www.youtube.com/watch?v=TqN8qMx7myY>.

Duffuaa, S. & Raouf, A. Planning and Control of Maintenance Systems. 2015. 2. painos. Berliini: Springer.

Fonselius, J. Hautanen, J. Mutikainen, T. Pekkoja, K. Salmiärvi, O. & Simpura, A. 1997. Koneauto-maatio Pneumatiikka. Helsinki: Edita.

Freire, S. K. Niforatos, E. Rusak, Z. Aschenbrenner, D. & Bozzon, A. 2022. A Conversational User Interface for Instructional Maintenance Reports. Viitattu 18.5.2024. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3543829.3544516>.

Hirvasniemi, H. 2024. RE: Sonavu ja SDT Leakreporter. Sähköpostiviesti 17.4.2024. Vastaanottaja K. Rannila. Maahantuojaan haastattelu Sonavu ultraäänikamerasta ja Leakreporter sovelluksesta.

Hohwieler, E. Berger, R. & Geisert, C. Condition Monitoring Services for e-Maintenance. Julkaisussa IFAC Proceedings Volumes. 2004. 5. painos, 239-244. Amsterdam: Elsevier.

ISO 8573-1:2010. Compressed air — Part 1: Contaminants and purity classes. International Organization for Standardization.

Jardine, A. Lin, D. & Banjevic, D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. Julkaisussa *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2006. 7. painos, 1483-1510. Amsterdam: Elsevier.

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2017. Kunnossapito. Tuotanto-omaisuuden hallinta. 6. painos. Helsinki: Pro-maint.

Kunnonvalvonta ultraäänimittauksella. N.d. Verkkajulkaisu YTH verkkosivuilla. Viitattu 19.5.2024. <https://www.ytm.fi/tuotteet/kunnonvalvonta-ultraanimittauksella-sdt-checker-tuoteperhe/>

Labib, A. A decision analysis model for maintenance policy selection using a CMMS. Julkaisussa *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2004. 3. painos, 191-202. Leeds: Emerald.

Leighton, T. What is ultrasound? Julkaisussa *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 2007. 3. painos, 3–83. Amsterdam: Elsevier. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17045633/>

Lämpötila ja kosteus. N.d. Verkkajulkaisu Ilmatieteenlaitoksen verkkosivuilla. Viitattu 20.4.2024. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lamputila-ja-kosteus>.

Madhikermi, M. Kubler, S. Robert, J. Buda, A. & Främling, K. Data quality assessment of maintenance reporting procedures. Julkaisussa *Expert Systems with Applications*. 2016, 145-164. Amsterdam: Elsevier.

Martin-del-Campo, S. & Sandin, F. Online feature learning for condition monitoring of rotating machinery. Julkaisussa *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2017, 187-196. Amsterdam: Elsevier.

Mikkonen, H. Miettinen, J. Leinonen, P. Jantunen, E. Kokko, V. Riutta, E. Sulo, P. Komonen, K. Lumme, V. E. Kautto, J. Heinonen, K. Lakka, S. & Mäkeläinen, R. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito: käsikirja. Helsinki: KP-Media.

Multi-frequency Ultrasound and Acoustic Imaging Camera. N.d. Verkkojulkaisu SonaVu verkkosivuilla. Viitattu 19.5.2024. <https://sdtultrasound.com/products/sonavu/>.

Mikä on ilmasäiliö? N.d. Tieteellinen artikkeli Atlas Copcon verkkosivuilla. Viitattu 19.5.2024. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/what-is-an-air-receiver>.

Nachlas, J. A. 2017. Reliability Engineering: Probabilistic Models and Maintenance Methods. 2. painos. Boca Raton: CRC Press.

Ng, C. S. P. Gable, G. G. Chan, T. An ERP-client benefit-oriented maintenance taxonomy. Julkaisussa Journal of Systems and Software 2002. Painos 2, 87-109.

Ogbeifun, E. Pasipatorwa, P. & Pretorius J. C. Harnessing the Multiple Benefits of a Computerised Maintenance Management System. Julkaisussa Operations Management - Emerging Trend in the Digital Era. 2021. Rijeka: IntechOpen.

Paineilma – ja kaasujärjestelmien vuodot ovat hukkaan heitettyä omaisuutta N.d. Verkkojulkaisu Smartair verkkosivuilla. Viitattu 21.4.2024. <https://smartair.fi/energiansaasto/>.

Pintelon, L. & Puyvelde, F. V. 1997. Journal of Quality in Maintenance Engineering. 3. painos.

PSK 6201:2022. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 4.p. Helsinki: PSK Standardisointi.

PSK 6202:2003. Prosessiteollisuuden kuntokartoitus. Helsinki: PSK Standardisointi.

Saidur, R. Rahim, N.A. & Hasnuzzaman, M. 2010. A review on compressed-air energy use and energy savings. Julkaisussa Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14, 4. 1135–1153. Viitattu 25.3.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032109002755>. ScienceDirect.

Sipos, R. Fradkin, D. Mörchen, F. & Wang, Z. Log-based predictive maintenance. Julkaisussa Proceedings of the 20th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. 2014, 1867-1876. New York: Association for Computing Machinery.

Stadje, W. & Zuckerman, D. 1992. Operations Research Letters. 2. painos. Amsterdam: Elsevier

Sound. N.d. Tieteellinen artikkeli Britannica verkkosivuilla. Viitattu 18.5.2024. <https://www.britannica.com/science/sound-physics/Standing-waves>.

Säiliöturvallisuuskoulutus. 2024. Koulutus teollisuuden säiliötöihin. Suoritettu 1.4.2024. Viitattu 5.4.2024.

Taboada, J. Diaz-Casas, V. & Yu, X. 2021. Reliability and Maintenance Management Analysis on Off-Shore Wind Turbines (OWTs). Viitattu 24.3.2024. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/22/7662>

Tehokas paineilman valvonta älykkäillä virtausantureilla. N.d. Verkkojulkaisu Ifm verkkosivuilla. Viitattu 22.4.2024. <https://www.ifm.com/fi-fi/shared/landingpages/druckluft/tehokas-paineilman-valvonta-alykkailla-virtausantureilla>.

Tehokkuuden ja säästöjen lisääminen paineilmajärjestelmän vuototestauksen avulla elintarviketuotannossa. Blogi kirjoitus. Amerikkalainen teollisuuden laitetoimittaja, Fluke. N.d. Viitattu 24.3.2024. <https://www.fluke.com/fi-fi/lue-lisaa/blogi/vuodontunnistus/paineilmatestaus>.

Wang, H. 2002. A Survey of maintenance policies of deteriorating systems. European Journal of Operational Research, 139, 3, 469—489. Viitattu 24.3.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221701001977>, ScienceDirect.

Wang, Y. Deng, C. Wu, J. Wang, Y. & Xiong, Y. A corrective maintenance scheme for engineering equipment. Julkaisussa Engineering Failure Analysis, 2014, 269—283.

Zahrah, S. F. Yusof, Y. A. Kumar, K. & Sorooshian S. Maintenance in the era of industry 4.0. Julkaisussa Journal of Management and Science, 2018. 8(2) painos, 176—181.

Öhman, J. 2013. SIEMENS Teollisuus 4.0 – uuden aikakauden alku. Youtube 8.10.2013. Youtube video. Viitattu 24.3.2024. <https://www.youtube.com/watch?v=2FUXdvzgdY>.

Liitteet

Liite 1. Tohtorointiraportti

Tohtorointiraportti



Asiakas	
Laite	
Laitteen numero	
Raportin laatija(t)	
Päivämäärä	

Raportissa hyödynnetyt pohjatiedot/olettamukset

1. Turvallisuusriskeistä tehdään ilmoitus ECO-Onlineen.
2. Kuntoluokat

1 Hyvä	Ei uusimis- tai korjaustarpeita Ei koneen käyttöä haittaavaa kulumista
2 Tyydyttävä	Ei välitöntä uusimis- tai korjaustarvetta Tarkkailua osalle on lisättävä
3 Välttävä	Uusimis- tai korjaus tarve ennen seuraavaa vuosihuoltoa Ei välitöntä riskiä koneen pysähtymiselle
4 Hälyttävä	Heti korjattava tai uusittava, riski koneen pysähtymiselle Turvallisuus riski

1.0	Turvallisuus	Kuntoluokka				Toimenpide ehdotukset
		1	2	3	4	
1.1	Suojat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1.2	Turvarajat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1.3	Turvakytkimet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1.4	Valoverhot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1.5	Lukot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1.6	Ergonomia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1.7	Lockout-tagout	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1.8	Kulkutasot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.0	Yleiset					
2.1	Emulsiojärjestelmät	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.2	Mittarit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.3	Lastukuljetin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.4	Kohdepoistot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.5	Venttiilit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.6	Suodattimet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3.0	Hydrauliikka					
3.1	Letkut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3.2	Pumput	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

3.4	Koneikko	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.0	Sähköautomaatio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.1	Moottorit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2	Servot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.3	Kaapelit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.4	Työvalot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.5	Kytkimet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.6	Sähkökomponentit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.7	Sähkökaappienjäähdytys	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.8	Sähkökaappien suodattimet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.9	Sähkökaappien puhtaus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.10	Rajakytkimet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.0	Ohjaus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.2	Vikailmoitukset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.3	Näytöt / Ohjainpaneeli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.4	Mittalaitteet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.5	Merkkivalot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.0	Mekaniikka	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.1	Johteet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.2	Kuularuuvit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.3	Välykset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.4	Vaihteet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.5	Hammastangot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.6	Hammasratat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.7	Akselit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.9	Leuat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.10	Rullat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.11	Rullapukit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.11	Pylkänkärjet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.12	Kiilat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.13	Johdesuojat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.15	Hihnat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.17	Energiansiirtoketjut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.0	Muut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.3	Lisälaitteet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.4	Hiomalaitteet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.5	Jyrsinkarat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.6	Porakarat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.10	Paineilmalaitteet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.11		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.12		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.13		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.14		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Muut:

Varmuuskopiointi: Suoritettu ☐ Päivämäärä:

Logiikan paristojen vaihto: Suoritettu ☐ Päivämäärä:

Huomiot ja lisäselvitys tarpeet.

Liite 2. Paineilmaraportti LeakReportterista



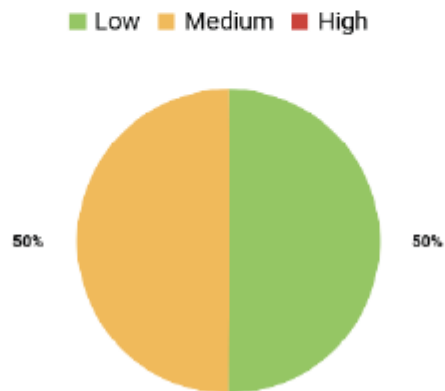
Leak report

Powered by SDT Ultrasound Solutions

Company : Tabos Services Oy
User: i
Beginning of the inspection: 20/02/24
Survey : Hi-

Summary of the inspection :	
Number of leaks found :	4
Number of leaks repaired:	0

Leaks Severity



* Leaks found
** Leaks fixed

Inspection details:		
Name	Severity	Comment
Leak n° 1		
Leak n° 2		
Leak n° 3		
Leak n° 4		

Name	Leak n° 1	Severity :	
Location		Status	
Letkukela		Not fixed	



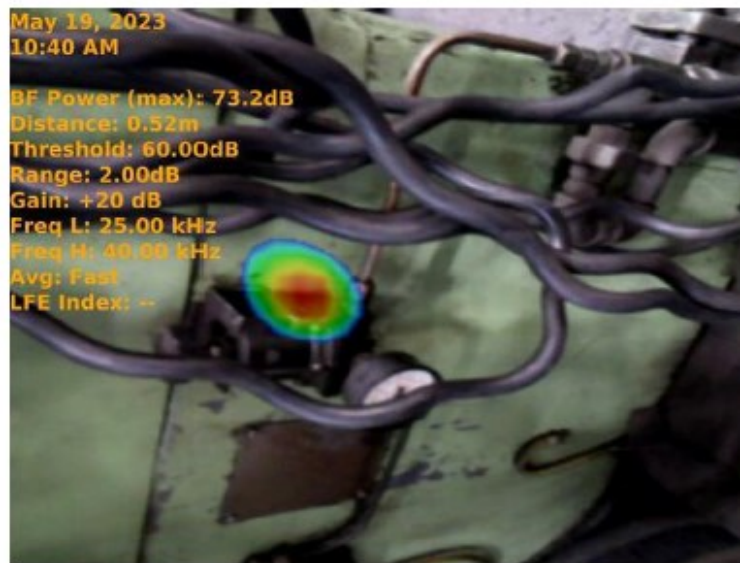
Name	Leak n° 2	Severity :	
Location		Status	
letku		Not fixed	






Name	Leak n° 3	Severity :	
Location		Status	
Seinäputki		Not fixed	



Name	Leak n° 4	Severity :	
Location		Status	
Venttiili		Not fixed	



		KOESTUSPÖYTÄKIRJA		TYÖNUMERO: T011850 96735	
				Päivämäärä:	
Yrityksen nimi ja yhteystiedot:		[REDACTED]			
		Rautpohja			
Yhteyshenkilö:		Tapox service [REDACTED]			
Laskutusosoite:					
Asiakkaan tilausnumero:		[REDACTED]			
Asiakkaan viite:					
Päivämäärä:		12.1.2024			
Tekniset tiedot					
Koneen merkki ja malli:					
Sarjanumero:					
Nimellismomentti Nm:					
Kierrosluku:					
Jännite V:					
Virta A:					
Valokuvat:					
					
Lisälaitteet					
	Pulssianturi:	Malli:			
	Pulssianturi 2	Malli:			
	Resolveri:	Malli:			
	Hall-anturit:	Malli:			
	Tako	Malli:			
	Jarru:	Malli:			
	Kytkin:	Malli:			
	Puhallin:	Malli:			
	Muu varuste:				
	Lisätietoja:	Käämivika			

Suoritetut toimenpiteet:			
Moottori	1.	<input checked="" type="checkbox"/>	Resistanssimittaus
	2.	<input checked="" type="checkbox"/>	Eristysvastus mittaus
	3.	<input checked="" type="checkbox"/>	Toistoaltotestaus
	4.	<input type="checkbox"/>	Resolverin tarkastus
	5.	<input type="checkbox"/>	Pulssianturin testaus
	6.	<input type="checkbox"/>	Staattinen momentti
	7.	<input type="checkbox"/>	Generointi koe
	8.	<input type="checkbox"/>	Kommutointipisteen mittaus
	9.	<input type="checkbox"/>	Puhaltimen huolto
	10.	<input type="checkbox"/>	Jarrun huolto
	11.	<input type="checkbox"/>	Vaihteiston laakerit uusittu
	12.	<input type="checkbox"/>	Vaihteiston öljy/rasva uusittu
	13.	<input checked="" type="checkbox"/>	Tiivisteet uusittu
	14.	<input checked="" type="checkbox"/>	Laakerit uusittu
	15.	<input type="checkbox"/>	Vetoakseli korjattu
	16.	<input type="checkbox"/>	Laakerikilvet koneistettu
	17.	<input type="checkbox"/>	Laakerikaula korjattu
	18.	<input checked="" type="checkbox"/>	Käämien pesu ja kuivaus
	19.	<input checked="" type="checkbox"/>	Pintamaalattu
	20.	<input type="checkbox"/>	Käytön toiminnantestaus
	21.	<input type="checkbox"/>	Kommutaattorin huolto
	22.	<input checked="" type="checkbox"/>	Uudelleen käämitty
	23.	<input type="checkbox"/>	
	24.	<input type="checkbox"/>	
	25.	<input type="checkbox"/>	
Lisätietoja		Moottori uudelleen käämitty poksi tiivistesarja uusittu	
Silmämääräinen tarkistus	22.	<input checked="" type="checkbox"/>	Eristykset
	23.	<input checked="" type="checkbox"/>	Kotelointi
	24.	<input type="checkbox"/>	Koekäyttö suoritettu
	25.	<input checked="" type="checkbox"/>	Laite todettu turvallisiksi kokeiden perusteella
	26.	<input type="checkbox"/>	
	27.	<input type="checkbox"/>	Takuuta ei myönnetä
			Syy:
Huoltaja:			

Liite 4. Alkuperäinen Tohtorointi raportti



Koneen kuntoraportti

S-254

30.01.2024

Kunnossapidon työt

Pakanpyörityksen hihnapyörät kuluneet

Yläkelkkojen johdesuojat vioittuneet

Sähkökaapin valomajakasta vihreävalo ei toimi

Tuurnan etukelkan hammasratas kulunut, Z-liikkeen vaihelaatikon takana

2-kelkan X-liike pitää jyrisevää ääntä molempiin suuntiin

Molemmat kelkat vuotavat öljyä 2 kelkka enemmän

Osa lastunkuljettimien kolista vääntyneet.

1.Kelkan Z-liikkeen kiila uppoaa huomattavan syvemmälle kuin 2. kelkan säätövara voi loppua

Johteissa uria ja kolhuja

Vinojohteen harajalistan kiinnitysruuvien tayteaine kulunut

Sähkökaapin pohjalla vettä ja öljyä

Turvallisuus

Vaneritasojen reunasta kulunut keltainen huomio viiva

Sisälle tuotavista kappaleista valuu sulamisvettä konealueelle liukastaen lattian

Lisäselvityksiä vaativat asiat


2 kelkan liikkeelle lähtö (Z-liike) takertelee varsinkin, kun kone seisoo pitemmän aikaa, lisääntynyt viimeisimmän modernisaation jälkeen. Tietyissä kohdissa enemmän.

Kelkkojen imurin varsi vääntyy kelkkojen liikkeelle lähdössä

SisäSORVAUSkelkan mitta-asteikko heittää mittanauhan vaihdon jälkeenkin

Tuurnan luistin rungossa halkema joka korjattu tukirenkaalla. Onko halkeamaa syytä seurata esim. särömittaamalla vuosihuollossa?

Liite 5. Paineilmaraportti Excel-sovelluksesta

Vuotoraportti aikaväliltä	1.4.2024	3.5.2024		Laadittu	3.5.2024			
Asiakas Oy				Laatija	Kalle Rannila			
	Laskenta perusteet			Löydetyt vuodot		Avoimet vuodot		
	Paineilman vaatima teho		7 kW/m3/min	Määrä	5 kpl	Vuotojen määrä	2 kpl	
	Vuosittaiset käyttötunnit	Verkostopaine	Energia hinta	Vuosikustannus	3 587,22 €	Tapahtuva vuoto	10,2 m3/h	
	8760 h	6,2 bar	0,15 €	Tehohäviö	0 kW	Vuosikustannus	1 563,66 €	
ID	Sijainti	Vuoto-indeksi	Havainto pvm	Korjaus pvm	Vuotomäärä	Kulu €/a	Teho häviö	Kommentti
1	Kuivain	4	2.5.2024	2.5.2024	4,2 m3/h	643,86 €	0,49 kW	Tämä on testi
2	Venttiili TK100	3	23.4.2024	Avoin	3 m3/h	459,90 €	0,35 kW	Tämä on testi
3	Kone 96	2	30.4.2024	30.4.2024	1,8 m3/h	275,94 €	0,21 kW	Tämä on testi
4	Kompressor	5	30.4.2024	30.4.2024	7,2 m3/h	1 103,76 €	0,84 kW	Tämä on testi
5	Venttiili TK110	5	30.4.2024	Avoin	7,2 m3/h	1 103,76 €	0,84 kW	Tämä on testi

Liite 6. PSK 6202. Kuntokartoituksen raportointilomake

PSK Standardisointi

KUNTOKARTOITUKSEN RAPORTTILOMAKE

PSK 6202

Liste 3

1 (1)

Tilaaaja	Tarjous/Tilaus nro	
Toimittaja	Päiväys	Sivu
Hankinnan kohde	Laatija	

[illegible]

Kuntoluokitus:

1 = hyväkuntoinen, uutta vastaava

2 = tyydyttävässä kunnossa, ei välitöntä uusimis- tai korjaustarvetta

3 = välttävässä kunnossa, uusimis- tai korjaustarve lähivuosina

4 = huonokuntoinen, heti korjattava tai uusittava