

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikan koulutus

Kari Riitakangas

ROBOTTIHITSAUSSOLUN ETÄKUNNONVALVONTA JA
ENNAKKOHUOLTOSUUNNITELMA

Opinnäytetyö
Helmikuu 2021



OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2021
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Kari Riitakangas

Nimeke
Robottihitsaussolun etäkunnonvalvonta ja ennakkohuoltosuunnitelma

Toimeksiantaja
John Deere Forestry Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia suunnitelma robottihitsaussolun etäkunnonvalvonnan toteuttamiseksi. Suunnitelmassa selvitettiin kuinka robottihitsaussolusta ja siihen liitetystä laitteistosta saadaan ajantasaista kunnonvalvontatietoa tehtaan kunnossapitojärjestelmään niin, että ennakoivat huoltotoimenpiteet perustuvat laitteiston todelliseen käyttöasteeseen ja että tiedon tuottaa järjestelmään robottihitsaussolun laitteisto automaattisesti.

Lisäksi tavoitteena oli laatia uudelle robottihitsaussolulle toimiva ennakkohuolto- ja kunnossapitosuunnitelma ja siihen liittyvät toimenpiteet käyttöaikaan- ja sähköiseen kunnonvalvontatietoon perustuen, sekä ohjeistus ennakkohuoltojen suorittamiseen kunnossapidon työntekijöille.

Työn lopputuloksena syntyi suunnitelma etäkunnonvalvontaan liittyvien mittaustietojen keräämiseen, niiden käsittelyyn, raja-arvojen ja suodattimien määrittelyyn sekä valvonnan vaiheittaiseen käyttöönottoon. Lisäksi laadittiin ennakkohuoltosuunnitelmat vuosi- ja kuukausihuolloille.

Kieli
suomi

Sivuja 33
Liitteet 2
Liitesivumäärä 2

Asiasanat

Robottihitsaus, etäkunnonvalvonta, kunnossapito, ennakkohuolto



THESIS
February 2021
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Kari Riitakangas

Title
Remote Condition Monitoring and Preventive Maintenance Plan of a Robotic Welding Cell

Abstract

The purpose of the thesis was to plan the implementation of remote monitoring of a robotic welding cell. The plan explains how up-to-date condition monitoring information could be obtained from the cell and the equipment connected to it, to the factory maintenance system, so that preventive maintenance measures are based on the actual utilization rate of the equipment and generated automatically by the welding cell equipment.

In addition, the aim was to develop a functional preventive maintenance and service plan for the factory's newest robotic welding cell. Plans and related measures are based on the lifetime and electronic condition monitoring information. Written instructions for the maintenance personnel were also made to perform preventive maintenance.

As a result of the work, a plan was created for the collection of measurement data related to remote condition monitoring, their processing, the definition of limit values and filters, and the gradual introduction of monitoring. In addition, preventive maintenance plans and service instructions were prepared for the annual and monthly maintenance.

Language

Finnish

Pages 33

Appendices 2

Pages of Appendices 2

Keywords

robotic welding, remote condition monitoring, preventive maintenance, service plan

Sisältö

1	Johdanto.....	6
2	Opinnäytetyön lähtökohdat	8
2.1	Toimeksianto.....	8
2.2	John Deere Forestry Joensuun tehdas	8
3	Kunnonvalvonta	9
3.1	Kunnonvalvonnan perusteet	9
3.2	Mittausmenetelmät	10
3.3	Mittalaitteet ja apuvälineet	11
3.4	Laiteanturit ja online-valvonta robottihitsausolussa	12
4	Kunnossapidon perusteita.....	14
4.1	Kunnossapidon määritelmä	14
4.2	Kunnossapidon eri muodot.....	14
4.3	Vikaantumisen analysointi.....	15
4.3.1	VVA – Vika-vaikutusanalyysi (FMEA)	15
4.3.2	VVA-prosessi	15
4.3.3	RCA juurisyyanalyysi	17
4.4	Kunnossapidon toimintamallit.....	17
4.4.1	RCM	17
4.4.2	RCM-prosessi.....	17
4.4.3	TPM.....	18
5	Ennakkohuoltosuunnitelma.....	20
5.1	Suunnittelu	20
5.2	Ennakkohuoltojen vika-vaikutusanalyysi FMEA (VVA)	20
5.3	Ennakkohuoltosuunnitelma.....	21
6	Suunnitelma etäkunnonvalvonnan toteuttamiseksi.....	23
6.1	Etäkunnonvalvonnan valvottavat kohteet ja vika-vaikutusanalyysi	23
6.2	Mittadatan keräys ja raja-arvojen määrittäminen.....	23
6.3	Tilapäisten häiriöiden suodatus	27
6.4	Rajapinnat ja liitettävyys kunnossapitojärjestelmään.....	28
6.5	Käyttöönotto, jälkiseuranta ja valvottavien kohteiden raja-arvojen sekä suodattimien uudelleentarkastelu	28
7	Pohdinta	31
	Lähteet	33

Liitteet

- Liite 1 Vika-vaikutusanalyysi ennakkohuoltoihin
Liite 2 Vika-vaikutusanalyysi hitsauslaitteiston etäkunnonvalvontaan

Käytetyt lyhenteet

TPM Total Productive Maintenance, kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito

VVA Vika-vaikutusanalyysi

FMEA Failure mode and effects analysis, sama kuin vika-vaikutusanalyysi

RCM Reliability Centered Maintenance, luotettavuuskeskeinen kunnossapito

RCA Root Cause Analysis, juurisyyanalyysi

OPC UA Open Platform Communications Unified Architecture, avoin liittettävyyys avoimilla standardeilla

PC Personal Computer

PLC Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on saada toimeksiantajan automatisoitu robottihitsaussolu etäkunnonvalvonnan piiriin, sekä tehdä laitteistolle ennakkohuoltosuunnitelma. Tässä opinnäytetyössä keskitytään tehtaan uusimpaan robottihitsaussoluun, mutta tarkoitus on hyödyntää menetelmiä myöhemmin mahdollisuuksien mukaan myös vanhemmissa soluissa.

Tällä hetkellä tehtaan uusimman robottihitsaussolun kunnossapito tapahtuu lähinnä reaktiivisena, johtuen laitteiston uutuudesta. Tuotantoa robottisolulla on tehty vasta vähän aikaa ja kunnossapitosuunnitelmaa ei ole vielä laadittu. Tämä uusi robottihitsaussolu on valittu pilottikohteeksi etäkunnonvalvonnan rakentamiseen, mutta ennen kuin kaikki yhteydet, haluttu data ja raja-arvot ovat määritetty, laaditaan tässä opinnäytetyössä robottisolulle kuukausi- ja vuosihuoltosuunnitelma. Etäkunnonvalvonta ei välttämättä sulje pois määräajoin tapahtuvia huoltotoimenpiteitä, jos ne laitteiston toiminnan ja valmistajan ohjeistuksen mukaan katsotaan tarpeellisiksi.

Etäkunnonvalvonnan, ennakoivan kunnossapidon ja kokemusperäisen tiedon merkitys robottihitsaussolun toiminnalle on erittäin tärkeää. Huolellisesti mietityt, mitatut ja aikataulutetut huoltotoimenpiteet ehkäisevät vikojen aiheuttamia keskeytyksiä tuotannossa varsinkin tuotantovolyymien ollessa korkea. Lisäksi etäkunnonvalvonnalla pyritään havaitsemaan alkavat viat jo ennen kuin ne aiheuttavat ongelmia. Näin voidaan varmistaa, että huolto- ja etenkin korjausajat pysyvät mahdollisimman lyhyinä, kun tarvittavat toimenpiteet on suunniteltu ennakolta, sekä mahdollisesti tarvittavat osat ja tarvikkeet on jo hankittu etukäteen. Tällöin tuotannon keskeytys pystytään suunnittelemaan sellaiseen ajankohtaan, että tuotannolle aiheutuva haitta jää mahdollisimman pieneksi. Näillä menetelmillä pyritään pitämään robottihitsaussolun käyntiaste ja tuotannon laatu mahdollisimman korkeina.

Robottihitsaussolun tuottaman etävalvontatiedon perusteella on tarkoitus saada automaattisesti luotua tehtaan kunnossapitojärjestelmään huoltopyyntöjä laitteiston todelliseen käyttöön, sekä mitattuihin arvoihin perustuen. Tällä hetkellä, kun

etäkunnonvalvontaa ei ole vielä käytössä, huollot on ajateltu generoituvan järjestelmään aikaperusteisesti, mutta tässä on ongelmana huoltojen jaksotus. Aikaperusteinen huolto generoituu kunnossapitojärjestelmään, huolimatta siitä, onko laitteistoa käytetty vai ei ja lisäksi aikaväli voi olla joissain tapauksissa väärin määritetty, ollen liian pitkä tai lyhyt. Aikajakson väärä määrittely onkin ongelmallista juuri uudessa laitteistossa, koska kokemusperäistä tietoa huoltoväliden sopivasta pituudesta ei vielä ole. Toisaalta uuden laitteiston samankaltaisuus jo olemassa oleviin robottihitsaussoluihin helpottaa määrittelyä.

Alkuperäinen suunnitelma opinnäytetyöksi oli tehdä pelkästään enakkohuolto-suunnitelma ja varaosatarkastelu toimeksiantajan omien kriteerien mukaan. Tehtaan kunnossapitoinsinöörin kanssa pidettyjen palaverien aikana päätettiin kuitenkin keskittyä enemmän robottihitsaussolusta automaation kautta saatavaan, ajantasaiseen tietoon laitteiston kunnosta sekä enakkohuoltosuunnitelman laatimiseen.

2 Opinnäytetyön lähtökohdat

2.1 Toimeksianto

Työn toimeksianto tuli John Deere Forestry Oy:n tuotantopäällikkö Ari Toivaselta. John Deere Forestry Oy:n Joensuun tehtaalla on viime vuosina uusittu tuotantolaitteistoa ja laitteistojen modernisoituminen antaa entistä paremmat mahdollisuudet saada laitteiston tuottamaa kunnonvalvontaan liittyvää tietoa suoraan tehtaan kunnossapitojärjestelmään. Ennakoivan huollon lisääminen on myös tullut viime vuosina entistä tärkeämmäksi tehtaan tuotantovolyymien kasvamisen myötä. Lisähaasteita kunnossapitoon tuovat muuttuvat työaikamuodot ja dynaamisuuden tarve huoltotyön suorittamiseen. Tässä korostuu huoltojen suorittaminen tarpeen mukaan, jonka etäkunnonvalvonta mahdollistaa.

Itse toimin tällä hetkellä John Deere Forestry Oy:n Joensuun tehtaalla kunnossapitoasentajana. John Deerellä olen työskennellyt vuodesta 2007, ensin Konecranes Service Oy:n ja 2012 alkaen John Deere Forestry Oy:n palveluksessa. Pohjakoulutukseltani olen sähköautomaatiomekaanikko ja minulla on vahva osaaminen roboteista, työstökonetekniikasta ja automaatiosta.

2.2 John Deere Forestry Joensuun tehdas

John Deere Forestry'n juuret juontavat vuoteen 1972, kun Rauma-Repola perusti Joensuuhun konepajan. Metsäkoneiden tuotanto tehtaalla alkoi vuonna 1973. 70- ja 80-luvuilla tehdyt koneet valmistuivat Lokomo merkkisinä. 1995 tehtaassa alettiin valmistaa pelkästään metsäkoneita ja koneet muuttuivat Timberjack merkiksi. Vuonna 2000 Deere & Company osti Timberjack ryhmän Metso Oy:ltä ja vuonna 2005 metsäkoneiden tuotemerkki muuttui John Deereksi. (John Deere 2020.)

3 Kunnonvalvonta

3.1 Kunnonvalvonnan perusteet

Kunnonvalvonnassa on tarkoituksena seurata laitteiston tai laitteen kuntoa jollakin soveltuvalla menetelmällä. Laitteistoa tai laitetta huolletaan tai korjataan tarpeen mukaan. Laitteiston valvonnassa voidaan käyttää esimerkiksi käyttöaikaa tai muuta suoritemäärään perustuvaa suuretta huoltovälin määrittämiseen (käyttötunnit, metrit/kilometrit, toimintakerrat). Nykyään automaation määrän kasvettua tuotantolaitteistoissa, on niistä saatavilla erilaisia sähköisiä mittaustietoja ja raportteja. Näitä tietoja käyttäen voidaan havaita laitteiston kunnossa tapahtuvia muutoksia ja saadaan lisää aikaa kunnossapitotoimien suunnitteluun. (Mikkonen 2009, 100–101.)

Kunnonvalvontaan liittyvien mittausten suorittaminen täytyy suunnitella etukäteen ja mittauksille on mietittävä, mitä vaatimuksia niiden tulee täyttää. Yleensä asetetut vaatimukset ovat luotettavuus, tarkkuus ja taloudellisuus. Mittauksen työvaiheet alkavat tehtävän mittauksen määrittelystä ja suoritusvaihtoehtojen kartoittamisesta. Mittauksen epävarmuus on myös arvioitava ennakkoon ja siitä on laadittu kansainvälinen suositus ISO93. (Aumala 1989, 179, 180.)

Mittalaitteiden soveltuvuus mittaukseen ja niiden kalibrointi täytyy myös varmistaa, minkä jälkeen mittaukset voidaan suorittaa. Mittauksista saatuja tuloksia arvioidaan edustavuuden perusteella ja sen jälkeen tehdään luotettavuuden ja kelvollisuuden jälkiarviointi. Viimeisenä tulokset dokumentoidaan. (Aumala 1989, 179.)

Kunnonvalvonnan ja sen perusteella suoritettujen huolto- ja korjaustoimenpiteiden etuja verrattuna aikataulutettuun ennakkohuoltoon ovat pienemmät kokonaiskustannukset. Kustannussäästöt tulevat pienentyneistä materiaalikustannuksista, koska tarpeettomilta osien vaihdoilta vältytään. Korjauskustannukset pienenevät, koska viat havaitaan ajoissa eikä rikkoontumisen aiheuttamia kerrannaisvaikutuksia pääse syntymään. Samasta syystä tuotannon keskeytysajat lyhenevät. (Safematic Oy 1985, 27,28.)

Yleisesti kokemus on osoittanut, että laitteiston kunnossapitoon tarvittavat tiedot voidaan jaotella seuraavasti: nopeasti kehittyvät viat (hälytys), kehittyvien vikojen havaitseminen (diagnoosi), jäljellä olevan käyttöajan arviointi (prognoosi) ja korjaavien toimenpiteiden suunnittelu (Mikkonen 2009, 119).

Hälytystieto tulee, kun valvontajärjestelmään asetettujen raja-arvojen ylitys havaitaan. Tieto raja-arvojen ylityksestä voidaan siirtää suoraan kunnossapitojärjestelmään. Reagointi hälytykseen tulee arvioitavaksi kunnossapidon ammattilaiselle, joka päättää suoritettavat toimenpiteet ja aikataulutuksen. (Mikkonen 2009, 119.)

Edellä mainittujen raja-arvojen määrittämiseksi on jokaiselle mitattavalle tunnusluvulle määritettävä kaksi hälytysrajaa. Alemman varoitusrajan ylittyminen ennakoi alkavaa vauriota, jonka perusteella hälytyksen aiheuttajaa on alettava selvittää ja varauduttava korjaustoimenpiteisiin. Ylempi hälytysraja on vaurioraja ja sen ylittyessä on laitteen korjaus aloitettava viipymättä. Hälytysrajojen määrittely luotettavasti voidaan tehdä, kun mittaustuloksia on saatu vähintään kymmenen kappaletta. Nopeat muutokset mitattavissa suureissa voi olla hälytyksen perustana. Näissäkin tapauksissa täytyy olla olemassa perusarvo, johon mittauksia verrataan. Mikäli käytettävissä on kunnossapidon keräämää historiatietoa, sekä laitevalmistajalta saatua tietoa, on tarkempi diagnosointi helpompi tehdä. Standardissa PSK 5707 on käsitelty oireiden määrittelyä ja diagnosointia. (Kuntoon perustuva kunnossapito 2009, 169-170.)

3.2 Mittausmenetelmät

Karkeasti mittausmenetelmät voidaan jaotella kahteen ryhmään. Subjektiiivinen mittaus, jossa esimerkiksi koneen käyttäjät tai huoltohenkilöstö havainnoi laitteen toimintaa ja mahdollisia poikkeamia aistinvaraisesti (näkö, kuulo, kosketus, haju). Toinen ryhmä on objektiivinen mittaus. Tässä käytetään erilaisia mittalaitteita, esimerkiksi värinä- tai lämpömittaria, joilla todetaan mahdolliset alkavat tai olemassa olevat vikaantumiset. (Safematic Oy 1985, 35.)

3.3 Mittalaitteet ja apuvälineet

Kunnonvalvonnassa on käytettävissä useita eri mittalaitteita ja apuvälineitä. Näistä yksi yleisesti käytetty mittalaite on paksuuden mittaamiseen ja halkeamien toteamiseen tarkoitettu ultraäänimittari. Ultraäänimittaus soveltuu metalleille, muoveille ja betonille. (Safematic Oy 1985, 75.)

Ultraäänimittausta voidaan käyttää myös vuotojen etsimiseen. Esimerkiksi paineilmavuoto tuottaa ihmiskorvalle kuulumatonta ultraääntä, joka muutetaan laitteen avulla korvin kuultavaksi. Menetelmä on kehittynyt jo niin tarkaksi, että laitteisto osaa muuttaa vuodon suuruuden suoraan esimerkiksi litroiksi minuutissa ja samalla ilmoittaa, kuinka paljon vaikkapa paineilmakompressori kuluttaa ylimääräistä sähköä. (Promaintlehti 2020.)

Lämpötilan mittaus on toinen hyvin yleinen mittaustapa. Esimerkiksi laakereista mitattuna lämpötila kertoo mahdollisista komponentin kunnon muutoksista. Mittalaitteita lämpötilan mittaamiseen on useita eri tyyppisiä. On olemassa erilaisia pintalämpötilan mittaamiseen tarkoitettuja teippejä ja muita kosketukseen perustuvia mittareita, näiden lisäksi on myös elektronisia infrapunamittareita ja lämpökameroita . (Mikkonen 2009, 440.)

Värähtelyn mittaaminen on myös yksi yleisesti käytetty menetelmä teollisuuden laitteiden kunnonvalvonnassa. Pyörivissä koneissa yleisin syy ei toivottuun värähtelyyn on epätasapaino. Mittalaitteita ja antureita on useita erilaisia aina mekaanisista antureista nykyisin yleisimmin käytettäviin pietsosähköisiin nopeusantureihin. Pietsosähköiset anturit ovat pienikokoisia, ne ovat helppoja asentaa, taajuusalue on laaja eikä niissä ole liikkuvia osia. Pietsoanturit ovat myös epäherkkiä ulkoisille olosuhteille. (Mikkonen 2009, 234–238.)

3.4 Laitteanturit ja online-valvonta robottihitsaussolussa

Nykyaikaisissa teollisuusroboteissa on mahdollista valvoa sisäänrakennetuilla antureilla muun muassa alennusvaihteiden vääntömomenttia tai servomootoreiden virta-arvoja, jolloin saadaan selville mekaaniset vikaantumiset eri nivelissä. Laitteen ohjaus pysäyttää toiminnan, kun raja-arvo saavutetaan. Ohjauksesta on mahdollista saada myös ennakkotietona alkava vikaantuminen omalla raja-arvolla ennen kuin lopullinen vaurioituminen pysäyttää laitteen. Näin reagointiin ja huoltotoimenpiteille jää enemmän aikaa ja ne voidaan suorittaa suunnitellusti. (Hakala R. 2020.)

Robottien ohjauksissa on myös useita valvottavia kohteita, vaikkapa ohjaukseskusien kohonnut lämpötila voi kieliä esimerkiksi tukkeentuneesta suodattimesta keskuksen jäähydyksessä. Laitetasolla on mahdollista saada erilaisia sähköisiä mittasuureita servo-ohjaimista, ohjauksen muistista ja logiikasta. (Hakala R. 2020.)

Robottien valmistajilla on tarjolla monipuolisia etähallinta- ja valvontajärjestelmiä, näiden lisäksi on mahdollista myös ohjelmoida itse omaan tarpeeseen sopivia sovelluksia. Tämä tosin vaatii jonkin verran ohjelmointitaitoja, ohjelmoinnin voi tehdä esimerkiksi Visual Basicilla. Valmiitakin sovelluksia on tarjolla, nämä ovat toisilla valmistajilla ilmaisia ja toisilla maksullisia. Mitä tahansa parametria minkä laitteistosta voi saada, voidaan valvoa ja tarvittaessa tieto voidaan lähettää kunnossapitojärjestelmään verkon kautta. Lisäksi tieto voidaan lähettää vaikkapa sähköpostiin tai puhelimeen tekstiviestinä. (Oksanen R. 2020.)

Hitsausrobotit pystyvät keräämään tietoa myös niihin liitetyistä hitsauslaitteista, esimerkiksi lankamäärä ja langan nopeus ovat saatavilla robottien etävalvonnan kautta. Nykyaikaisista hitsauskoneista saa samat tiedot myös suoraan, mutta kahta tiedonkeruuväylää ei kannata välttämättä rakentaa, paitsi jos halutaan seurata sellaista dataa, mitä robottijärjestelmä ei pysty hitsauslaitteesta saamaan. Tällainen tieto voi olla esimerkiksi hitsauslangan syöttömoottorin virta-arvo. Tästä virta-arvosta voidaan todeta, kuinka hyvin hitsauslanka langanjohtimissa kulkee. (Oksanen R. 2020.)

Robottien valvontajärjestelmistä on saatavilla runsaasti myös historiatietoja. Laitteet suorittavat itsenäisesti esimerkiksi jarrutestejä, mittaavat moottoreiden lämpötiloja ja laitteen muistin tiloja. Näiden testien ja mittausten tulokset jäävät lokitietoihin ja niitä voidaan tarkastella ja käyttää hyväkseen huoltoja suunnitella. Nämä lokitiedot auttavat myös etävalvonnan raja-arvojen määrittämisessä, kun sellaista ollaan jo käytössä olevaan laitteistoon rakentamassa. (Kuka 2020.)

Laitteiden liittäminen tehdasverkkoon onnistuu käyttämällä OPC UA palvelin/asiakas rajapintaa, jonka OPC Foundation on määrittelyt automaatio-sovellusten yhteen liittämiseen ja tiedonsiirtoon. OPC UA toimii useilla eri laitealustoilla, esimerkiksi PC:llä, PLC:llä, mikrokontrollereilla ja pilvipohjaisilla palvelimilla, myös käyttöjärjestelmät ovat laajasti tuettu (Windows, Apple OSX, Android ja kaikki Linux distrot). (OPC Foundation 2020.)

4 Kunnossapidon perusteita

4.1 Kunnossapidon määritelmä

Standardeissa SFS-EN 13306:2017 ja PSK 6201:2011 kunnossapito on määritelty seuraavasti:

Kaikki koneen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa koneen toimintakyky sellaiseksi, että kone pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon. (SFS-EN 13306:2017)

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. (PSK 6201:2011)

John Moubrayn mukaan kunnossapito on sitä, että varmistetaan laitteiden jatkavan sitä tekemistä, mitä käyttäjät haluavat niiden tekevän (Mikkonen 2009, 26).

4.2 Kunnossapidon eri muodot

Standardin PSK 6201:2011 mukaan ehkäisevä kunnossapito tarkoittaa toimenpiteitä, jotka tapahtuvat ennalta määriteltyjen jaksojen tai kriteerien mukaan ja niiden tavoitteena on alentaa kohteen vikaantumisen tai toiminnan heikkenemisen todennäköisyyttä.

SFS – EN13306:2017 määrittelee ehkäisevän kunnossapidon seuraavasti:

Kunnossapito, jonka tarkoituksena on arvioida ja/tai vähentää kohteen heikentymistä ja vikaantumisen todennäköisyyttä. (SFS-EN13306:2017,13)

Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa seurataan koneen tai laitteen toimintaa erilaisin menetelmin ja tehdään havaintojen mukaan tarvittavia kunnossapito- toimia. Seurattavan kohteen valvontaa voidaan tehdä aikataulutetusti, tarvittaessa tai jatkuvasti. (Mikkonen 2009, 100.)

Jaksotetussa kunnossapidossa kunnossapitotoimet ajoitetaan kalenterin tai laitteen käytön määrään. Laitteen tai koneen kunto ei jaksotetussa kunnossapidossa vaikuta tehtäviin toimenpiteisiin. (Mikkonen 2009, 98.)

4.3 Vikaantumisen analysointi

4.3.1 VVA – Vika-vaikutusanalyysi (FMEA)

Vika-vaikutusanalyysiä laadittaessa on hyvä tarkastella ensin laitetta kokonaisuutena ja tehdä analyysi siitä, millaisia vikoja laitteeseen voi tulla ja miten ne käyvät ilmi, mistä vikat johtuvat ja millaisia seurauksia niillä on. Tällä tavoin pyritään tunnistamaan todennäköisimmät vikaantumiset ja niiden vaikutukset laitteeseen. (Laine 2010, 127.)

Analyysissä selvitetään laitteen toiminta ja mitä laitteen ja sen eri komponenttien kuuluu tehdä. Lisäksi selvitetään, millä tavoin laite voi vikaantua toiminnallisesti ja kuinka se tapahtuu. Seuraavaksi tarkastellaan, millä tavoin mikäkin vika vaikuttaa ja mitä siitä seuraa. Viimeisessä vaiheessa on mietittävä mitä vikaantumisen ehkäisemiseksi voidaan tehdä, tai voidaanko vikaantuminen ennakoida. Edellä mainittujen kysymysten perusteella tehdään laitteelle kunnossapitostrategia. (Laine 2010, 128.)

4.3.2 VVA-prosessi

Suurten ja monivaiheisten prosessien vika-vaikutusanalyysi on työläs ja aikaa vievä prosessi, joten kannattaa aloittaa pienemmästä osakokonaisuudesta. Aluksi täytyy miettiä, mitkä osat esimerkiksi tuotantosolusta otetaan ensimmäisenä analysoitaviksi. Ensimmäisenä analysoitavaksi kannattaa ottaa laitteiston kannalta tärkeimmät ja, tai vikaherkimmät osat. Kun analyysiin valitut osat ovat selvillä pitää määritellä komponentin kriittisyys toiminnalle. (Laine 2010, 128.)

Eri komponenttien kriittisyys voidaan luokitella esimerkiksi seuraavasti:

- Ensimmäinen luokka, vikaantuminen pysäyttää laitteen, vikaantuminen alentaa kapasiteettia tai laatua huomattavasti, vikaantuminen vaikuttaa turvallisuuteen tai ympäristöön.
- Toinen luokka, komponentin vika, joka ei vielä pysäytä toimintaa, mutta alentaa hieman kapasiteettia tai laatua. Komponentti vaihdettava mahdollisimman nopeasti.
- Kolmas luokka, komponentit, joiden vika ei vaikuta laitteen kapasiteettiin tai laatuun ja jotka voidaan vaihtaa seuraavassa huollossa.

Kun luokittelu on tehty, seuraavaksi täytyy listata todennäköisimmät vikatilanteet ja kuvata, kuinka vikatilanteessa laitteen toiminta poikkeaa normaalista. Lisäksi on hyvä selvittää kuinka listatut vikatilanteet voivat syntyä. (Laine 2010, 128.)

Seuraavassa vaiheessa selvitetään miten vikaantuminen vaikuttaa toimintaan, kuten esimerkiksi seisokkiaika ja laadun aleneminen, sekä määritellään laajemmin mitä seurauksia vikaantuminen aiheuttaa koko tuotannon, ympäristön ja turvallisuuden suhteen. (Laine 2010, 128.)

Kun vikaantumisen aiheuttamat seuraukset ovat selvillä, laaditaan niiden perusteella toimenpide-ehdotukset. Näillä toimenpide-ehdotuksilla pyritään ennaltaehkäisemään, tunnistamaan tai korjaamaan vikaantumisen. (Laine 2010, 129.)

Vika-vaikutusanalyysi teossa voidaan käyttää esimerkiksi kuvion 1 mukaista taulukkoa määrittelyyn (Laine 2010, 129).

Osa/laitte	Kriittisyys	Osan/toimilaitteen toiminta (miten pitää toimia)	Vikatilanne (Miten poikkeaa normaalista)	Vioittumistapa (Kuinka, miksi)	Vian vaikutukset	Vian seuraukset

Kuvio 1. Vika-vaikutusanalyysin malli (Laine 2010, 129).

Kun hankitaan tietoa analyysiin, kannattaa hyödyntää kaikki se tieto, mitä laitevalmistajalta on saatavilla, lisäksi voidaan käyttää myös käyttötietoja, jos sellaisia on saatavilla. Myös samanlaisia laitetta käyttävien yritysten välinen tiedonvaihto on mahdollista, jos kilpailuasetelma ei sitä estä. (Mikkonen ym. 2009, 153.)

4.3.3 RCA juurisyysanalyysi

Kuten nimikin kertoo, juurisyysanalyysillä pyritään löytämään ongelman perussy. Juurisyysanalyysin laatimiseen voidaan käyttää useita eri tietolähteitä kuten online mittaustiedot ja laitteen vikahistoria. Prosessina juurisyysanalyysi on aikaa vievä ja vaativa.

4.4 Kunnossapidon toimintamallit

4.4.1 RCM

RCM (Reliability Centered Maintenance) eli luottettavuuskeskeinen kunnossapito on vakiintunut menetelmä ja yksi tärkeimmistä, kun suunnitellaan kunnossapitoa. Menetelmä on kehitetty alun perin lentokoneteollisuuden tarpeisiin. Perusajatuksena on lisätä käyttövarmuutta ja huomioida kunnossapidettävyyys ja käyttövarmuus laitteiden suunnittelussa varsinaisen kunnossapidon lisäksi. RCM analyysillä pyritään löytämään sellaiset toimenpiteet, joilla tuotannon toiminta voidaan varmistaa mahdollisimman vähäisellä kunnossapidolla (Laine 2010, 126).

4.4.2 RCM-prosessi

RCM-prosessin keskeisin tavoite on saada aikaan sellainen huolto-ohjelma, jonka lopputuloksena tuotantolaitteesta saavutetaan enemmän ja laadukkaampia tuotteita pienemmillä kustannuksilla ja turvallisemmin. RCM-analyysiä tehdessä asetetaan kunnossapitokohteet kriittisyysjärjestykseen ja keskitetään toimet niihin, jotka ovat tuotannon kannalta tärkeimpiä. Järjestelmän luotettavuus on aina enintään epäluotettavimman osatekijän tasolla ja mentäessä kohti suurempaa luotettavuutta on määriteltävä yksittäisten osien luotettavuus (Laine 2010, 126, 127).

RCM-prosessissa edetään seitsemän kohdan mukaan seuraavasti:

1. Määritetään koneen toiminnot ja tehokkuusvaatimukset.
2. Määritetään toiminnalliset viat.

3. Selvitetään vikaantumismallit huomioiden normaali ikääntyminen ja käytövirheet.
4. Selvitetään vian vaikutukset ja kuinka se ilmenee (kohdat 3 ja 4 saadaan yleensä vika-vaikutusanalyysistä).
5. Määritetään vian seuraukset jakaen ne neljään luokkaan (piilevät, turvallisuus ja ympäristö, toiminnalliset vaikutukset ja ei toiminnalliset vaikutukset).
6. Määritetään ennakoivat toimenpiteet kohdan 5 perusteella.
7. Määritellään korjaavat toimenpiteet. (Mikkonen 2009, 76.)

Tehtaan kunnossapidolla olisi oltava määriteltynä ja kuvattuina seuraavat prosessit:

- käynninaikainen kunnonvalvonta
- ennakkohuolto
- seisokkisuunnitelma
- suunnitellut korjaukset
- suunnittelemattomat korjaukset
- varaosahallinta. (Laine 2010, 132.)

Kun laitteelle on määritely tarkastus ja huoltotoimenpiteet, on tehtävä työohjeet kunnossapitohenkilöstölle. Ohjeista tulee käydä ilmi suoritettava työ, tarvittavat työvälineet, mitkä oireet laitteessa aiheuttaa korjauskehotteen ja kuinka suoritettu työ raportoidaan. (Laine 2010, 132.)

4.4.3 TPM

TPM (Total Productive Maintenance) eli tuottava kunnossapito on japanilaisen Seiichi Nakajiman kehittämä ideologia, jonka tavoitteena on koneiden kokonaiskäytettävyyden parantaminen kunnossapitohenkilöstön ja koneiden käyttäjien yhteistyötä lisäämällä. (Järviö & Lehtiö 2012, 144.)

Tuottavan kunnossapidon viisi keskeisintä ajatusta on maksimoida tuotantojärjestelmän tehokkuus, luoda koko koneen elinkaaren kattava kunnossapitojärjestelmä, TPM järjestelmän käyttö kaikilla käyttö, huolto, suunnittelu ja hankinta osastoilla, koko henkilöstön sitoutuminen, sekä tavoitteellinen jatkuva parantaminen. (Mikkonen 2009, 79.)

Tuottava kunnossapito, huolimatta siitä, että puhutaan kunnossapidosta, onkin lähtökohtaisesti tuotannon tehokkuuden ja laadun maksimointimenetelmä. Tavoitteeseen päästäkseen on pyrittävä vähentämään laiterikkoja ja pitää koneet jatkuvasti huippukunnossa. Päivittaiset käyttäjäkunnossapitotoimet on muodostettava rutiineiksi ja henkilöstön osaamista on parannettava jatkuvasti. Lisäksi tuotantoprosessin ja laitteiden kehittäminen entistä turvallisemmiksi ja helppokäyttöisemmiksi, sekä vain vähän kunnossapitoa vaativiksi on osa TPM prosessia. (Mikkonen 2009, 79.)

5 Ennakkohuoltosuunnitelma

5.1 Suunnittelu

Aloitin ennakkohuoltojen suunnittelun tehtaan kunnossapitoinsinöörin kanssa pidetyllä palaverilla, jossa käytiin läpi missä laajuudessa määrävälein tehtäviä ennakkohuoltotoimenpiteitä aloitetaan toteuttamaan. Tässä otettiin huomioon myös valmistajan ohjeistukset. Käytimme hyväksi jo olemassa olevia vanhempien robottihitsaussolujen huolto-ohjelmia ja valmistajien kirjallisia materiaaleja. Määräaikaishuoltojen suhteen tulimme siihen tulokseen, että vuosittainen ennakkohuolto on oltava huolto-ohjelmassa, koska laitevalmistajat ovat määritelleet sen vähimmäishuoltoväliksi.

Vuosihuollon lisäksi päätimme kuukauden välein suoritettavasta ennakkohuollosta, joka tukee tehtaan operaattorihuoltoa. Näin toimien pysymme paremmin selvillä laitteiston kunnosta ja toiminnasta ennen kuin saamme etävalvonnan toimintaan. Kuukausihuollossa painopiste keskittyy sellaisiin kohteisiin, joita etänä ei voida tai kannata valvoa. Viikoittain ja päivittäin tehtäviä huolto- ja tarkastustoimenpiteitä on myös määritetty valmistajien toimesta, mutta nämä kohteet sisältyvät operaattorihuollon yhteydessä tehtäviin toimenpiteisiin.

Vuosi- ja kuukausihuoltoihin tehdään erilliset huolto-ohjeet, joista kunnossapitohenkilöstö voi tarkastaa huollettavat ja tarkastettavat kohteet, tarvittavat välineet, mahdolliset aineet ja varaosat. Ohjeet pyritään laatimaan siten, että huollon pystyy kunnossapidon henkilöstö suorittamaan, vaikka kokemusta ei kyseisestä laitteistosta olisikaan.

5.2 Ennakkohuoltojen vika-vaikutusanalyysi FMEA (VVA)

Ennakkohuoltojen vika-vaikutusanalyysi (liite 1) keskittyy niihin kohteisiin, jotka eivät tule etäkunnonvalvonnan piiriin. Nämä huollettavat komponentit kuuluvat lähinnä mekaanisen kunnossapidon piiriin. Lisäksi huoltotoimiin kuuluu myös laitteiston puhdistuksia ja ohjaukseen liittyviä tarkastuksia tai vaihtoja. Päätin tehdä ennakkohuoltoihin vain yhden analyysin, johon on kerättyä niin vuosi- kuin

kuukausihuollon kannalta olennaisimmat huoltokohteet, koska ne ovat osittain samoja.

Kriittisyystarkastelu tässä analyysissä jäi melko kevyeksi, koska etäkunnonvalvonnalla pyritään muokkaamaan suurinta osaa kalenterin mukaan ennakkoon tehtävistä huoltotoimenpiteistä vastaamaan paremmin kokonaisvaltaista kunnossapitoa. Tässä korostuu mittausdatan tehokas hyödyntäminen ja analysointi. Analyysiin valitut kohteet perustuvat valmistajan ohjeisiin, vanhemmista robotisoluista saatuihin tietoihin, sekä omaan työkokemukseen.

5.3 Ennakkohuoltosuunnitelma

Kuukausittain tehtävän ennakkohuollon toimenpiteet keskittyvät enimmäkseen hitsauslaitteistoon liittyvien osien puhdistukseen ja tarkastukseen. Myös robotin ohjauskeskukset ovat mukana tässä huolto-ohjelmassa, koska käyttöympäristö asettaa haasteita laitteiston puhtaudelle.

Seuraavat toimenpiteet tulee suorittaa kuukausihuollon yhteydessä:

1. Polttimen puhdistusaseman huolto, terän tarkastus ja tarvittaessa vaihto, roiskesuojaöljyn lisäys tarvittaessa. Roiskesuojaöljyn riittävä määrä polttimeen puhalluksen jälkeen.
2. Hitsausvirtalähteen puhdistus imuroimalla ja pyyhkimällä.
3. Hitsauskoneen jäähdytinlaitteiston suodattimien puhdistus ja jäähdytysnesteen määrän tarkastus, tarvittaessa lisäys.
4. Langanjohtimien kunnan tarkastus ja puhdistus paineilmalla läpi puhaltamalla.
5. Kaapeleiden kunnan ja liittimien kiinnityksen tarkastus.
6. Robottien ohjauskeskusten puhdistus imuroimalla, imuilmasuodattimien vaihto.
7. Valoverhojen ja muiden turvalaitteiden toiminnan tarkastus, hätäseis painikkeiden toiminnan tarkastus.

Vuosihuoltoon tulevat edelliset kuukausihuollon toimenpiteiden alla luetellut toimenpiteet. Tarkastettavia kohteita on yhden-, kolmen-, ja neljän vuoden välein tai tuntimäärän mukaan.

Seuraavat toimenpiteet on suoritettava vuoden tai 3 840 tunnin välein:

1. Robotin ulkopuolisten kiinnityspulttien kiristys.
2. Mekaanisten stoppareiden tarkastus, tarvittaessa säätö.
3. Robotin ulkopuolen puhdistus.
4. Tarkasta robotin pääefektorin (käsivarsi) kaapeli.
5. Mekaniikan muistiparistojen vaihto.
6. Opetusyksikön ja robotin yhteyskaapelin kunnan tarkastus.

3 vuoden tai 11 520 tunnin välein

7. Nivelien ja alennusvaihteiden rasvan/öljyn vaihto.

4 vuoden tai 15 360 tunnin välein

8. Mekaniikkayksikön (robotti) kaapeleiden vaihto.

Kunnossapidon henkilöstölle on laitetoimittajan puolesta järjestetty koulutus ja kunnossapidon omaan tietojärjestelmään tehdään kuvallinen ohje suoritettavista huolto- ja tarkastustöistä niiltä osin, jos sellaista ei valmistajan käsikirjoista ole saatavilla.

6 Suunnitelma etäkunnonvalvonnan toteuttamiseksi

6.1 Etäkunnonvalvonnan valvottavat kohteet ja vika-vaikutusanalyysi

Etävalvottavien kohteiden valinnan aloitin käymällä läpi tehtaan kunnossapitojärjestelmää, johon on kerättyä huolto- ja vikahistoriaa useiden vuosien ajalta. Kunnossapitojärjestelmään on kirjattuna myös korjaus- ja huoltoreportit. Näistä raporteista sain selville, millaisia vikoja esiintyy useimmin ja kuinka pitkiä seisokiaikoja niiden korjaaminen on aiheuttanut. Oletuksena siis on, että huolimatta pienistä laitteistoeroista uudessa robottihitsaussolussa, vikaantumiset ovat samanlaisia tai lähes samanlaisia, kuin vanhoissa robottihitsaussoluissa.

Edellä mainitun selvitystyön lisäksi haastattelin kokenutta robottioperaattoria erilaisten häiriöiden esiintymiseen operaattorin näkökulmasta. Tämän keskustelun lopputuloksena sain paljon tietoa hitsauksen laatuun vaikuttavista häiriöistä ja vi-oista, sekä hyviä vinkkejä mihin kannattaa kiinnittää uudessa robottisolussa huomiota.

Kaikkien näiden tietojen avulla pyrin tekemään vika-vaikutusanalyysistä riittävän tarkan, että sain selville tuotannon toimivuuden ja laadun kannalta olennaiset huoltokohteet. Lisäksi pyrin laatimaan analyysin siten, että se keskittyy etäkunnonvalvonnan alkuvaiheen kannalta olennaisiin kohteisiin. Siinä vaiheessa, kun kokemus karttuu, voidaan vika-vaikutusanalyysi tehdä uudestaan laajemmin ja sen perusteella lisätä valvottavia kohteita.

6.2 Mittadatan keräys ja raja-arvojen määrittäminen

Tehtaalla on jo yleisellä tasolla valvonnassa robottihitsaussolujen suojakaasun määrä ja joissain soluissa hitsauslangan määrä. Näitä tietoja on kerätty jo aiemmin ja kerätään aktiivisesti koko ajan, joten niitä voidaan käyttää hyväksi kyseisten kohteiden raja-arvojen määrittämisessä. Joidenkin valvottavien kohteiden osalta on tietojen keräämiseen varattava vähintään vuosi, että saadaan tarpeeksi kattava otanta erityyppisistä häiriöistä, mukaan luettuna tilapäiset ja ohimenevät häiriöt.

Mittaustiedot tullaan keräämään robotin ja hitsauskoneen omiin lokitiedostoihin. Näin saadaan tapahtuneen häiriön aikaleima ja mahdollinen kuvaus tapahtuneesta häiriöstä. Lokitiedot on käytävä keräämässä talteen säännöllisin väliajoin, koska laitteiden muisti on rajallinen ja ne alkavat kirjoittaa tietoja yli vanhimasta päästä tiedostoa. Tiedot siirretään verkkolevylle, josta niitä on helpompi käydä lisäämässä taulukkolaskentaohjelmaan ja kerätä sekä lajitella tarvittavat tiedot.

Verkkolevyllä oleva data on siis siirrettävä taulukkolaskentaohjelmaan, jotta tietojen käsittely helpottuu. Lokitiedostot voidaan tallentaa CSV-formaattiin, jolloin taulukkolaskentaohjelma osaa ryhmitellä tiedot automaattisesti omiin sarakkeisiinsa. Taulukkolaskentaohjelmalla voidaan poikkeamat normaalitilanteesta eritellä ja suurehkon tietomäärän käsittely helpottuu. Normaalitilan arvot on kuitenkin ensin tutkittava, että nähdään, kuinka paljon siinä on hajontaa. Tämän hajonta määrittää normaalin vaihteluvälin ja näin saadaan vertailuarvo poikkeamille. Poikkeamien vertailuun käytetään normaalitilan arvojen hajonnan keskiarvoa. Hitsauskoneen lokitiedostoon voidaan valita minimi/maksimi arvot ja keskiarvot eri mittauksille, jolloin tietojen tarkastelu ja lajittelu helpottuvat entisestään. Normaalitilan keskiarvosta ja havaituista poikkeamista kannattaa tehdä viivakaavio, josta vertailu raja-arvojen määrittämiseen käy helpommin kuin pelkkiä numeroarvoja tarkastellessa.

Jatkossa kun tietomäärä lisääntyy, on uudelleentarkastelujaksossa syytä tarkastaa ovatko normaaliarvot pysyneet samoina. Edellä mainitulla menetelmällä voidaan seuloa tiedot, kun tietomäärä on pienehkö. Tietomäärän karttuessa kannattaa harkita siirtymistä automatisoituun tiedonseulontaan.

Kerättyjä tietoja voidaan myös verrata operaattorin tekemiin häiriöilmoituksiin ja vikakuvauksiin ja näin todentaa mistä aiheutunut ongelma on johtunut. Samalla voidaan vertailla mittausdatassa tapahtuneita muutoksia normaaliin toimintatilaan nähden ja saada raja-arvojen määrittämiseen tarvittavia tietoja.

Pilotointivaiheessa etäkunnonvalvontaan otetaan kuitenkin vain yksi valvottava arvo. Tämä siksi, että pystymme testaamaan helpommin järjestelmän toimintaa ja raja-arvojen sekä suodattimien oikeellisuutta. Vaikka kaikille mittauksille täytyy

tehdä omat raja-arvot ja suodattimet, saadaan ensimmäisestä kohteesta kokemusta, kuinka määrittelyt kannattaa tehdä.

Ensimmäiseksi valvontakohteeksi valittua langansyöttömoottorin virta-arvoa seuraamalla voidaan todeta langansyötössä tapahtuvia ongelmia, lisäksi vikati-
loja on myös melko helppoa demonstroida. Esimerkiksi langan kulkua voidaan
jarruttaa manuaalisesti ja mitata virta-arvon muuttuminen, samanaikaisesti void-
aan suorittaa koehitsausta ja nähdä heti vaikutus hitsauksen laatuun. Jarrut-
tamiseen voidaan käyttää langanoikaisumekanismia hieman muokkaamalla.
Tällä tavoin voidaan jarrutusvoimaa säätää tarkasti ja saadaan raja-arvot
haetuksi nopeasti ilman, että tietojen keräämiseen menisi kokonainen vuosi.
Langansyöttöön liittyvät ongelma voivat tuki sijaita useassa kohdassa
langansyöttöjärjestelmää, mutta vaikutus hitsauksen laatuun on usein saman-
lainen.

Syöttöpyörien kulumisen voi myös huonontaa hitsauslangan kulkua, kuluneilla
syöttöpyörillä lanka luistaa syöttöpyörien urissa, mutta luistaminen ei välttämättä
näy langansyöttömoottorin virta-arvossa. Tämän havaitsemiseen tarvitaan eril-
linen langan nopeuden mittaus, jolla voidaan todeta ero asetetun langansyöt-
tönopeuden ja todellisen nopeuden välillä. Tämä ongelma ei ole kovin yleinen ja
siihen kannattaa kiinnittää huomiota vasta sitten, kun valvonta on saatu
toimimaan muiden langansyöttöön liittyvien ongelmien osalta luotettavasti.

Langansyöttölaitteiston komponenttien kulumiseen liittyy kulutettu hitsauslangan
määrä. Metrimäärästä, jonka jälkeen kuluneet komponentit alkavat aiheuttaa
ongelmia, on olemassa jo aiemmin kerätty tietoa. Tämä metrimäärä ja
langansyöttömoottorin virta-arvo muodostavat hyvän vertailuparin langansyöt-
töön liittyvien raja-arvojen määrittämiseen. Näitä arvoja tarkkailemalla saadaan
hyvin ennakoitu tieto alkavasta ongelmasta ja aikaa suunniteltuun korjaukseen
tuotannon sujuvuuden kannalta sopivana ajankohtana.

Toisessa vaiheessa voidaan käyttöön ottaa suojakaasun määrän valvonta. Su-
ojakaasunmittaukseen lisädataa tuottaa operaattorihuollossa tehtävä manu-
aalinen kaasumääränmittaus, mutta jatkossa tämä toimenpide voitaisiin suorittaa
lisäksi automaattisesti, jolloin saadaan paremmin kokonaiskuva tilanteesta.
Hitsauskone mittaa langansyöttölaitteen läpi kulkevan suojakaasun määrää ja

sen mittatulosten perusteella tehdään häiriöilmoitukset kunnossapitojärjestelmään. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että kaasu pääsee hitsauspolttimelle saakka. Ongelmia voi siis tulla, jos kaasulinja vuotaa langansyöttölaiteen jälkeen. Tätä ongelmaa täytyy koettaa testata, että nähdään, voidaanko vuoto havaita kasvaneena suojakaasunmääränä mittauksessa.

Kaasulinjassa oleva reikä voi aiheuttaa ilman sekoittumisen suojakaasuun ja näin aiheuttaa laatuongelmaa hitsausseamun. Näissä tapauksissa voi sähköinen mittaus olla mahdotonta tai kannattamatonta ilman lisäänturointia, mutta koneet operaattorit huomaavat muutokset esimerkiksi hitsauksen tuottamassa äänessä ja pystyvät reagoimaan tilanteeseen ja tekemällä tarvittaessa ilmoituksen kunnossapidolle.

Edellä mainittujen ongelmien vuoksi raja-arvojen määrittäminen suojakaasunmittauksessa tulee olemaan haastavaa. Tässä tapauksessa on raja-arvoja tarkasteltava uudestaan esimerkiksi kolmen kuukauden välein, kunnes päästään riittävään tarkkuuteen häiriöilmoitusten oikeellisuudessa.

Kun kahdesta edellisestä käyttöön otetusta etävalvontakohteesta on saatu tarpeeksi kokemusta ja tietoa on kerätty riittävästi uusien kohteiden osalta, voidaan lisätä valvottaviin kohteisiin hitsauslaitteiston jäähdytys. Jäähdytys on yksi tärkeimmistä hitsauksen laatuun ja toimivuuteen vaikuttavista tekijöistä ja sitä on myös melko helppoa valvoa sähköisesti. Hitsauskoneessa on valmiiksi anturointi veden virtaukselle ja tieto saadaan suoraan litraa/minuutti. Kokemusperäisesti päästään raja-arvoissa jo melko lähelle oikeita arvoja, mutta kerätty data auttaa tarkentamaan niitä, että saadaan väärät hälytykset minimoitua.

Ongelmia ei vedenkierron valvonnassa juurikaan ole. Laitteisto pysähtyy, jos virtausta ei ole tai jäähdytysnestesäiliö tyhjenee vuodon seurauksena. Myös jäähdytysnesteen ylikuumeneminen pysäyttää laitteiston automaattisesti. Mahdollinen letkurikko, voisi olla ongelma, mutta koska virtaus mitataan paluukierrosta, laitteen oma automatiikka pysäyttää toiminnan.

Jäähdytyskiertoon liittyvien raja-arvojen määrittelyprosessia pystytään hieman nopeuttamaan demonstroimalla nestekierron heikkenemistä manuaalisesti.

Koehitsauksen aikana nestekiertoa voidaan hidastaa letkuun asennetulla kuristimella. Tällä tavoin voidaan todeta pienin mahdollinen virtaus, millä hitsaus on vielä laadullisesti kelvollista. Tällä valvonnalla ja oikeilla raja-arvoilla voidaan häiriöön reagoida ennakkoon ja huoltotoimenpiteet suunnitella toteutettavaksi tuotantoajan ulkopuolella tai sellaisena ajankohtana, että se häiritsee tuotantoa mahdollisimman vähän.

Osassa valvottavista kohteista, esimerkiksi robottien osalta, voi olla jo valmistajan toimesta ennakoivia ilmoituksia robotin ohjaukseen. Raja-arvoja näistä ei tarvitse itse määritellä, koska valmistaja on sen jo tehnyt. Näitä voidaan ja kannattaa hyödyntää, jotta niistä saadaan tieto myös kunnossapitojärjestelmään.

6.3 Tilapäisten häiriöiden suodatus

Tilapäisten ja ohimenevien häiriöiden suodattaminen on erittäin tärkeää, jotta kunnossapitojärjestelmään ei generoidu turhaan huoltopyyntöjä. Tällaisia häiriöitä voi tulla yhden vuoron aikana useita ja huono suodatus voi tukkia kunnossapitojärjestelmän häiriöilmoituslistan.

Aloitusvaiheessa vääriä hälytyksiä tulee varmasti ja ne voivat aiheuttaa kunnossapitohenkilöstölle turhautumista ja saada aikaan sen, että häiriöihin ei reagoida, koska niiden oletetaan oleva taas vääriä hälytyksiä. Tämän takia on kunnossapidon henkilöstölle pidettävä koulutusta, miksi järjestelmä on rakennettu ja mihin sillä tähdätään. Näin saadaan aloitusvaiheen vääriin hälytyksiin oikeanlainen asenne ennen kuin suodattimet saadaan hienosäädettyä kohdalleen.

Tilapäisten häiriöiden suodatus on rakennettava kokempohjaisesti yhteistyössä operaattoreiden ja kunnossapitohenkilöstön kanssa. Operaattoreilla on paras kokemus erilaisista ohimenevistä häiriöistä ja tällaiset häiriöt on pystyttävä suodattamaan pois. Operaattoreiden kokemus, sekä kerätyn datan hyödyntäminen mietittäessä suodatusmenetelmiä erilaisista häiriöistä on tärkeää. Samoin kunnossapidon henkilöstön kokemusta erilaisista laitteistoon liittyvistä ongelmista kannattaa hyödyntää suodattimia säädettäessä.

Tilapäisten häiriöiden suodattamiseen on järkevintä käyttää häiriön kestoaikaa. Esimerkiksi kuinka monta sekuntia langansyöttömoottorin virta-arvo saa ylittää raja-arvon, ennen kuin laite tuottaa häiriöilmoituksen kunnossapitojärjestelmään. Tästäkin huolimatta on todennäköistä, että kunnossapitojärjestelmään tulee niin sanottuja vääriä hälytyksiä ja ne aiheuttavat kunnossapitohenkilöstön käynnin paikan päällä, sekä ylimääräistä työtä häiriöiden kuittausten muodossa.

6.4 Rajapinnat ja liitettävyys kunnossapitojärjestelmään

Nykyaikaiset robotit ja hitsauskoneet käyttävät OPC-liitäntä-standardia (Open Platform Communications) ja sen vuoksi liittäminen kunnossapitojärjestelmään on helppoa. OPC-liitäntä on kehitetty juuri teollisuuden automaatiolaitteiden liittämiseen PC-tietokoneisiin. Kunnossapitojärjestelmän toimittaja on myös huomoinut laitteiston liittämisen tuotantolaitteisiin, joten toimittajan tuen avulla rajapinnan käyttöönotossa ei pitäisi tulla ongelmia.

Itse käytännön työ kaapeleiden vetämiseen ja verkkoon liittämiseen tapahtuu kunnossapito-osaston toimesta ja tehtaan IT-osasto hoitaa tarvittavat palvelin- ja kytkinasetukset.

6.5 Käyttöönotto, jälkiseuranta ja valvottavien kohteiden raja-arvojen sekä suodattimien uudelleentarkastelu

Etäkunnonvalvonnan käyttöönotto ensimmäisen valvottavan kohteen eli langansyötön osalta ajoittuu kevääseen 2021. Fyysiset kytkennät ja rajapinnat ovat jo toiminnassa ja valmiina. Lähtökohtana on, että maaliskuussa saadaan jo tietoa aktiivisesti kunnossapitojärjestelmään langansyöttöön liittyvien häiriöiden osalta. Tähän aikatauluun vaikuttaa se, saadaanko raja-arvot määritettyä aikaisemmin mainitun demonstroinnin avulla. Karkeat arvot voidaan tietenkin laittaa esiasetuksena ja tarkentaa niitä, kun tietoa saadaan kerätyksi lisää.

Toisen vaiheen, suojakaasunmittauksen käyttöönottoon, vaikuttaa niin ikään voidaanko kaasunvirtauksen vaikutuksia demonstroida manuaalisesti. Jos tämä onnistuu, niin realistinen ja järkevä aloitus valvonnalle on kesällä 2021. Muutama kuukauden porrastus ensimmäisen ja toisen valvontakohteen välille on siksi

syytä jättää, mikäli käyttöönotossa tulee vastoinkäymisiä tai ongelmia ja että saamme kokemusta järjestelmän käytöstä.

Kolmannen vaiheen aloitus jäänee syksyyn 2021. Loput valvontaan tulevat kohteet tulevat mukaan aikaisintaan 2022, koska niiden osalta on dataa kerättävä riittävästi ennen kuin raja-arvoja voidaan määritellä. Toisaalta esimerkiksi robottien osalta valmistaja on määrittänyt raja-arvot valmiiksi, joten ne voidaan ottaa valvontaan nopeammallakin aikataululla.

Raja-arvojen ja suodattimien uudelleentarkastelua on syytä suorittaa alkuvaiheessa melko tiheään. Esimerkiksi ensimmäisen kohteen raja-arvot ja suodattimet käydään läpi toisen vaiheen käyttöönoton yhteydessä. Samoin kolmannen valvottavan kohteen käyttöönoton ajankohtana käydään kaksi ensimmäistä läpi ja tehdään raja-arvoihin ja suodattimiin säädöt, mikäli tarvetta on. Kun kolmannen vaiheen käyttöönotosta on kulunut kahdesta kolmeen kuukautta, käydään jälleen läpi kaikkien valvottavien kohteiden raja-arvot ja suodattimet.

Jatkossa, kun valvonta on ollut toiminnassa ja arvoja saatu säädetyksi tarkemmin, voidaan uudelleentarkastelu suorittaa vuosittain esimerkiksi vuosihuollon ajankohtana. Uusien kohteiden käyttöönoton jälkeinen raja-arvojen ja suodattimien uudelleentarkastelu on kuitenkin syytä tehdä aina muutaman kuukauden kuluttua käyttöönotosta.

Näissä uudelleentarkasteluissa on myös mietittävä, ovatko jotkut valvonnassa olevista kohteista turhia. Liian monta valvottavaa kohdetta kuormittaa järjestelmiä ja kerätty tietomäärä voi tulla liian työlääksi käydä läpi. Mikäli tiedonkeräysjakson aikana on ilmennyt sellaisia uusia vikoja tai häiriöitä, jotka pitäisi tulevaisuudessa ottaa valvonnan alaiseksi, on näiden osalta suoritettava riittävän kattava tiedonkeruujakso.

Näiden lisäksi on syytä tehdä juurisyyanalyysi mahdollisuuksien mukaan valvottaville ja mahdollisille uusille kohteille. Juurisyyanalyysin avulla voi olla mahdollista päästä ongelmasta jopa eroon, tai ainakin saada reagointiaikaa ongelman korjaamiseen, kun vikaantumisen syyt saadaan selville. Tietojen keräys, analysointi, raja-arvojen ja suodattimien määrittäminen onkin jatkuva prosessi, jossa

muuttujat vaihtelevat laitteiston kulumisen ja mahdollisien osien vaihtojen sekä muiden ennakoimattomien muutoksien mukaan.

7 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä suunnitelma etäkunnonvalvonnan toteuttamiseksi robottihitsaussolulle, jonka avulla päästäisiin suorittamaan huolto- toimenpiteitä todelliseen käyttöön pohjautuen ja samalla osittain eroon jaksot- taisesta kunnossapidosta.

Valvonnan käyttöönotto tulee tapahtumaan useassa eri vaiheessa, että kerättävä tietomäärä on paremmin hallittavissa. Kokemusta etäkunnonvalvonnasta on tehtaassa jo kertynyt, joskin se on tapahtunut hyvin yleisellä tasolla. Tässä esitel- lyn suunnitelman mukaisesti on tarkoitus päästä ennakoimaan alkavat ongelmat ja saada niistä ilmoitus kunnossapidolle, että ongelmat voidaan ratkaista hallitusti ennen suurempia keskeytyksiä tuotantoon.

Toimiessaan oikein etävalvonta tuo kiistattomia etuja lyhentyneinä keskeyty- saikoina tuotannolle ja tuotannon laadun pysyvyytenä. Tehtaan tuotanto hyötyy tästä kasvaneena käyntiasteena ja toimintavarmuutena, kun suunnittelemattomia katkoja tulee vähemmän. Kuten aiemmin mainitsin, näitä varten on etävalvonnan toimittava oikein ja siihen päästään vain keräämällä ja analysoimalla kerätty tieto tarkasti ja oikein. Lisäksi laitteiden elinkaari pitenee, kun viat havaitaan jo alku- vaiheessa eikä isompia vaurioita ehdi syntymään.

Prosessi tulee jatkumaan ja kehittymään koko ajan tarkemmaksi kokemuksen ja tiedon karttumisen myötä. Kehittyminen vaatii myös pitkäjänteistä yhteistyötä ja sitoutumista robottioperaattoreiden, kunnossapito henkilöstön ja muiden asiantuntijoiden kesken.

Vastaavanlaista valvontajärjestelmää ei ole itselleni tullut vastaan pitkästä työkokemuksesta huolimatta ja lisäksi tätä prosessia suunnitellessa, sekä tule- vassa käyttöönotossa on ollut ja tulee olemaan paljon uusia asioita otettavaksi haltuun. Onneksi pitkä kokemus teollisuuden kunnossapitotyöstä ja erityisesti ro- boteista on myös auttanut esimerkiksi valvontaan otettavien kohteiden valin- nassa.

Olen oppinut paremmin ymmärtämään ja hyödyntämään esimerkiksi vika-vaikutusanalyysiä valvottavien kohteiden valinnassa. Analyysien avulla on myös ollut helppo näyttää työtovereille mitä valvonnan osalta on suunnittelussa ja saanut heiltä hyvää palautetta. Olen oppinut myös prosessimaisesta- ja projektityöskentelytavasta. Aika ajoin haasteeksi on noussut ajanpuute, koska olen tehnyt opinnäytetyötä muun työn ohessa.

Suunnittelussa on haastavinta ollut laitetoimittajilta saatava tieto. Tieto on hajanaista ja tämänkaltaista valvontajärjestelmää ei vaikuta olevan vielä oikein käytössä. Laitetoimittajat eivät vaikuta ajatelleen kunnossapitoa etäkunnonvalvonnan näkökulmasta ja asiasta keskusteltaessa heidän vastauksensa olivat joiltain osin vähätteleviä ja epäileviä. Toisaalta toisen laitetoimittajan asiantuntija oli hyvin perehtynyt laitteiston mahdollisuuksiin tuottaa kunnonvalvontatietoa ja esitti hyviä vinkkejä ja omia sovellutuksia etävalvontaan. Laittevalmistajilla on toki olemassa valmiita valvontatyökaluja, mutta ne eivät välttämättä sovellu, ainakaan räätälöimättä tämänkaltaiseen käyttöön.

Periaatteessa valvontamahdollisuuksia rajoittaa vain mielikuvitus ja ohjelmointitaidot, tai niiden rajallisuus. Onneksi apua ja valmiita työkaluja on saatavilla. Lähitulevaisuudessa on mahdollista siirtyä käyttämään älykästä anturointia, oppivaa koneälyä ja kehittyneitä analytiikkaa, jonka avulla pystytään ennakoimaan entistä paremmin erilaiset häiriöt ja niiden syyt. Lisäksi valvontatiedot voidaan lähettää mobiililaitteisiin, jolloin kunnossapitohenkilöstö saa tiedon välittömästi vaikkapa puhelimeen.

Lähteet

- Aumala O. 1989. Mittaustekniikan perusteet. Helsinki: Hakapaino Oy
- Hakala R. 2020. Projektipäällikkö MTCFlextek Oy. Haastattelu 05.11.2020.
- John Deere Forestry Oy Joensuun tehdas 2020
<https://www.deere.fi/fi/mets%C3%A4koneet/tehdas/> 03.06.2020.
- Järviö, J. & Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito: Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. Helsinki KP-Media Oy
- KUKA Connect Help Center 2020 https://connect.kuka.com/HelpCenter/en/Condition_Monitoring.html 07.10.2020
- Laine, H.S. 2010. Tehokas kunnossapito tuottavuutta käynnissäpidolla. Helsinki: KP-Media Oy.
- Moubray, J. 2001. Reliability-Centered Maintenance. Englanti: Industrial Press Inc.
- Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy.
- Oksanen R. 2020. Asiantuntija Yaskawa Finland Oy. Haastattelu 22.10.2020.
- OPC Foundation 2021 <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/> 04.01.2021
- Oy Safematic Ltd, 1985. Kunnossapito ja käyttövarmuus. Jyväskylä: Gummerus Oy.
- PSK 6201, 2011. Kunnossapito, Käsitteet ja määritelmät, PSK Standardisointi.
- SFS-EN 13306, 2017. Kunnossapito, Kunnossapidon terminologia, Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Toroi H. 2013 Promaint lehti 21.11.2013 <https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Vuodohaku-ja-kunnonvalvonta-ultraaanen-avulla> 18.08.2020

VVA ennakkohuoltoihin

Kriittisyys	Toimilaite/laite	Vikatila/oire	Voittumistapa/syy	Vian vaikutukset	Vian seuraukset	Havainnointi	Kriittisyysasteet	Vaikutukset
2	Hitsauskone	Kuumenee	Laite likainen, jäähdytyskennot tukossa	Laite tekee häiriöitä	Tuotanto keskeytyy	Silmämääräisesti	1	Tuotanto keskeytyy
2	Hitsauskaapeli(t)	Kuumenee	Löysät liitokset	Liitokset voivat sulaa tai syttyä palamaan	Kaapelivikoja, piirikorttivikoja, tulipalo	Silmämääräisesti	2	Hidastaa tuotantoa
2	Hitsauskoneen jäähdyttilaite	Neste kuumenee	Jäähdytyskenno tukossa	Hitsauksen laatu huononee, laite menee häiriöön	Keskeytyminen tuotantoon, polttinvika, kaapelivika	Silmämääräisesti	3	Ei merkittävää vaikutusta tuotantoon
2	Hitsauskoneen jäähdyttilaite	nestettä ei tarpeeksi	Vuotanut johonkin	Laitteessa häiriöilmoituksia	Keskeytyminen tuotantoon, polttinvika, kaapelivika	Silmämääräisesti		
2	Poltin puhdistusasema	Puhdistustulos heikko	Puhdistusveitsi/terä kulunut tai huonosti kiinni	Polttin jää liikkeeksi	Roisketta	Silmämääräisesti		
2	Poltin puhdistusasema	Roiskesuojajälki ei tarpeeksi tai liikaa	Öljy loppu tai säätö pielessä	Polttin jää kuivaksi, roiskeet tarttuvat polttimeen. Liiallinen määrä siirtyy hitsisaumaan	Hitsisauman laatu heikkenee	Silmämääräisesti ja testaamalla		
2	Poltin puhdistusasema	Langankatkaisuterät kuluneet	Kuluminen	Langankatku ei onnistu tai väantää langan mutkalle	Haku ei onnistu tarkasti, jumii puhdistusasemaan	Silmämääräisesti ja testaamalla		
2	Langanjohtimet	Lanka takertelee	Likaa langanjohtimessa	Langanvaihto hankalaa, hitsaustulos heikkenee	Hitsisauman laatu huononee, langanvaihtoon menee enemmän aikaa	Silmämääräisesti ja testaamalla		
1	Robotin ohjauskeskus	Ohjauskeskus kuumenee	Likainen suodatin	Lämpötilahälytys ohjauksesta	Robotin ohjaus pysäyttää toiminnan	Silmämääräisesti ja ohjauksesta lämpötilan tarkastus		
1	Turvalliset	Laite ei pysähdy turvalaitteen aktivoinnista huolimatta	Turvalliset viallinen, kaapelivika, kytkentävika	Laitteen turvallisuus ei määräysten mukainen	Henkilö tai laitevaurioita työalueelle pääsyn takia	Testaamalla toiminta		
2	Robotti/robotit	Kiinnityspultit löysällä	Toiminnan aiheuttama löystyminen	Robotin paikoitus pielessä, laiterikkoja jos jokin pääsee irti	Tuotanto keskeytyy, laiterikko, henkilövahinko	Kokeilemalla työkalulla		
1	Robotti/robotit	Öljy tai rasvavuodot	Kuluneet tiivisteet	vaihteistojen ja nivelien kulumisen puuttellisen voitelun seurauksena	Tuotanto keskeytyy korjauksen ajaksi, varaosatarve	Silmämääräisesti		
1	Robotti/robotit	Öljyn ja rasvan määrä	Vuodot	vaihteistojen ja nivelien kulumisen puuttellisen voitelun seurauksena	Tuotanto keskeytyy korjauksen ajaksi, varaosatarve	Silmämääräisesti tarkastusikkunoista		
1	Robotti/robotit	Kaapeloinnin ja liitosten kiinnitys	Liitokset löysällä, kiinnitykset löysällä tai irti	Häiriöitä, kaapelit tarttuu kiinni rakenteisiin	Tuotanto keskeytyy korjauksen ajaksi, varaosatarve	Silmämääräisesti ja käsin kokeilemalla		

VVA hitsauslaitteiston etäkunnonvalvontaan

Kriittisyys	Toimilaite/laite	Vikatila/oire	Vioittumistapa/syy	Vian vaikutukset	Vian seuraukset	Havainnointi	Kriittisyysasteet	Vaikutukset
1	Hitsauskone	Ei syty	Vika hitsauslaitteessa	Hitsaaminen ei onnistu	Tuotanto keskeytyy	Vikakoodi hitsauskoneesta	1	Tuotanto keskeytyy
2	Hitsauskaapeli(t)	Sytyy huonosti	Huono maadoitus	Hitsi huonolaatuinen	Hitsisauman laatu huono, sauma korjattava käsin	Hitsauskone mittaa ja ilmoittaa	2	Hidastaa tuotantoa
2	Hitsauskaapeli(t)	Sytyy huonosti	Vika hitsauskaapelissa	Hitsi huonolaatuinen	Hitsisauman laatu huono, sauma korjattava käsin	Hitsauskone mittaa ja ilmoittaa	3	Ei merkittävää vaikutusta tuotantoon
2	Hitsauspoltin	Ei tarpeeksi suojakaasua	Kaasuholkki vioittunut tai tukkeentunut	Hitsisaumassa huokosta	Hitsisauman laatu huono, sauma korjattava käsin	Hitsauskone mittaa ja ilmoittaa		
2	Hitsauspoltin	Vuotaa jäähdytysnestettä	Poltin tai tiivisteet vioittunut	Hitsisaumassa huokosta	Hitsisauman laatu huono, sauma korjattava käsin. Hitsauspoltin vaihdettava	Hitsauskoneesta l/min. Koska mittaus paluukierrosta, vuoto havaitaan sähköisesti.		
2	Hitsauspoltin	Ei tarpeeksi suojakaasua	Poltinliitoksen tiivisteet vuotaa	Hitsisaumassa huokosta	Hitsisauma korjattava käsin, tiivisteet vaihdettava	Hitsauskone mittaa ja ilmoittaa. Raja-arvot oltava tarkasti selvillä		
1	Hitsauskaapeli	Ei tarpeeksi suojakaasua	Hitsauskaapeli vioittunut	Hitsisaumassa huokosta	Hitsisauman laatu huono, sauma korjattava käsin, tuotanto keskeytyy hitsauskaapelin vaihdon ajaksi	Hitsauskone mittaa ja ilmoittaa. Raja-arvot oltava tarkasti selvillä		
1	Hitsauskaapeli	Vuotaa jäähdytysnestettä	Hitsauskaapeli vioittunut	Hitsisaumassa huokosta ja vettä	Hitsisauman laatu huono, sauma korjattava käsin, tuotanto keskeytyy hitsauskaapelin vaihdon ajaksi	Hitsauskoneesta l/min. Koska mittaus paluukierrosta, vuoto havaitaan sähköisesti.		
1	Langansyöttö	Lanka ei kulje	Lankaputki kulunut, taittunut tai tukossa	Roisketta, huono hitsi	Tuotanto keskeytyy lankaputken vaihdon ajaksi. Roiskeenpoisto ja viimeistelytarve saumoihin.	Langansyöttömoottorin virta-arvo hitsauskoneesta		
2	Langansyöttö	Lanka ei kulje	Syöttöpyörät kuluneet	Roisketta, huono hitsi	Tuotanto keskeytyy syöttöpyörän vaihdon ajaksi. Roiskeenpoisto ja viimeistelytarve saumoihin.	Mielittävä voidaanko havaita lankamoottorin virta-arvosta ilman erillistä langan nopeuden mittausta		
1	Polttimen jäähdytys	Nestettä ei kierrä tarpeeksi	Nestekierto tukossa	Roisketta, huono hitsi	Tuotanto keskeytyy vianhaun ajaksi. Roiskeenpoisto ja viimeistelytarve saumoihin.	Hitsauskoneesta l/min. Koska mittaus paluukierrosta, vuoto havaitaan sähköisesti.		
1	Polttimen jäähdytys	Neste ei kierrä	Neste loppunut	Hitsaus ei onnistu, poltin ja hitsauskaapelin vaurio	Tuotanto keskeytyy vianhaun ja osien vaihdon ajaksi.	Hitsauskoneesta l/min. Koska mittaus paluukierrosta, vuoto havaitaan sähköisesti.		
1	Polttimen jäähdytys	Neste ei kierrä	Pumppu ei toimi	Hitsaus ei onnistu, poltin ja hitsauskaapelin vaurio	Tuotanto keskeytyy vianhaun ja osien vaihdon ajaksi.	Hitsauskone ilmoittaa		