



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Antti Myllymäki

Poka-järjestelmä tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotannossa

Työohjeiden laatimisen kehittäminen ja tulevaisuuden
kehitysmahdollisuudet

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö
Sähkötekniikan diplomityö
Energia- ja informaatiotekniikka, DI

Vaasa 2022

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö**

Tekijä:	Antti Myllymäki		
Tutkielman nimi:	Poka-järjestelmä tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotannossa : Työohjeiden laatimisen kehittäminen ja tulevaisuuden kehitysmahdollisuudet		
Tutkinto:	Diplomi-insinööri		
Oppiaine:	Sähkötekniikka		
Työn valvoja:	Timo Vekara		
Työn ohjaaja:	Kai Kallio		
Työn tarkastaja:	Kimmo Kauhaniemi		
Valmistumisvuosi:	2022	Sivumäärä:	86

TIIVISTELMÄ:

Tämä diplomityö käsittelee Hitachi Energy Vaasan tehomuuntajatehtaalla tuuliturbiinimuuntajien tuotannossa käytettävien digitaalisessa muodossa olevien työohjeiden kehittämistä ja sarjatuotannon tulevaisuuden mahdollisuuksien kartoittamista.

Kyseisellä tehomuuntajatehtaalla on tehty tähän mennessä pääasiassa pieniä tuotantoeriä, jolloin tuotannossa on käytetty paperisia ohjeita. Tuulivoima-alan kasvun myötä kysyntä tuulivoimapuistojen tehomuuntajista on kasvanut. Näihin puistoihin toimitetaan usein suuri määrä keskenään samanlaisia tehomuuntajia, jolloin tehomuuntajien sarjatuotannon tarve kasvaa.

Tehtaalla on otettu käyttöön Poka-viestintäjärjestelmä, jossa on monia viestintää ja koulutusta tehostavia ominaisuuksia. Pokaan on joitain työohjeita lisätty, mutta niiden laadussa ja laadinta-aikataulussa on ollut ongelmia, joten nähtiin tarpeelliseksi selvittää, miten työohjeita ja niiden laatimista voitaisiin kehittää. Tämä työ on osa isompaa Pokan käytön kehitysprojektia ja keskittyy Pokassa oleviin työohjeisiin. Tavoitteena on luoda toimintamalli, jonka käytöllä varmistetaan, että tuotantoon pystytään toimittamaan laadukkaat työohjeet aikataulun mukaisesti.

Diplomityössä kehitettiin jo olemassa olevaa tehomuuntajien sarjatuotantoa kehittämällä Poka-järjestelmän ominaisuuksien käyttöä. Erityisesti keskityttiin työohje ominaisuuksien käytön kehittämiseen. Käytännön kokeiden, kirjallisten lähteiden ja haastattelujen perusteella luotiin toimintamalli työohjeiden luomiseen ja päivittämiseen. Tätä toimintamallia testattiin ja kehitettiin tulosten perusteella eteenpäin, kunnes se saavutti sille asetetut tavoitteet. Samalla kartoitettiin tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotantoon liittyvä tulevaisuuden kehitysmahdollisuuksia.

Työn tuloksena luotiin toimintamalli työohjeiden luomiselle ja päivittämiselle. Samalla kartoitettiin tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotannon tulevaisuuden kehitysmahdollisuuksia. Tämän kartoituksen perusteella luotiin taulukko tärkeimmistä kehitysmahdollisuuksista.

AVAINSANAT: Tuuliturbiini, tehomuuntaja, sarjatuotanto, tuotannonohjaus

Sisällys

1	Johdanto	7
1.1	Tuulivoima-alan vaikutus muuntaja-alaan ja Vaasan tehtaalle	9
1.2	Työn tavoitteet, tutkimuskysymykset, metodit ja rakenne	11
2	Tuuliturbiinimuuntajien erityispiirteet	13
2.1	Tuuliturbiinimuuntajan erot muihin tehomuuntajiin verrattuna	13
2.2	Tuuliturbiinimuuntajan sydän	14
2.3	Tuuliturbiinimuuntajan käämit	15
2.4	Tuuliturbiinimuuntajan aktiiviosa	17
2.5	Tuuliturbiinimuuntajan säiliö	18
2.6	Tuuliturbiinimuuntajien erityispiirteet tiivistettynä	18
3	Tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotanto	19
3.1	Sydämen latominen	19
3.2	Käämien kalustus	21
3.3	Aktiiviosan kokoonpano	22
3.4	Aktiiviosan kuivaaminen ja säiliöinti	25
4	Tuuliturbiinimuuntajien ja autoteollisuuden sarjatuotannon vertailu	27
4.1	Lean-tuotanto	27
4.2	Standardisoitu työskentely	29
5	Poka-järjestelmä	33
5.1	Poka yleisesti	33
5.2	Visuaaliset työohjeet	35
5.2.1	Työohjeet yleisesti	35
5.2.2	Työohjeiden ongelmat	36
5.2.3	Työohjeiden ongelmiin esitettävät ratkaisut	38
5.2.4	Työohjeisiin esitettävät lisäykset	39
6	Työohjeiden laatimisen uusi toimintamalli ja testaaminen	41
6.1	Uusi toimintamalli	41

6.1.1	Työohjeiden kuvat ja kirjoitusasu	43
6.1.2	Uuden työohjeen luominen	46
6.1.3	Vanhan työohjeen päivittäminen	48
6.2	Uuden toimintamallin testaaminen	51
6.2.1	Työohjeiden laatimisessa tehdyt havainnot	51
6.2.2	Työohjeiden käytössä tehdyt havainnot	55
6.2.3	Uuden toimintamallin testaamisen yhteenveto ja kehitystarpeet	59
6.3	Valmis toimintamalli työohjeiden luomiseen	61
6.3.1	Testauksessa havaittujen ongelmien ratkaisut	61
6.3.2	Kriteerit työohjeiden tekemiselle	64
6.3.3	Uuden työohjeen luominen valmiissa toimintamallissa	64
6.3.4	Vanhan työohjeen päivittäminen valmiissa toimintamallissa	68
6.3.5	Ohjeiden käytön seuranta valmiissa toimintamallissa	71
6.3.6	Yhteenveto valmiista toimintamallista työohjeiden tekemiseen	73
7	Pokan muiden osa-alueiden kehitys ja tulevaisuuden kehitysmahdollisuudet	75
7.1	Työohjeet ja koulutus	76
7.1.1	Työohjeiden käyttöä parantavat ominaisuudet	76
7.1.2	Työohjeiden käytön parantaminen koulutusta parantamalla	78
7.2	Lomakkeet Pokassa	79
7.3	Viestintä Pokassa	80
7.4	Muita kehitysmahdollisuuksia	81
7.5	Yhteenveto Pokan käytön kehityksestä	81
8	Johtopäätökset	84
	Lähteet	86

Kuvat

Kuva 1.	Maailmanlaajuinen tuulivoimatuotantokapasiteetti vuosien 2010 ja 2020 välillä (IRENA, 2020).	7
Kuva 2.	Tuulivoimalla tuotetun sähkön hinta eri puolilla maailmaa vuosina 1982–2018 (IRENA 2020).	8
Kuva 3.	Tuuliturbiinin pääkomponentit (Diamond Industrial Ltd, 2014).	9
Kuva 4.	Suurimmat tuuliturbiinivalmistajat, ja uusien tuuliturbiinien määrä vuonna 2019 (Ewind, 2019).	10
Kuva 5.	Hitachi Energyn WindSTAR-tuuliturbiinimuuntaja (Hitachi Energy, 2021). ...	14
Kuva 6.	Nauhakäämi (Muuntajatekniikan perusteet, 2007, s. 18).	16
Kuva 7.	Laippakäämi (Muuntajatekniikan perusteet, 2007, s. 19).	17
Kuva 8.	Tuuliturbiinimuuntajan sydän tukien kanssa.	20
Kuva 9.	Välikkeitä yläjännitekäämissä.....	22
Kuva 10.	Tuuliturbiinimuuntajan aktiiviosa ennen käämien mittausta.	23
Kuva 11.	Tuuliturbiinimuuntajan aktiiviosa ennen uusia mittauksia.....	24
Kuva 12.	Tuuliturbiinimuuntajan aktiiviosan kuivausjärjestely.....	26
Kuva 13.	Esimerkki mahdollisesta käämien valintaan käytettävästä vuokaaviosta.....	31
Kuva 14.	Eri tasot Pokan hierarkiassa.	34
Kuva 15.	Esitetyt ratkaisut työhjeiden neljään keskeiseen ongelmaan.....	42
Kuva 16.	Vuokaavio uuden ohjeen luomiselle.....	46
Kuva 17.	Vuokaavio paperisen ja Pokan ohjeen päivittämiselle.....	49
Kuva 18.	Uudella toimintamallilla tehtyjen ohjeiden lukemisen vertailu kaikkiin aktiivisesti päivitettäviin ohjeisiin.	57
Kuva 19.	Vuokaavio valmiista toimintamallista työhjeiden luomiseen	66
Kuva 20.	Vuokaavio valmiista toimintamallista työhjeiden päivittämiseen	70

Taulukot

Taulukko 1. Valokuvien ja tietokoneavusteisesti luotujen kuvien vertailu. 44

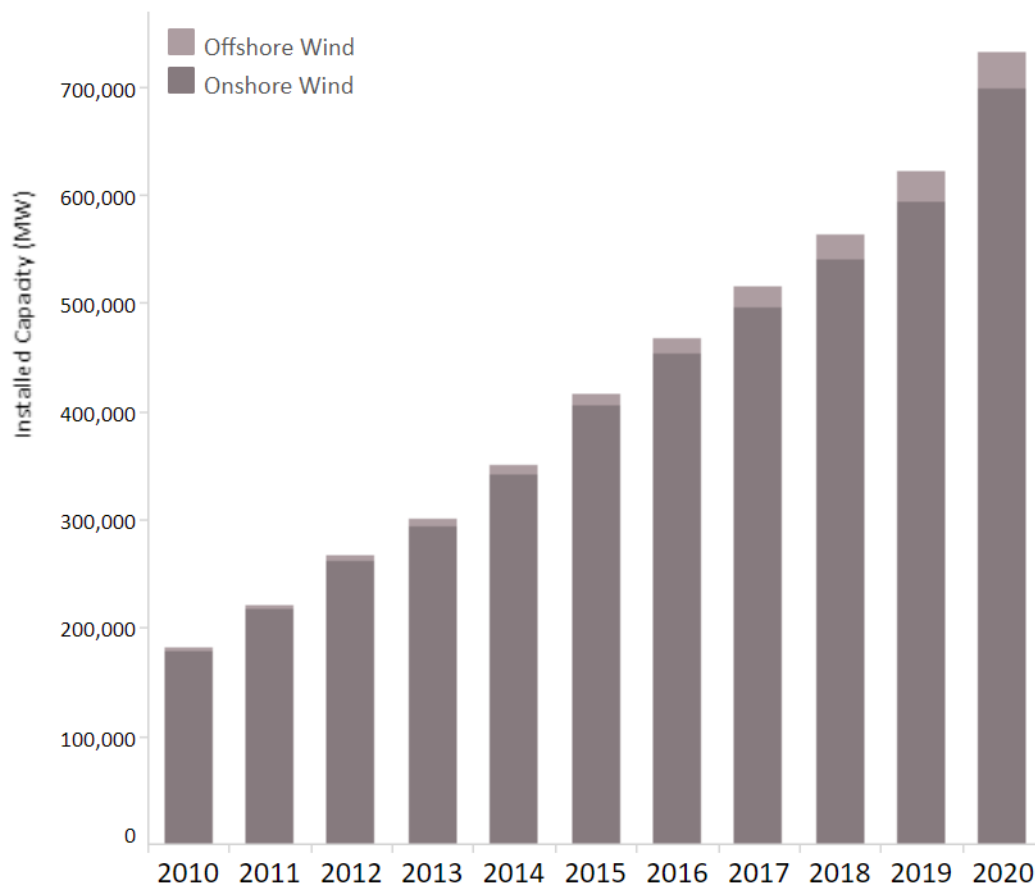
Taulukko 2. Pokan ominaisuuksien käytön kehitys ja tulevaisuudenmahdollisuudet. ... 82

Lyhenteet

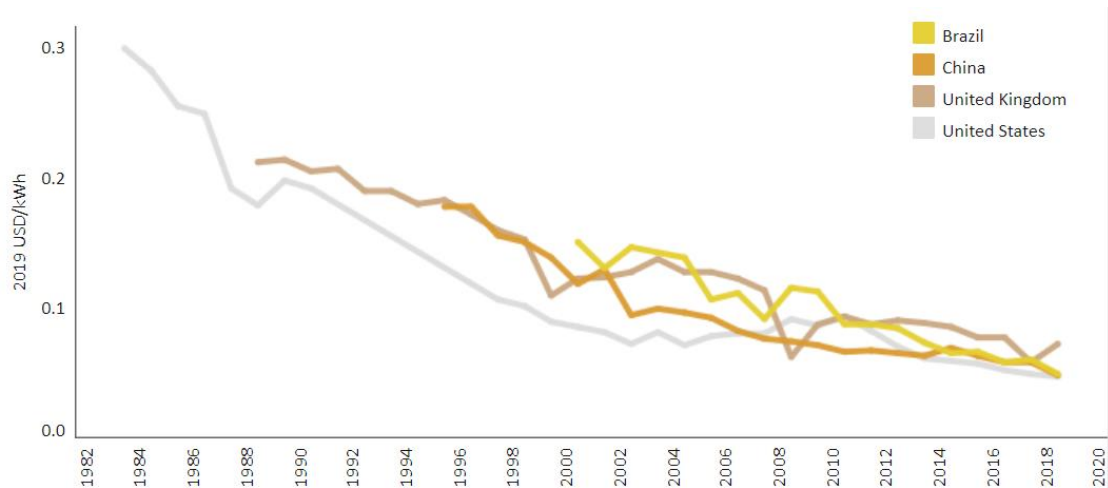
3D	Three-dimensional; Kolmiulotteinen
QR	Quick Response; Ruutukoodi
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte; Järjestelmät sovellukset ja tuotteet

1 Johdanto

Uusiutuville energialähteillä, kuten vesi-, aurinko-, ja tuulivoimalla, tuotetun sähkön määrä on maailmanlaajuisesti nousussa. Tuulivoiman osalta turbiinin nimellistehon kasvaminen, tuulivoiman tuotantohintojen aleneminen sekä hallituksilta saatu tuki ympäri maailmaa on nostanut tuulivoimakapasiteetin kasvamaan huomattavasti viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. Tätä kasvua havainnollistetaan kuvissa 1 ja 2. Kuvasta 1 havaitaan, että maailmanlaajuinen tuulivoimakapasiteetti on lähes nelinkertaistunut kymmenen vuoden aikana. Kuvasta 2 nähdään, että samalla aikavälillä tuulivoimalla tuotetun sähkön hinta on pudonnut joissain maissa miltei puoleen. (IRENA, 2020)



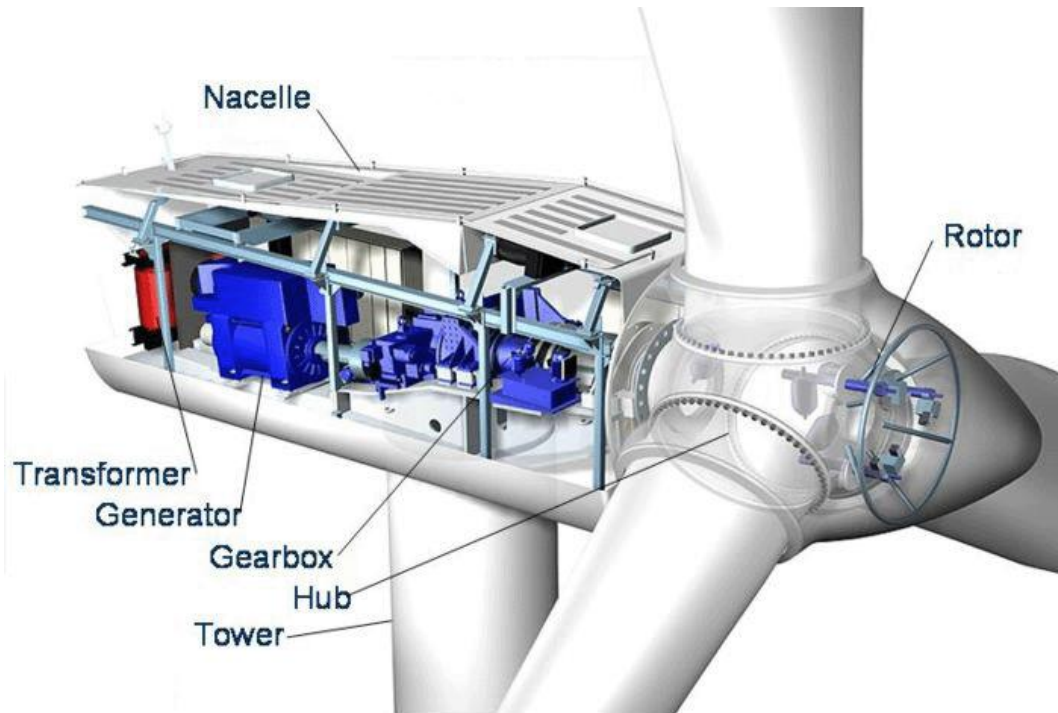
Kuva 1. Maailmanlaajuinen tuulivoimatuotantokapasiteetti vuosien 2010 ja 2020 välillä (IRENA, 2020).



Kuva 2. Tuulivoimalla tuotetun sähkön hinta eri puolilla maailmaa vuosina 1982–2018 (IRENA 2020).

Tuuliturbiineja pyritään usein rakentamaan suuri määrä alueille, joissa tuulta on hyvin saatavilla. Tällöin tuuliturbiinit muodostavat niin sanotun tuulivoimapuiston. Yhden tuulivoimapuiston rakentamiseen voidaan tarvita jopa 100–200 tuuliturbiinia (Ørsted, 2021). Siinä olevat tuuliturbiinit ovat usein samanlaisia.

Tuuliturbiinien kysynnän kasvu johtaa siihen, että kysyntä myös näissä turbiineissa käytetyille laitteille on kasvussa. Koska tuulivoimapuiston tuuliturbiinit ovat usein identtisiä, niiden osia kannattaa valmistaa sarjatuotantona. Tuuliturbiinin pääkomponentit on esitetty kuvassa 3, jossa muuntaja on nasellissa. Muuntajan asennuspaikka vaihtelee eri tuuliturbiinimallien välillä

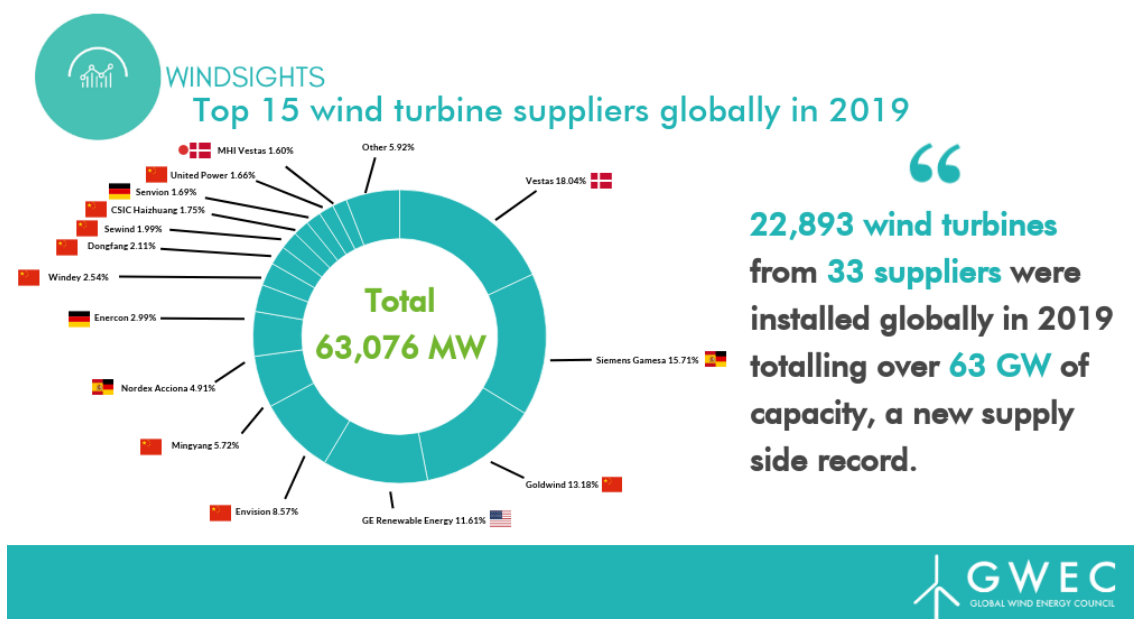


Kuva 3. Tuuliturbiinin pääkomponentit (Diamond Industrial Ltd, 2014).

Yhden tuulivoimapuiston rakentamiseen tarvittava vaihteiden, generaattorien ja muuntajien määrä on huomattavasti suurempi, kuin esimerkiksi vesi-, hiili-, tai ydinvoimalan rakentamiseen tarvittava määrä. Tällöin näiden osien sarjatuotanto tuuliturbiineita varten on huomattavasti kannattavampaa kuin muissa voimalakäytöissä.

1.1 Tuulivoima-alan vaikutus muuntaja-alaan ja Vaasan tehtaalle

Kuvasta 4 nähdään, että suurimmat tuuliturbiinivalmistajat, eli suurimmat tuuliturbiinimuuntajien ostajat, sijaitsevat Kiinassa ja Euroopassa. Koska tuuliturbiineja valmistetaan joka vuosi kymmeniätuhansia, niin myös tuuliturbiinimuuntajia valmistetaan maailmanlaajuisesti saman verran.



Kuva 4. Suurimmat tuuliturbiinivalmistajat, ja uusien tuuliturbiinien määrä vuonna 2019 (Evwind, 2019).

Tämä diplomityö on tehty Hitachi Energy:n Vaasan muuntajatehtaalle, jossa on tehty tehomuuntajia vuodesta 1947 asti. Tarkasteltavalla tehtaalla on tähän mennessä erikoistuttu tuottamaan laajaa valikoimaa erilaisia muuntajia sähköasemille tai erikoistarkoitukseen 150 MVA:n tehoon asti. Miltei kaikki tilaukset tulevat ulkomaalaisilta asiakkailta ympäri maailmaa. Tuotantoerät ovat olleet useimmiten yksittäisiä ja yli kolmen samanlaisen muuntajan tilauksia on jo pidetty sarjana.

Tilanne on nyt muuttumassa, koska tuuliturbiinivalmistajat tilaavat usein useita kymmeniä tehomuuntajia kerrallaan, jolloin sarjatuotannon kasvattamisesta ja kehittämisestä tulee yhä kannattavampaa. Tuuliturbiinimuuntajat ovat useimmiten teholtaan 7–15 MVA välillä. Näiden tehomuuntajien asiakaskunta on kuitenkin tavalliseen tapaan kansainvälinen, sijaiten useimmiten Euroopassa ja Aasiassa.

Vaasan tehtaalla on jo laajennettu tuuliturbiinimuuntajien valmistamiseen käytettävää tehdastilaa ja lisätty henkilöstöä, mutta niiden tuotannossa on paljon kehitettävää, koska tehtaalla ei ole aikaisemmin tehty tämän mittapuun sarjatuotantoa. Yksi uusista keinoista, jolla sarjatuotantoa pyritään tehostamaan, on kommunikointi- ja

tietohallintajärjestelmä Poka, joka pystyy parantamaan tuotannon ja suunnittelun välistä tiedonkulkua ja koulutusta (Poka, 2021). Pokassa on paljon erilaisia ominaisuuksia, joiden käyttöä on kyseisellä tehtaalla pyritty kehittämään. Tässä diplomityössä keskitytään työohjeiden parantamiseen.

1.2 Työn tavoitteet, tutkimuskysymykset, metodit ja rakenne

Tässä diplomityössä pyritään kehittämään jo olemassa olevaa tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotantoa, etenkin Poka-järjestelmän käyttöä osana sarjatuotantoa. Tavoitteena on selvittää, miten Pokan eri ominaisuudet voivat parantaa tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotantoa. Erityisesti keskitytään Pokassa oleviin työohjeisiin, joiden laadussa ja laatimisaikataulussa on ollut ongelmia. Tehomuuntajien sarjatuotanto on kuitenkin asia, jota tullessaan jatkuvasti kehittämään niin kauan kuin sitä tehdään. Työssä pyritään kartoittamaan myös tulevaisuuden mahdollisuuksia, koska sarjatuotantoa ja Poka-järjestelmän käyttöä tullaan kehittämään vielä vuosia.

Tutkimuskysymyksiin kuuluvat tulevaisuuden kehitysmahdollisuuksien lisäksi: mitä kehitysmahdollisuuksia Poka-järjestelmän käyttöönotto mahdollistaa tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotannossa ja millaisella järjestelyillä Poka-järjestelmään luodaan laadukkaat työohjeet aikataulun mukaisesti. Käytännössä nämä tarkoittavat, että pyritään luomaan toimintamalli, jolla laadituilla työohjeilla saadaan aikaan laadukkaat lopputulokset ilman että työohjeiden odottelusta aiheutuu merkittävää viivästystä tehomuuntajien kokoonpanossa.

Tutkimusmetodeina käytetään kirjallisuuteen perehtymistä, haastatteluja ja käytännön kokeita. Kirjallisuudesta selvitetään esimerkiksi muiden teollisuuden alojen käytänteitä sarjatuotantoon liittyen. Haastatteluilla pyritään selvittämään tehomuuntajatuotannon nykyisiä ongelmia. Selvitetään, mitä Pokan ominaisuuksia käytetään, mitä järjestelmältä toivotaan tulevaisuudessa, ja miten tähän mennessä tehdyt muutokset ovat vaikuttaneet sarjatuotantoon. Kokeilla pyritään testaamaan uusien muutosten vaikutusta.

Näiden kokeiden tulokset voidaan saada muun muassa haastattelujen tai Pokaan tehtävien muutosten kohdalla Pokan omista järjestelmistä.

Työn luvussa 2 käsitellään muuntajan toiminta ja millaisia erityispiirteitä tuuliturbiinimuuntajissa on. Tämän jälkeen luvussa 3 käydään läpi nykyinen sarjatuotanto ja tarkastellaan, miten se eroaa kyseisen tehtaan muusta tuotannosta. Luvussa 4 vertaillaan kirjallisuuden avulla muiden teollisuudenalojen sarjatuotantoa nykyiseen muuntajien sarjatuotantoon. Luvussa 5 esitellään Poka-järjestelmää ja siellä olevien työohjeiden ongelmia sekä mahdollisia ratkaisuja. Luvussa 6 tehdään työohjeiden laatimiselle toimintamalli ja testataan sitä. Luvussa 7 käydään läpi Pokan muihin osa-alueisiin tehtyä kehitystä ja tulevaisuuden kehitysmahdollisuuksia. Luvussa 8 vedetään johtopäätökset koko työstä.

2 Tuuliturbiinimuuntajien erityispiirteet

Kuten alaluvussa 1.1 mainittiin, Vaasan muuntajatehtaalla valmistetaan siis monia erityyppisiä tehomuuntajia. Eri käyttötarkoituksiin menevillä muuntajilla on kaikilla omat erikoispiirteensä, joka saa ne eroamaan kirjallisuudessa usein esitetystä perusmallista. Tässä luvussa käsitellään tällaisten kirjallisuudessa esitettyjen tehomuuntajien rakenne ja toiminta sekä huomioidaan tuuliturbiinimuuntajien osissa olevia erikoispiirteitä aina kun sellaisia on. Ensin tarkastellaan tuuliturbiinimuuntajan eroja muihin tehomuuntajiin verrattuna. Sitten tehomuuntajien rakenteessa keskitytään neljään osaan: sydämeen, käämeihin, aktiiviosaan ja säiliöön. Tuuliturbiinimuuntajien isoimmat erot näkyvät muuntajan eristeissä, johdinten poikkipinta-alassa ja jäähdytyksessä.

2.1 Tuuliturbiinimuuntajan erot muihin tehomuuntajiin verrattuna

Tuuliturbiinimuuntaja pitää saada mahtumaan hyvin pieneen tilaan ja sen täytyy kestää tärinää. Näistä syistä tuuliturbiinimuuntajan eri osia suunniteltaessa täytyy ottaa muuntajan pieni koko ja tärinä huomioon. Useimmiten tämä tarkoittaa, että pienemmästä tilasta johtuen tuuliturbiinimuuntajissa täytyy löytää keino saada eri komponentit toimimaan pienemmällä määrällä materiaaleja. Jotta tilavuudeltaan pienemmät komponentit pysyvät toimintakäykyisinä, joudutaan niissä käytettyjä materiaaleja vaihtamaan tehokkaampiin ja kalliimpiin materiaaleihin. Kokorajoitusten vaikutuksista voidaan nähdä esimerkiksi kuvassa 5, jossa yläjännitepuolen ulosotot ovat kannen sijasta tehomuuntajan seinässä ja jonka tehomuuntajassa on tyypillistä pienempi jäähdytyslaitteisto.



Kuva 5. Hitachi Energyn WindSTAR-tuuliturbiinimuuntaja (Hitachi Energy, 2021).

2.2 Tuuliturbiinimuuntajan sydän

Muuntajassa muuntajasydän ohjaa magneettivuon käämitysten läpi. Sydämessä on kaksi tai kolme pylvästä, jotka yhdistetään ala- ja yläikeellä. Pylväiden määrä riippuu siitä, onko muuntaja kolmivaiheinen vai yksivaiheinen. Kolmivaiheisessa muuntajassa käytetään kolmea pylvästä ja yksivaiheisessa kahta. Tuuliturbiinimuuntajat ovat kolmivaiheisia. (Muuntajatekniikan perusteet, 2007, s. 14–16)

Sydämen pylväät koostuvat levyistä, joissa reluktanssi on pieni pituussuunnassa, mutta suuri poikittaissuunnassa. Tämän lisäksi levy on pinnoitettu eristekerroksella. Sydämessä tapahtuvat häviöt vähenevät, kun vuo kulkee pitkittäissuunnassa, jolloin muuntajan hyötysuhde paranee. (Muuntajatekniikan perusteet, 2007, s. 14–16)

Tuuliturbiinimuuntajissa täytyy sydämessä ottaa huomioon, että pienemmästä tilasta johtuen sydämen eristykseen täytyy käyttää tavallista laadukkaampia eristysmateriaaleja, jotka pystyvät eristämään sydämen käämien johtimien tavallista pienemmästä etäisyydestä huolimatta. Näiden eristeiden täytyy myös puristaa sydämen pylväissä olevia levyjä toisiaan vasten, jotta levyt pysyvät paikoillaan tärinänkin aikana.

2.3 Tuuliturbiinimuuntajan käämit

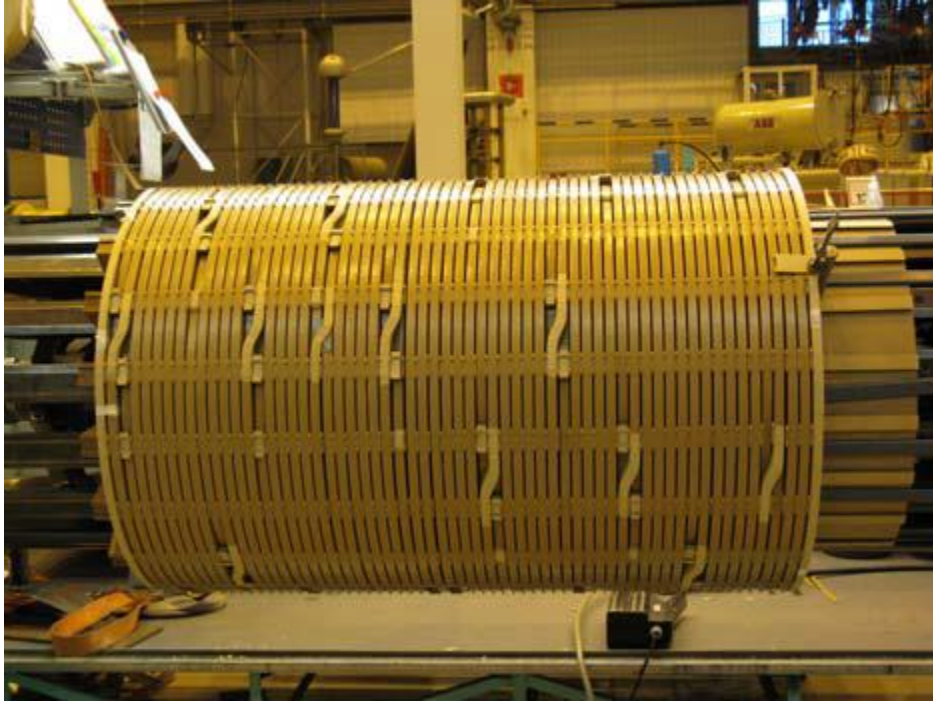
Tehomuuntajissa käytetään vähintään kahta käämiä eli alajännite- ja yläjännitekäämiä. Näiden lisäksi voidaan käyttää säätökäämiä, joka lisätään sarjaan yläjännitekäämin kanssa. Tuuliturbiinimuuntajissa säätökäämiä ei käytetä. Pienemmän jännitteensä vuoksi alajännitekäämi laitetaan yleensä sydämen pylvälle sisimmäiseksi käämiksi. Käämien johtimet koostuvat useimmiten kuparista tai alumiinista. Suurivirtaisissa käämeissä voidaan käyttää rinnakkaisia johtimia, jolloin eri johtimiin kohdistuu sijainnistaan riippuen erisuuruinen magneettikenttä. Tämän takia johdinten täytyy risteillä, jotta niihin vaikuttava magneettikenttä on koko käämin pituudella keskimäärin samansuuruinen. Johtimet eristetään paperisella eristeellä tai lakalla. Tuuliturbiinimuuntajissa käytetään eristepaperia, joka kestää tavallista korkeampia lämpötiloja (Dumler, 2021, s. 3; Muuntajatekniikan perusteet, 2007, s. 17)

Tehomuuntajia varten on kehitelty monia erilaisia käämimalleja, mutta tuuliturbiinimuuntajien osalta tärkeimmät ovat nauha- ja laippakäämit. Nauhakäämejä kutsutaan myös foliokäämeiksi, koska ne valmistetaan kuvan 6 mukaisesti rullalle pyöritetystä kupari- tai alumiinilevystä. Suurista virroista johtuen foliolla on iso poikkipinta-ala, joten se on hyvä alajännitekäämiksi. Kierrosten väliin laitetaan eristepaperiksi ns. täpläpaperia, jossa hartsitäplät sulavat käämin kuivauksen aikana ja liimaavat kierrokset yhteen. Suurien virtojen ja tilarajoitteiden takia tuuliturbiinimuuntajien alajännitekäämit kytketään taipuisien johtimien sijaan kiinteillä kupari- tai alumiinikiskoilla. (Muuntajatekniikan perusteet, 2007, s. 18)



Kuva 6. Nauhakäämi (Muuntajatekniikan perusteet, 2007, s. 18).

Yläjännitekääminä käytetään kuvassa 7 esitettyä laippakäämiä, jossa rinnakkaiset johtimet menevät välkkeiden erottamissa kerroksissa. Risteilyllä saadaan varmistettua, että kaikki johtimet ovat yhtä pitkät ja niihin vaikuttaa keskimäärin samansuuruinen magneettikenttä. Välkkeet lisäävät rakoja kierrosten väliin, jolloin öljy pääsee paremmin virtaamaan käämin läpi, mikä taas parantaa käämin jäähdytystä ja kerrosten välistä eristystä. Muuntajan muuntosuhdetta saadaan säädettyä yläjännitekäämissä olevilla väliulosotoilla ja väliottokytkimellä. Yläjännitekäämin eri kohdista lähtee johtimia, jotka yhdistetään väliottokytkimellä niin, että virta ei kulje yläjännitekäämin kaikkien kierrosten kautta. Alajännitekäämin kierrosmäärä pysyy vakiona. (Muuntajatekniikan perusteet, 2007, s. 19)



Kuva 7. Laippakäämi (Muuntajatekniikan perusteet, 2007, s. 19).

Tehomuuntajissa käytetään usein säätökäämien kanssa käämikytkintä, jolla tehomuuntajan muuntosuhdetta saadaan muutettua käytön aikana. Tilarajoitusten vuoksi tuuliturbiinimuuntajissa on kuitenkin kannattavampaa jättää säätökäämit ja käämikytkin pois. Aikaisemmin mainittu väliottokytkin sopii tuuliturbiinimuuntajiin paremmin sen pienempien tilavaatimusten vuoksi, mutta väliottokytkimellä ei kuitenkaan pystytä säätämään tehomuuntajan muuntosuhdetta käytön aikana.

2.4 Tuuliturbiinimuuntajan aktiiviosa

Muuntajan aktiiviosa koostuu sydäimestä, käämeistä, käämien välisistä kytkennöistä ja eristysosista. Eristyksiä lisätään käämien välille, sekä jännitteisten osien ja maadoitettujen osien välille. Eristysosia käytetään myös tukemaan käämejä ja luomaan virtausreit-tejä öljylle. Sähköä johtavien osien täytyy olla pyöristettyjä, sillä läpilyönti, eli eristyksen läpi tapahtuva sähköpurkaus, tapahtuu helpommin terävien pintojen välillä. Tämä on erityisen tärkeää yläjännitepuolella. (Muuntajatekniikan perusteet, 2007, s. 23)

Tuuliturbiinimuuntajien tilarajoitusten ja alajännitekäämien suuren virran vuoksi alajännitepuolen kytkennät tehdään kupari- tai alumiinikiskoilla, joita on helpompi jäähdyttää kuin kaapelia. Tällöin suuret virrat saadaan siirrettyä pienessä tilassa. Erityisen suurilla virroilla johtimiin aiheutuu voimia, jotka pystyvät vääntämään niitä. Jäykät kiskot ja tukirakenteet ovat tärkeitä alajännitepuolella, koska muuten johtimen ja maadoitetun säiliön välinen etäisyys saattaa pienetä liikaa ja aiheuttaa läpilyönnin. (Muuntajatekniikan perusteet s. 23, 2007)

2.5 Tuuliturbiinimuuntajan säiliö

Säiliön pitää kestää muuntajan käyttöympäristössä esiintyvät rasitukset, pitää muuntaajaöljy sisällään ja pystyä jäähdyttämään muuntajaa. Tuuliturbiinikäytössä säiliö täytyy suunnitella kestäämään myös tärinää. Tämän takia tuuliturbiinimuuntajien kansi hitsataan kiinni. Pienten kokovaatimusten vuoksi jäähdytykseen käytettävien radiaattorien täytyy olla tavallista pienempiä. Jäähdytystä voidaan tällöin tehostaa nestejäähdytyksellä, öljyn pakotetulla kierrolla radiaattorien läpi pumpun avulla tai molemmilla samaan aikaan. (Dumler, 2021, s. 3; Muuntajatekniikan perusteet, 2007, s. 26)

2.6 Tuuliturbiinimuuntajien erityispiirteet tiivistettynä

Kuten alaluvussa 2.1 mainittiin, tuuliturbiinimuuntajien isoimmat erot näkyvät muuntajan eristeissä, johdinten poikkipinta-alassa ja jäähdytyksessä. Sydämen osalta eristyksen täytyy sähköisten ominaisuuksiensa lisäksi kyetä pitämään pylvää kasassa tärinän aikana. Käämeissä käytetään suurten virtojen vuoksi alajännitepuolella foliokäämiä sen ison poikkipinta-alan takia ja eristemateriaalina korkeita lämpötiloja kestävää eristepaperia. Aktiiviosassa alajännitepuolella käytetään suurten virtojen vuoksi johtojen sijaan kiskoja, jotka täytyy tukea kunnolla. Säiliössä oleva jäähdytyslaitteisto saattaa pienen kokonsa vuoksi olla nestejäähdytteinen, pumpulla avustettu tai molempia samaan aikaan.

3 Tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotanto

Tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotanto on toteutettu Vaasassa pääasiassa niille omistetuilla tuotantolinjalla. Isommat komponentit, kuten käämit, sydän, kansi ja säiliö tehdään tehtaassa muissa tiloissa tai tilataan tehtaassa ulkopuolelta. Tuuliturbiinimuuntajan tekeminen alkaa kolmipylväisen sydämen latomisesta ja käämien kokoamisesta. Aktiiviosan kokoonpanossa käämit lasketaan sydämen pylväille, sydämen yläies ladotaan, kansi asennetaan paikoilleen ja sisäiset johdotukset asennetaan. Tämän jälkeen aktiiviosa kuivataan, kiristetään ja säiliöidään. Tehomuuntaja lähetetään asiakkaalle onnistuneen testauksen jälkeen.

3.1 Sydämen latominen

Sydän valmistetaan Vaasan tehtaalla automaattisella ladontakoneella pinoamalla ohuita teräslevyjä päällekkäin. Teräslevyt pysyvät yhdessä lakan, sidontanauhojen, tukirautojen ja sydämen alaosan, eli alaikeen, molemmin puolin tulevien puristusalkkien avulla.

Kuvassa 8 tuuliturbiinimuuntajan sydämen ympärille on laitettu vihreät ja mustat sidontanauhat. Mustat sidontanauhat pitävät paikoillaan pystyssä olevia harmaita tukirautoja. Kuvasta voidaan huomata myös, että pylväiden päät ovat hieman vaaleammat kuin muu sydän, koska yläiekeen latomisen takia sydänlevyjä ei voida kiinnittää toisiinsa lakalla pylväiden päästä.

Sidontanauhat ja tukiraudat pitävät sydämen oikean muotoisena ennen lakan kuivumista. Jos sydämen levyt eivät pysy suorassa, vaan alkavat taipumaan, niitä pitää poistaa. Levyjen poistaminen vähentää sydämessä olevan raudan määrää, jolloin häviöt kasvavat ja hyötysuhde heikkenee. Sidontanauhat ja tukiraudat irrotetaan sydäimestä myöhemmin, kun käämit lasketaan paikoilleen. Valkoisia puristusalkkeja ei poisteta. Sydämeen ei tule yläiestä vielä tässä vaiheessa. (Muuntajatekniikan perusteet, 2007, s. 23)



Kuva 8. Tuuliturbiinimuuntajan sydän tukien kanssa.

3.2 Käämien kalustus

Yläjännitepuolella käytetyt lankakäämit tuodaan Vaasan muuntajatehtaalle muualta, ja ne laitetaan muuntajan eristeiden kanssa uuniin kuivattaviksi. Alajännitepuolella käytetyt foliokäämit käämitään paikan päällä. Yläjännitepuolen käämit kuivataan käämin kuivausuunissa, minkä jälkeen ne puristetaan käämiprässillä, millä varmistetaan, että käämien korkeus on suunnittelun määrittysten mittainen. Kuivaamisella parannetaan käämin eristeiden eristyskykyä. Kuivauksen jälkeen käämit puristetaan oikeaan mittaansa. Käämien kierrosten väliin laitetaan kuvassa 9 esitettyjä säätövälikkeitä, joita voidaan tarvittaessa poistaa tai lisätä. Lopuksi käämi kalustetaan eli siihen lisätään kiilat ja öljyohjurit. (K. Kallio, henkilökohtainen keskustelu, 29.11.2021)



Kuva 9. Välিকেitä yläjännitekäämissä.

3.3 Aktiiviosan kokoonpano

Valmiit käämit lasketaan sydämen pylväille. Tämän jälkeen sydämen yläies ladotaan käsin ja puristuspaalkit lisätään sen molemmille puolille. Sydämen yläikeen levyjä ei kiinnitetä lakalla toisiinsa, vaan ne pysyvät paikallaan pelkästään puristuspaalkkien puristuksessa. Tällöin aktiiviosa on kuvan 10 mukainen. Tässä vaiheessa käämien kierrokset pystytään mittaamaan, jolloin voidaan varmistaa, että käämeissä on oikea määrä kierroksia ja että väliulosotot ovat oikeilla kierroksilla ennen kuin muuntajan kytkentöjä aletaan tekemään.

Käämien kierrosten mittauksia ei pystytä tekemään ennen tätä, koska mittaukset edellyttävät, että magneettivuo pääsee kiertämään käämien välillä, eikä tämä ole mahdollista ennen kuin sydän on valmis.



Kuva 10. Tuuliturbiinimuuntajan aktiiviosa ennen käämien mittausta.

Mittausten jälkeen kansi lasketaan paikalleen ja tehdään aktiiviosan kytkennät kuvan 11 mukaisesti. Mittaukset suoritetaan uudestaan aktiiviosan kytkentöjen tekemisen jälkeen. Samalla tarkistetaan, että muuntajan sisäiset kytkennät ovat oikein.



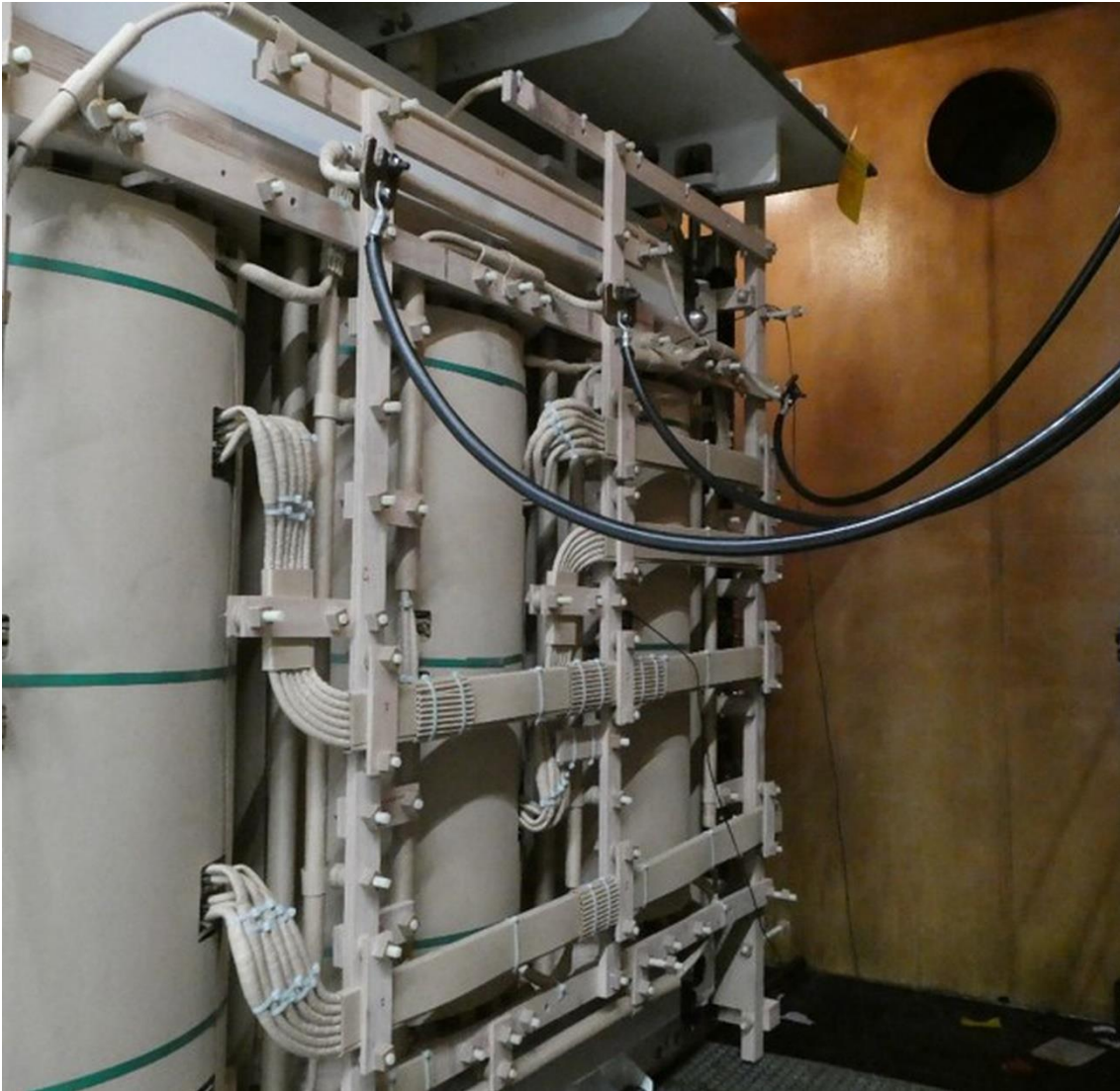
Kuva 11. Tuuliturbiinimuuntajan aktiiviosa ennen uusia mittauksia.

Mittausten jälkeen suunnittelu katselmoi aktiiviosan. Katselmoinnissa tarkistetaan, että aktiiviosa on koottu kuvien mukaisesti. Huomiota kiinnitetään myös johtimien ja maadoitettujen osien väliin etäisyyksiin, eli etsitään mahdollisia kohtia, joissa läpilyöntejä saattaa tapahtua. Tarkastelussa ovat tällöin johtimien eristys, pintojen pyöristys ja

tukirakenteiden jäykkyys. Toisin kuin yksilötuotteessa, sarjatuotteessa ei voida katselmointivaiheessa tajuttuja kehitysideoita ottaa välittömästi käyttöön. Muutosten tekeminen sarjatuotteeseen tarkoittaa, että muutokset täytyy tehdä kaikkiin samassa sarjassa tuotettuihin tuotteisiin, jolloin kehitysideoiden toteuttaminen tapahtuu hitaammin kuin yksilötuotteissa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kehitysideat tulevat käyttöön vasta kun seuraava muuntajan prototyyppi suunnitellaan ja kootaan. Välttämättömät muutokset voidaan toteuttaa sarjatuotteeseen asiakkaan hyväksynnällä ja niiden pitää tulla joko sarjan muuntajaan. Jos tämä ei ole mahdollista, niin pitää vähintään tietää mistä sarjan yksilöstä eteenpäin muutokset ovat voimassa. (J. Syrjälä, henkilökohtainen keskustelu, 15.11.2021)

3.4 Aktiiviosan kuivaaminen ja säiliöinti

Katselmoinnin jälkeen aktiiviosa kuivataan sähkölämmityksellä ja kiertoilmakuivauksella. Sähkölämmityksessä johtimia lämmitetään laittamalla alajännitekäämit, eli nauhakäämit, oikosulkuun ja yläjännitekäämeihin kytketään jännite. Tällöin nauhakäämit alkavat lämpenemään. Tämä kytkentä on esitetty kuvassa 12. Kiertoilmakuivauksessa aktiiviosaa lämmitetään uunissa 130 °C lämpötilassa. Kosteuden poistuttua aktiiviosasta se puristetaan puristuspalkeilla korkeussuunnassa oikeaan mittaun. (Kallio, 2019, s. 34)



Kuva 12. Tuuliturbiinimuuntajan aktiiviosan kuivausjärjestely.

Säiliö toimitetaan tehtaalle valmiiksi kalustettuna eli siihen on jo liitetty erilaiset jäähdyttimet, mittarit ja kaapit. Kuivattu aktiiviosa lasketaan säiliöön, johon luodaan alle 0,5 mbar:in tyhjö. Tämän jälkeen säiliöön lisätään öljy, jota lämmitetään ulkoisella lämmittimellä, jotta se imeytyy eristeisiin paremmin. Lopuksi säiliö ja kansi hitsataan yhteen, ja muuntaja lähetetään hyväksytyjen koestuksien jälkeen asiakkaalle. (Kallio, 2019, s. 34)

4 Tuuliturbiinimuuntajien ja autoteollisuuden sarjatuotannon vertailu

Tehomuuntajien sarjatuotanto on tarkasteltavalla tehtaalla suhteellisen uusi asia, joten on syytä tarkastella, miten sarjatuotanto muissa teollisuuksissa toteutetaan. Vertailtavaksi kohteeksi on otettu Toyotan autojen sarjatuotanto, koska Toyotalla on jo pitkä historia sarjatuotannosta ja siitä on paljon tietoa saatavilla.

Seuraavaksi tarkastellaan, mitä lean-tuotanto on ja miten se näkyy tuuliturbiinimuuntajien nykyisessä sarjatuotannossa. Tämän jälkeen vertaillaan Toyotan tehtailla tehtävää standardisointia tuuliturbiinimuuntajien tuotantoon ja pohditaan, mitä Toyotan standardisointimallista on opittavissa tuuliturbiinimuuntajien tuotantoon.

4.1 Lean-tuotanto

Lean-ajattelumalli on suurimmaksi osaksi peräisin Toyotan tehtailla käytössä olevasta TPS järjestelmästä (Toyota Production System). Lean-tuotannossa pyritään antamaan lisää arvoa asiakkaalle niin sanotun seitsemän hukkan poistamisella. Nämä seitsemän hukkaa ovat ylituotanto, liialliset varastot, odottaminen, kuljetukset, turha liike, yliprosesointi ja vialliset tuotteet. Tässä alaluvussa esittelen seuraavaksi tarkemmin ennalta mainitut seitsemää hukkaa ja selitän, kuinka niitä pyritään tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotannossa tällä hetkellä vähentämään tai miksi tietyt toimintatavat ovat kannattavia hukkien lisääntymisestä huolimatta. (Wang, 2011, s. 2)

Ylituotannossa jotakin tuotetta valmistetaan enemmän kuin tarvitaan. Tämä estää materiaaleja virtaamasta tuotantoprosessin läpi tasaisesti ja johtaa muihin hukkiin, kuten liiallisiin varastoihin ja odottamiseen. Tuotannon alkupäässä tehtävien käämien ja sydänten kokoonpanossa käydään joka aamu läpi, mitä ollaan valmistamassa ja mitä tuotantoa täytyy aloittaa. Tällä pyritään varmistumaan, että näitä osia ei tuoteta liikaa, eivätkä ne

odota varastossa kauan ennen siirtymistä aktiiviosan kokoonpanoon. (K. Kallio, henkilökohtainen keskustelu, 9.12.2021; Wang, 2011, s. 2)

Liialliset varastot sitovat itseensä kiinni turhaa pääomaa. Ne haittaavat myös ongelmien tunnistamista, koska tuotteita on samaan aikaan enemmän ja ongelmien havaitseminen niiden joukosta hidastuu. Tuotannon tehokkuus kärsii myös, koska varastojen kuluttama tila voitaisiin käyttää johonkin tärkeämpään tarkoitukseen. Materiaaleja tilataan muun-
tajakohteisesti, joten kaikille varastoon meneville osille on jo oma käyttötarkoituksensa eikä varastoihin pääse kiertymään ylimääräisiä osia. Usein käytettyjen osien, eli niin sanotun hyllytavarain, määristä ja hyllyjen täyttöajoista sovitaan hyllyttäjien ja hankinnan kanssa tilanteesta riippuen. (K. Kallio, henkilökohtainen keskustelu, 9.12.2021; Wang, 2011, s. 2)

Odottelu lisää tuotteen valmistukseen kuluvaan aikaan, mikä taas lisää tuotteen hintaa. Odottelu johtuu usein huonosta materiaalien virtauksesta tai katkoksista tiedonkulussa. Tiedon siirtymistä saadaan nopeutettua luvussa 5 käsiteltävällä Poka-järjestelmällä. Suunnittelun toimistojen sijaitseminen samassa rakennuksessa tuotannon kanssa nopeuttaa myös tiedonkulkua suunnittelun ja tuotannon välillä. (K. Kallio, henkilökohtainen keskustelu, 9.12.2021; Wang, 2011, s. 2)

Ylimääräiset kuljetukset lisäävät tuotantoon kuluvaan aikaan ja kustannuksia, jotka eivät asiakkaan näkökulmasta lisää tuotteen arvoa. Kuljetusten aikana on myös tuotteen kulumisen tai vahingoittumisen riski. Tällä hetkellä erityisesti käämien tuominen Puolasta lisää kuljetuksia huomattavasti. Tämä on kuitenkin kannattavaa, koska yksilötuotteisiin verrattuna sarjatuotantona tehtävien käämien valmistuksessa tulee paljon harvemmin ongelmia, joihin suunnittelun apua tarvitaan. Tehtaan oma kapasiteetti kannattaa käyttää jatkuvasti muuttuvien yksilötuotteisiin menevien käämien tuotantoon ja opettaa sarjatuotantona tehtävien käämien valmistus alihankkijalle. (K. Kallio, henkilökohtainen keskustelu, 9.12.2021; Wang, 2011, s. 2)

Turhalla liikkeellä viitataan työntekijöiden tai työvälineiden turhaan liikkumiseen, joka voi aiheuttaa väsymystä, työtaturmia, kulumista tai vahingoittumista. Tuotantoon

kuluvaa aikaa säästetään, kun työntekijät ja välineet pystyvät olemaan oikeassa paikassa mahdollisimman vähällä liikuttamisella. Tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotanto tehdään sydämiä ja käämejä lukuun ottamatta yhdellä linjalla. Muuntajaan tarvitsee tällä linjalla liikuttaa työvaiheiden välillä enimmillään vain muutamia kymmeniä metrejä. Kokoonpanon lisäksi muuntajien paketointi ja lähettäminen tehdään myös tällä linjalla. Poikkeuksena on valmiiden muuntajien testaus, jota varten muuntajat joudutaan kuljettamaan linjan ulkopuoliselle koekentälle. (K. Kallio, henkilökohtainen keskustelu, 9.12.2021; Wang, 2011, s. 2)

Yliprosessoinnissa tuotteessa käytetään kalliimpia materiaaleja kuin tarvitaan tai tuotteeseen tehdään ominaisuuksia, joita asiakas ei tarvitse. Tällöin tuotteen hinta nousee ilman, että asiakas saa siitä lisäarvoa. Kauppaa tehtäessä muuntajalle määritetään vaatimukset valmistuksesta ja materiaaleista, joita muuntajassa käytetään. (K. Kallio, henkilökohtainen keskustelu, 9.12.2021; Wang, 2011, s. 2)

Vialliset tuotteet johtavat korjausten tai kokonaan uuden tuotteen kokoamisen vuoksi lisäkustannuksiin. Viallisen tuotteen löytyminen saattaa myös tarkoittaa, että kaikki varastossa olevat tuotteet täytyy tarkistaa. Tähän kuuluu työtunteja, ja tarkistemainen viivästyttää tuotteiden toimittamista siinäkin tapauksessa, että varastossa olleet tuotteet ovat kunnossa. Tämän takia tuuliturbiinimuuntajille tehdään useita testejä ja tarkistuksia jo kokoonpanon aikana ja vielä ennen lähetystä. (Wang, 2011, s. 3)

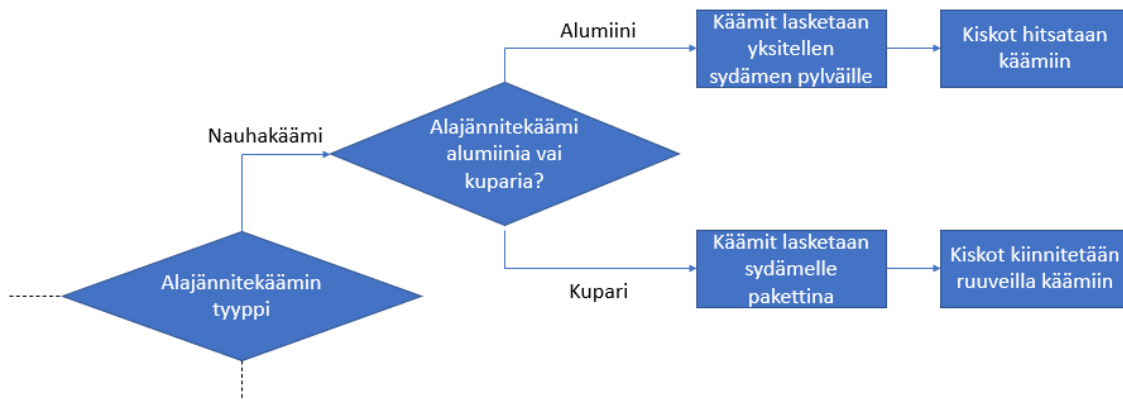
4.2 Standardisoitu työskentely

Standardisoitu työskentely on yksi Toyotan tuotantojärjestelmien ydinajatuksista. Toyotalla suunnittelussa tehdään standardimallista erilaisia variaatioita, jotta tuote sopii käyttötarkoitukseensa. Tällöin suunnitteluun saadaan joustavuutta samalla kun säästetään suunnitteluun kuluvaa aikaa ja parannetaan lopullisen tuotteen laadun ennustettavuutta. Tällaisessa mallissa pyritään myös käyttämään uudelleen aikaisemmin suunniteltuja osia, järjestelmiä ja teknologiaa, jolloin niistä saadaan mahdollisimman paljon lisäarvoa tuotteisiin. (Liker, 2006, s. 99)

Toyotan tuotantojärjestelmässä standardisointi jaetaan kolmeen osaan. Ensimmäinen osa on *suunnittelun standardisointi*. Tämä sisältää kaikissa tuotteissa käytettävät standardiosat, suunnittelun ohjeet ja mallit, joiden pohjalta uusia tuotteita lähdetään muokkaamaan. Standardimallien muokkaaminen tapahtuu yleensä suhteisiin tai fysiikkaan pohjautuvilla vuokaavioilla, jotka toimivat ohjeena suunnittelulle. Nämä kaaviot eivät kuitenkaan anna yksiselitteistä vastausta siihen, miten tuote kuuluu suunnitella vaan ryhmän mahdollisia ratkaisuja, joiden puitteissa suunnittelija voi löytää optimaalisen ratkaisun. Suunnittelun standardit ovat käytännössä osana suunnittelun muistilistaa, johon on listattu kaikki asiat, jotka suunnittelussa täytyy ottaa huomioon. Kokemuksen kiertyessä nämä muistilistat pitenevät ja on tärkeää, että niille määrätään vastuuhenkilöt, joiden tavoitteena on varmistaa, että listat pysyvät ajan tasalla ja helppokäyttöisinä niiden pituuden kasvaessa. Listojen käyttäjillä on myös vastuu tarkistaa aina uutta tuotetta suunniteltaessa, että heillä on käytössään listan uusin versio. (Liker, 2006, s. 100–104)

Tällä hetkellä tehomuuntajien suunnittelussa saatetaan käyttää aikaisempien muuntajien osia pohjana, kun tilanne sen sallii. Vanhojenkin osien käytössä mietitään kuitenkin aina kehittymismahdollisuuksia, jolloin osien suunnittelu tapahtuu aina ainakin jonkin verran muuntajakohtaisesti. (J. Syrjälä, henkilökohtainen keskustelu, 21.2.2022)

Esimerkki mahdollisesta vuokaavion osasta tehomuuntajien suunnittelussa on esitetty kuvassa 13. Tällaisten vuokaavioiden laatiminen ylittää muuntajien rakenteisiin liittyvän tiedon määrän vuoksi tämän työn laajuuden, mutta mahdollisuus näiden laatimiseen tulevaisuudessa on hyvä pitää mielessä. Niistä saadun hyödyn määrä tehomuuntajien suunnittelussa vaatii kuitenkin lisää mahdollisuuksien ja tarpeiden kartoitusta.



Kuva 13. Esimerkki mahdollisesta käämien valintaan käytettävästä vuokaaviosta.

Standardisoitu suunnittelu ei suoranaisesti liity työohjeisiin ja täten tähän diplomityöhön, mutta työohjeiden laatimiseen olisi hyvä olla jonkinlainen vastaavanlainen malli, jota seurataan työohjeiden laadun takaamiseksi.

Toinen osa standardoidussa työskentelyssä on *prosessien standardisointi*. Tämä sisältää kokoonpanon ja tuotteiden testauksen työtehtävät ja työohjeet, sekä suunnitteluprosessin vaiheet järjestyksineen. Tällainen malli auttaa organisaation eri osia tietämään luotettavasti, mitä ja milloin organisaation muut osat ovat tekemässä, jolloin toisistaan riippuvaiset prosessit tietävät mitä heidän kuuluu tuottaa ja kenelle. Aikataulujen osalta organisaation eri osien lopputuotteiden valmistumisaikataulut määritetään makrotasolla, jonka puitteissa eri osien sisäisten työvaiheiden aikataulut määritellään organisaation osien sisällä. Tällaisella standardisoinnilla pystytään luomaan tasainen virtaus työvaiheiden välillä. (Liker, 2006, s. 104–105)

Tämän diplomityön osalta oleellinen osa-alue on ohjeiden valmistuminen ajallaan. Tehomuuntajat kootaan piirustusten perusteella, mutta apuna käytetään myös visuaalisia ohjeita, joissa on prototyypivaiheessa otettuja valokuvia. Näiden ohjeiden valmistuminen on usein kestänyt niin kauan, että sarjatuotanto on ehtinyt alkamaan ennen niiden valmistumista. Täten olisi tarpeellista luoda sellainen toimintamalli ohjeiden luomiselle, joka varmistaa, että ohjeet tulevat valmiiksi ajallaan ja hyvälaatuisina.

Tuotantoon on myös laadittu vain paperilla jaettuja ohjeita, jotka eivät päädy missään vaiheessa Pokaan. Näille ohjeille on olemassa oma standardikirjoitus pohja, mutta Pokan ohjeet seuraavat Pokan oman kirjoitus pohjan mallia. Täten uudessa toimintamallissa pitäisi olla jonkinlaiset säännöt siitä, mille pohjalle mitkään ohjeet tehdään.

Kolmas osa standardoidussa työskentelyssä on *taitojen standardisointi*. Tässä kaikille tietyssä tiimissä oleville henkilöille järjestetään koulutus tietyistä standarditaidoista, jolloin varmistutaan, että kaikki tiimin jäsenet osaavat tehtävänsä, ja tiettyä osaamista tarvittaessa on helpompi löytää henkilö oikeilla taidoilla. Toyotalla uusien insinöörien kouluttamiseen investoidaan huomattavia summia, ja insinöörit alkavat tuottamaan yritykselle arvoa vasta 3–4 vuoden jälkeen palkkaamisesta. Koulutukseen kuuluu haastatteluja, joiden perusteella luodaan suunnitelma, jonka pohjalta koulutusta muutetaan parantamaan kunkin koulutettavan heikkouksia. Kokonaisuudessaan koulutukseen kuluu noin kahdeksan vuotta. (Liker, 2006, s. 112)

Toyotalla käytettävät koulutusajat ovat muuntajatuotantoon verrattuna äärimmäisen pitkiä, eikä niin pitkien koulutusten pitäminen kyseisellä tehtaalla ole todennäköisesti kannattavaa. Tämän diplomityön kannalta koulutuksen osalta kannattaakin tarkastella sarjatuotantoon liittyvää koulutusta. Etenkin Poka-järjestelmän kautta tapahtuva koulutus on tällä osa-alueella tärkeä kehityksen kohde. Pokassa oleva koulutusmateriaali koostuu varsinaisista koulutuksista sekä visuaalisista kokoonpano-ohjeista, joista kerrottiin aikaisemmin prosessien standardisoinnin yhteydessä.

5 Poka-järjestelmä

Poka on kommunikointi- ja tietojenhallintajärjestelmä, joka on otettu Vaasan muuntaja-
tehtaalla käyttöön vuoden 2021 keväällä, ja sitä käytetään tällä hetkellä pääasiassa hel-
pottamaan tuotannon ja suunnittelun välistä viestintää. Järjestelmää pääsee käyttämään
toimistossa tietokoneelta ja tuotannossa tabletilta. Pokaa käytetään tehtaalla muussa-
kin kuin sarjatuotannossa, mutta järjestelmässä olevia työohjeita tehdään vain sarjatuot-
teille, koska ylimääräisten ohjeiden tekeminen kappalemäärältään pieniä tilauksia varten
ei ole tarkoituksenmukaista.

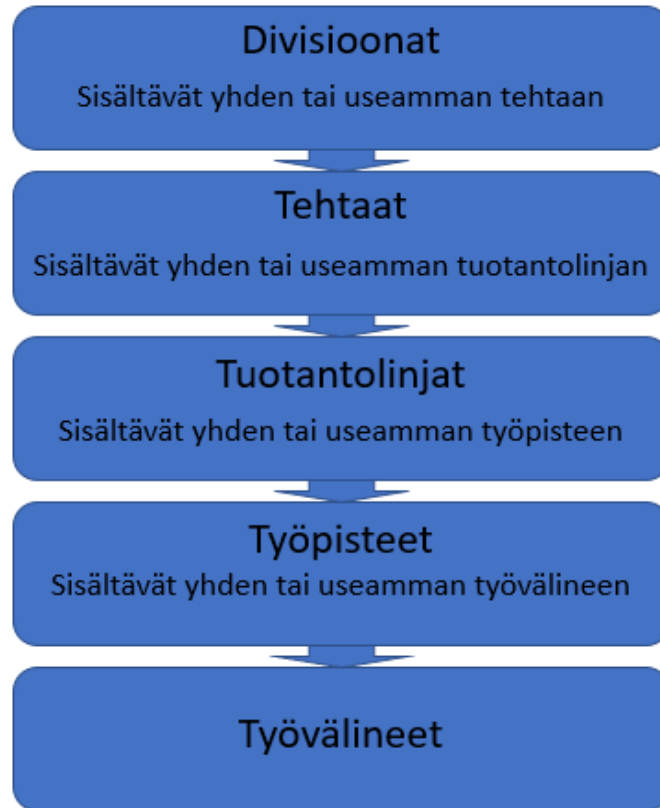
5.1 Poka yleisesti

Tässä alaluvussa käydään ensin läpi Pokan ominaisuudet Pokan omien käyttöohjeiden
pohjalta. Koska Poka on hyvin uusi lisäys kyseisellä tehtaalla, tarkastellaan myös, miten
käyttöohjeissa kerrottuja ominaisuuksia on tähän mennessä otettu käyttöön.

Pokan keskeiset ominaisuudet voidaan jakaa neljään kategoriaan. Nämä kategoriat ovat
kommunikaatio, tietojenhallinta, taitojenhallinta ja lomakkeet. Vaasan tehtaalla käyte-
tään kommunikaatiosta avunpyyntöominaisuutta, jolla tuotanto voi ongelmatilanteissa
ottaa yhteyttä suunnitteluun. Tietojenhallinnasta testataan työohjeiden lisäämistä Po-
kaan. Taitojenhallinnasta käytetään ominaisuutta, jolla eri työntekijöiden taitoja pysty-
tään seuraamaan. Jokaiselle käyttäjälle on määritetty osaamisen taso tuotannon eri teh-
tävissä, jolloin työntekijöiden siirtely on helpompaa tilanteissa, joissa tiettyihin tehtäviin
tarvitaan väliaikaisesti enemmän työvoimaa. Pokan kautta on myös mahdollista käydä
koulutuksia eri tehtäviin liittyen. Lomakkeilla pyritään helpottamaan säännöllisesti täy-
tettävien lomakkeiden jakamista ja tiedon keräämistä.

Poka on jaettu hierarkkisesti viiteen tasoon, jotka ovat divisioonat, tehtaot, tuotantolin-
jat, työpisteet ja työvälit. Nämä tasot sisältävät kuvan 14 mukaisesti yhden tai use-
amman alatason. Jokaisella tasolla on aikaisemmin mainittuihin neljään kategoriaan

liittyviä ominaisuuksia. Näillä ominaisuuksilla on pieniä eroavaisuuksia eri tasojen välillä. Näitä eroavaisuuksia esitellään seuraavaksi tasokohtaisesti. (Poka, 2021)



Kuva 14. Eri tasot Pokan hierarkiassa.

Pokan hierarkian ylin taso on divisioona. Divisioona on hierarkian ylin taso, joka sisältää yhden tai useamman tehtaan. Divisioonat auttavat ryhmittelemään tehtaita joko tuotteiden tai maantieteellisen sijainnin perusteella. (Poka, 2021)

Tehtaat voivat sisältää yhden tai useamman tuotantolinjan. Ominaisuuksiltaan tämä taso sisältää kommunikaation ja lomakkeet. Tehdastasolla on mahdollista nähdä tehdasta koskevat uutiset sekä työpistetasolla tapahtuneisiin ongelmiin liittyvät avunpyynnöt. Järjestelmän käyttäjät eli yrityksen työntekijät, on myös määritelty tällä tasolla. Jokaiselle työntekijälle on määritetty oma tehtaansa, joka määrittää käyttäjän asetukset Pokassa. (Poka, 2021)

Tuotantolinjataso sisältää yhden tai useamman työpisteen. Tuotantolinjataso on ominaisuuksiltaan hyvin samanlainen kuin tehdastaso. Merkittävin ero on, että tuotantolinjatasolle voidaan lisätä linjan tuotteisiin liittyviä työohjeita. (Poka, 2021) Tuotantolinjatasoon voi avata Pokasta skannaamalla sen QR-koodin. QR-koodilla tarkoitetaan myös ruutukoodiksi kutsuttua tabletin kameralla skannattavaa kuviota, joka avaa laitteella jonkin tietyn sivun. QR-koodin nimitys tulee englannista, tarkoittaen quick response code. Tässä tapauksessa QR-koodin skannaaminen avaa työpisteen tiedot Pokasta.

Työpiste voi sisältää yhden tai useamman työväliseen. Työpisteen tiedot sisältävän sivun pystyy Pokassa avaamaan skannaamalla työpisteen QR-koodin. Tällä tasolla ominaisuudet sisältävät työpistettä koskevat uutiset ja avunpyynnöt. Nähtävillä on myös työpisteen työntekijät, työväliset ja työohjeet. (Poka, 2021)

Työvälitasolla työväliseen sivulle pääsee skannaamalla työväliseen QR-koodin. Tällä sivulla on mahdollista tehdä työväliseen liittyviä avunpyyntöjä. Tällä tasolla on nähtävissä työväliseen liittyvät työohjeet, lomakkeet ja laitteen käyttöön koulutetut henkilöt. (Poka, 2021)

5.2 Visuaaliset työohjeet

5.2.1 Työohjeet yleisesti

Visuaalisilla työohjeilla tarkoitetaan työohjetta, jossa kokoonpanon eri työvaiheet esitetään tehomuuntajan prototyyppivaiheessa otettujen valokuvien avulla. Ohjeet eivät sisällä tehomuuntajien piirustuksia, vaan toimivat tukena piirustusten ohella. Diplomityön aloitusvaiheessa työohjeita on laadittu muutamalle eri tehomuuntajamallille. Ohjeet on jaettu seitsemään eri kategoriaan, jotka ovat sydämen kalustus, kääminlasku, yläikeen ladonta, kokoonpano, kuivaus, säiliöinti ja lähetys.

Sydämen kalustus sisältää ohjeet eristyksien ja anturien kiinnityksestä sydämeen. Kääminlaskussa esitetään käämien oikeaoppinen nostaminen ja sydämen pylvälle laskeminen. Kääminlaskun ohjeet voidaan jakaa kahteen ryhmään, jotka ovat käämien laskeminen sydämen pylvälle yksi kerrallaan sekä yhtenäisen käämipaketin kokoaminen ja

laskeminen pylvääille. Yläikeen ladonta sisältää ohjeet sydänlevyjen kiinnitykseen sekä käämien ja palkkien kiristämiseen ennen ja jälkeen yläikeen ladonnan. Kokoonpano sisältää ohjeita, joita toistaiseksi ei ole niin paljon, että ne tarvitsisivat omaa kategoriaansa. Tähän kuuluu esimerkiksi johtojen, kiskojen ja kannen asennus. Kuivaus sisältää muuntajalle tehtävät kuivausvalmistelut. Kuivauslaitteiston käyttö on erillisessä yleisohjeessa. Säiliöinti sisältää aktiiviosan säiliöön asentamiseen liittyvät ohjeet. Lähetys sisältää lopussa tehtävät säiliön ulkopuoliset kiristykset, hitsaukset, maalaukset ja vuotokoestukset.

5.2.2 Työohjeiden ongelmat

Työohjeista on jo ennen tämän diplomityön aloitusta löydetty joitain keskeisiä ongelmia. Monien tehomuuntajamallien osalta säiliöintiin ja lähetykseen liittyvät ohjeet puuttuvat. Ohjeet valmistuvat usein myöhässä, ja uusien mallien sarjatuotanto joudutaan aloittamaan ilman ohjeita. Pokan tilastoista pystytään näkemään, ketkä kaikki ovat käyneet lukemassa eri ohjeita. Suurimmassa osassa ohjeita vain Pokan kehityksessä mukana olleet ihmiset ovat avanneet ohjeet, eikä niitä ole tuotannossa luettu ollenkaan.

Työohjeiden kehittäminen aloitettiin haastatteleamalla tuotannon työntekijöitä, jotta saadaan tarkka käsitys ohjeiden puutteista ja tarpeista. Haastatteluissa selvisi, että ohjeita käytetään vähän, koska suurin osa ohjeissa annetusta tiedosta on vanhentunutta, ohjeissa annettu tieto löytyy paperisilta piirustuksilta helpommin tai ohjeita ei saatu ajoissa. Haastattelujen (Perälä & Rajamäki, henkilökohtainen keskustelu, 23.2.2022) perusteella ohjeiden laatimisprosessissa pitää vastata neljään kysymykseen:

1. Millaista tietoa työohjeiden tulee sisältää?
2. Kuinka yksityiskohtaisia ohjeiden kuuluu olla?
3. Millaisella aikataululla ohjeita laaditaan?
4. Kuinka usein ohjeita pitää päivittää?

Näiden kysymysten ratkaisemiseksi voidaan soveltaa lean-ajattelua. Alaluvussa 4.1 esitellystä seitsemästä hukasta ylituotanto, yliprosessointi, odottelu ja vialliset tuotteet tulevat esille ohjeiden laatimisessa. Pitää varmistaa, ettei tehdä ohjeita, joita kukaan ei tarvitse. Ohjeissa ei saa olla ylimääräistä sisältöä, joka ei ole kokoonpanon kannalta oleellista. Ohjeiden laatimisprosessi pitää olla sellainen, että siinä päästään jatkuvasti eteneeseen. Ohjeet täytyy pitää ajan tasalla eivätkä ne saa sisältää vanhentunutta tietoa.

Ohjeissa pitää keskittyä antamaan tietoa, jota ei muilla tavoilla pystytä antamaan. Piirustukset kertovat lopputuloksen johon kokoonpanon kuuluu päästä, mutta ne eivät tarkasti kerro, miten tämä lopputulos saavutetaan. Asentajat tuntevat kokoonpanoprosessin, ja tieto tämän prosessin muutoksista tulee asentajille Pokan ulkopuolisia reittejä. Kokoonpanossa tulevia epäselvyyksiä on vaikea ennustaa. Tähän mennessä tällaisiin ongelmiin on voitu saada apua katselmuskuvista, joista nähdään tarkemmin, millaisia aikaisemmat saman mallin tehomuuntajat ovat olleet kokoonpanon aikana. Poka saattaa pystyä tarjoamaan ratkaisun näihin ennalta arvaamattomiin ongelmiin. Visuaalisten työohjeiden isoin ero paperisiin piirustuksiin on kyky lisätä valokuvia ja videoita. Pääpainon ohjeissa kuuluisi siis olla kuva- ja videomateriaalilla, koska näin kokoonpanoprosessi saadaan helpoiten taltioitua, ja etenkin video-ohjeista voitaisiin löytää ratkaisut ennalta arvaamattomien epäselvyyksien ilmetessä. Voisi ajatella, että tällöin parhaat ohjeet saadaan, kun kokoonpano kuvataan videolle alusta loppuun. Tämä kuitenkin aiheuttaa ongelmia ohjeiden laajuuden ja aikataulun kanssa.

Mitä yksityiskohtaisemmat ohjeet tehdään, sitä kauemmin niiden tekeminen kestää. Ohjeiden tekeminen päästään aloittamaan prototyypin kokoonpanon alussa, ja niiden kuuluu olla valmiita ennen sarjatuotannon aloittamista. Työohjeiden laatimisesta täytyy sopia työnjohdon kanssa, jotta tiedetään, milloin mitäkin työvaihetta tehdään, jolloin ohjeiden laatimisprosessiin tulee lisää hidastavia osia. Tämän lisäksi prototyyppiä kootaan kahdessa vuorossa, kun taas suunnittelu, joka laatii ohjeet, työskentelee vain yhdessä vuorossa. Tämä johtaa siihen, että ohjeisiin jää aukkoja iltavuorossa tehtyjen työvaiheiden osalta.

Hyvin laajoissa ohjeissa on myös isompi todennäköisyys, että jotkin osat ohjeesta vanhenevat. Vaikka video-ohjeet tarjoavatkin ratkaisun aikaisemmin mainittujen ennalta arvaamattomien ongelmien ratkaisemiseen, niiden muokkaaminen on huomattavasti vaikeampaa valokuvaan verrattuna.

Idealisessa tilanteessa prototyypivaiheessa tehdyt ohjeet kestävät niin kauan kuin kyseiseen prototyyppiin pohjautuvia tehomuuntajia tehdään, mutta käytännössä monet ohjeet tulevat vaatimaan säännöllistä päivitystä sarjatuotannonkin aikana. Vaikka sarjatuotantona tehtäviin tehomuuntajiin ei prototyypivaiheen jälkeen tehdä usein muutoksia, täytyy ohjeita silti päivittää, koska tehokkaampien työskentelymetodien tai uusien laatuvaatimusten myötä ohjeiden sisältö käy vanhaksi.

Työohjeiden neljän keskeisen ongelman vaikutus voidaan karkeasti tiivistää seuraavasti. Jotta ohjeet pystyvät antamaan tiedon, jota ei saada muualta helpommin, täytyy ohjeiden olla mahdollisimman laajoja, mutta tämä taas aiheuttaa ongelmia aikatauluissa, ohjeiden laadussa sekä mahdollisuuksissa päivittää niitä tulevaisuudessa.

5.2.3 Työohjeiden ongelmiin esitettävät ratkaisut

Työohjeiden ongelmista käytiin keskustelua henkilöiden kanssa, jotka tällä hetkellä laativat tuotantoon lisäohjeita. Keskustelussa saatiin sovittua mahdollisista ratkaisuista edellisessä alaluvussa listattuihin ongelmiin: työohjeiden sisältöön, yksityiskohtaisuuteen, laatimisaikatauluun ja päivittämiseen. Näiden ratkaisujen pohjalta pyritään luomaan uusi toimintamalli, joilla työohjeita luodaan.

Sisällön kannalta päätettiin, että alaluvussa 5.2.1 esitellyistä seitsemästä kategoriasta luovutaan. Tämän sijaan pyritään jokaiselle tuuliturbiinimuuntajalle tunnistamaan suunnittelun aikana tietyt ongelmakohdat, joissa työohjeita tarvitaan piirustusten ohelle. Kaikkia ongelmia ei voida kuitenkaan nähdä suunnitteluvaiheessa, jolloin sarjatuotannon aikana ilmeentyviin ongelmatilanteita varten pyritään luomaan ohjeet mahdollisimman nopeasti.

Ohjeiden yksityiskohtaisuuden kannalta kuhunkin ohjeeseen päätyvästä tiedosta keskustellaan uudessa mallissa tuotannon tai suunnittelun kanssa asioista, joita ohjeiden täytyy käsitellä. Aikaisemmissa ohjeissa oli pyritty tekemään jokaista työvaihetta kuvaavat ohjeet, mutta nyt jätetään välistä kaikki sellainen, mille kukaan ei näe tarvetta. Tämä tulee todennäköisesti laadun parantamisen lisäksi nopeuttamaan ohjeiden laatimista. Vaikka nyt aikaa meneekin enemmän siihen, kun tarvittavaa sisältöä selvitetään kauemmin, aikaa säästetään, kun työohjeisiin ei tarvitse hankkia kuvia jokaisesta yksityiskohdasta.

Ohjeet olivat aluksi sisällöltään laajoja ja yksityiskohtaisuudeltaan tarkkoja, koska ihan-teellisessa tilanteessa tällaisilla ohjeilla saadaan kuvaus koko tehomuuntajan kokoamisprosessista ennen sarjatuotannon aloitusta ilman, että mikään jää epäselväksi. Käytännössä tällaiset ohjeet olivat usein myöhässä, eivätkä tässä luvussa esitetyt ratkaisut muihin ongelmiin salli täydellistä ratkaisua aikataulutuksessa olleisiin ongelmiin. Tämän takia aikataulutuksessa täytyy joustaa ja päättää, että työohjeiden tekeminen sarjatuotannon alkamisenkin jälkeen on osa uutta työohjeiden laatimisen toimintamallia. Tällöin kaikkia tarvittavia ohjeita ei voida alkuperäisten tavoitteiden mukaisesti saada ennen sarjatuotannon aloitusta. Aikataulusongelmaa helpottamaan esitettiin kuitenkin, että ohjeille sovitaan vastuuhenkilöt, jotka vastaavat ohjeiden laatimista tai päivittämistä. Nämä vastuuhenkilöt laativat tai päivittävät ohjeet itse, tai selvittävät, onko sisällön kannalta pätevimmällä henkilöllä aikaa ohjeen tekemiselle. Tavoitteena tällaisessa mallissa on, ettei ohjeiden laatiminen tai päivitys jää odottamaan työjonoon, vaan on aina joku henkilö, joka varmistaa, että asiaa hoidetaan eteenpäin.

5.2.4 Työohjeisiin esitettävät lisäykset

Alaluvussa 5.2.3 esitetyt ratkaisut työohjeiden ongelmiin sisältävät paljon leikkauksia ohjeista, mutta esille on tullut myös lisäyksiä, joita aiemmissa ohjeissa ei ollut. Tämän lisäksi siinä esitetään ideoita siitä, millä tavoin vanhoja ohjeita voidaan käyttää hyväksi niiden ongelmista huolimatta.

Työohjeita on toimitettu tuotantoon aikaisemmin pelkästään paperilla. Kaikkia ennen Pokaa tehtyjä ohjeita ei ole vielä siirretty Pokaan. Vanhojen paperisten ohjeiden siirtämistä Pokaan on kääminnässä kokeiltu ja tämä onkin ollut Pokan tilastojen mukaan paljon hyödyllisempää kuin uusien ohjeiden luominen. Tilastojen valossa näitä kääminnän ohjeita on joissain tapauksissa luettu jopa kymmenkertainen määrä verrattuna Pokassa oleviin sarjatuotannon työohjeisiin. Tämän perusteella kannattaa selvittää, mitä kaikkia paperisia ohjeita tuotanto käyttää piirustusten ohella juuri nyt ja siirtää ne Pokaan.

Tietojen löytäminen erilaisten telineiden, laitteiden ja tuotannon apuvälineiden osalta on aiheuttanut jonkin verran ongelmia. Pokassa on joillekin näistä omat ohjeet, mutta suurelle osalle niistä ei ole helposti löydettävissä käyttöohjeita tai mittoja kertovaa piirustusta. Uusien käyttöohjeiden laatimisen yhteydessä olisi syytä selvittää, löytyykö ohjetta koskevasta välineestä piirustuksia, 3D-mallia tai mitään muuta suunnittelulle hyödyllistä tietoa. 3D tarkoittaa kolmiulotteista.

Sarjatuotteita tilaaville asiakkaille on tärkeää, että jokainen tehomuuntaja on koottu identtisesti. Jotkin osat voidaan asentaa tehomuuntajaan usealla eri tavalla ilman, että sen toiminta käytännössä muuttuu. Näiden osien asentaminen samalla tavalla kertoo kuitenkin asiakkaalle huolellisuudesta ja lisää asiakkaan luottamusta. Otetaan esimerkiksi johtojen kiinnitykset. Johtojen kiinnityskohtien pienessä vaihtelussa ei muuntajan toiminnan kannalta ole väliä, mutta pitää silti huolehtia, että johdot kiinnitetään aina samoista kohdista ja samoilla kiinnikkeillä. Ohjeissa pitäisi ottaa täten huomioon tällaiset vaihtelut, jotta saadaan jonkinlainen yhtenäinen tapa tällaisten osien asentamiseen.

Vanhoja Pokaan laadittuja työohjeita tuskin tullaan kokoonpanossa käyttämään uudelleen. Ohjeiden tekeminen ei kuitenkaan ole välttämättä ollut turhaa työtä. Suomessa ei järjestetä missään oppilaitoksessa koulutusta muuntajan rakentamiseen, joten kaikki uudet työntekijät joudutaan kouluttamaan muuntajien kokoamiseen, kun he aloittavat työt. On syytä selvittää, pystytäänkö vanhentuneita ohjeita kierrättämään koulutusmateriaaliksi uusille työntekijöille. Koulutusmahdollisuuksia selvitetessä kannattaa pitää mielessä alaluvussa 4.2 mainittu taitojen standardisointi.

6 Työohjeiden laatimisen uusi toimintamalli ja testaaminen

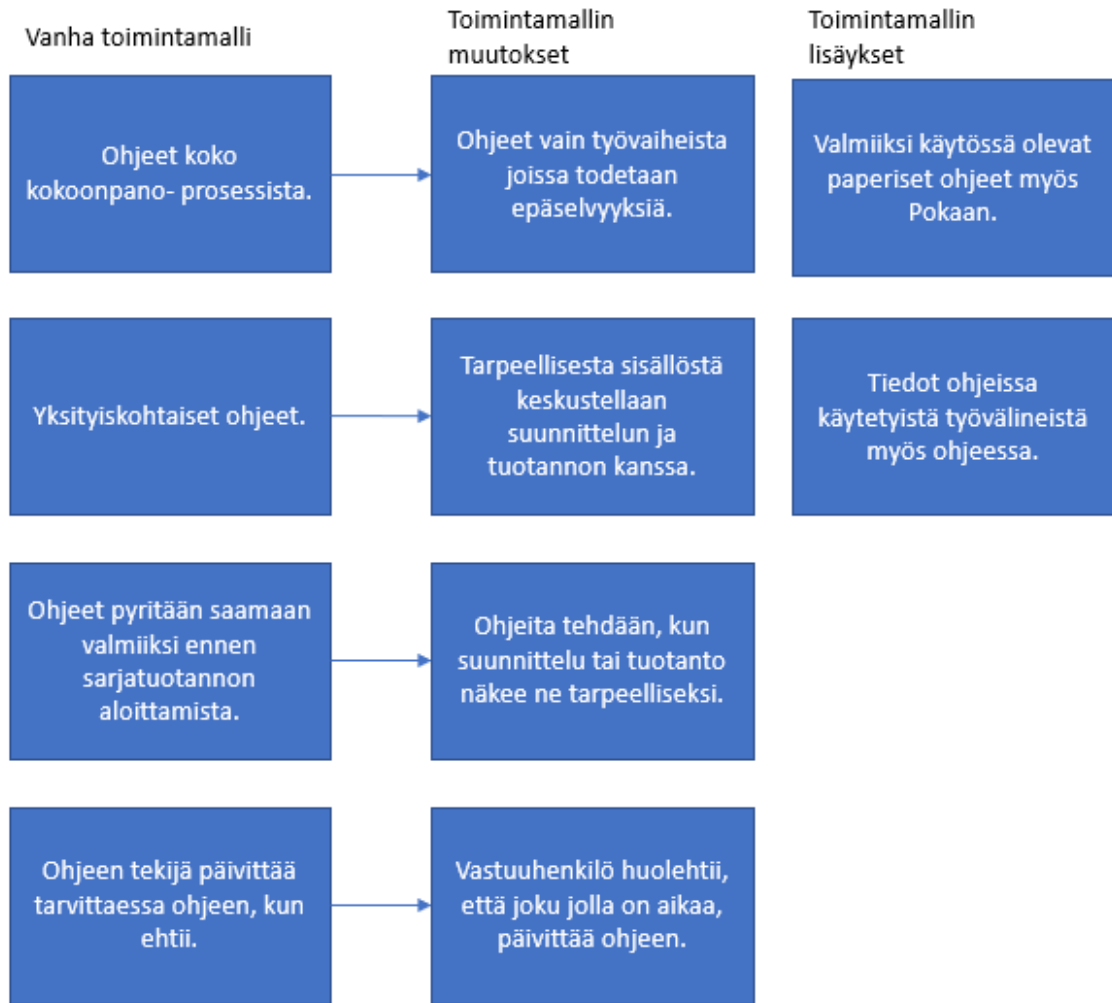
Nyt, kun nykyisten työohjeiden ongelmat ja niiden puutteet on kartoitettu ja niihin on esitetty mahdollisia ratkaisuja, voidaan siirtyä luomaan tarkemmin uutta toimintamallia. Tämä toimintamalli vaatii myös käytännön testaamista, jotta isoimmat ongelmat löydetään ja mallia voidaan kehittää edelleen. Testaamisen jälkeen katsotaan mitä ongelmia tämä toimintamalli vielä sisältää, ja päivitetään sitä niiltä osin kuin pystytään, jotta tämän diplomityön alussa asetetut tavoitteet työohjeiden aikataulusta ja laadusta täyttyvät.

On hyvä kuitenkin huomioida, että tämän diplomityön tavoitteena ei ole luoda täydellistä toimintamallia, joka tulee olemaan paras mahdollinen keino luoda ja jakaa ohjeita, vaan kaikkea Pokaan ja tehomuuntajien sarjatuotantoon liittyvää toimintaa tullaan jatkuvasti kehittämään niin kauan kun niitä valmistetaan. Tämän takia toimintamallia luodessa mietitään myös tulevaisuuden kehitysmahdollisuuksia, joita käsitellään tarkemmin luvussa 7.

6.1 Uusi toimintamalli

Uuden toimintamallin muutoksia käsiteltiin jo alaluvuissa 5.2.3 ja 5.2.4, kun kerrottiin haastatteluissa esiin tulleista kehitysmahdollisuuksista. Kuvassa 15 on esitetty kaaviona mahdolliset ratkaisut alaluvussa 5.2.2 esitettyihin työohjeiden neljään keskeiseen ongelmaan. Nämä ongelmat olivat työohjeiden sisältö, yksityiskohtaisuus, laatimisaikataulu ja päivittäminen.

Näiden lisäksi toimintamallissa otetaan huomioon itsenäisesti havaitut kehitysmahdollisuudet, jotka liittyvät ohjeiden kirjoitusasuun ja kuvien tuottamiseen tietokoneavusteisesti valokuvaamisen sijasta.



Kuva 15. Esitetyt ratkaisut työohjeiden neljään keskeiseen ongelmaan.

Tässä aluvussa pyritään näiden kehitysmahdollisuuksien esittelyn jälkeen luomaan niiden pohjalta yhtenäinen toimintamalli ohjeiden laatimiselle. Aluvussa 4.2 mainittiin vuokaaviot standardisoidun työskentelyn apuvälineenä. Ohjeiden laatimisessa ja päivittämisessä on tekijöitä, jotka muuttavat ohjeiden laatimisprosessia. Tämän takia aluvun 6.1 lopullinen tavoite on luoda vuokaavio, joka pystyy antamaan yksinkertaisen kuvauksen tästä toimintamallista eri tilanteissa. Tätä toimintamallia tullaan vielä testaamaan ja parantelemaan näiden testien pohjalta.

6.1.1 Työohjeiden kuvat ja kirjoitusasu

Uuden ohjeen tekeminen tai vanhan päivittäminen aloitetaan, kun tieto sellaisen tarpeesta saapuu Pokan ohjeiden vastuuhenkilölle. Vastuuhenkilö selvittää ohjeen aihealueen tuntevalta insinööriltä tai asentajalta ohjeen tarpeellisen sisällön. Tämän perusteella päätetään, pystytäänkö sopiva ohje tekemään vanhaa päivittämällä vai pitääkö luoda uusi ohje.

Tämän jälkeen selvitetään tarve ja mahdollisuus valokuvaamiselle. Joissain tilanteissa voidaan käyttää aikaisemmin käytettyjä kuvia, etenkin jos ohje sisältää työvaiheita, jotka on esitetty jossain aikaisemmassa ohjeessa. Uusien kuvien saaminen voi käytännössä tuottaa aikataulutuksen kanssa hankaluuksia esimerkiksi tilanteessa, jossa uudet kokoonpanometodit tuntevat asentajat ovat iltavuorossa.

Mahdollinen vaihtoehto tälle on luoda tietokoneella 3D-malli kyseisestä työvaiheesta ja ottaa tästä kuva ohjeeseen. Tietokoneavusteisesti luoduilla kuvilla on myös helpompi esittää pieniä yksityiskohtia, joista tarkan kuvan saaminen kameralla on haastavaa. Valokuvat antavat kuitenkin tarkemmin todellisuutta vastaavan esityksen työvaiheesta tietokoneavusteiseen kuvaan verrattuna ja ovat hyviä, kun yhteen kuvaan halutaan paljon yksityiskohtia isosta kokonaisuudesta. Tietokoneavusteisesti luotu kuva on usein yksinkertaistettu kuvaus tilanneesta ja sisältää vain tietoa, jonka sen tekijä on nähnyt tarpeelliseksi siihen laittaa, kun taas valokuvassa saattaa olla nähtävillä yksityiskohtia, joita ei valokuvaushetkellä nähty tärkeinä. Näistä syistä 3D-mallin kuva voidaan tarvittaessa korvata valokuvalla myöhemmin, kun ohjetta aletaan käyttämään kokoonpanossa ja tilaisuudet ohjeen sisällön valokuvaamiselle paranevat. Valokuvien ja tietokoneavusteisesti luotujen kuvien etuja ja heikkouksia vertaillaan taulukossa 1. Aikaisemmin kaikki kuvat pyrittiin hankkimaan valokuvina. Kuvien saaminen on kuitenkin työohjeen tekemisessä eniten aikaa vievä vaihe, joten on hyvin kannattavaa selvittää, millä keinoilla sitä voidaan nopeuttaa

Taulukko 1. Valokuvien ja tietokoneavusteisesti luotujen kuvien vertailu.

Valokuva	Tietokoneavusteisesti luotu kuva
Edut	
Todenkuvaisempi esitys työvaiheesta	Pienet yksityiskohdat helpompi esittää
Kuvat antavat enemmän tietoa työvaiheista	Kuvat voidaan luoda tai päivittää ilman kuvauksen aikataulutusta
	Mahdollisuus esittää valokuvissa virtuaaliset kuvaukset, kuten poikkileikkaukset
Heikkoudet	
Kuvaamiselle pitää sopia oma aika	Sisältää vain kuvan tekijän tärkeäksi näkemän tiedon
Kuvaus mahdollista vain työvaiheen ollessa käynnissä	Antaa vain yksinkertaistetun kuvauksen työvaiheesta
	Isojen kokonaisuuksien esittäminen haasteellista

Pokan ohjeiden kanssa oli aikaisemmin tapana, että ohjeet ovat vain sähköisessä muodossa. Kaikkien ohjeiden julkaiseminen vain sähköisenä tästä eteenpäin saattaa olla liian iso muutos, ja tämän takia saattaa olla hyvä ottaa käyttöön jonkinlainen väliaikainen käytäntö, jossa ohjeita julkaistaan sähköisenä ja paperilla. Ohjeiden käytön helpottamiseksi on päätetty, että uudet tai laajasti päivitetty ohjeet toimitetaan myös paperisena tuotantoon. Tällöin ohjeiden käyttäminen helpottuu, mutta samalla menetetään mahdollisuus nähdä ohjeiden käytön määrä Pokan tilastoista. Ohjeisiin laitetaan nyt ensimmäiselle sivulle QR-koodi, joka avaa Pokasta kyseisen ohjeen uusimman version. Pieniä päivityksiä tehdessä ei kannata toimittaa paperisena useita kappaleita ohjeesta, ettei niitä ala turhaan kasaantumaan tuotantoon. QR-koodin avulla voidaan helposti tarkistaa, onko ohjeesta tullut uudempaa versiota. Tämä vaatii sen, että ohjeen alkuun laitetaan laatimispäivämäärä, jotta nähdään heti, onko Pokan versio ohjeesta uudempi kuin paperinen.

QR-koodin lisäksi ohjeen alkuun lisätään nyt tiedot ohjeessa mainittujen työkalujen ja apuvälineiden dokumentaatiosta, jotta myös niiden tiedot pystytään löytämään helposti. Tämä dokumentaatio voi sisältää 3D-malleja, piirustuksia tai käyttöohjeita.

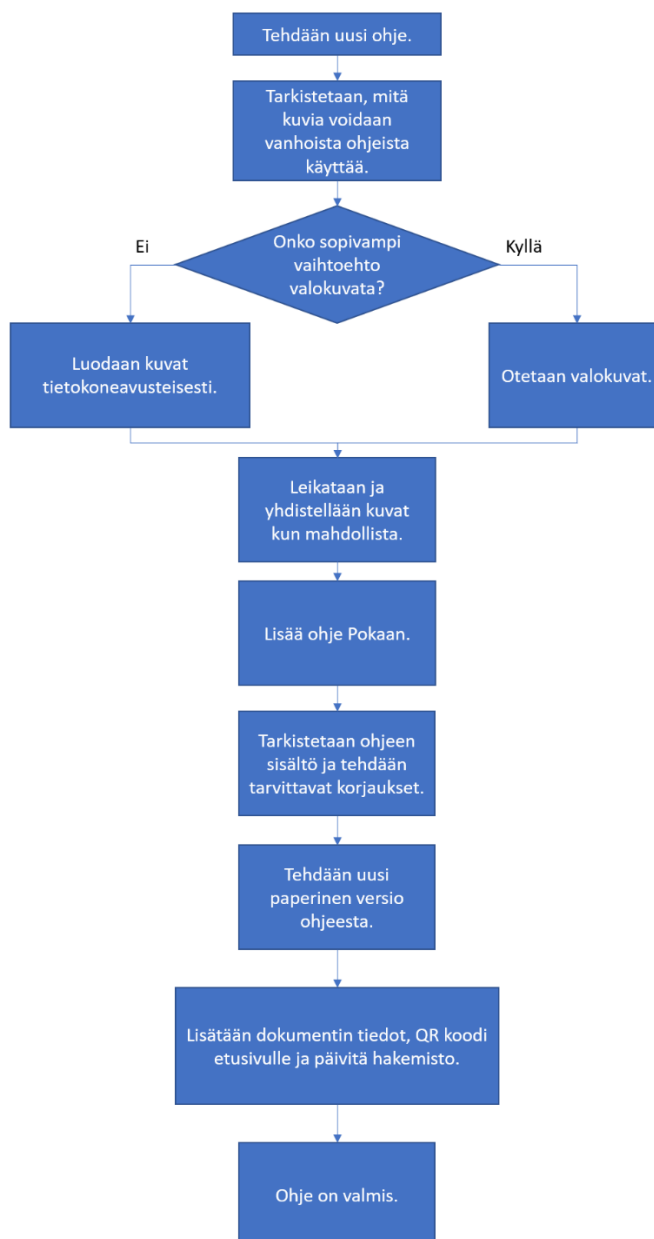
Paperisissa ohjeissa on tähän mennessä käytetty kirjoitus pohjaa, joka eroaa jonkin verran Pokan tarjoamasta kirjoitus pohjasta. Ohjetta tehdessä pitäisi nyt siis huomioida, että ohjeen paperinen versio tulee olemaan ulkoasultaan hieman erilainen kuin sähköisenä Pokassa oleva versio. Isoin ero paperisen ja sähköisen version välillä on dokumentin tietojen merkitseminen ohjeeseen. Paperisten ohjeiden kirjoitus pohjassa dokumentin tiedot on laitettu sivun alalaitaan, kun taas Pokassa ne ovat omassa valikossaan. Ohjetta tehdessä pitäisi nyt siis huomioida, että nämä tiedot lisätään Pokasta paperiseen versioon. Paperisen version kirjoitus pohjassa on myös automaattisesti luotu hakemisto, jota Pokassa ei ole.

Yleisesti ohjeiden kirjoittamisessa pitäisi kuvien suuren määrä vuoksi huomioida kuvatekstit ja tekstissä viittaus kuviin. Ohjeet sisältävät usein kuvia, joissa vertaillaan komponenttia ennen työvaihetta ja sen jälkeen. Ohjeita pystytään lyhentämään menettämättä niiden sisältämää tietoa, jos tällaiset kuvat laitetaan rinnakkain. Tällöin kuvia on myös helpompi vertailla keskenään, koska ne eivät mene paperiversiossa eri sivuille tai ohjetta ei jouduta rullaamaan Pokassa kahden peräkkäisen kuvan välillä.

Seuraavaksi esitetään alaluvuissa 6.1.2 ja 6.1.3 uusi toimintamalli vuokaavioina, ja selitetään niiden sisältämät valinnat ja työvaiheet. Uusien ohjeiden luomiselle ja vanhojen päivittämiselle on tehty omat vuokaavionsa, koska ohjeiden päivittämisessä on paljon enemmän mahdollisuuksia säästää aikaa jättämällä jotkin työvaiheet välistä. Voidaan myös ajatella, että nämä kaksi vuokaaviota muodostavat yhdessä isomman kaavion, jossa ensimmäinen valinta on miettiä, saadaanko sopiva ohje toteutettua nopeammin ja helpommin luomalla uusi ohje vai päivittämällä vanhaa. Luettavuuden kannalta on kuitenkin helpompi esittää nämä vuokaaviot erillisinä.

6.1.2 Uuden työohjeen luominen

Ensimmäinen toimintamallin vuokaavio uuden ohjeen luomiseen on esitetty kuvassa 16. Uuden ohjeen tekeminen on toimintamallin osalta pääosin hyvin suoraviivainen prosessi. Ainut haara vuokaaviossa on valinta valokuvien ja tietokoneavusteisesti luotujen kuvien välillä.



Kuva 16. Vuokaavio uuden ohjeen luomiselle.

Ensimmäinen vaihe on tarkistaa, onko aikaisemmissa ohjeissa jo käytetty kuvia, jotka so-
pivat myös tähän ohjeeseen. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi käämien nostamisen
kanssa. Erityyppisiä tehomuuntajia varten on kehitelty paljon erilaisia käämejä, mutta
valtaosa niistä nostetaan samalla tavalla. Jos ohje sisältää kohdan, jossa käämiä noste-
taan, voidaan kuva nostojärjestelystä ottaa vanhasta ohjeesta, vaikka käämit olisivatkin
hieman erilaiset.

Uusi ohje sisältää kuitenkin väkisinkin uusia kuvia. Jos koko ohje sisältäisi vain vanhoja
kuvia niin päästäisiin helpommalla vain vanhaa ohjetta päivittämällä. Tähän saattaa tie-
tysti tulevaisuudessa löytyä poikkeustapauksia, jolloin tämän vaiheen voi ohittaa, tai toi-
mintamallia päivittää. Juuri nyt tällainen tilanne vaikuttaa niin epätodennäköiseltä, ettei
sitä oteta tässä huomioon. Tietyissä tilanteissa jotkin vanhat ohjeet sopivat uusille kom-
ponenteille kokonaisuudessaan. Tällöin koko ohje voidaan kopioida uuden otsikon alle,
ja voidaan ajatella, että uusi ohje on luotu pelkkiä vanhoja kuvia käyttäen. Tässä tilan-
teessa on kuitenkin käytännössä kyse pelkän otsikon muuttamisesta, eikä näin yksinker-
tainen toimenpide varmastikaan vaadi vuokaavioon perehtymistä.

Uusien kuvien kohdalla pitää miettiä otetaanko ohjeeseen valokuvat vai luodaanko kuvat
tietokoneavusteisesti. Valokuvien ja tietokoneavusteisesti luotujen kuvien etuja ja heik-
kouksia käytiin läpi alaluvussa 6.1.1. Uutta ohjetta tehdessä on olennaista miettiä, voi-
daanko ohjeessa käyttää toistaiseksi tietokoneavusteisesti luotuja kuvia ja päivittää oh-
jeeseen näitä vastaavat valokuvat myöhemmin.

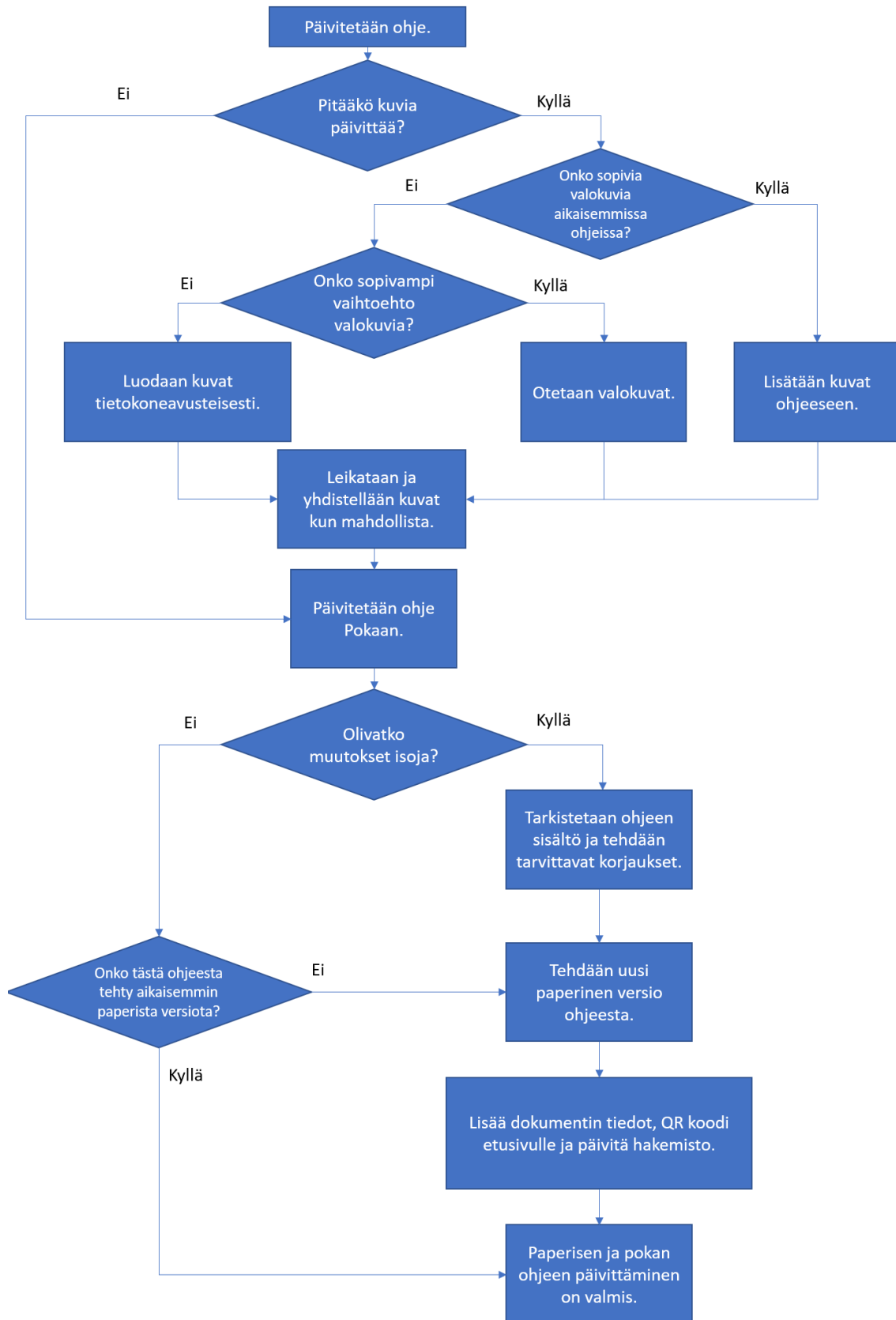
Kuvien ottamisen tai tekemisen jälkeen niitä voidaan yhdistellä, jotta ohjeen pituutta
saadaan lyhennettyä ilman tiedon menettämistä. Tämä vaihe voi sisältää myös merkin-
töjen tekemisen kuviin. Esimerkiksi työohjeen tekstissä mainitut mitat kannattaa merkitä
kuviin. Valokuvissa voi olla hyvä korostaa pieniä yksityiskohtia, joista on vaikea saada lä-
heltä hyvää kuvaa, ja tietokoneavusteisesti luoduissa kuvissa voidaan osien nimeämisellä
selkeyttää niissä esitettyä tilannetta.

Kuvien valmistumisen jälkeen ohje kirjoitetaan ja lisätään Pokaan. Työohjetta kirjoittaessa kannattaa muistaa kuvatekstien käyttö, jotta ei tule epäselvyyksiä, mihin kuvaan tekstissä viitataan. Jos jokin komponentti on mahdollista koota usealla eri tavalla samaan lopputulokseen päätyen, huomautetaan ohjeessa, ettei käytetä muita kuin ohjeessa mainittuja työtapoja. Työohjeessa pitää myös olla tieto siitä, mistä työohjeessa käytettyjen apuvälineiden omat käyttöohjeet tai muu dokumentaatio löytyy. Ensimmäinen versio työohjeesta käydään tämän jälkeen läpi ohjeen aihealueen tuntevien henkilöiden kanssa, jotta varmistutaan, että ohjeen tiedot ovat oikein.

Valmiista ohjeesta luodaan paperinen versio sen omalle kirjoituspohjalle. Tähän versioon pitää lisätä Pokasta dokumentin tiedot, joihin kuuluvat muun muassa laatimispäivämäärä, laatijan nimi ja ohjeen versio. Ohjeen ensimmäiselle sivulle lisätään QR-koodi, jolla ohjeen uusi versio pystytään lukemaan Pokasta. Jos ohjeessa viitataan muihin Pokassa oleviin ohjeisiin, laitetaan myös näiden ohjeiden QR-koodit viittausten yhteyteen. Paperisen version kirjoituspohja sisältää siis myös hakemiston, jota Pokassa ei ole. Tämä pitää muistaa päivittää. Paperisen ohjeen valmistuttua se toimitetaan asentajille käytettäväksi.

6.1.3 Vanhan työohjeen päivittäminen

Toimintamallin toinen vuokaavio vanhan työohjeen päivittämiseen on esitetty kuvassa 17. Päivittämisen vuokaaviossa on paljon enemmän haaroja, koska joidenkin vaiheiden ohi voidaan hypätä päivitettävästä sisällöstä riippuen. Etenkin päivitystä edellyttävien kuvien määrä lisää päivittämiseen kuluva aikaa. Päivitys voi olla hyvin hidas, jos uusia valokuvia joudutaan ottamaan, mutta jos päivitys koskee vain ohjeen tekstiä, pystytään päivitys tekemään hyvin nopeasti.



Kuva 17. Vuokaavio paperisen ja Pokan ohjeen päivittämiselle.

Koska kuvien päivittämisellä on huomattava vaikutus ohjeiden päivitysprosessiin, ensimmäisenä pitää miettiä, sopivatko vanhat kuvat uuden tekstin kanssa vai pitääkö niitä päivittää. Jos kuvia ei tarvitse päivittää, voidaan hypätä suoraan muuttamaan Pokassa olevaa ohjetta. Jos kuvia päivitetään, pitää tarkistaa, onko sopivia kuvia aikaisemmin tehdyissä ohjeissa. Jos tällaisia kuvia löytyy, voidaan käyttää niitä ja näin säästää näin aikaa valokuvaamiselta. Jos sopivia kuvia ei ole valmiiksi saatavilla, palataan samaan valintaan, joka uutta ohjetta laatiessa piti tehdä. Otetaanko ohjeeseen valokuvat vai tehdäänkö ne tietokoneavusteisesti? Jos päätetään ottaa valokuvat, voidaan samalla tarkistaa, onko ohjeessa käytetty tietokoneavusteisesti luotuja kuvia, jotka olisivat syytä korvata valokuvilla.

Tämän jälkeen kuville tehdään samat yhdistely- ja merkintä toimenpiteet kuin uutta ohjetta luodessa. Tämän jälkeen työohjeen sisältö päivitetään Pokaan. Päivittäessä kannattaa tarkistaa, että tekstissä viitataan edelleen oikeisiin kuviin ja että kuvien numerointi on edelleen oikeassa järjestyksessä.

Pieniä muutoksia tehdessä pelkän Pokassa olevan version päivittäminen riittää. Se, mikä lasketaan pieneksi muutokseksi, vaihtelee tapauskohtaisesti. Yleisesti voidaan sanoa, että paperinen versio pitää päivittää uudestaan, jos vanhan työohjeen mukaan tehtäessä päädytään väärään lopputulokseen. Esimerkkejä pienistä muutoksista ovat esimerkiksi kirjoitusvirheiden tai kirjoitusasun korjaaminen. Nämä muutokset eivät merkittävästi muuta työohjeen sisältöä, jolloin uutta paperista versiota ei tarvitse tulostaa. Ne kuitenkin selkeyttävät työohjeen luettavuutta, ja niiden tekeminen on kannattavaa, koska työohjeesta saatetaan tulevaisuudessa kopioida osia tai sitä voidaan käyttää pohjana uudelle työohjeelle. Työohjeiden pienetkin virheet on kannattavaa korjata tällaisten tilanteiden varalta, jotta ohjeessa olevat virheet eivät pääse leviämään muihin ohjeisiin. Työohjeen uusin versio on tuotannossa nopeasti tarkastettavissa, koska QR-koodi työohjeen kannessa avaa Pokasta työohjeen uusimman version. Suurimmasta osasta Pokassa nyt olevista työohjeista ei ole paperista versiota. Näiden työohjeiden kohdalla paperinen versio laaditaan pientenkin muutosten yhteydessä, jotta ne saadaan mahdollisimman helppokäyttöisinä asentajille.

Isoja muutoksia tehdessä muutokset pitää varmistaa oikeiksi ennen työohjeen julkaisemista. Pienten muutosten kohdalla tämä ei ole useimmiten tarpeellista, koska pieniä muutoksia tehdessä virheiden tapahtuminen on paljon epätodennäköisempää ja korjattu työohje saadaan nopeammin käyttöön, kun sen tarkistaminen ohitetaan.

6.2 Uuden toimintamallin testaaminen

Uutta toimintamallia testattiin luomalla työohjeita edellä esiteltyjen vuokaavioiden mukaisesti. Laadittavien ja päivitettävien työohjeiden määrä pieneni huomattavasti, kun alettiin keskittyä vain työohjeisiin, joiden laatimiselle tai päivittämiselle nähtiin tarve. Toimintamallissa havaittiin kuitenkin ongelmia, jotka vaikuttavat negatiivisesti työohjeen laatuun tai nopeuteen, jolla ne valmistuivat. Jotkin näistä ongelmista ovat toimintamallin muutoksista johtuvia uusia ongelmia ja osa on vanhoja ongelmia, joita toimintamallin muutos ei pystynyt tyydyttävästi ratkaisemaan. Uuden toimintamallin testaamisessa tehdyt havainnot voidaan karkeasti rajata kahteen kategoriaan. Nämä kategoriat ovat työohjeiden laatimisen aikana tehdyt havainnot ja työohjeiden käytön aikana tehdyt havainnot.

6.2.1 Työohjeiden laatimisessa tehdyt havainnot

Työohjeiden laatiminen tehtiin aikaisemmin esitettyjen vuokaavioiden mukaisesti. Tämän aikana kiinnitettiin huomiota laatimisprosessissa ilmeneviin virheisiin ja pyrittiin löytämään lisää kehittymismahdollisuuksia. Vanhalla toimintamallilla oli tehty jo paljon ohjeita, joten siinä olevat ongelmat oli helppo nähdä. Uudessa mallissa päätös ohjeiden tekemisestä vain tarpeeseen vähentää laadittavien ohjeiden määrää, jolloin ohjeiden laatimista päästiin testaamaan vähemmän kuin vanhassa mallissa.

Tästä huolimatta havaittavissa oli parannuksia vanhaan toimintamalliin verrattuna, ja laatimisen aikana uudesta toimintamallista onnistuttiin löytämään kehitysmahdollisuuksia. Työohjeiden laatimisessa huomion arvoiset ongelmat ovat:

1. Työohjeiden ristiriitaisuus muiden ohjeiden kanssa
2. Tietokoneavusteiset kuvat säästävät odotettua vähemmän aikaa
3. Vain yhdellä henkilöllä on oikeudet hyväksyä ohje Pokassa.

Uudessa toimintamallissa paremmin toimivien asioiden osalta havaittiin, että valokuvien ottaminen on tehokkaampaa kuin vanhassa mallissa.

6.2.1.1 Työohjeiden ristiriitaisuus muiden ohjeiden kanssa

Komponenttien asennustavasta saattaa olla olemassa jo kirjallinen ohjeistus piirustuksissa tai Pokan ulkopuolisissa ohjeissa. Asennustapojen muuttuessa työohjeen luominen uudelle asennustavalle on tarkoituksenmukaista, mutta tämä saattaa aiheuttaa ristiriidan muiden ohjeistusten kanssa.

Joissain tapauksissa piirustukset tai muut ohjeet sisältävät lopputuloksen lisäksi esityksen tavasta, jolla tietyt komponentit asennetaan. Uutta ohjetta tehdessä pitäisi tarkistaa, onko kyseisen komponentin asennustavasta toimitettu aikaisemmin virallista ohjeistusta. Tämä ohjeistus voi olla mukana piirustuksessa tai siitä on tehty Pokan ulkopuolelle ohje. Visuaalisia työohjeita on tehty myös yrityksen muilla tehtailla yleiseen käyttöön yrityksen sisällä. Näiden ohjeiden tarkistaminen on omaa ohjetta tehdessä tärkeää, jotta nähdään poikkeavatko ne omasta ohjeesta. Yleisessä käytössä olevista visuaalisista ohjeista voidaan kuitenkin poiketa tilanteissa, joissa paikallisen tehtaan turvallisuusvaatimukset vaativat sitä tai paikallisella tehtaalla on käytössä työkaluja tai laitteita, joiden käyttöä ei ole kuvattu yleisessä ohjeessa. Piirustusten päivittäminen on tärkeysjärjestyksessä työohjeiden yläpuolella, joten niissä oleva vanhentunut tieto pitäisi päivittää ennen kuin samaa tietoa aletaan päivittämään työohjeisiin. Piirustukset pitäisi olla päivitetty ennen kuin

ohjetta pyydetään, mutta asia kannattaa silti tarkistaa. Piirustukset ja muu ohjeistus pitää joka tapauksessa käydä läpi ennen ohjeen tekemistä, jotta voidaan varmistua, ettei ohjeeseen laiteta vahingossa tietoa, joka on ristiriidassa olemassa olevan ohjeistuksen kanssa.

Uusi toimintamalli ei pystynyt ratkaisemaan ristiriitaisuuksia olemassa olevan ohjeistuksen kanssa, koska se tuli ilmi vasta kun toimintamallia alettiin testaamaan, eikä siihen täten varauduttu. Toimintamallia kehittäessä pitää siihen lisätä uutena osana vaihe, jossa selvitetään mahdollisen aikaisemman kirjallisen ohjeistuksen olemassaolo. Tämä selvitys aloitettaisiin tarkastelemalla komponentin piirustuksia ja sen jälkeen muita kirjallisia ohjeita, joita ei ole Pokaan laitettu. On myös hyvä kysyä asentajilta aikaisemmista ohjeista, joita he ovat saattaneet käyttää.

6.2.1.2 Tietokoneavusteiset kuvat säästävät odotettua vähemmän aikaa uusien työohjeiden tekemisessä

Tietokoneavusteisesti luodut kuvat säästävät aikaa vain, jos jokainen tarvittava kuva voidaan luoda tietokoneella. Jos yksikin vaadituista kuvista pitää olla valokuvana, täytyy sopia aika valokuvaamiselle, jolloin on kannattavinta ottaa ohjeeseen niin monesta vaiheesta valokuvat kuin mahdollista.

Alaluvussa 6.1.1 mainittiin, että yksi valokuvien eduista on todenmukaisempi kuvaus työvaiheista. Tämä tulee esille etenkin työvaiheissa, joissa kuvat ennen ja jälkeen työvaiheen eivät riitä, vaan kuvia pitää ottaa myös työvaiheen keskeltä. Tällaisia tilanteita voi tulla esimerkiksi, kun pitää kuvata, miten joitain työkaluja käytetään, tai kun jotkin komponentin osat edellyttävät erikoisjärjestelyjä muiden osien asennuksen aikana. Nämä erikoisjärjestelyt ovat tarpeellisia esimerkiksi tilanteessa, jossa jonkin osan asentaminen vaatii asennuksen ajaksi muiden osien taivuttamista tai teippaamista. Yksi tietokoneavusteisesti luotujen kuvien heikkouksista oli yksityiskohtien puute isoja kokonaisuuksia esittäessä, joka on hyvin tärkeää työvaiheen keskeltä otetuissa kuvissa. Valokuvien ottamisen

yhteydessä on myös helppo kysyä työvaihteen tuntevilta asentajilta, mitä yksityiskohtia työohjeessa tulisi heidän mielestään mainita.

Ongelmat tietokoneavusteisesti luoduissa kuvissa oli jokseenkin ennustettavissa ennen testausta. Tämän takia alaluvussa 6.1.1 mainitaan, että tietokoneavusteisesti luodut kuvat voitaisiin jossain vaiheessa korvata valokuvilla. Uuden toimintamallin testaamisessa ei kuitenkaan ole tullut vielä vastaan tilannetta, jossa tätä olisi nähty tarpeelliseksi, eikä kuvien korvaamista ole tämän takia päästy käytännössä kokeilemaan.

Tietokoneavusteisten kuvien heikkoudet tulivat kuitenkin näkyviin pääasiassa vain uusia ohjeita tehtäessä, kun uusia kuvia tarvitaan suuri määrä. Työohjeita päivittäessä tietokoneavusteisten kuvien vahvuudet tulivat paljon paremmin esille.

6.2.1.3 Kuvien saaminen on tehokkaampaa kuin ennen

Vanhassa toimintamallissa kuvia piti ottaa jokaisesta työvaiheesta, jolloin kuvien ottamiseen kuluva aika oli pitkä ja aikataulutus vaikeaa. Uudessa mallissa ohjeet tehdään vain, kun joku sellaista pyytää. Tällöin valokuvaamisesta sopiminen on helpompaa, kun aikaa tarvitsee varata vain yhden työvaiheen kuvaamiselle.

Vaikka tietokoneavusteiset kuvat eivät nopeuttaneet uusien työohjeiden laatimista niin paljon kuin olisi voinut toivoa, ne ovat silti hyvät työohjeita päivitettäessä. Uutta ohjetta tehdessä on todennäköistä, että vähintään yksi kuva täytyy olla valokuvana, jolloin kaikki kuvat kannattaa kuvata samalla kertaa. Suurin osa työohjeiden kuvista voi olla tietokoneavusteisesti luotuja, jolloin yksittäistä kuvaa päivitettäessä on epätodennäköistä, että uutta valokuvaa on pakko mennä ottamaan. Joissain tilanteissa tietokoneavusteisesti luodut kuvat ovat valokuvia parempia, siis esimerkiksi pienikokoisia yksityiskohtia esittäessä. Vaikka valokuvatessa otetaankin kuva jokaisesta komponentin kokoamisvaiheesta, joissain tilanteissa tietokoneella luotu kuva selittää tilanteen silti paremmin. Aikaisemmin Pokassa olevissa työohjeissa oli käytetty valokuvia ja videoita esittämään työvaiheita, mutta näiden testien perusteella tietokoneavusteisesti luoduilla kuvilla on omat etunsa,

jotka kannattaa ottaa huomioon tulevaisuudessa. Erilaiset vaihtoehdot tietojen esittämiseksi parantavat ohjeiden laatua, ja uusien esitystapojen kehittäminen tulee pitää mielessä.

6.2.1.4 Vain yhdellä henkilöllä on oikeus hyväksyä ohjeet Pokassa

Pokassa oleviin ohjeisiin täytyy saada hyväksyntä ennekuin ne tulevat näkyviin muille. Tämä ei tavallisesti aiheuta huomattavaa viivästymistä ohjeiden käyttöönotossa. Oikeus ohjeiden hyväksymiseen on kuitenkin tällä hetkellä vain yhdellä henkilöllä, jolloin ohjeiden lisääminen Pokaan hidastuu, kun tämä henkilö on lomalla. Tällä hetkellä ei kuitenkaan vaikuta, että olisi pakottavaa tarvetta antaa ohjeiden hyväksymisoikeuden antamista muille henkilöille.

6.2.2 Työohjeiden käytössä tehdyt havainnot

Työohjeiden käytöstä pyrittiin luomaan jonkinlaista tilastoa, jolla voidaan nähdä kasvaako niiden käyttöaste. Kasvua työohjeiden käytössä on kuitenkin havaittavissa niiden käytöstä seuraavien ongelmien ja niistä saadun palautteen perusteella. Ongelmat liittyivät työohjeiden hukkaamiseen ja tulostamiseen. Työohjeiden käyttäjiltä saatiin ehdotuksia siitä, millaisessa muodossa ohjeet pitäisi antaa, koska joidenkin ohjeiden sisältö saadaan helpommin toimitettua lisäämällä niiden sisältämä tieto osaksi piirustuksia.

6.2.2.1 Työohjeiden käytön seuranta

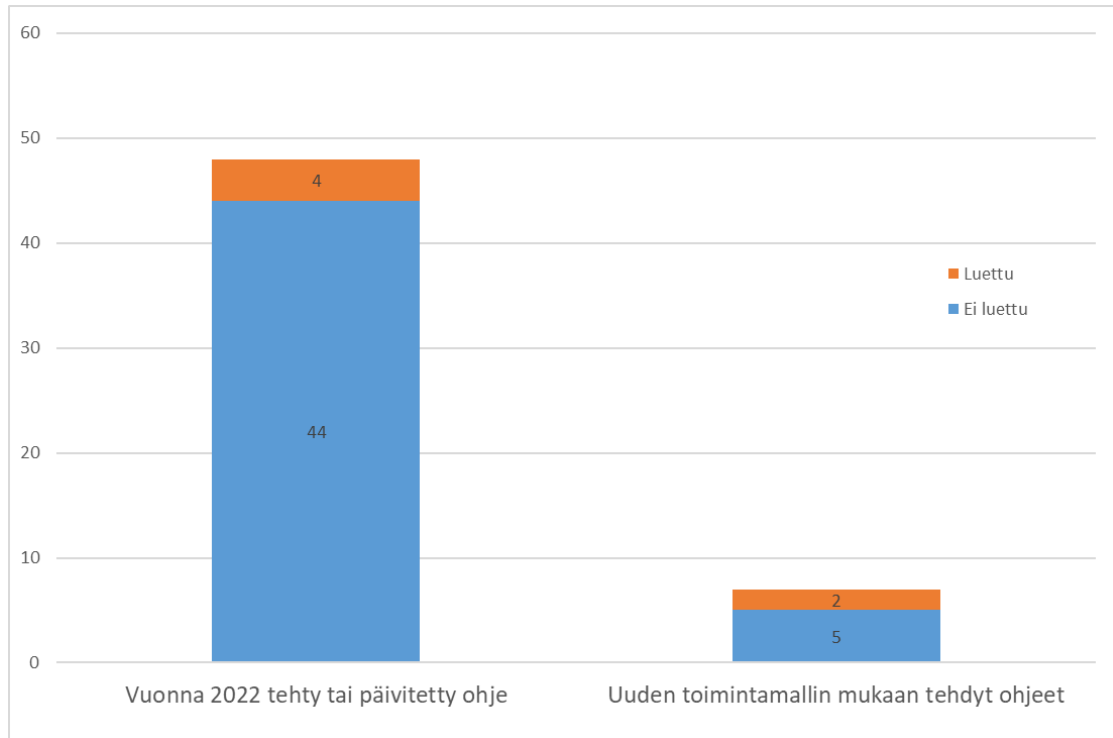
Ohjeiden käytöstä tehdyssä testauksessa pyrittiin seuraamaan, kuinka paljon ohjeita käytetään. Ohjeista on uudessa toimintamallissa käytössä paperinen ja sähköinen versio. Pokassa olevien sähköisten työohjeiden käyttöä voidaan valvoa Pokan oman analytiikan avulla. Paperisilla ohjeilla vastaavan tiedon kerääminen ei ole yhtä helppoa, jolloin tämä

aiheuttaa uuden toimintamallin testauksen tuloksissa ohjeiden lukemisen olevan pienempää kuin se todellisuudessa on.

Työohjeiden käyttöä pystytään seuraamaan Pokan kautta, jossa on jokaisella työohjeella nähtävillä, ketkä ovat kyseistä työohjetta lukeneet ja milloin he ovat työohjetta viimeksi lukeneet. Työohjeita koskevista tiedoista pystytään saamaan myös automaattisesti luotu Excel-taulukko, joka sisältää paljon erilaista tietoa työohjeista. Käytön seurannan kannalta oleelliset tiedot tässä taulukossa ovat työohjeita lukeneiden henkilöiden määrä ja luomispäivämäärät. Taulukko ei kuitenkaan sisällä Pokan työohjesivulla olevaa listaa henkilöistä, jotka ovat työohjetta lukeneet. Tietoa työohjeiden käytön seuranta varten kerättiin lataamalla tämä taulukko Pokasta noin kuukauden välein helmikuusta 2022 lähtien.

Näiden taulukoiden sisältämän tiedon käsittelemiseksi ohjelmin vertailutyökalun, joka ottaa kahdesta Pokasta ladatusta Excel-taulukosta työohjeiden luentakerrat ja vertailee niitä. Tällöin nähdään, kuinka moni henkilö on lukenut työohjetta ensimmäistä kertaa näiden taulukoiden lataamisajankohtien välillä. On tärkeämpää tietää, kuka ohjetta on lukenut kuin se, kuinka monesti sitä on luettu. Luentakerroista huomattava osa tulee työohjeiden laatijoilta ja muilta suunnittelijoilta. Työohjeiden hyödyllisyyttä mitataan sillä, kuinka moni asentaja on niitä lukenut, jolloin luentakertojen määrä ei kuvasta työohjeista saatua hyötyä. Työohjetta lukeneiden henkilöiden määrän lisäksi vertailutyökalu lisää linkin työohjeeseen, jotta pystytään nopeasti lukemaan Pokasta työohjeen sivulta, ketkä työohjetta ovat käyneet lukemassa.

Tarkasteluun pyrittiin ottamaan työohjeita, jotka ovat uusia tai joita aktiivisesti päivitetään. Aktiivisen päivittämisen kriteeriksi valittiin, että työohjetta on kuulunut päivittää viimeksi vuoden 2022 aikana. Tulokset on esitetty kuvassa 18. Tänä vuonna Pokaan lisättiin tai siellä päivitettiin yhteensä 48 työohjetta, joista 7 oli tehty uuden toimintamallin mukaisesti. Työohje lasketaan luetuksi, kun Pokan tilastojen mukaan vähintään yksi asentaja on käynyt sitä lukemassa. Näistä kaikista työohjeista asentajat olivat lukeneet yhteensä neljää. Uudella toimintamallilla tehdyistä seitsemästä ohjeesta kahta oli luettu.



Kuva 18. Uudella toimintamallilla tehtyjen ohjeiden lukemisen vertailu kaikkiin aktiivisesti päivitettäviin ohjeisiin.

Prosenttiosuuksina kaikista työohjeista noin 8 % oli luettu, kun taas uusista työohjeista noin 29 %:a oli luettu. Viisi lukematonta työohjetta oli toimitettu myös paperilla, jolloin niitä on saatettu lukea ilman että sitä näkyy tässä tilastossa. Edellä alaluvussa 5.2.2 todetaan, että ohjeita käytetään vähän, koska suurin osa ohjeissa annetusta tiedosta on vanhentunutta, ohjeissa annettu tieto löytyy paperisilta piirustuksilta helpommin tai ohjeita ei saatu ajoissa. Näille ongelmille on uudessa toimintamallissa esitetty jonkinlaiset ratkaisut, mutta nyt ongelmana vaikuttaa olevan, ettei työohjeita osata etsiä Pokasta, jolloin ohjeiden olemassaolosta siellä ei välttämättä edes tiedetä.

Päätös työohjeiden tekemisestä vain, kun niitä pyydetään, on omalta osaltaan hidastanut käytön testaamista, koska työohjeita tehdään nyt vähemmän. Tämän takia otanta jää pienemmäksi ja joudutaan odottamaan kauemmin, että laaditaan uusia työohjeita, joiden käytöstä tietoa voidaan kerätä.

6.2.2.2 Ongelmat ohjeiden löytämisessä

Työohjeiden Pokasta löytämisessä ilmenneiden haasteiden lisäksi ongelmia on tullut työohjeiden muidenkin versioiden kanssa. Paperilla olevien työohjeiden löytäminen ja hukkaan meneminen aiheuttivat testauksen aikana jonkin verran ongelmia. Paperiset työohjeet, joita käytetään harvoin menevät helposti hukkaan ja usein käytetyt työohjeet repeytyvät tuotannossa, jolloin ne pitää tulostaa uudelleen. Työohjeita tulostaessa täytyy työohjeesta löytää pdf-tiedosto, koska suoraan Pokasta tulostaessa kuvien koot asetetaan niin pieneksi, ettei niistä saa selvää. Työohjeiden pdf-versioita ei kuitenkaan ole koottu mihinkään yhteiseen paikkaan, jolloin vain ohjeen tekijä tietää mihin se on tallennettu.

Ohjeita on myös laitettu muihinkin järjestelmiin kuin Pokaan. Edellä alaluvussa 6.2.1.1 mainitaan esimerkiksi muilla firman tehtailla yleiseen käyttöön tehdyt työohjeet, jotka ovat omassa järjestelmässään. Työohjetta etsiessä voi tulla joissain tapauksessa sekaannusta siitä, missä kaikkialla ohje on julkaistu. Syy, miksi Poka otettiin käyttöön muiden ohjeita sisältävien järjestelmien ollessa jo käytössä, johtuu siinä olevasta mahdollisuudesta nähdä sen sisältö tabletilla, jolloin se on tuotannon käyttöön muita järjestelmiä tehokkaampi. Työohjeiden hallinnointiin käytettyjen järjestelmien määrän kasvaessa tulisi kuitenkin kehittää keino seurata, mitä ohjeita mistäkin löytyy ja mihin kaikkialle ohjeiden lisäykset ja päivitykset täytyy tehdä.

Työohjeiden toimintamallia kehittäessä tulisi löytää keino pitää ne tallessa ja kunnossa niin paperisena kuin sähköisenä.

6.2.2.3 Työohjeiden julkaisutavan päättäminen

Työohjeiden löytämisen ja käytön helpottamiseksi ehdotettiin työohjeiden käytön testaamisen aikana, että joidenkin komponenttien kokoamisohjeiden sisältö lisättäisiin osaksi tämän komponentin piirustuksia. Tällöin tähän komponenttiin liittyvät tiedot ovat helpommin löydettävissä. Komponenttien kokoamista alihankkijoille siirrettäessä on

kannattavaa, että ohjeistus on osana piirustuksia, koska vain firman omalla henkilöstöllä on pääsy Pokaan. Tämä tarkoittaa myös, että muillakin firman tehtailla on pääsy Pokassa oleviin työohjeisiin. Yksityiskohtaisia piirustuksia ei ole tämän takia lisätty Pokaan, jotta niiden jakaminen olisi hallitumpaa.

Piirustukset luodaan tietokoneavusteisesti, jolloin taulukossa 1 esitetyt edut ja haitat pätevät niihin. Edellä alaluvussa 6.2.1.2 tuotiin esille työohjeiden laatimisen aikana havaittuja haasteita, jotka liittyvät tietokoneavusteisesti luotuihin kuviin. Nämä haasteet liittyivät työkalujen käytön, erikoisjärjestelyjen ja yksityiskohtaisuuden esittämiseen. Kaikki nämä tekijät täytyy ottaa huomioon, kun päätetään, millaisessa muodossa ohjeistusta halutaan luoda.

Alaluvussa 5.2.4 on mainittu, että käytössä olevat paperiset työohjeet voisi päivittää Pokaan. Monet näistä työohjeista olivat kuitenkin tehty osaksi piirustuksia, joten niiden jakaminen Pokan kautta ei ole tällä hetkellä mahdollista.

6.2.3 Uuden toimintamallin testaamisen yhteenveto ja kehitystarpeet

Vaikka ohjeiden laatiminen on nyt tehokkaampaa kuin ennen ja luettujen ohjeiden osuutta on saatu nostettua, ne eivät silti saavuta tasoa, jolle ne ihanteellisesti pitäisi saada. Testauksessa havaituista ongelmista puhuttaessa edellä huomautetaan, että vain yhdellä henkilöllä on oikeus hyväksyä ohjeita Pokassa, ja tietokoneavusteisesti luodut kuvat säästävät odotettua vähemmän aikaa. Nämä ongelmat eivät kuitenkaan ole niin kriittisiä, että ne vaatisivat tällä hetkellä ratkaisua. Kriittisemmät ongelmat ovat työohjeiden ristiriitaisuus muiden ohjeiden kanssa ja työohjeiden pienet luentamäärät Pokassa.

Testaamisessa kuitenkin onnistuttiin ja voidaan todeta, että alaluvun 6.1 alussa esitetyt ratkaisut alaluvussa 5.2.2 listattuihin ongelmiin olivat toimivia. Ohjeiden laatimisaikataulu ei ole yhtä tiukka kuin ennen, niiltä vaadittu sisältö on tarkemmin tiedossa ja

ohjeiden laatimiseen on vastuuhenkilö, jolle tulee tieto tarpeista ohjeiden laatimiseen tai päivittämiseen.

Toimintamallia edelleen kehitettäessä pitää laatiessa nyt ottaa huomioon, että komponenttien piirustukset ja niihin liittyvät aikaisemmat ohjeet tulee käydä läpi ennen ohjeen laatimista, jotta voidaan varmistaa, ettei ristiriitaisuuksia synny.

Pokan käytön lisäämiseksi on esitetty, että asentajille pidettäisiin koulutusta ohjeiden etemisestä Pokan kautta, jolloin paperista ohjetta ei välttämättä tarvittaisi ollenkaan. Tähän liittyen pitää myös miettiä, kannattaako vanhentuneita ohjeita pitää Pokassa enää näkyvillä. Pokassa on paljon ohjeita, joita ei enää päivitetä, ja tarpeellisten ohjeiden löytäminen helpottuu, kun ne eivät ole vanhojen ohjeiden seassa. Työohjeiden sisältämä tieto on helpompi löytää, jos se työohjeen tekemisen sijaan sisällytetään osaksi piirustuksia.

Paperisten työohjeiden tulostaminen ja jakaminen on annettu työnjohtajien tehtäväksi, jotta tieto niiden olemassaolosta päätyy mahdollisimman monelle. Työnjohtajat ovat asentajien kanssa tekemisissä työohjeiden laatijoita useammin, joten tieto ohjeista kulkeutuu heidän kauttansa nopeammin kuin työohjeiden laatijoiden kautta. Tämä vaatii, että kaikkien ohjeiden pdf-versiot löytyvät aina samasta paikasta ilman, että ohjeiden laatijoilta täytyy käydä aina kysymässä mihin ne on tallennettu.

Edellä alaluvussa 5.2.3 mainitaan, että tarvetta työohjeille pitäisi ennakoida jo suunnitteluvaiheessa. Tähän mennessä työohjeita on laadittu ennen prototyypin kokoamista, kun joku on tuntenut, että jokin työvaihe tarvitsee työohjeen. Toimintamallia eteenpäin kehitettäessä pitää miettiä, millä keinoilla voidaan löytää työohjetta tarvitsevat työvaiheet jo suunnittelun aikana.

Tässä toimintamallissa on edelleen kehitettävää ja tämän diplomityön osalta alaluvuissa 6.1.2 ja 6.1.3 esitellyt vuokaaviot voidaan nähdä toimintamallin ensimmäisenä iteraationa. Vaikka aikataulutukseen liittyvät ongelmat ovat pääasiassa ratkenneet, voidaan työohjeiden laatimista silti nopeuttaa toimintamallia kehittämällä. Isommat ongelmat tässä ensimmäisessä iteraatiossa koskevat työohjeiden laatua, jota voidaan parantaa

miettimällä, millaisessa muodossa ne kannattaa julkaista. Käytännössä tämä tarkoittaa, että työohjetta pyytäessä pitää harkita, laaditaanko uusi työohje vai lisätäänkö ohjeet piirustukseen.

6.3 Valmis toimintamalli työohjeiden luomiseen

Valmiilla toimintamallilla tarkoitetaan toimintamallia, johon tämän diplomityön aikana päästiin. Diplomityön tavoitteeksi alaluvussa 1.2 asetettiin selvittää, miten Pokan eri ominaisuudet voivat parantaa tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotantoa ja keskittyä erityisesti Pokassa oleviin työohjeisiin, joiden laatua ja laatimisaikataulua pyritään parantamaan. Sarjatuotantoa ja siihen liittyviä työohjeita tullaan aina kehittämään paremmiksi, mutta tämän diplomityön tavoitteiden osalta tässä alaluvussa esiteltävän toimintamallin voidaan nähdä täyttävän työssä laadulle ja aikataululle asetetut tavoitteet.

6.3.1 Testauksessa havaittujen ongelmien ratkaisut

Joihinkin testauksessa havaittuihin ongelmiin esitetään jo lyhyesti ratkaisu luvussa, jossa niiden olemassaolo todetaan. Tässä luvussa kerrataan nämä ratkaisut ja esitetään muihin ongelmiin löydetyt ratkaisut. Kerrotaan myös, miten uudet kehitysideat otetaan huomioon. Ratkaisut ja toimintamallin muut muutokset käydään tässä alaluvussa läpi siinä järjestyksessä, kun ne tulevat vastaan työohjetta tehdessä tai päivittäessä. Ongelmat olivat työohjeiden ristiriitaisuus muun ohjeistuksen kanssa, ohjeiden hyväksyttäminen Pokassa ja ongelmat ohjeiden löytämisessä. Kehitysideat olivat työohjeiden sisällön lisääminen osaksi piirustuksia ja tietokoneavusteisten kuvien käyttäminen yksittäisten kuvien muuttamiseen työohjeita päivittäessä.

Työohjeiden tekemisessä ensimmäinen päätös on, viedäänkö tietoa asentajille Pokaan tehtävällä työohjeella vai lisätäänkö tieto piirustukseen. Työohjeiden käytön testauksessa havaittiin, että työohjeisiin laitettavan tiedon lisääminen piirustuksiin on joissain

tilanteessa suositeltavampaa kuin uuden työohjeen laatiminen. Piirustuksiin lisättävien kuvien täytyy olla tietokoneavusteisesti luotuja, jolloin niiden edut ja haitat pätevät piirustuksiin. Piirustusten luomiseen ja jakamiseen on olemassa jo omat menettelytapansa, joita seurataan, kun ohje päätetään lisätä osaksi piirustusta, eikä tällöin seurata tässä työssä luotua toimintamallia.

Jos päätetään, että työohjeen sisältöä ei lisätä osaksi piirustusta, tehdään selvitys olemassa olevan ohjeistuksen sisällöstä ohjeiden väliset ristiriitaisuuksien estämiseksi. Tämä selvitys aloitetaan tarkastelemalla komponentin piirustuksia ja sen jälkeen muita kirjallisia ohjeita, joita ei ole Pokaan laitettu, ja kyselemällä asentajilta aikaisemmista ohjeista, joita he ovat saattaneet käyttää.

Kun päätetään, otetaanko ohjeisiin valokuvat vai tietokoneavusteisesti tehdyt kuvat, pitää ottaa huomioon taulukossa 1 esitetyt edut ja haitat, sekä tarpeet työkalujen käytön, erikoisjärjestelyjen ja yksityiskohtaisuuden esittämisestä. Valokuvat soveltuvat paremmin uuden työohjeen tekemiseen, kun taas yksittäistä kuvaa päivittäessä voi olla tarkoituksenmukaisempaa käyttää tietokoneavusteisesti luotua kuvaa, jolloin ei tarvitse alkaa sopimaan aikaa kuvaamiselle yhden kuvan takia ja säästetään huomattavasti aikaa.

Työohjeen kirjoittamisen jälkeen se pitää saada vielä hyväksytyksi Pokaan. Edellä mainitaan, että vain yhdellä henkilöllä on oikeus hyväksyä työohjeita Pokaan. Tämä on jo aiheuttanut lieviä ongelmia, kun kyseinen henkilö on ollut lomalla, mutta nämä ongelmat eivät olleet kovinkaan vakavia. Yksinkertainen ratkaisu on jakaa uusista ja päivitetystä työohjeista vain paperinen versio, kunnes ohje saadaan Pokaan.

Työohjeiden valmistumisen jälkeen ongelmia tuli niiden sähköisten ja paperisten versioiden löytämisessä. Sähköisten versioiden löytämistä voidaan helpottaa laittamalla ne muihinkin ohjeiden hallinnointijärjestelmiin, joissa niitä saatetaan tarvita. Pokaan laitettujen työohjeiden muuttaminen omaksi tiedostokseen ei ole kuitenkaan toimiva ratkaisu, koska kuvanlaatu kärsii liikaa tämän muutoksen aikana. Pokassa olevissa työohjeissa liitteenä olevat pdf-tiedostot avautuvat kuitenkin ilman ongelmia, joten ratkaisu on tehdä jokainen ohje ensin pdf-tiedostona, joka voidaan tämän jälkeen lisätä mihin tahansa

järjestelmään, missä työohjeita pidetään. Kaikista tulostamista vaativista ohjeista jouduttiin tekemään jo valmiiksi Poka version lisäksi pdf-versio. Nyt kun työohjeet ovat vain pdf-versiossa, niiden laatimisprosessi nopeutuu.

Paperisten työohjeiden kestävyyttä voidaan parantaa laminoimalla paljon käytettyjen työohjeiden sivut. Harvemmin käytettyjen työohjeiden osalta pyritään tehdä niiden löytäminen tabletilla helpompaa, jolloin niiden tulostamista ei tarvitsisi välttämättä tehdä. Toimintamallin testauksen aikana tuotantolinjalle oli lisätty tietokone katselmointikuvien katsomista varten. Tätä tietokonetta voidaan käyttää myös ohjeiden lukemiseen. Alaluvussa 6.1.1 esitetään, että työohjeiden kanteen laitetaan QR-koodi helpottamaan niiden löytämistä Pokasta, mutta parempi ratkaisu on laittaa tietokoneelle linkki ohjeen Poka-sivulle ja kuva QR-koodista, jolla ohjeen saa Pokasta auki. Tällöin ohjeen saa helposti auki tietokoneen tai tabletin avulla.

QR-koodin tallentaminen kuvana tietokoneelle poistaa myöskin tarpeen QR-koodille työohjeen alussa. QR-koodin saaminen ohjeen alkuun on muutenkin hankaloitunut, koska sen pystyy saamaan vasta kun ohje on jo valmis. Aikaisemmin työohje kirjoitettiin Pokaan ja hyväksynnän jälkeen QR-koodi lisättiin paperisen version kanteen. Nyt kun Pokaan laitetaan vain ohjeen pdf-versio liitteeksi, täytyisi tähän pdf-versioon lisätä myös QR-koodi siltä varalta, että se tulostetaan. Tällöin-pdf versio pitäisi ensin laittaa Pokaan odottamaan hyväksyntää. Hyväksynnän jälkeen ohjeelle voidaan luoda QR-koodi, joka lisätään pdf-version kanteen, minkä jälkeen ohje pitäisi hyväksyttää uudestaan, koska jokainen muutos Pokassa oleviin ohjeisiin vaatii hyväksynnän. Lyhyesti selitettynä tämä tarkoittaa, että QR-koodin lisäämiseksi ohjeiden kanteen, tulisi jokainen ohje hyväksyttää Pokassa kahdesti. Tämän takia QR-koodien tallentaminen kuvina tietokoneelle on suositeltavampaa.

Kansio, johon ohjeet ja niiden QR-koodit laitetaan, on verkkolevyllä ja tuotannon tietokoneen työpöydällä on pikakuvake tähän kansioon. Tämän kansion sisältöä pystyy muokkaamaan kuka tahansa, jolla on pääsy tälle verkkolevyille. Tällöin ohjeen laatija pystyy käytännössä lisäämään työohjeita tuotannon tietokoneelle omalta koneeltaan ilman että

hänen tarvitsee fyysisesti päästä käsiksi tuotannon koneeseen. Tämä on hyödyllistä, etenkin kun työohjeita tehdään etätöissä.

6.3.2 Kriteerit työohjeiden tekemiselle

Ennen tämän diplomityön aloitusta työohjeet tehtiin alaluvussa 5.2.1 esiteltyyn seitsemään kategoriaan niin, että tietyt ohjeet tehtiin aina jokaiselle sarjatuotantoon menevälle tehomuuntajamallille. Alaluvussa 5.2.2 mainitaan, että ohjeiden tekeminen etukäteen on vaikeaa, koska useita työohjeita vaativia ongelmia ei pystytä ennalta arvaamaan. Tämän takia alaluvussa 5.2.3 päädytään ratkaisuun, jossa ohjeita tehdään vain, kun niitä tuotannosta tai suunnittelusta pyydetään.

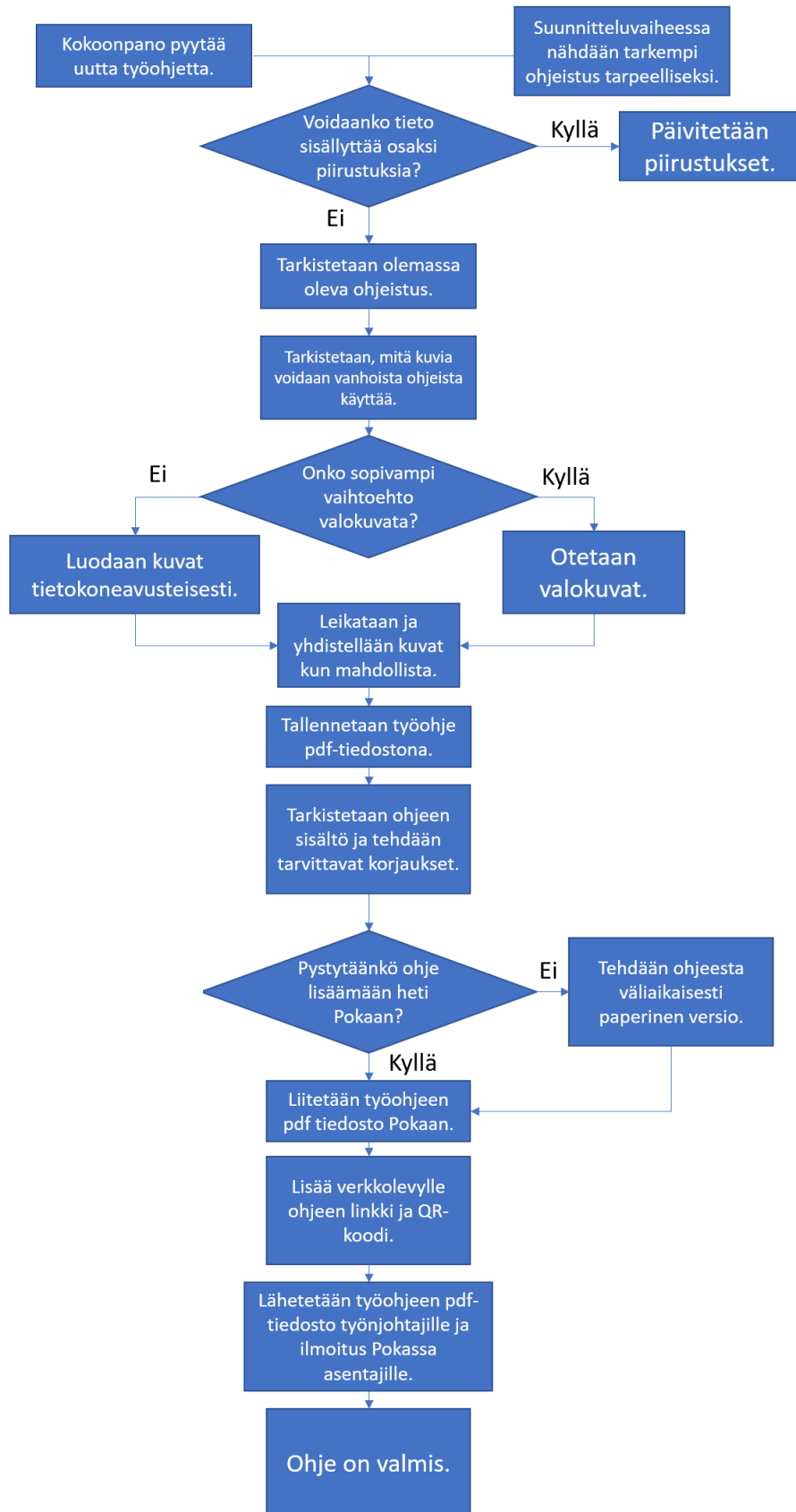
Ihanteellisesti kaikki ongelmat löydetään jo suunnitteluvaiheessa, mutta uuden tehomuuntajan koko kokoonpanoprosessin läpikäyminen mahdollisia ongelmatilanteita etsien on haasteellista, kun kyseistä tehomuuntajaa ei ole vielä koottu yhtäkään kappaletta. Tämän takia valmiissa toimintamallissa pyritään parantamaan suunnittelun kykyä havaita nämä ongelmat ennalta ja pyytää työohjeen laatimista näihin.

Mahdollisia ongelmia pystytään löytämään tehokkaammin, kun suunnitteluvaiheessa keskitytään työvaiheisiin, joihin on tullut muutoksia aikaisempiin sarjatuotannossa olleisiin tehomuuntajamalleihin verrattuna. Tällöin kaikkia kokoonpanon työvaiheita ei tarvitse käydä läpi etsien mahdollisia ongelmia aiheuttavia tekijöitä. Samanlaisena pysyneiden työvaiheiden ongelmat on todennäköisesti jo löydetty ja niihin tehty ohjeet, joita voidaan käyttää uudelleen.

6.3.3 Uuden työohjeen luominen valmiissa toimintamallissa

Uuden työohjeen luomisen vuokaavio on esitetty kuvassa 19. Tässä vuokaaviossa on aikaisempaan kuvassa 16 esitettyyn vuokaavioon verrattuna otettu mukaan alaluvussa 6.3.1 mainitut ongelmien ratkaisut ja kehitysideat. Joitain turhina tai ylimääräisinä

nähtyjä kohtia on myös poistettu. Tässä alaluvussa selitetään kokonaisuudessaan prosessi uuden työohjeen luomiselle keskittyen muutoksiin, joita alaluvussa 6.1.2 esiteltyyn vuokaavioon verrattuna on tullut. Aikaisemmin käsitellyistä vaiheista puhuttaessa viitataan aikaisempaan kohtaan, jossa niitä käsitelty.



Kuva 19. Vuokaavio valmiista toimintamallista työohjeiden luomiseen.

Työohjeen luominen lähtee joko tuotannon pyynnöstä tehomuuntajan kokoonpanon aikana tai kun suunnitteluvaiheessa arvioidaan jonkin työvaiheen olevan niin erilainen aikaisempiin tehomuuntajamalleihin verrattuna, että uusi ohje tarvitaan.

Ensimmäisenä pitää tehdä arvio siitä, onko tieto syytä jakaa työohjeen vai piirustuksen kautta. Tähän valintaan vaikuttavia tekijöitä käsitellään tarkemmin alaluvuissa 6.2.2.3 ja 6.3.1. Työohjeiden laatimisprosessin kannalta tämä on päätös siitä, jatketaanko tässä diplomityössä suunnitellun toimintamallin mukaisesti vai jo aikaisemmin olemassa olleiden piirustusten päivittämiseen käytetyn mallin mukaan.

Jos päätetään tehdä uusi työohje, pitää olemassa oleva ohjeistus tarkistaa. Aikaisemmin muista työohjeista tarkistettiin sisältävätkö ne kuvia, joita uudessa ohjeessa voidaan käyttää. Nyt vuokaavioon on lisätty maininta ristiriitaisuuksien tarkistamisesta. Tällöin varmistutaan, ettei tuotantoon toimiteta ristiriitaista tietoa ja samalla tarkistetaan vanhemman ohjeistuksen paikkansapitävyys.

Kuvien ottaminen on edelleen vuokaaviossa samanlaisena kuin kuvassa 16. Kriteerit sille, valitaanko valokuvat vai tietokoneavusteisesti luodut kuvat, ovat paremmin selvillä. Uutta ohjetta luodessa sekä työkalujen ja erikoisjärjestelyiden kuvaamista on pääasiallisesti suositeltavampaa ottaa valokuvat. Yksittäisiä kuvia päivittäessä tietokoneavusteisesti luodut kuvat ovat kuitenkin parempia, koska ne säästävät aikaa kuvaamisen järjestämiseltä. Kuville tehdään samat leikkaamiset ja yhdistelyt kuin alaluvussa 6.1.2, jotta ohjeen luettavuudesta saadaan parempi.

Työohjetta ei kirjoiteta enää ollenkaan Pokan omalle pohjalle, vaan se laaditaan pdf-tiedostona. Työohjeen sisällön tarkistaa tarvittaessa työohjeen laatijan lisäksi joku toinen kyseisen työohjeen aihealueen tunteva henkilö.

Työohjeen valmistuttua se lisätään Pokaan liitteenä. Jos uusia työohjeita ei kyseisellä hetkellä pystytä lisäämään, tehdään työohjeesta paperinen versio ja lisätään työohje myöhemmin, kun se on mahdollista. Työohjeesta luodaan QR-koodi, jolla sen saa tuotannon puolella tabletilta auki. Tämä QR-koodi ja linkki työohjeen Poka-sivulle laitetaan verkkolevylle kansioon, josta tuotannon koneella pääsee niitä katsomaan. Aikaisemmin

jokaisesta työohjeesta oli pyritty tekemään myös paperinen versio, mutta nyt, kun työohjeiden löytäminen Pokasta on helpompaa, ei niiden tulostaminen heti työohjeen valmistuttua ole välttämätöntä.

Työohjeen valmistumisesta välitetään tieto lähettämällä pdf-tiedosto työnjohtajille, jotta he voivat tarvittaessa tulostaa sen ja kertoa tuotannolle työohjeen olemassaolosta Pokassa. Tämän lisäksi asentajille lähetetään Pokan kautta viesti ohjeen valmistumisesta. Työohjeen voidaan tämän jälkeen katsoa olevan valmis. Työohje voidaan vielä tulostaa tämän jälkeen, mutta pääasiassa se pyritään pitämään sähköisenä, jotta se ei mene hukkaan tai repeydy.

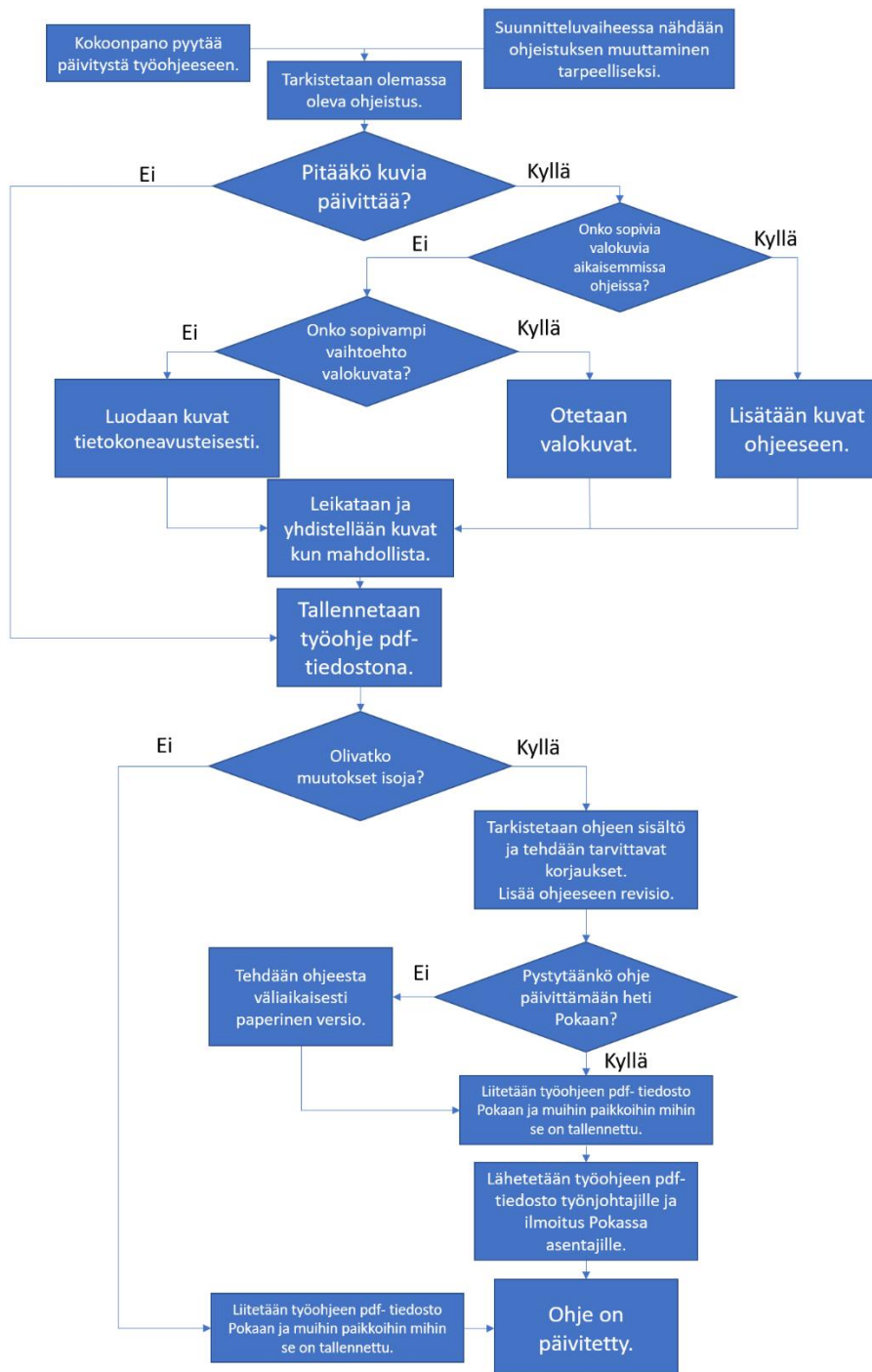
6.3.4 Vanhan työohjeen päivittäminen valmiissa toimintamallissa

Työohjeen päivittämisen vuokaavio on esitetty kuvassa 20. Kuten uuden työohjeen luomisen vuokaaviossa, tähän vuokaavioon on myös otettu nyt mukaan ongelmien ratkaisuja ja kehitysideoita. Tässä tapauksessa alkuperäinen vuokaavio on esitetty kuvassa 17. Tässä alaluvussa selitetään työohjeen päivittämisen prosessi keskittyen muutoksiin, joita alaluvussa 6.1.3 esitellyn vuokaavioon verrattuna on tullut. Aikaisemmin käsitellyistä vaiheista puhuttaessa viitataan aikaisempaan alalukuun, jossa niitä käsitelty.

Työohjeen päivitys aloitetaan, kun kokoonpanosta pyydetään päivitystä tai suunnittelu- vaiheessa nähdään olemassa olevan ohjeistuksen päivittäminen tarpeelliseksi. Aluksi tarkistetaan muu aiheeseen liittyvä ohjeistus. Olemassa olevien työohjeiden kohdalla ristiriitaisuus olemassa olevien ohjeiden kanssa on pienempi kuin uusien työohjeiden kanssa, koska ristiriitaisuudet on kuulunut tarkistaa jo työohjetta laatiessa. Aikaisempia ohjeita tarkistaessa katsotaan myös, onko näissä ohjeissa kuvia, joita työohjeen päivittämisessä voidaan käyttää.

Uusien kuvien ottaminen ei ole muuttunut alaluvussa 6.1.3 esitellystä vuokaaviosta. Kuvien päivittämisessä pyritään edelleen esisijaisesti käyttämään olemassa olevia kuvia. Uusia kuvia otettaessa päätetään, pitääkö uusia kuvia ottaa vai voidaanko kuvat tehdä

tietokoneavusteisesti. Testauksessa huomattiin, että työohjeita päivittäessä tietokoneavusteisesti luoduilla kuvilla voidaan säästää aikaa, kun päivitettävien kuvien määrä on pieni. Kuville tehdään samat yhdistely- ja leikkaustoimenpiteet kuin ennenkin. Tämän jälkeen työohje lisättiin kuvan 17 vuokaaviossa Pokaan, mutta nyt se tallennetaan pdf-tiedostona.



Kuva 20. Vuokaavio valmiista toimintamallista työohjeiden päivittämiseen.

Pienten muutosten jälkeen työohje lisätään paikkoihin, joissa sitä pidetään tallessa ja työohje on valmis. Pieneksi muutokseksi lasketaan esimerkiksi kirjoitusvirheiden korjaaminen. Isompien muutosten kohdalla joku muu tarkistaa työohjeen sisällön. Tämän

jälkeen työhöje lisätään Pokaan ja mahdollisesti muihin paikkoihin heti kun pystytään. Päivitetyn työhöjeen ollessa saatavilla sen pdf-tiedosto lähetetään työnjohtajille ja siitä laitetaan asentajille ilmoitus Pokassa. Tämän jälkeen työhöjeen päivitys on valmis. Kuvassa 17 esiteltyn vuokaavioon verrattuna nämä vaiheet ovat muuttuneet huomattavasti, koska paperista versiota ei tehdä, jos työhöje on mahdollista saada heti Pokaan. Aikaisemmassa vuokaaviossa mainittiin myös QR-koodin päivittäminen sekä dokumentin tietojen ja hakemiston päivittäminen. QR-koodit ovat nyt saatavilla tietokoneelta ja miltei kaikki dokumentin tiedot ja hakemisto pystytään ohjeen pdf-versiossa päivittämään automaattisesti. Dokumentin tiedoista pitää vain revisio käydä käsin muuttamassa.

6.3.5 Ohjeiden käytön seuranta valmiissa toimintamallissa

Kuvassa 18 oli Pokan analytiikan avulla kerätty tietoa työhöjeiden lukemisesta. Tämän kuvan yhteydessä oli todettu, että paperilla olevien työhöjeiden käytöstä on vaikea kerätä tietoa Pokassa olevaan sähköiseen versioon verrattuna. Nyt tiedon kerääminen on hankaloitunut edelleen, koska kuvan 18 laatimisen jälkeen Pokaan on tullut muutos, joka edellyttää, että käyttäjät kuittaavat työhöjeen luetuksi. Tämän takia kaikkien työhöjeiden lukemisesta on jouduttu keräämään tieto joko kysymällä, onko työhöjettä luettu, tai tarkistamalla, että työvaiheita on alettu tekemään uuden ohjeistuksen mukaisesti. Pokan analytiikan luotettavuuden voidaan olettaa paranevan taas tulevaisuudessa, kun kuittauksen tekemisestä tulee tutumpaa. Toimintamallin testauksen aikana tieto tämän kuittauksen olemassaolosta ei ollut vielä tullut kaikille asentajille, joten joissain työhöjeissa eivät näy kaikki, jotka niitä ovat käyneet lukemassa. Samaan aikaan joistain työhöjeista oli luettu pääasiassa vain paperista versiota. Vaikka paperisen version luominen onkin osana toimintamallia, pyritään tilanteeseen, jossa työhöjeita luetaan ensisijaisesti Pokan kautta. Näiden ongelmien lisäksi tiedon keräämisessä kärsitään edelleen pienestä otannasta, kun työhöjeita laaditaan vain tarpeeseen, jolloin niiden määrä on vähentynyt. Tässä alaluvussa ei ole laadittu samanlaista tilastoa työhöjeiden käytöstä kuin alaluvussa 6.2.2.1, koska kaikkien näiden ongelmien vuoksi tilasto ei olisi luotettava tai vertailukelpoinen kuvan 18 kanssa.

Valmiin toimintamallin testauksen aikana uusia työohjeita pyydettiin tuotannosta tai suunnittelusta yhteensä kuusi kertaa. Näistä kaksi sisällytettiin osaksi piirustuksia, kolme julkaistiin Pokan kautta ja yksi vain paperisena, koska työohjeita Pokaan hyväksyvä henkilö oli lomalla.

Pienestä otannasta huolimatta työohjeiden käytöstä saatiin hyvät tulokset. Kaikkia työohjeita oli luettu. Lukukertoja ei nähdä kaikissa työohjeissa suoraan Pokasta aikaisemmin mainitun kuittauksen lisäämisen vuoksi, joten tieto näiden työohjeiden lukemisesta täytyi hankkia muilla tavoilla. Voidaan kuitenkin sanoa, että jo pienellä otannalla nähdään toimintamallin muutoksien johtaneen parempiin tuloksiin. Koska työohjeita julkaistiin nyt sähköisesti, paperilla ja piirustuksien yhteydessä, päästiin näkemään käytännössä kunkin julkaisutavan heikkoudet ja vahvuudet. Pokassa olleita työohjeita oli luettu vähiten, koska paperilla ja piirustuksien kautta jaetut työohjeet ovat olleet käytössä kauemmin ja täten tutumpia. Pokassa olleet työohjeet eivät kuitenkaan voineet mennä hukkaan tai repeytyä.

Piirustusten ja paperisen työohjeen kanssa kokeiltiin, miten niiden repeytymistä ja hukkaan menemistä voidaan vähentää. Paperinen työohje annettiin vain nitojalla yhteen liitettyinä papereina, yksistä piirustuksista annettiin kansiossa olevat paperit ja toisesta laminoidut paperit. Paperinen työohje jouduttiin tulostamaan useita kertoja uudestaan repeytymisen ja hukkaan menemisen vuoksi. Kansiossa olleet paperit eivät menneet hukkaan, mutta eivät selvinneet repeytymiseltä. Laminoidut paperit eivät revenneet tai menneet hukkaan. Jos työohjeita ei voida laittaa Pokaan on niiden laminointi tämän perusteella paras ratkaisu. Kansio ei myöskään ole huono ratkaisu, koska se silti estää työohjeita menemästä hukkaan, ja toisin kuin nitojalla yhdistettäessä, kansiossa pystytään korvaamaan yksittäisiä revenneitä sivuja. Tämän testauksen perusteella päätös olla tulostamatta jokaista työohjetta nähdään vielä suositeltavampana kuin aikaisemmin.

Vaikka työohjeiden löytämisessä on edelleen kehitettävää, on tämä ongelma kuitenkin nyt helpottunut huomattavasti. Joitain työohjeita on luettu edelleen hyvin vähän, koska niiden aihe oli sellainen, jota hyvin harva tarvitsee. Alaluvussa 6.3.2 mainitaan, että tarvetta työohjeille voidaan ennustaa katsomalla, mitä muutoksia uusiin

tehomuuntajamalleihin tulee edellisiin verrattuna. Tämän lisäksi voidaan kriteeriksi ottaa nyt tarkastella kokoonpanovaiheita, joiden työohjeita luetaan paljon.

Tiedon kerääminen työohjeiden lukemisesta Pokasta vaatii lisää kehitystä tulevaisuudessa. Kun Pokan käyttöä kehitetään eteenpäin, täytyy miettiä, kuinka työohjeiden lukemisen yhteydessä varmistetaan kuittauksen tekeminen, ja kuinka asentajat saadaan etsimään työohjeita ensisijaisesti Pokasta. Tällöin saadaan aikaan luotettavampia tilastoja, joilla on helpompi mitata työohjeiden laatimiseen tehtävien muutosten vaikutusta tulevaisuudessa.

6.3.6 Yhteenveto valmiista toimintamallista työohjeiden tekemiseen

Testauksen perusteella nähtiin kannattavaksi harkita uutta työohjetta tehtäessä ohjeistuksen sisällyttämistä piirustuksiin. Tämän lisäksi saatiin parempi käsitys siitä, millaisissa tilanteissa työohjeissa kannattaa käyttää valokuvia ja milloin tietokoneavusteisesti luotuja kuvia. Onnistuttiin myös löytämään ratkaisut työohjeiden ristiriitaisuuksiin, työohjeiden hyväksymiseen ja työohjeiden löytämiseen.

Työohjeiden tarvetta tiettyihin työvaiheisiin voidaan jo suunnitteluvaiheessa arvioida. Kun arvioidaan, mihin työvaiheisiin työohjetta tarvitaan, voidaan työvaiheita karsia tarkistelemalla niitä, joihin on tullut edellisiin tehomuuntajamalleihin verrattuna muutoksia, sekä työvaiheita, joihin tehtyjä työohjeita on aikaisempia tehomuuntajamalleja kootessa käytetty paljon.

Työohjeiden laatimisen ja päivittämisen toimintamalleissa isoimmat muutokset alukuun 6.1 verrattuna olivat työohjeiden julkaisumuotoon liittyviä, eli tehdäänkö työohje piirustukseen vai Pokaan. Tämän lisäksi työohjetta ei tulosteta heti valmistumisen jälkeen, vaan tulostamisen tarvetta arvioidaan erikseen joka tilanteessa.

Työohjeiden käytön seurannan perusteella työohjeet löydetään nyt helpommin, mutta tiedon kerääminen niiden käytöstä Pokan kautta ja niiden etsiminen ensisijaisesti Pokan kautta vaativat vielä kehitystä.

Kokonaisuudessaan isoimmat muutokset, mitä työohjeisiin on tämän diplomityöaikana tehty, olivat työohjeiden laatimiskriteerien muuttaminen, kriteerit sille, miten kuvat kannattaa hankkia ja QR-koodien ottaminen käyttöön työohjeiden löytämisen helpottamiseksi. Aluksi yksityiskohtaisia työohjeita laadittiin ennalta määriteltyihin kategorioihin suuri määrä, jota ei pystytty pitämään päivitettyinä. Työohjeiden laatimiseen kuluva aikaa vähennettiin laatimalla vain erikseen pyydettyt työohjeet ja työohjeen tekemisen alussa mietitään, välittykö tieto tehokkaammin Pokan vai piirustusten kautta. Kuvat hankittiin kaikkiin työohjeisiin valokuvaamalla kokoonpanovaihe. Tämä tehdään edelleen uusille työohjeille, joihin tarvitaan paljon kuvia, mutta työohjeita päivittäessä voidaan säästää huomattavasti aikaa tietokoneavusteisesti luoduilla kuvilla. QR-koodien käyttö helpottaa huomattavasti työohjeiden löytämistä Pokasta ja yksinkertaistaa järjestelmän käyttöä tabletilla.

Toimintamallin luomisessa oleellista oli ottaa huomioon, että työohjeita tehdessä pyritään minimoimaan luvussa 4 esitellyt seitsemän hukkaa ja pyritään standardisoimaan niiden laatiminen.

Työohjeiden laatimisen osalta tällä toimintamallilla päästään tässä työssä asetettuihin tavoitteisiin. Työohjeiden käytön osalta ollaan liikkumassa jatkuvasti parempaan suuntaan, mutta niiden osalta on vielä kehitettävää muun muassa Pokan käytön koulutuksen osalta ja työohjeita sisältävien järjestelmien yhdistämisessä. Pokaa kehitetään jatkuvasti ja seuraavassa luvussa esitetyt tulevat ominaisuudet voivat tarjota ratkaisun näihin ongelmiin.

7 Pokan muiden osa-alueiden kehitys ja tulevaisuuden kehitysmahdollisuudet

Työohjeiden lisäksi Hitachi Energyllä on kehitetty myös muiden Pokan ominaisuuksien käyttöä. Yksi tämän diplomityön tavoitteista oli myös kartoittaa tulevaisuuden kehitysmahdollisuuksia tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotannossa. Tässä luvussa pyritään käymään läpi työohjeiden kehittämisen tulevaisuuden kehitysmahdollisuuksien lisäksi myös muiden kehityksessä olevien osa-alueiden kehitysmahdollisuudet. Monet näistä kehitysmahdollisuuksista vaativat myös Pokalta ominaisuuksia, jotka eivät ole vielä valmiita. Hitachi Energy on yksi isommista Pokan asiakkaista, joten täällä hyödylliseksi nähdyt kehitystarpeet päätyvät Pokan kehittäjien tietoon, ja Poka antaa tietoa tulevista ominaisuuksista.

Alaluvussa 5.1 Pokan ominaisuudet jaetaan neljään kategoriaan, jotka ovat kommunikatio, tietojenhallinta, taitojenhallinta ja lomakkeet. Tässä luvussa käsiteltävät kehitysmahdollisuudet sisältävät kuitenkin myös Pokan ulkopuolisia asioita, joten ne on nyt jaettu viiteen alla esitettyyn kategoriaan:

1. Työohjeet
2. Koulutus
3. Lomakkeet
4. Viestintä
5. Muut kehitysmahdollisuudet.

Työohjeisiin ja koulutuksiin liittyviä kehitysmahdollisuuksia käsitellään samassa alaluvussa, koska nämä kaksi kategoriaa riippuvat vahvasti toisistaan. Koulutus voidaan jakaa Pokan käyttöön liittyvään koulutukseen ja Pokan koulutusominaisuuksien käytön kehittämiseen. Lomakkeet sisältävät Pokan lomakeominaisuuksien testauksen ja niihin tulevat ominaisuudet. Viestinnässä kerrotaan tällä hetkellä käytössä olevista

viestintäominaisuuksista ja uusista ominaisuuksista, joita tulevaisuudessa lisätään. Muut kehitysmahdollisuudet sisältävät aiheita, jotka eivät sovi muihin kategorioihin tai eivät liity suoranaisesti Pokaan.

7.1 Työohjeet ja koulutus

Tässä diplomityössä on keskitytty Pokan työohje ominaisuuksien käytön kehittämiseen. Tässä vaiheessa työohjeiden kehittäminen eteenpäin riippuu pääasiassa Pokaan tulevaisuudessa lisättävistä ominaisuuksista ja Pokaan liittyvän ja sen kautta tehtävän koulutuksen kehittämisestä. Tässä alaluvussa käsitellään työohjeiden kehitysmahdollisuudet ja kuinka koulutuksen kehittäminen tulee edistämään työohjeiden käyttöä.

7.1.1 Työohjeiden käyttöä parantavat ominaisuudet

Voidaan nähdä, että työohjeiden käyttöä voidaan tulevaisuudessa kehittää eteenpäin, kun niihin liittyvät Pokan ominaisuudet paranevat. Seuraavaksi esitellään työohjeiden hyväksyntään, tietoturvaan ja tulostamiseen liittyviä ominaisuuksia ja mahdollisuuksia kehittää järjestelmää työohjeiden parempaan laatimiseen jo suunnitteluvaiheessa.

Työohjeiden hyväksyntään tullaan saamaan ominaisuus, jolla eri kokoonpanovaiheisiin tuleville työohjeille voidaan asettaa eri henkilö hyväksyjäksi. Tällöin kaikki työohjeet eivät mene yhden henkilön hyväksyttäväksi, vaan ne menevät henkilölle, jolla on tarkka tieto työohjetta koskevasta aiheesta.

Alaluvussa 6.2.2.3 mainitaan, että piirustuksia ei voida lisätä Pokaan, koska kaikilla firman Pokaa käyttävillä tehtailla on pääsy toistensa työohjeisiin. Työohjeiden näkyvyyden rajoittamiseksi on tulossa ominaisuus, jossa työohjeita voidaan piilottaa tehtaan ulkopuolisilta käyttäjiltä. Tämä ei ainakaan toistaiseksi muuta päätöstä siitä, ettei piirustuksia laiteta Pokaan, mutta työohjeiden osalta voidaan silti olla vähemmän tarkkoja siitä mitä tietoa niihin laitetaan. Alaluvussa 5.2.4 on mainittu, että paperiset työohjeet voitaisiin

lisätä Pokaan. Tätä ei kuitenkaan toteutettu toimintamallia tehdessä, koska suurin osa käytetyistä paperisista työohjeista oli osana piirustuksia eikä niitä täten voitu siirtää Pokaan.

Päätös laatia työohjeista pdf-versio tuli osittain siitä, että Pokan automaattisesti luomat pdf-versiot olivat hyvin huonolaatuisia ja työohjeista pitää laatia erillinen versio tulostusta varten. Tähän on toivottu myös muilta Pokan asiakkailta parannuksia, mutta ainaakaan toistaiseksi tähän ominaisuuteen ei ole luvattu parannuksia. Kysynnän vuoksi tämän voidaan kuitenkin olettaa tulevan kehityksen alle tulevaisuudessa.

Alaluvussa 6.2.2.2 mainitaan ongelmista työohjeiden löytämisestä myös sähköisessä muodossa, koska työohjeiden hallinnointiin on käytössä monia eri järjestelmiä omilla vahvuuksilla ja heikkouksillaan. Pokan käytön kasvaessa sinne työohjeita laativien henkilöiden määrän voidaan ennustaa kasvavan. Tällöin pitää laatia tarkemmat säännöt siitä mitä työohjeita laaditaan ja päivitetään mihinkin järjestelmään, jotta kaikki tietävät mistä mitäkin työohjetta pitää etsiä. Tämän lisäksi piirustusten ja työohjeiden antamaan ohjeistusta voidaan yhdistää laittamalla eri komponentteja koskevien työohjeiden QR-koodit komponenttien piirustuksiin.

Alaluvussa 6.3.2 mainitaan, että ihanteellisesti kaikki työohjeen vaativat työvaiheet löydetään jo suunnittelun aikana. Jonkinlaisen toimintamallin luominen näiden työvaiheiden löytämiselle ei tarvitse uusia ominaisuuksia Pokaan, mutta se tulee olemaan hyvin pitkä prosessi, koska tarve uusille työohjeille huomataan joskus vasta prototyyppivaiheen jälkeen, kun sarjatuotanto on jo aloitettu. Tämän takia tiedon kerääminen siitä, löydettiinkö kaikki työohjetta vaatineet työvaiheet tulee viemään hyvin paljon aikaa. Alaluvuissa 6.3.2 ja 6.3.5 mainitaan myös, että tarvittavia työohjeita voidaan suunnitteluvaiheessa ennustaa tarkastelemalla työvaiheita, joita ei ole aikaisemmin tehty tai joihin tehtyjä työohjeita on aikaisempia tehomuuntajamalleja tehdessä luettu paljon. Toimintamallin luominen tarvittavien työohjeiden ennustamiselle on siis jo alkanut, mutta tämä prosessi on niin pitkä, ettei sitä saada kokonaisuudessaan osaksi tätä diplomityötä.

Kun työohjeita aletaan tekemään entistä enemmän digitaalisessa muodossa, saadaan parempi käsitys siitä, miten erilaisia visuaalisia esitystapoja käyttöä voidaan parhaiten hyödyntää. Näitä esitystapoja on kolmenlaisia:

1. Valokuvat
2. Tietokoneavusteisesti luodut kuvat
3. Videot ja animaatiot.

Tässä työssä puhutaan paljon kuvien ottamisesta ja luomisesta, koska se on työohjeen tekemisessä eniten aikaa vievä vaihe. Valokuvien ja tietokoneavusteisesti luotujen kuvien käyttöä on tässä työssä käsitelty jo paljon, mutta niiden käyttöä tullaan silti tulevaisuudessa kehittämään pidemmälle. Videoiden ja animaation käyttöä on joissain työohjeissa kokeiltu, mutta lisää testausta tarvitaan, jotta saadaan selville parhaat tavat käyttää niitä. Erityisesti tavat videoiden kuvaamiseen ja muokkaamiseen ovat asiat, joita pitää tulevaisuudessa selvittää.

7.1.2 Työohjeiden käytön parantaminen koulutusta parantamalla

Alaluvussa 6.2.2 mainitaan, että Pokasta ei etsitä työohjeita niin paljon kuin haluttaisiin, koska niiden olemassaolosta siellä ei tiedetä. Vaikka tilanne onkin parantunut, tilannetta voidaan silti parantaa koulutuksella. Pokaan liittyvä koulutus voidaan jakaa Pokan käyttöä koskevaan koulutukseen ja Pokan koulutusominaisuuksilla tehtävään koulutukseen.

Työohjeiden kannalta Pokan käyttöön liittyvä koulutus tulee hyvin todennäköisesti parantamaan työohjeiden löytämiseen liittyviä ongelmia. Pokan työohjeominaisuuksien koulutuksella saadaan kerrottua, mistä työohjeita tulee etsiä ja mihin tallentaa. Työohjeiden määrän kasvaminen Pokassa ja niiden lukeminen sen kautta parantaa työohjeiden käytön seurantaan Pokan analytiikan avulla. Pokan käytöstä on pidetty jo koulutuksia, mutta kun sen käyttöä kehitetään pidemmälle, löydetään uusia mahdollisuuksia hyödyntää sen ominaisuuksia ja koulutuksia täytyy päivittää tämän kehityksen mukana.

Alaluvussa 4.2 kerrotaan taitojen standardisoinnista. Tätä standardisointia voidaan edistää Pokassa olevilla työkaluilla. Pokassa on taitoihin liittyen taulukko, josta voidaan nähdä, mitä taitoja eri työntekijöillä on. Tällä hetkellä taitoja seurataan Pokan ulkoisella järjestelmällä, mutta sen siirtäminen osaksi Pokaa voisi olla hyödyllistä, koska se voidaan mahdollisesti yhdistää Pokan kautta tehtäviin koulutuksiin ja tällä järjestelmällä pystyttäisiin vertailemaan osaamista tehtaan sisäisesti ja Hitachi Energyn muiden tehtaiden välillä, joissa Poka on käytössä. (M. Rantavuori, henkilökohtainen keskustelu, 16.8.2022)

Parempi koulutus parantaa työohjeiden käyttöä ja taitojen standardisointia, mutta työohjeet voivat myös auttaa koulutuksessa. Kuten tässä diplomityössä on todettu, Pokassa on paljon työohjeita, joita ei käytetä. Näiden työohjeiden sisältöä voidaan mahdollisesti käyttää osana koulutusmateriaalia.

7.2 Lomakkeet Pokassa

Koulutuksen ja työohjeiden lisäksi kaksi isointa kehityksessä ollutta Pokan ominaisuutta olivat lomakkeet ja viestintä. Näistä ominaisuuksista on tässä diplomityössä puhuttu hyvin vähän, koska en ole ollut henkilökohtaisesti mukana niiden käytön kehittämisessä. Näistä ominaisuuksista esitellään ensin lyhyesti lomakkeet.

Pokassa on mahdollisuus luoda lomakkeita, joita voidaan tuotannossa täyttää tabletilla. Paperin määrää saadaan vähennettyä ja tietojen hallintaa parannettua, kun usein täytettävät lomakkeet siirretään sähköiseksi.

Lomakkeiden käyttöä oli testattu tekemällä sähköinen vuoronvaihtolomake. Tällä lomakkeella asentajat kertovat vuoronsa loppuessa seuraavalle vuorolle, mihin vaiheeseen tehomuuntajan kokoaminen oli jäänyt ja mitä huomionarvoisia asioita heidän vuoronsa aikana havaittiin. Tämä kokeilu on kuitenkin keskeytetty, kunnes Pokan lomakeominaisuuksia päivitetään. (M. Rantavuori, henkilökohtainen keskustelu, 16.8.2022)

Lomakkeisiin tulevat uudet ominaisuudet liittyvät niistä tuleviin ilmoituksiin. Tulevaisuudessa lomakkeisiin voidaan asettaa ehdot, joilla tietyille käyttäjille lähetetään ilmoitus lomakkeeseen liittyen. Nämä ehdot voivat olla lomakkeen täyttämättä jättäminen tiettyyn aikaan mennessä tai lomakkeen sisältöön liittyvät ilmoitukset. Esimerkiksi työturvallisuutta koskevat lomakkeet joudutaan täyttämään tietyn ajan välein, mutta niiden täyttämistä ei tarvitse tulla erillistä ilmoitusta, jos mahdollisia vaaratilanteita ei ole havaittu. (M. Rantavuori, henkilökohtainen keskustelu, 16.8.2022)

7.3 Viestintä Pokassa

Pokan viestintäominaisuuksien käytön kehittäminen sisältää käyttäjien välisen viestinnän lisäksi sähköisten järjestelmien välistä viestintää ja tietojen dokumentointia. Dokumentoinnin osalta tämä kategoria sivuaa hieman lomakkeita. Viestinnän käytön kehittäminen on nähty hyvin onnistuneena johtuen Pokan avunpyyntö ominaisuudesta.

Yksi Pokan käytetyimmistä ominaisuuksista tällä hetkellä on avunpyyntöjen lähettäminen. Tällä ominaisuudella tuotannossa tapahtuvista ongelmista saadaan lähetettyä tabletilla tieto eteenpäin, jolloin ongelmista saadaan viestittyä nopeammin, ja ne dokumentoidaan paremmin. Tämän ominaisuuden suuresta käyttömäärästä huolimatta sitä pyritään edelleen kehittämään eteenpäin, mutta uusista ominaisuuksista ei ole tällä hetkellä tarkempaa tietoa.

Tuotannon sisäistä viestintää pyritään kehittämään lisäämällä Pokaan keskusteluryhmät, joissa käyttäjät voivat laittaa toisilleen viestejä. Tällöin tietoturvaa saadaan parannettua, kun työasioista ei aleta puhumaan henkilökohtaisilla puhelimilla. Tämä ominaisuus on kuitenkin toistaiseksi poistettu käytöstä, kun sen ominaisuuksia vielä parannellaan. (M. Rantavuori, henkilökohtainen keskustelu, 16.8.2022)

Tällä hetkellä työturvallisuushavainnoille on olemassa oma sähköinen järjestelmänsä, johon turvallisuushavainnot kerätään. Tämä järjestelmä voidaan mahdollisesti siirtää osaksi Pokaa, mutta päätöstä tästä ei ole vielä tehty. Selvityksen alla on myös

mahdollisuudet muiden sähköisten järjestelmien ja Pokan välinen kommunikointi; esimerkiksi tietojen automaattinen hakeminen SAP-järjestelmästä. (M. Rantavuori, henkilökohtainen keskustelu, 16.8.2022)

7.4 Muita kehitysmahdollisuuksia

Tähän kategoriaa on kerätty kehityskohteet, jotka eivät sovi muihin kategorioihin tai niiden kehittämistä ei nähdä tällä hetkellä tarpeelliseksi. Nämä kehityskohteet ovat 3D-mallit tuotantolinjoista, tablettien hallinnointijärjestelmän kehittäminen ja standardisoitu suunnittelu

Pokaan on mahdollisuus laittaa tuotantolinjoista 3D-mallit, mutta tätä ominaisuutta ei ole otettu käyttöön eikä sen käyttöönottoa nähdä tarpeelliseksi tällä hetkellä. (M. Rantavuori, henkilökohtainen keskustelu, 16.8.2022)

Tuotannossa käytettävien tablettien seurantaan käytettävä järjestelmä pystyy tällä hetkellä hallinnoimaan vain kymmentä tablettia (M. Rantavuori, henkilökohtainen keskustelu, 16.8.2022). Tabletteja on kuitenkin käytössä enemmän kuin kymmenen, joten niiden hallinointiin joudutaan käyttämään useampaa tunnusta. Tulevaisuudessa olisi hyvä löytää keino hallinnoida kaikkia tabletteja yhdellä tunnuksella.

Alaluvussa 4.2 mainitaan standardisoinnusta suunnittelusta. Vaikka muutosten tekeminen tehomuuntajien suunnitteluun ei ollut tämän diplomityön aihe, standardisoidun suunnittelun periaatteita käytettiin silti työohjeiden laatimisen toimintamallin luomiseen. Standardisoidun suunnittelun soveltaminen tehomuuntajien suunnittelussa on kuitenkin asia, jota saatetaan haluta tulevaisuudessa testata.

7.5 Yhteenveto Pokan käytön kehityksestä

Taulukossa 2 on esitelty Pokan ominaisuuksien käytön kehitys ja kehitysmahdollisuudet. Alaluvussa 7.4 esitellyt kehitysmahdollisuudet on jätetty tästä taulukosta pois, koska

niistä vain tablettien hallinnointia ollaan kehittämässä eikä niissä ole täten tapahtunut mitään kehitystä.

Taulukko 2. Pokan ominaisuuksien käytön kehitys ja tulevaisuudenmahdollisuudet.

	Tilanne ennen Pokaa	Tapahtunut kehitys	Kehitysmahdollisuudet
Työohjeet	Valokuvalliset työohjeet laadittiin jokaiselle kokoonpanovaiheelle	Vain erikseen pyydetty työohjeet laaditaan päätämällä samalla tehokain tapa hankkia kuvat	Luodaan toimintamalli, jolla tarvittavat työohjeet saadaan tehtyä jo suunnitteluvaiheessa
Koulutus	Taitojen seuranta Pokan ulkopuolisella järjestelmällä	Pokan käytöstä pidetty koulutuksia	Taitojen seuranta Pokassa olevilla järjestelmillä. Koulutusten kehittämisen pidemmälle. Pokan oman koulutusjärjestelmän käyttö
Lomakkeet	Täytetään paperiset lomakkeet	Vuorovaihtolomakkeen testaaminen	Lisätään lomakkeisiin ehdot, joiden täytyessä niistä lähtee automaattinen ilmoitus eteenpäin
Viestintä	Tuotannon eri ongelmiin piti käydä etsimässä henkilö, jonka vastuulla kyseisen ongelman korjaaminen oli	Avunpyynnöillä ongelmista pystytään viestimään niistä vastuussa olevalle henkilölle nopeammin	Tuotannon sisäisen viestinnän kehittäminen

Työohjeissa on tämän diplomityön aikana tapahtunut eniten kehitystä työohjeiden laatimiseen liittyen. Diplomityön alussa olleeseen tilanteeseen verrattuna työohjeita tehdään nyt vähemmän, mutta ne koetaan tarpeellisemmiksi ja niiden valmistuminen pysyy paremmin aikataulussa. Laatimisen osalta tulevaisuudessa tulisi luoda toimintamalli, jolla saadaan jo suunnitteluvaiheessa selville tarvittavat työohjeet.

Koulutusten osalta nähdään, että Pokan käytöstä tullaan pitämään enemmän koulutuksia ja Pokan kautta tullaan pitämään koulutuksia. Taitojen seuranta tulee myös

siirtymään Pokaan, jolloin se voidaan yhdistää näihin koulutuksiin. Paremmat koulutukset Pokan käytöstä tulevat todennäköisesti lisäämään työohjeiden käyttöä Pokan kautta, jolloin työohjeiden käytön seuranta tulee helpommaksi ja paperisten työohjeiden tarve vähenee.

Lomakkeiden testauksen perusteella niihin tarvitaan vielä lisää ominaisuuksia. Tulevaisuudessa lomakkeilla saadaan tehostettua dokumentointia ja tietojen kulkemista, kun lomakkeiden sisällön perusteella voidaan lähettää mahdollisista ongelmista tietoa eteenpäin automaattisesti.

Viestinnän käyttö on tähän mennessä pisimmälle kehittynyt kategoria avunpyyntöominaisuuden ansiosta. Viestintään liittyen pyritään tämän lisäksi saamaan tulevaisuudessa kehitettyä myös tuotannon sisäinen viestintäjärjestelmä.

Tulevaisuudessa Pokaan tullaan julkaisemaan uusia ominaisuuksia ja vanhoja kehitetään eteenpäin, jolloin sen käytöstä tulee entistä kannattavampaa. Samaan aikaan olemassa olevien ominaisuuksien käyttöä täytyy testata enemmän, jotta löydetään parhaat tavat hyödyntää niitä. Pokan voidaan nähdä tarjoavan suuri hyöty tehomuuntajien sarjatuo-
tannossa, ja kaikkien näiden ominaisuuksien käyttöä tullaan todennäköisesti kehittämänä vielä vuosia.

8 Johtopäätökset

Diplomityön tavoitteena oli parantaa Pokaan laadittujen työohjeiden laatua ja aikataulun mukaan valmistumista. Tämän lisäksi pyrittiin selvittämään laajemmin Pokaan ja tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotannon kehitykseen liittyviä kehitysmahdollisuuksia.

Tätä työtä aloittaessa pyrittiin luomaan kaikista työvaiheista paljon valokuvia sisältävät yksityiskohtaiset työohjeet. Tämä ei kuitenkaan ollut kannattavaa, koska työohjeita ei ehditty kaikkia laatia aikataulun mukaisesti, niitä ei pystytty päivittämään tarpeeksi nopeasti kokoonpanotapojen kehittyessä ja Pokan uutuuden takia työohjeita ei etsitty sen kautta.

Diplomityön aikana pyrittiin leanin ja standardisoidun työskentelyn periaatteiden perusteella kehitellä toimintamalli, jolla työohjeiden aikataulu- ja laatutavoitteet saavutetaan. Työohjeiden laatimiseen tuli paljon muutoksia, mutta laadun ja aikataulun kannalta kolme oleellisinta muutosta olivat:

1. Muutokset työohjeen laatimisen kriteereihin
2. Muutokset kuvien hankintaan
3. QR-koodien käyttö työohjeiden löytämisen helpottamiseksi.

Työohjeita ei enää laadita jokaiselle työvaiheelle, vaan ne laaditaan, kun suunnittelu tai tuotanto näkee ohjeistuksen tarpeelliseksi. Samalla harkitaan, onko Pokassa pidettävä työohje paras tapa välittää tarvittu tieto, vai onko ohjeistuksen lisääminen osaksi piirustuksia suositeltavampaa. Tulevaisuudessa tätä pyritään kehittämään niin, että pystytään suunnitteluvaiheessa tunnistamaan ohjeistusta vaativat työvaiheet tehokkaammin ja luomaan työohjeet jo ennen prototyypin kokoamista.

Kuvien hankinta on työohjeiden laatimisessa eniten aikaa vievä vaihe. Työn alussa kaikista työvaiheista käytiin ottamassa valokuvat. Uusien työohjeiden kohdalla tämä ei ole juurikaan muuttunut, mutta työohjeiden päivittämistä on voitu nopeuttaa tietokoneavusteisesti luoduilla kuvilla. Uusien työohjeiden kohdalla valokuvien saaminen on

kuitenkin myös nopeutunut. Valokuvaaminen on helpompi järjestää, kun kuvia ei pidä ottaa enää jokaisesta työvaiheesta, joka oli haasteellista suunnittelun ja tuotannon eroavista työajoista johtuen. Erilaisten esitystapojen käyttäminen työohjeissa selvästi parantaa niiden laatua, joten tulevaisuudessa erilaisten videoiden ja animaatioiden käyttö työohjeissa nähdään hyvänä mahdollisuutena työohjeiden laadun parantamiseen.

Jokaiselle Pokassa olevalle työohjeelle pystytään luomaan QR-koodi, jolla tämä ohje saadaan tabletilla auki. Työohjeiden löytämisen helpottamiseksi ja Pokan käyttöasteen kasvattamiseksi tuotannon tietokoneelle lisättiin linkki verkkolevyllä olevaan kansioon, jossa työohjeiden QR-koodeja pidetään. Yksi tulevaisuuden kehitysmahdollisuuksista on yhdistää järjestelmiä, joilla työohjeita hallinnoidaan. Piirustusten ja työohjeiden välisen tiedon yhdistäminen voisi toimia lisäämällä eri komponenttien piirustuksiin niitä koskevien työohjeiden QR-koodit.

Pokassa on vielä paljon kehitettävää työohjeisiin, koulutukseen, lomakkeisiin ja viestintään liittyvissä ominaisuuksissa. Kehitys koskee ominaisuuksien kehitystä Pokan puolelta, mutta myös olemassa olevien ominaisuuksien käytön kehittämistä Hitachi Energyn puolella. Tämä kehitys tulee kestäväksi vielä useita vuosia. Voidaan kuitenkin nähdä, että Pokan eri ominaisuuksista tulee olemaan merkittävä hyöty tuuliturbiinimuuntajien sarjatuotannolle.

Lähteet

- Diamond industrial Ltd (2014). *How An Alternator Wind Generator Works*. Noudettu 31.3.2022 osoitteesta: http://www.windpoweralternators.co.uk/Alternator_Wind_Generator.php
- Dumler, A. (2021). *General Production Standard for WindSTAR Transformers*. Noudettu 18.11.2021 osoitteesta: library.abb.com [Rajattu pääsy].
- Evwind (2019). *Top 15 wind turbine suppliers globally in 2019*. Noudettu 31.3.2022 osoitteesta: <https://www.evwind.es/2020/05/27/22893-wind-turbines-were-installed-globally-in-2019-produced-from-33-suppliers-and-accounting-for-over-63-gw-of-wind-power-capacity/74890>
- Hitachi Energy (2021). *WindSTAR™ transformers*. Noudettu 31.3.2022 osoitteesta: <https://www.hitachienergy.com/offering/product-and-system/transformers/special-application-transformers/windstar-transformers>
- IRENA (2020) *Data and Statistics*. Tilasto. <https://www.irena.org/Statistics>. Viitattu 9.11.2021.
- Kallio Kai (2019). *Tuotantoprosessin kehittäminen, Case: Vakiomuuntajat*. [Lopputyö, Liiketalous, Vaasan ammattikorkeakoulu]. Finna. <https://www.finna.fi/Record/tria.365885> [Rajattu pääsy]
- Liker, J.K & Morgan, J.M (2006). *The Toyota Product Development System Integrating People, Process, and Technology*. Productivity Press. ISBN: 1-56327-282-2
- Muuntajatekniikan perusteet (2007). koulutusmateriaali. Noudettu 18.11.2021 osoitteesta: <https://hitachipowergrids.sharepoint.com> [Rajattu pääsy].
- Poka (7.12.2021). *Poka's Information Structure and Features*. Käyttöohje. Noudettu 24.1.2021 osoitteesta <https://poka.zendesk.com/hc/en-us/articles/360060731491-Poka-s-Information-Structure-and-Features-> [Rajattu pääsy].
- Wang, J.X. (2011). *Lean Manufacturing*. Hoboken CRC Press. ISBN: 1-4200-8602-2. S 2–3
- Ørsted (2021). *Hornsea Two*. Tiedote. Noudettu 11.1.2022 osoitteesta: <https://hornseaprojects.co.uk/hornsea-project-two>