

Veera Moilanen

AOI-laitteen tuotannollisen käytön suunnittelu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Kevät 2019



**KAMK • University
of Applied Sciences**

Tiivistelmä

Tekijä(t): Moilanen Veera

Työn nimi: AOI-laitteen tuotannollisen käytön suunnittelu

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), konetekniikka

Asiasanat: AOI, optinen tarkastus, elektroniikkatuotanto, laadunhallinta, laadunvalvonta, prosessinhallinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä piirikorttien optisen tarkastuslaitteen (AOI) käyttöönoton suunnitteluun toimeksiantajan, Genelec Oy:n elektroniikkatuotannossa. Lisäksi työssä tutkittiin laitteen tuomia muutoksia ja hyötyjä tuotantoprosessiin. Työn taustalla oli ajatus elektroniikkatuotantoprosessin jatkuvasta kehittämisestä ja laadun parantamisesta. Tarkastuslaitteen hyötyjen tutkiminen alkoi kartoittamalla elektroniikkatuotannon nykytilanne ja perehtymällä niihin valmistusprosessin vaiheisiin, joihin laitteen käyttöönotto vaikuttaa eniten.

Tarkastuslaite ajateltiin sijoittaa pintaliitos- ja käsinladontaprosessin väliin, jolloin sillä päästään valvomaan pintaliitosprosessin laatua. Käyttöönoton jälkeen virheellisiksi havaitut piirikortit korjataan ennen käsinladonnan työvaihetta, mikä vähentää pintaliitosviollisten piirikorttien määrää käsinladonnassa ja parantaa sähköisen testauksen saantoa prosessin lopussa. Tarkastuslaitteen antamien tietojen avulla päästään valvomaan ja hallitsemaan elektroniikkatuotantoprosessin laatua tarkemmin. Lisäksi prosessissa tapahtuneiden virheiden jäljitettävyys parantuu, kun tarkastuslaite tallentaa tiedot ja kuvat piirikorteista.

Pilottivaiheessa suoritettiin kolme tutkimusta, joiden tuloksista pystyttiin näkemään konkreettisia vaikutuksia tuotantoprosessiin. Tulokset vahvistivat oletukset siitä, että laite nopeuttaa piirikorttien korjausprosessia ja vähentää virheiden lukumäärää sähköisessä testauksessa. Vaikka tarkastuslaite tuo yhden työvaiheen lisää prosessiin, piirikorttien valmistusaika lyhenee merkittävästi.

Käyttöönoton suunnittelulla pyrittiin nostamaan esille pilottivaiheessa tehdyt havainnot ja näin edesauttamaan konkreettisen käyttöönoton sujuvaa toteutumista. Työn kirjoittaminen valitusta aiheesta vaati kokonaisvaltaista prosessinhallintaa sekä laadun ymmärtämistä.

Abstract

Author(s): Moilanen Veera

Title of the Publication: Introducing Automated Optical Inspection to Standard Production Process

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: AOI, optical inspection, PCB production, quality management, quality control, process management

The main theme of this thesis was the improvement of the production process and quality at Genelec. The task involved the implementation of an automated optical inspection (AOI) of printed circuit boards (PCB) for the client's production process. The theory of developing processes, quality in industry and the characteristics of various inspection methods were examined.

The development of the client's production process began by charting the current situation of electronics production and examining the importance of its quality. Following this it was easier to understand the overall picture, and the benefits of automated optical inspection and what can be achieved when utilizing it.

The purpose of the thesis was to emphasize the observations made during the pilot phase and thus contribute to the concrete plan of productive use. During the pilot phase, the speed and detection capability of the AOI device were investigated to demonstrate its real benefit. The inspection adds one step to the process and, therefore, the production time of the approved circuit board is extended. The benefit of the device was apparent in the repair time of the defective PCB. Because the device shows the defects clearly and the repair time, therefore, does not cost the search for the fault.

With devices inspection data, it is possible for the client to see the disadvantages of the process. At the beginning of productive use, the device improves the yield of electronic testing, but later the quality of the whole process can be improved by eliminating root causes.

Writing this thesis required a comprehensive process management and understanding of quality. Also, the electronics manufacturing process knowledge was helpful.

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta.....	1
1.2	Kehitystyön tavoitteet.....	2
2	Tuotantoprosessin kehittäminen	3
2.1	Yleiset haasteet	4
2.2	Tuotannon nykytilanne	5
2.2.1	Nykyisen elektroniikkatuotantoprosessin kuvaus	6
2.2.2	Elektroniikkatuotannon laatu	7
2.2.3	Virheiden havaitseminen ja korjaaminen	9
2.2.4	Laatukustannukset.....	10
3	Laadun kehittäminen.....	12
3.1	Laadunhallinta	13
3.2	Tilastollinen prosessinohjaus (SPC)	13
3.3	Laadun parantamisen sykli.....	14
3.4	Optiset tarkastusmenetelmät	16
3.4.1	Ihmisen suorittama tarkastus	16
3.4.2	AOI-laite	17
3.4.3	Juotospastan tarkastuslaite	18
3.5	AOI-laite laadunhallinnan työkaluna.....	19
4	AOI-laitteen käyttöönotto	20
4.1	Pilottivaiheen evaluointi.....	20
4.2	AOI-laitteen sijoittaminen tuotantoon.....	23
4.3	Työntekijöiden perehdytys.....	24
5	Piirikorttien jäljitettävyyden kehittäminen	26
5.1	Toimintamalli ilman sarjanumerotunnistetta	26
5.2	Sarjanumerotunnisteen merkintä	27
6	AOI-laitteen vaikutukset	29
6.1	Virheiden havaitsemisaika	29
6.2	Virheiden havaitsemiskyky.....	31
6.3	Vaikutukset valmistusaikaan	32

7	Pohdinta	35
8	Yhteenveto	37
	Lähteet	38
	Liitteet	

Käsitteet

AOI	Automated Optical Inspection, automaattinen optinen tarkastuslaite
PASTA	Juotosaine, jota levitetään pastakoneella piirilevyille
SMD/SMT	Surface-Mount Device/Technology, pintaliitosladonta
SPC	Statistical Process Control, tilastollinen prosessinohjaus
SPI	Soldering Paste Inspection, juotospastan tarkastus
STENSIILI	Ohut pelti, jonka reikien läpi juotospasta painetaan piirilevyn kuparipinnoille
TELESENTRINEN LINSSI	Linssi, jonka optiikka ei vääristä kuvaa reunoilta
THT	Through Hole Technology, käsinladonta

1 Johdanto

Jatkuva kehittäminen vaatii yritykseltä rohkeutta epäillä omia toimintatapoja. Erilaisten mittareiden ja analyysien avulla havaitaan prosessien heikoimmat kohdat, ja ongelmakohtiin pyritään löytämään ratkaisuja. Prosessia parantavilla toimenpiteillä voidaan pyrkiä esimerkiksi kustannustehokkuuteen, nopeampaan valmistusaikaan, parempaan laatuun tai työergonomiaan. Tekniikan kehittyessä ja automaation yleistyessä myös valmistusprosessien ylläpitäminen nykyaikaisina on tärkeää.

1.1 Työn tausta

Työssä perehdytään elektroniikkatuotannon laadun parantamiseen automaattisen tarkastuslaitteen avulla. Laite ei korvaa ihmisen suorittamaa työtä, sillä nykyisessä prosessissa ei tehdä optista tarkastusta juotosuunin jälkeen. Tarkastuslaitteen myötä täytyy suunnitella elektroniikkatuotannon uusi materiaalivirta sekä mahdollisimman pitkälle viety automaatio, jotta laitteen käyttö ei tuota lisätyötä pintaliitosladonnasta vastaavalle operaattorille. SMD- eli pintaliitosladontalinjan automaatiotasoa nostetaan tarkastuslaitteen lisäksi mahdollisesti myös uusilla kuljettimilla sekä lajitteluyksiköllä, joka erottelee hyväksytyt ja korjattavat piirilevyt eri paikkoihin.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii iisalmelainen aktiivikaiutinvalmistaja Genelec Oy. Yritys suunnittelee ja valmistaa itse tuotteisiinsa tulevan elektroniikan ja haluaisi nyt lähteä parantamaan pintaliitosladontaprosessin laatua. Prosessin kehittämiseksi on tutkittu automaattisen optisen tarkastuslaitteen mahdollisuutta osana elektroniikan valmistusprosessia. Tarkastuslaitteen takaisinmaksua ja käyttökelpoisuutta on jo ennestään analysoitu, mutta käytännön tason toteutus ja tuotantoon sulauttaminen on suunnittelemaa. Yrityksellä on ollut kahden eri valmistajan AOI-laitetta koekäytössä, ja optinen tarkastuslaite on havaittu toimivaksi ja hyödylliseksi omaan tuotantoon. Koekäyttöön valitut laitteet ovat olleet realistisia vaihtoehtoja investoitaviksi, joten laitteiden toimivuudesta on suoritettu vertailua myös keskenään.

Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää laatutyökalun implementointiin liittyvät käytännön asiat ja perehtyä tuotantoprosessin toiminnan muutoksien vaikutuksiin. Lisäksi uuden laitteen tuotantoon sijoittamisesta halutaan perusteltuja ratkaisumalleja, joita voitaisiin lähteä toteuttamaan sitten, kun laite on ajankohtaista saada tuotantokäyttöön.

Työssä perehdytään siihen, kuinka tarkastuslaitteen ominaisuuksista saataisiin suurin hyöty irti ja tämä kysymys herättää miettimään piirilevyjen identifiointia koneladonnan työvaiheessa. Sarjanumerotunniste olisi yksi tuotteen paremman jäljitettävyyden avain, sillä tarkastuslaitteen on mahdollista tallentaa kaikki tieto luettavan sarjanumeron taakse.

1.2 Kehitystyön tavoitteet

Kehitystyön tavoitteena on päästä kehittämään pintaliitosprosessin tuottamaa laatua. AOI-laitteen implementoinnin avulla pyritään löytämään syyt, miksi virheitä tapahtuu ja millaisilla muutoksilla näitä virheitä pystyttäisiin ehkäisemään. Tavoitetilassa viallisia kortteja ei pääsisi tuotantoon AOI-laitteen käyttöönoton jälkeen. Tällöin AOI-laitteen voidaan todeta toimivan odotusten mukaan. Myös laitteen antamat väärät hälytykset on pyrittävä minimoimaan, jotta niiden kuittaamiseen ei kulu liikaa työaika. Tästä syystä tuotannollisen käytön alkuvaiheessa operaattori toimii aktiivisesti laitteen parissa.

Viallisten korttien määrän vähenemisen odotetaan näkyvän tuotannon laatumittarissa, joka ilmoittaa käsinladonnan jälkeisen sähköisen testauksen saannon eli läpimenoprosentin. Pidemmällä tähtäimellä laiteinvestointi näkyy kustannusten alenemisena, hävikin vähenemisenä ja elektroniikkaladun parantumisenä. Tarkastuslaitteen vaikutuksen pitäisi näkyä myös tuotannon tehokkuudessa, sillä laite nopeuttaa korjausaikaa. AOI-laitteen käyttö tuotannossa ei saa muodostua kapeikoksi, mutta ainakin testikäytössä olleet tarkastuslaitteet on havaittu nopeammiksi kuin pintaliitosladonnan hitain työvaihe.

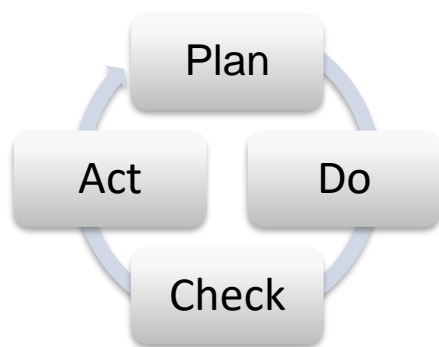
Opinnäytetyön ohella tehdyllä selvitystyöllä tavoitellaan mahdollisimman optimaalista ja tuotantotehokasta ratkaisua, jotta laitteen ominaisuudet saataisiin nopeasti käyttöön. Vaikka elektroniikkatuotannon nykyiset tilat ovat rajalliset, selvitystyöllä pyritään kartoittamaan sellaiset ratkaisut, joita on helppo kehittää jatkossa eteenpäin.

2 Tuotantoprosessin kehittäminen

Teollisuudessa tuotannon jatkuvalla kehittämisellä pysytään sekä kilpailukykyisenä asiakkaille että mielekkäänä työpaikkana työntekijöille. Prosessin kustannustehokkuutta ja tuottavuutta valvotaan ja mitataan erilaisilla työkaluilla, kuten esimerkiksi tuotannon mittareilla. Kerätystä tiedosta nähdään kyseisen prosessin heikot kohdat, ja voidaan keskitetysti lähteä kehittämään kyseistä osa-aluetta. Prosessin kehityskohteita voivat olla tiedonvälitys, tehokkuus, materiaalivirta sekä kustannukset ja rahavirta.

Kehittämisvaiheessa sen hetkistä tuotantoprosessia tulee tutkia kriittisesti ja kyseenalaistaen nykyisiä käytänteitä ja toimintatapoja. Prosessiin pyritään löytämään ongelmaan sopiva ratkaisu havainnoinnin ja kokeiluiden kautta. Kehittämismenetelmät voivat olla radikaaleja, kuten oman tuotannon vaihtaminen alihankintayritykseen, mutta kehitystyö voi myös tapahtua investointien ja henkilöstön kouluttamisen muodossa.

Jatkuva kehittäminen vaatii neljä yksinkertaista toimintoa: suunnittelu (plan), toteutus (do), tarkastus (check) ja vakautus (act). Kuvassa 1 on esitetty kyseinen jatkumo, jota kutsutaan yleisesti PDCA-kehäksi. [1.]



Kuva 1. Jatkuva kehittäminen vaatii keskeytymätöntä oman toimintatavan kritisointia. [1.]

Toimiva ja hyvin suunniteltu tuotantoprosessi toimii joustavasti, kustannustehokkaasti, toimintoja keskittäen, minimaalisella hukkatyöllä ja annettujen resurssien puitteissa. Kehittämiskohteita löytyy aina, joten on tärkeä löytää ne kriittisimmät epäkohdat prosessista, jotta niiden kehittäminen olisi koko tuotannon kannalta merkityksellistä.

Kehittämismenetelmää valitessa on otettava huomioon yrityksen käytössä olevat resurssit, innovatiivisuus, lähtökohdat ja kannattavuus. Valinnassa on huomioitava menetelmän elinikä ja

kehittämistyön antama lisäarvo. Kehittämismenetelmää ei valita sen mukaan, mikä oli viisi vuotta sitten suosittua, vaan pyritään luomaan katse tulevaisuuteen ja arvioimaan, miten pitkälle tämä kehitystyö vie.

Tuotantoprosessin yleisin kehittämistarve on tuotannon läpivientiajassa, sillä prosessista halutaan nopeampi ja tehokkaampi. Läpivientiajalla tarkoitetaan aikaa, joka tuotteelta kestää, kun se kulkee valmistusprosessin vaiheet läpi valmiiksi asti. Tähän aikaan vaikutetaan mm. työnsuunnittelulla ja tuotannonohjauksella. Läpivientiaikaa tarkastelemalla päästään näkemään työntekijän päivän aikana tekemät työtehtävät ja niistä voidaan erotella työt, jotka eivät ole olleet tuotteen arvoa nostavia. Tätä ns. turhaa työtä kutsutaan hukkatyöksi ja siksi sitä pyritään minimoimaan.

2.1 Yleiset haasteet

Strategisella suunnittelulla kartoitetaan teollisuuden kriittisiä menestystekijöitä ja suunnitellaan toiminta sellaiseksi, että sisäiset ja ulkoiset vaatimukset täyttyvät. Kehittämisen haasteita teollisuuteen tuovat asiakkaiden tarpeet, markkinoiden yleinen tilanne, kansainvälistyminen, ympäristötekijät ja tuotevastuu. Samaan aikaan pitäisi lisätä tuotantotehokkuutta sekä hallita kustannuksia ja organisaatiota. [2, s. 2]

Kehittämisen haasteet voivat alkaa siitä, että on juurruttu nykyisiin toimintatapoihin eikä kehittämistä nähdä tarpeellisena. Tällöin yritys ei pääse toteuttamaan kaikkea sen potentiaalia ja tuotannon tulos on pienempi kuin se voisi olla. Monesti ulkopuolisen tahon antama konsultaatio auttaa yritystä löytämään parannuskohteita prosessista, sillä yrityksen sisällä saatetaan olla sokeutuneita omille epäedullisille toimintatavoille.

Uusia investointeja suunniteltaessa on tärkeä etukäteen miettiä investoinnin kannattavuus ja käytännön toteutus. Kannattavuutta laskettaessa mitataan investoinnin tuomat positiiviset vaikutukset tuotantoon sekä se, onko työ kannattavaa sen vaatimiin kustannuksiin nähden. Takaisinmaksuajan laskennassa laiteinvestoinnin hinta jaetaan yhteenlasketun vuosisäästön arvolla. Tulokseksi saadaan tieto, kauanko menee, että laiteinvestoinnin tuomat säästöt ovat maksaneet laitteen takaisin. Mitä lyhyempi takaisinmaksuajasta saadaan, sitä edullisemmaksi investointi käy yritykselle. Käyttöönottoon liittyy organisaation tai prosessin muutoksen toteuttaminen ja laiteinvestointitapauksissa konkreettinen ylösajo.

Muutoksen toteuttamisvaiheessa on huomioitava työntekijöiden mahdollinen kouluttaminen, joka voi viedä aikaa normaalista työstä. Muutokset ja laiteinvestoinnit eivät ole ensimmäisestä päivästä alkaen täydellä toiminnalla, vaan käyttöönottoon on varattava resursseja, joiden avulla saavutetaan tavoiteltu tuotantotahti uuden toimintatavan kanssa.

Huonosti organisoitu prosessin muutos voi vaikuttaa merkittävästi työntekoon muutosvaiheen aikana ja pahimmassa tapauksessa seisauttaa tuotannon hetkellisesti. Hyvin suunnitellulla vaiheittaisella käyttöönotolla minimoidaan suuret tuotantokatkot ja niiden aiheuttamat tuotannolliset häviöt.

2.2 Tuotannon nykytilanne

Kaikki toimeksiantajan tuotteet ja elektroniikka valmistetaan lisäalassa, vaikka erityisesti elektroniikan hankkiminen muualta voisi tulla edullisemmaksi. Elektroniikkatuotannon kustannusten vastapainona ovat edut, kuten nopea yhteistyö elektroniikkasuunnittelun kanssa, prototyyppien valmistus, revisiomuutokset, vaihtelevan tuotekohtaisen kysynnän hallinta sekä elektroniikkatuotannon kehittäminen.

Yleisesti koko tuotannon rakenne perustuu joustavuuteen ja monituoteympäristöön. Tällä tarkoitetaan sitä, että samoilla työpisteillä valmistetaan useita eri malleja vain pieniä muutoksia tekemällä. Monituoteympäristö takaa tasaisen työkuorman koko tuotannolle ja lisäksi monipuolisuutensa ansiosta kokoonpanopisteet vievät vähemmän tilaa, kun työtila ei ole tuotemallikohtainen. Joustavan tuotannon avulla mallinvaihdokset pystytään suorittamaan nopeastikin ja se edesauttaa nopeaa vastaamista kysyntään. Haasteena monituoteympäristössä on hallita vaihtelevaa tuotekohtaista kysyntää. Monipuolisen tuotannon takia implementoitavan AOI-laitteen tulee olla mukautuva työympäristöön ja kykenevä tarkastamaan kaikki tuotannossa valmistettavat korttimallit.

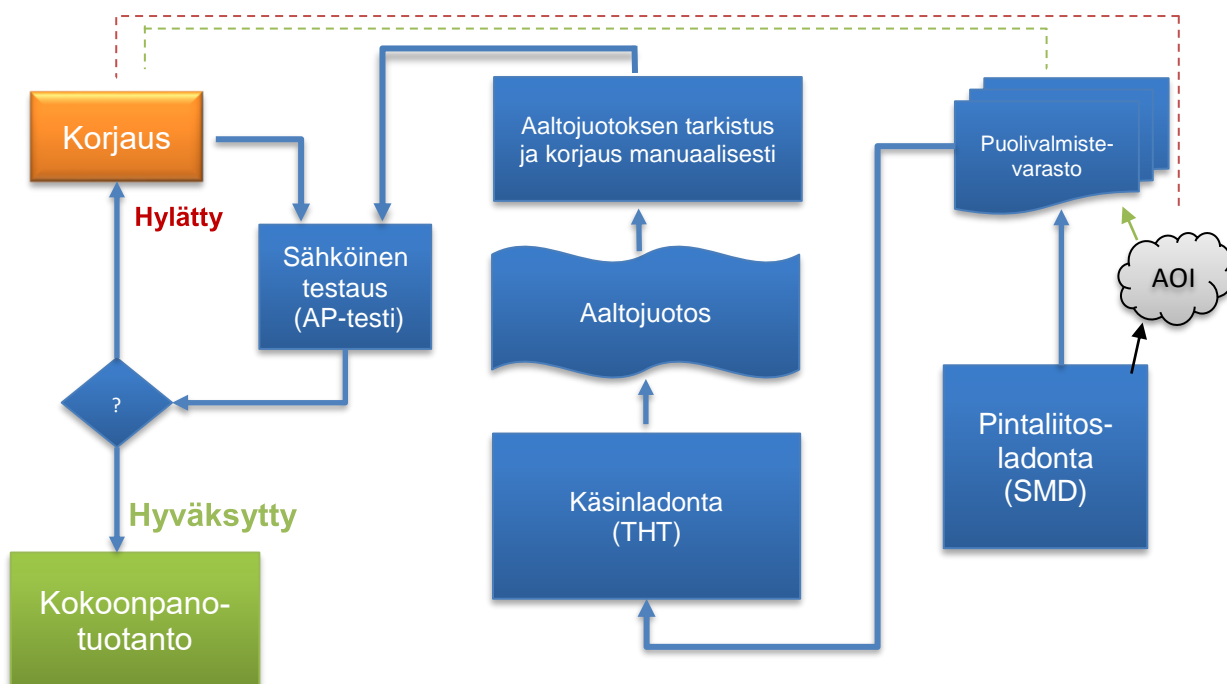
Tuotanto jakaantuu kahteen osaan, elektroniikkatuotantoon ja kokoonpanotuotantoon. Tämä opinnäytetyö koskee pääasiassa elektroniikkatuotantoa, johon kuuluvat pintaliitoskomponenttien koneladonta ja käsinladottavien komponenttien prosessi. Sähköinen testaus kuuluu osana käsinladonnan tuotantovaihetta. Siinä kaikki kortit testataan ennen loppukokoonpanoon viemistä ja jokainen lopputuote mitataan vielä erikseen kokoonpanovaiheen jälkeen. Elektroniikkatuotannosta valmistuneen piirikortin sarjanumero

yhdistetään lopputuotteen sarjanumeroon kokoonpanovaiheessa ja testausjärjestelmiin tallentuu tieto siitä, millaisilla testituloksilla tuote on valmistunut.

2.2.1 Nykyisen elektroniikkatuotantoprosessin kuvaus

Jokaisen piirilevyn valmistus alkaa pintaliitoskomponenttien koneladonnasta. Kortti kulkee koko valmistusprosessin läpi, ja sähköisessä testauksessa havaitaan mahdolliset valmistuksessa tulleet virheet. Prosessi on suhteellisen pitkä, ja kaikki virheet huomataan vasta sähköisessä testauksessa. Piirikortit ovat saattaneet odottaa puolivalmistevalmistusvarastossa monta päivää, joten pintaliitosprosessissa syntyneistä virheistä ei tallennu mitään tietoa järjestelmiin. Näin ollen pintaliitosprosessin laadun seurattavuus on heikkoa.

Monimutkaisimpia piirikortteja valmistetaan pintaliitosladonnasta yksi testikortti, ennen koko erän valmistamista. Testikortille käsinladotaan ja viedään sähköiseen testaukseen, jolloin nähdään, voiko koko erän valmistaa samoilla asetuksilla pintaliitosladonnassa. Systeemi on toimiva, mutta valitettavan hidas toteuttaa. Varsinkin, jos verrataan siihen, kuinka nopeasti virhetieto saataisiin AOI-tarkastuksen avulla (kuva 2). Jos testikortti voidaan todeta oikein ladotuksi AOI-tarkastuksessa, koko erä voidaan valmistaa.



Kuva 2. Elektroniikkatuotantoprosessin kuvaus, jossa osoitettu AOI-tarkastuksen vaikutus koko prosessin toimintaan.

Pintaliitosladontalinjalla työskentelee operaattori, joka huolehtii linjan toimivuudesta aina ensimmäisen piirikorttimakasiinin täyttämisestä puolivalmistevarastoon asti. Tälle välille mahtuu lukuisia työtehtäviä, joten AOI-laitteen lisääminen tuotantolinjaan ei saisi tuottaa merkittävästi lisätyötä operaattorille.

Ladontatyö alkaa tilauksesta eli määräimeltä, joka ilmoittaa seuraavaksi valmistettavien korttien määrän ja mallin. Tämän perusteella operaattori täyttää linjan alussa syöttömakasiinin, josta kortit automaattisesti siirtyvät yksitellen pastanlevytykseen, jossa pasta painetaan piirilevylle stensiilin läpi raakkelin eli terän avulla. Stensiili on ohut metallilevy, jossa on mallikohtaisesti reikiä oikeilla kohdilla ja niiden läpi pasta muodostaa alustat komponenttien liitospinnoille. Tästä piirilevy jatkaa matkaansa kuljettimilla ladontakoneille. Kun kaikki pintaliitoskomponentit on ladottu, operaattori tarkastaa kortin visuaalisesti. Tässä vaiheessa tarkistetaan piirikomponenttien suunnat ja ovatko komponenttien liitospinnat pasta-alustojen päällä niin, että ne saavat tarpeeksi hyvän kontaktin. Tarvittaessa voidaan korjata vinossa olevat komponentit paremmin omille paikoilleen. Tarkastelun jälkeen kortti lähetetään linjalla eteenpäin höyryfaasijuotosuuniin, jonka jälkeen kortit kulkevat automaattisesti päätymakasiiniin. Päätymakasiinin tullessa täyteen (yleensä 50 paneelia) operaattori siirtää täyden makasiinin puolivalmistevarastoon ja vaihtaa tyhjän makasiinin linjan päähän.

Tuotannon hitain tuotemallin vaihtoprosessi tapahtuu pintaliitosladontalinjalla. Vaihtoprosessi on hidas, koska kaikki tuotettavat piirilevyt kulkevat saman ladontalinjan läpi, kun taas käsinladonta- ja kokoonpanoprosesseissa samoilla työpisteillä valmistetaan yleensä 1–5 eri tuotetta. Ladontalinjalla tuotteen vaihdossa pastakoneen käyttämä stensiili joudutaan puhdistamaan ja vaihtamaan seuraavaksi valmistettavan tuotteen stensiiliin. Tämän lisäksi ladontakoneille valitaan uudet ohjelmat sekä tarvittaessa vaihdetaan oikeat komponenttirullat makasiineihin, joita voi olla kymmeniä.

2.2.2 Elektroniikkatuotannon laatu

Pintaliitosladotun tuotteen laatu koostuu useista tekijöistä, ja näistä osa voi vaikuttaa toisarvoisilta, mutta ne ovat kuitenkin prosessin laadun kannalta merkittäviä. Laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat mm. ilmankosteus, pöly, käytettävän pastan ikä, piirilevysuunnittelu, piirilevypohjan laatu, stensiilin kunto, ladontakoneiden tarkkuus, komponenttitoimittajien laatu sekä pastan ja komponenttien säilytysolosuhteet.

Haastavinta on löytää oikeat työskentely- ja varastointiolosuhteet elektroniikkatuotantoon. Suomessa talvisin ilmankosteus on kriittisen alhaalla ja siitä voi aiheutua staattisen sähkön ongelmia. Liian korkea ilmankosteus aiheuttaa veden kondensoitumista pinnoille, ja tämä voi aiheuttaa ongelmia monin tavoin. Jotkin juotospastat vaativat jääkaappisäilytyksen ja tällöin on varmistettava, että jääkaapissa on jatkuvasti tasainen lämpötila. Liian nopeasti tapahtuvat lämpötilamuutokset kondensoivat vettä herkästi. Tämän vuoksi kylmän pastapurkin pintaan kerääntyy vettä, kun se nostetaan huoneenlämpöön stensiilille annostelua varten. [3.]

Höyryfaasiuunissa pastan sekaan päässyt vesi kiehuu komponenttien alla ja liitospinnoilla, jolloin komponentit helposti liikahtelevat paikoiltaan tai nousevat pystyyn. Sama ongelma syntyy, jos stensiili ei ole täysin kuivunut puhdistukseen käytettävistä liuottimista ja stensiilin pintaan kondensoituneesta vedestä. Uunissa lämpötila nousee liian nopeasti liuottimen tai veden haihtumista ajatellen, joten aineet alkavat kiehua piirilevyn pinnalla. [3.]

Liian kauan ilman kanssa kosketuksissa ollut pasta ei enää kiinnitä komponentteja tarpeeksi hyvin, siksi pintaliitosladontaprosessi tulisi suorittaa mahdollisimman nopeasti ilman turhia katkoja. Piirilevyjä käsiteltäessä on oltava varovainen ja levyn kuparipinnat ovat herkkiä likaantumaa kosketuksesta.

Toimeksiantajan tuotannossa elektroniikan tuotantoprosessin laatumittarina käytetään käsinladonnan jälkeen suoritettavaa sähköistä testausta. Tällä hetkellä korjattavaksi päätyvät piirikortit sijoitetaan hyllyyn odottamaan korjausta. Korjattavien korttien vioista x % on pintaliitosprosessin vikoja. Sähköisen testauksen vikaprosenttiin päästään vaikuttamaan korjaamalla pintaliitosvirheet ennen käsinladontaan viemistä ja tällä tavoitellaan pintaliitosprosessin parantamista sille tasolle, että vikojen syntyminen vähenee.

Elektroniikan laatumittaria voidaan pitää suuntaa-antavana, sillä tarkkaa vikamäärää on vaikea arvioida. Laatumittari kerää datan suoraan siitä, mitä järjestelmiin on kirjattu ja on valitettavan yleistä, että virheitä korjataan itsenäisesti myös ilman järjestelmään kirjausta. Korjaus on nopeampi suorittaa ilman laatutapahtumaa, mutta se tehdään vikatilastojen oikeellisuuden kustannuksella.

Viollisia piirikortteja saapuu tehtaalle huoltoon asiakkailta, tai vastaavasti uusi piirikortti lähetetään paikalliselle huollon ammattilaiselle. On siis mahdollista, että tuotannossa kahden testauksen läpäissyt kortti ei toimikaan odotetusti asiakkaalla syystä tai toisesta. Näistäkin tilanteista voidaan karkeasti arvioida, että x % takuutuotteista sisältävät pintaliitosprosessin virheitä ja ne olisi voitu eliminoida optisen tarkastuksen ja sen jälkeisen korjauksen avulla.

2.2.3 Virheiden havaitseminen ja korjaaminen

Jokainen valmistettava elektroninen osa kulkee läpi samat prosessin vaiheet. Kuten mainittua, nykyisessä prosessissa pintaliitosladonnan virheet havaitaan vasta sähköisessä testauksessa käsinladonnan jälkeen, jolloin prosessin laadun reaaliaikainen seuranta ei ole mahdollista. Sähköisen testauksen yhteydessä korttiin kiinnitetään sarjanumerotarra ja yksilöinti tapahtuu ensimmäisen kerran tässä prosessin vaiheessa.

Pienten pintaliitoskomponenttien juotosvirheiden löytämiseen kuluu paljon aikaa, ja siksi nykyisessä prosessissa on käytössä vain satunnainen pintaliitosladottujen piirikorttien visuaalinen tarkastus. Pääasiassa kortilta etsitään pintaliitosvirheitä vasta, jos sähköisessä testauksessa kortti havaitaan vialliseksi.

Sähköinen testaus ensimmäisenä tarkastusmenetelmänä elektroniikalle voi koitua valmistettavan tuotteen kohtaloksi. Pystyyn noussut tai huonosti juottunut komponentti voi polttaa piirikortin sähköisessä testauksessa ja rikkoa samalla kortin muita komponentteja. Tällöin on arvioitava, voidaanko kaikkia rikkoutuneita osia korjata, ja jos korjaus onnistuu, onko korjaus tarpeeksi kestävä. Kortti on varmempi romuttaa, jos ei voida vakuuttua siitä, mitkä osat kortilta ovat rikkoutuneet tai kohteita ei pystytä korjaamaan.

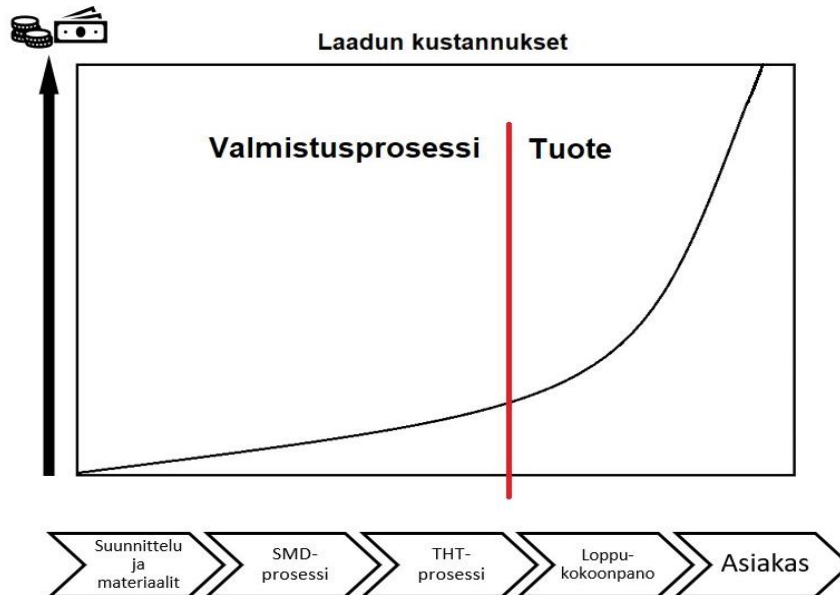
Piirikorttien korjaajana työskentely vaatii oikeat työvälineet, vakaata kättä, piirikorttitekniikan tuntemusta ja tarkkuutta. Korjaaja saa korjattavan kortin mukana kulkevan huoltotyönumeron ja lyhyen tiedon siitä, mitä osaa sähköisestä testauksesta kortti ei läpäissyt. Tämän perusteella korjaajan on etsittävä vika piirikortilta ja pelkkään virheen etsintään voi kuluu aikaa minuutteja. Kun virhe on löydetty, korjaaminen komponentista riippuen voi kestää alle minuutista useampaankin minuuttiin ja käsinladonnasta valmistuneiden korttien korjaamista vaikeuttavat kookkaat läpiladontakomponentit. Korjauksen jälkeen sähköisen testaajan kirjaama huoltotyö on purettava järjestelmästä ja siihenkin kuluu työaikaa. Järjestelmäkirjauksen jälkeen kortti lähetetään uudelleen sähköiseen testaukseen ja varmistetaan, että kortti läpäisee testin.

Virheiden korjaaminenkin on aina riski, sillä kortit ovat kulkeneet ladontaprosessien läpi ja näissä juottaminen tapahtuu aina esilämmityksen kautta tasaisessa suuressa lämpötilassa. Käsinkorjatessa esilämmitys voi olla puutteellista ja sitä kompensoidaan helposti voimalla, jolloin se aiheuttaa liitospinnoilla murtumia. Vastaavasti liiallinen esilämmitys voi vaikuttaa myös muihin komponentteihin, jolloin ne alkavat liikkua paikoiltaan.

2.2.4 Laatumuutokset

On arvioitu, että yritysten tiedossa olevat laatumuutokset ovat noin kuusi prosenttia liikevaihdosta, vaikka todellisuudessa luku voi olla jopa 20–25 %. Huomattavasti suurempi luku muodostuu tiedostamattomista laatumuutoksista, joita ovat mm. turha varastointi, viivästyneet myynnit, jälkitoimituskustannukset sekä hinnoittelu ja laskutusvirheet. Yleensä tiedossa olevia, helposti havaittavia laatumuutoksia ovat asiakaspalautukset, reklamaatiot, hävikki, tarkastuskustannukset ja näihin liittyvät lisätyöt. [4.]

Kuvasta 3 nähdään, kuinka laadun kustannukset nousevat, mitä pidemmälle prosessi tai tuote on edennyt. Tämän vuoksi on edullisinta havaita ja korjata syntyneet virheet mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. On mahdollista, että huonossa kontaktissa oleva komponentti toimii sähköisessä testauksessa ja on näin ollen päässyt jatkamaan matkaansa kokoonpanoon. Asiakkaalta palaavan takuutuotteen virhe on kustannuksiltaan huomattavasti kalliimpi kuin sama virhe käsinladonnan työvaiheessa. AOI-laite on tarkka ja havaitsee mikrometrien tarkkuudella poikkeavuuden osan kiinnittymisessä ja sijoittelussa, joten virheiden korjauskustannukset vähenevät.



Kuva 3. Laatumuutokset kasvavat eksponentiaalisesti, mitä pidemmälle prosessi on edennyt

Oikein kohdennetuilla toimenpiteillä voidaan vaikuttaa laatumuutosten määrään ja rakenteeseen. Kustannuksia ei voida koskaan täysin eliminoida, koska myös ennaltaehkäisevät toimenpiteet, laatu järjestelmien ylläpito, koulutukset ja laadun kehittäminen aiheuttavat kustannuksia. [4.]

Heikkolaatuisista piirikorteista aiheutuu merkittävästi kustannuksia, jotka koostuvat pääasiassa ylimääräisestä työstä sekä materiaaleista. Suoraan sähköisestä testauksesta korjattavien hyllyyn päätyvissä korteissa kustannukset muodostuvat lähinnä testaajan suorittamasta ”ylimääräisestä” työstä, korjaajan työmäärästä sekä materiaaleista, joita korjaukseen on tarvittu. Lisäksi valmistettuun piirikorttiin on käytetty tietty määrä resursseja ja korjattavien korttien arvo hyllyssä on huomattava. Jos käy niin, ettei korttia saada korjattua, se joudutaan romuttamaan. Tällöin testaajan lisäksi myös käsinladonnan työntekijä on tehnyt turhan työn valmistaessaan kortin.

3 Laadun kehittäminen

Laatu kuvaa jonkin tuotteen tai palvelun ominaisuuksien täyttymistä. Laatua voidaan mitata esim. asiakastyytyvyydellä tai sillä, että tuote säilyttää ominaisuutensa koko elinikänsä ajan. Kestävästä ja hyvistä materiaaleista valmistettuja tuotteita voidaan pitää laadukkaina. [5].

Tuotteen laatu on kokonaisuus, joka koostuu lukuisista pienemmistä osista kuten tuotteeseen käytettävistä materiaaleista, työntekijöistä, tuotantoprosessista sekä asiakkaan ja yrityksen asettamista vaatimuksista. Tietylnainen laadun raja tulee yleensä vastaan kustannuksissa, ja aina ei ole mahdollista valita kaikkein parasta materiaalia. Myöskään pelkästään hyvästä materiaalista valmistettu tuote ei ole automaattisesti laadukas, vaan tuotteen suunnittelulla ja kehitystyöllä on osuutensa.

On olemassa yhteisesti sovittuja laadun määritelmiä eli standardeja. IPC-A-610 on elektroniikkavalmisteiden hyväksymisvaatimuksia koskeva yleinen standardi. Standardin kriteerit on määritelty kolmeen eri luokkaan [6, s. 1–3]:

- Luokka 1 – Yleiset elektroniset tuotteet (kuluttajatuotteet)
- Luokka 2 – Erikoispalveluihin tarkoitetut elektroniikkatuotteet
- Luokka 3 – Suuren suorituskyvyn elektroniikkalaitteet (sairaala, maanpuolustus, ilmaitu).

Luokittelun taustalla on ymmärrys siitä, että tarpeettoman hyvään laatuun tähtääminen on turhaa ja kallista. Tuotteilta ei ole syytä vaatia täydellisyyttä, vaan riittää, että tuote kattaa sille määritetyn luokan kriteerit.

Luokittelun lisäksi käytetään hyväksymistasojen käsitteitä, jotka ovat tavoitetila, hyväksyttävä tila, virhetila ja prosessi-indikaattori. Kaikki luokat pyrkivät samaan tavoitetilaan, mutta hyväksytyn ja virhetilan väleillä on eroavaisuuksia. Luokan 1 virhe on myös hylätty luokissa 2 ja 3. Vastaavasti luokan 3 virhetila voidaan hyväksyä luokissa 1 ja 2 tilanteen salliessa. Prosessi-indikaattorilla tarkoitetaan tilaa, joka viestii prosessin epätavallisesta toiminnasta. Tällainen tila on hyväksyttävä, mutta prosessi on analysoitava ei-toivotun prosessisuuntauksen varalta. [6, s. 1–4.]

Toimeksiantajan tuotannossa noudatetaan IPC-A-610-laatustandardin asettamien vaatimuksien luokkaa 2. Optiselle tarkastuslaitteelle asetettavat vaatimukset asetetaan myös luokan 2 mukaisesti.

Laadun kehittämisen lähtökohtana on yleensä se, että ei olla tarpeeksi tyytyväisiä nyt tuotettavaan laatuun. Kehittämisen odotetaan vähentävän epäkohtia ja parantavan luotettavuutta. Tämän opinnäytetyön tutkittavassa elektroniikan valmistusprosessissa laatua lähdetään kehittämään tarkastamalla ja korjaamalla piirikortit heti koneladonnan jälkeen, jotta koneladontavirheiden määrä vähenisi sähköisessä testauksessa. Tällöin prosessista saadaan tehokkaampi ja sillä aikaistetaan vikojen havaitsemista ja korjaamista. Vaikka tässä tapauksessa laadunparannus ei näy suoraan asiakkaille, voidaan tehdä ennusteita siitä, mihin kaikkeen tuotantotehokkaampi valmistusprosessi vaikuttaa.

3.1 Laadunhallinta

Laadunhallinta (quality management) on tuotteen tai palvelun vaatimustenmukaisen laadun ylläpitoa, kehittämistä ja hallintaa. Kokonaisvaltaiseen laadunhallintaan investoivat organisaatiot parantavat merkittävästi tuotteittensa ja palveluidensa laatua, lisäävät markkinaosuuttaan, parantavat tehokkuuttaan, tuottavuuttaan sekä asiakaspalvelun tasoaan. Hyvin toteutetun laadunhallinnan ansiosta saadaan taloudellisten etujen lisäksi muitakin hyötyjä: virheet ja varastot vähenevät, joustavuus lisääntyy ja työntekijät sekä asiakkaat ovat tyytyväisiä. [7.]

Laadunhallinnassa käytetään työkaluina erilaisia laatutekniikan mittareita sekä palautteita ja kokemuksia. Mittareilla seurataan laadun suuntaa ja trendiä, jotta nähdään millaisia toimenpiteitä on tarpeellista suorittaa. Mitatun tiedon avulla pystytään hahmottamaan suurempia kokonaisuuksia ja näin ollen kohdistetusti parantamaan tiettyä osaa prosessissa tai palvelussa.

3.2 Tilastollinen prosessinohjaus (SPC)

Tilastollinen prosessinohjaus (engl. statistical process control, SPC) tarkoittaa mittauksiin perustuvaa prosessinohjausta, jonka avulla voidaan suorittaa prosessin laadunvalvontaa. Prosessinohjausta voidaan toteuttaa keräämällä manuaalisesti tietoa erilaisiin valvontakortteihin,

mutta nykyään suuren tietokannan käsittelyyn on helpompi ja nopeampi käyttää integroituja tietokonepohjaisia järjestelmiä.

Tilastollisen prosessinohjauksen perusta on prosessilaadun jakauma ja tämän perusteella päästään säätämään prosessia. Jakaumaa tarkastelemalla voidaan analysoida onko prosessissa tapahtuva vaihtelu sallittua ja oikeantyyppistä.

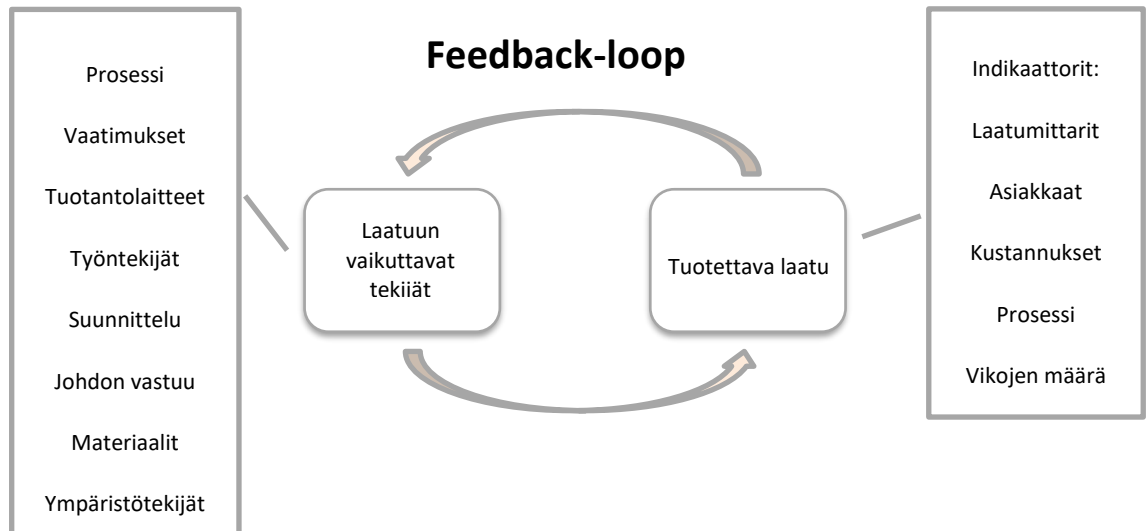
Tuotantoprosessin laadun kehittämiseksi tehdään muutoksia ja säätöjä prosessiin, jotta jatkossa vaihteluvälit olisivat pienempiä ja lähempänä tavoitetilaa. Muutosten tekeminen tilastotiedon perusteella vähentää arvailua, sillä parannukset voidaan suoraan kohdentaa kriittisimpään osaluokkaan. Keskittämällä huomio vain suurimpaan ongelmakohtaan prosessissa parannukset saadaan tehtyä tehokkaasti, sillä työntekijän ei tarvitse yrittää vaikuttaa jokaiseen havaittuun epäkohtaan kerralla.

Kun tilastollinen prosessinohjaus toimii reaaliaikaisena prosessin käydessä, voidaan jo tuotantovaiheessa havaita epäkohdat ja tehdä parannuksia. Tällä vähennetään vikamääriä ja prosessin tuottama laatu paranee.

3.3 Laadun parantamisen sykli

Prosessin laadun parantaminen vaatii muutakin kuin AOI-laitteen ja tilastollisen tuotannonohjauksen hyödyntämisen tuotannossa. Tuotettavaan laatuun päästään vaikuttamaan palaamalla prosessissa taaksepäin pintaliitosladonnan työvaiheisiin, piirilevysuunnitteluun tai materiaalitoimittajiin. Tilastollisen tuotannonohjauksen keräämistä virhetilastoista voidaan nähdä kriittisin laadullinen poikkeama ja kohdistaa parannuksen tarve oikein.

Laatuun vaikuttavien tekijöiden ja tuotettavan laadun välille muodostetaan ns. Feedback-loop (kuva 4). Syklin avulla pyritään kehittämään tuotettavaan laatuun vaikuttavia tekijöitä. Tuotettava laatu näkyy tuotannon laatumittareissa, asiakkaiden luottamuksessa, kustannuksissa, vikojen määrässä ja prosessin myöhempien vaiheiden toimenpiteissä. Jos laatuun vaikuttaviin tekijöihin päästään vaikuttamaan, näiden em. indikaattoreiden pitäisi muuttua.



Kuva 4. Informaation kulku on osa jatkuvaa kehitystä

Se, miten tieto tuotettavasta laadusta saadaan kulkemaan eri yksiköiden välillä, vaatii orientoitumista ja sitoutumista kaikilta osapuolilta. Riippuen havaitusta laadullisesta epäkohdasta, palautemenetelmä voi olla suullinen sopimus työntekijöiden välillä tai kirjallinen toimeksianto toiselle yksikölle.

Systemaattisen virheen ilmaantuessa on selvitettävä, onko kyseessä suunnitteluvirhe, prosessissa tapahtunut virhe vai onko kyseessä huonolaatuinen materiaali. Jos havaitaan, että tietyn virheen syntyminen johtuu puhtaasti pintaliitosladontaprosessista, prosessin tila tulee kartoittaa ja välittää tieto suoritetusta muutoksesta operaattoreiden ja prosessista vastaavien kesken. Suunnitteluvirheestä ja tilanteen kriittisyydestä täytyy informoida piirilevysuunnittelijoita, jotta päästäisiin tekemään muutokset suunnittelussa ja jatkossa tuottamaan parempaa laatua.

Johdon vastuussa on yleisten vaatimusten noudattaminen ja riittävän tiukat laatukriteerit. Myös työntekijöiden kouluttaminen ja erilaisten taitojen ylläpitäminen on johdon vastuulla. Jos johto reagoi välinpitämättömästi tuotettavan laadun heikkouteen, ei kukaan muukaan organisaatiossa sitoudu laadun parantamiseen. Kun työntekijälle on annettu selvä ohjeistus toimintatavasta ja vaatimustasosta, työn tulos on riippuvainen enää työntekijän toiminnasta. Motivoitunut työntekijä arvostaa työtään ja tekee aina parhaansa.

3.4 Optiset tarkastusmenetelmät

Optisia tarkastusmenetelmiä käytetään elektroniikkateollisuudessa komponenttien ja juotosten tarkastamiseen. Tarkastusmenetelmiä on myös mahdollista soveltaa muiden pienien osien tarkasteluun.

Elektroniikan valmistuksessa optinen tarkastus ja sähköinen testaus tukevat toisiaan, sillä kumpikaan menetelmä ei ole täydellinen yksinään. Alla olevasta taulukosta 1 nähdään, millaisia virheitä nykyisellä sähköisellä testauksella voidaan havaita verrattuna visuaaliseen tai AOI-laitteella suoritettuun tarkastukseen. Sähköinen testaus varmistaa piirikortin toiminnan, mutta optiset tarkastukset antavat vikatietoja nopeammin ja korttia vahingoittamatta. Jotta AOI-laite toimisi taulukon osoittamalla tavalla, on tärkeää asettaa säädöt oikein ja vaatimusten mukaisesti.

Taulukko 1. Optiset tarkastukset verrattuna sähköiseen testaukseen [8.]

	Vikatyyppi	Visuaalinen tarkastus	AOI-tarkastus	Sähköinen testaus
Komponenttivrheet	Puuttuva komponentti	Hidas havaita	OK.	Saattaa rikkoa testattavan kortin
	Väärin sijoitettu komponentti	Hidas havaita	OK.	Tapauskohtainen
	Pystyyn noussut komponentti	Hidas havaita	OK.	Saattaa rikkoa testattavan kortin
	Väärä komponentti	Hidas havaita	OK.	OK.
	Komponentin väärä napaisuus	Hidas havaita	OK.	Saattaa rikkoa testattavan kortin
	Rikkinäinen komponentti	Ei voida havaita	Ei voida havaita	OK.
	Kosmeettinen virhe komponentissa	Hidas havaita	Tapauskohtainen	Ei voida havaita
Juotosvirheet	Huono kontakti/juotos	Hidas havaita	OK.	Kortti saattaa läpäistä testin, vaikka olisi viallinen
	Liian lyhyt juotos	Hidas havaita	OK.	Tapauskohtainen
	Puuttuva juotos	Hidas havaita	OK.	Tapauskohtainen

3.4.1 Ihmisen suorittama tarkastus

Ihmisen suorittamana piirilevyjen optinen tarkastus on epävarmin menetelmä, jos on tarpeellista käydä läpi suuria tuotantomääriä. Manuaalisesti tehtävän visuaalisen tarkastuksen tarkkuus on noin 80 % [9, s. 5]. Pienten komponenttien ja niiden vielä pienempien juotosten tarkastaminen mikroskoopilla (kuva 5) tai muilla apuvälineillä on silmiä rasittavaa. On inhimillistä kyllästyä

itseään toistavaan työhön, jolloin työn laatu ei ole tasavertaista. Toki ihmisen tekemässä tarkastuksessa etuna on, että ihminen näkee kokonaisuuden ja osaa arvioida löytämänsä epäkohdan vakavuuden, kun taas kone keskittyy vain sen näkemiin kuviin ja sille määritettyihin toleransseihin.



Kuva 5. Mikroskooppi piirilevyjen optista tarkastusta varten. [10.]

Tuotantomäärien lisäksi sarjatuotannon nopeus on esteenä työn suorittamiseen ihmissilmällä. Manuaalisesta tarkastuspisteestä tulisi helposti tuotannon pullonkaula ja paineen alla jää helposti jotain huomaamatta. AOI-laitteella yhden piirikortin optinen tarkastaminen vie alle minuutin, ja ihmisellä vastaavaan tarkastuslaatuun kuluu helposti useampi minuutti [Luku 6.2, Virheiden havaitsemiskyky].

3.4.2 AOI-laite

AOI-laite suorittaa nimensä mukaisesti automaattisia optisia tarkastuksia. Kyseisten tarkastuslaitteiden valmistajia on markkinoilla kymmeniä, ja laitteet ovat hintavia käyttämänsä optiikan takia. AOI-laitetta käytetään pääasiassa elektroniikkatuotannossa komponenttien ja niiden juotosten tarkasteluun ennen ja/tai jälkeen juotosuunin. Tarkastuslaitteita on mahdollista soveltaa myös muiden silmällä vaikeasti havaittavien osien tarkastamiseen.

Jotkin laitteista käyttävät 3D-kameratekniikkaa, jossa yksi pääkamera kuvaa kohteen ylhäältäpäin 2D-kuvaa varten ja laser muodostaa korkeustiedot osista 3D-kuvaan. Laitteet pystyvät havaitsemaan mikrometrien tarkkuudella virheet piirilevyiltä verraten tuloksia referenssiparametreihin ja annettuihin toleransseihin. AOI-laitteen tekniikassa voidaan käyttää

myös useampia kameroita, joista osa on sijoitettu 45° kulmassa tarkasteltavaa levyä kohden. Myös laserin käyttö on yleistä, ja sen apuna voidaan käyttää peilejä, jotka heijastavat säteen kortille. Tätä takaisin tullutta sädettä mitataan, jotta saadaan muodostettua 3D-kuva kohteesta. Eduksi on, jos samalla laitteella on mahdollista käyttää sekä 2D- että 3D-kuvaa. Varsinkin tilanteissa, joissa pienet komponentit sijaitsevat korkeiden osien välissä niin, että ne jäävät varjoon 3D-kuvaa muodostaessa. Tällöin kerätty tieto on usein puutteellista ja 2D-kuvaa voidaan hyödyntää tarkastellessa osia.

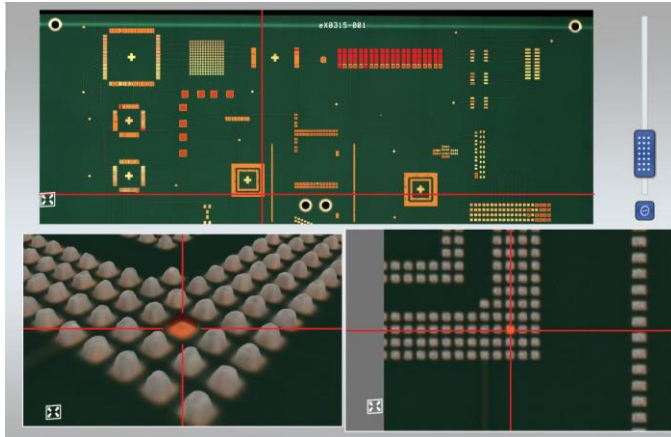
AOI-laite vertaa saamiaan mittatuloksia sille annettuihin toleransseihin ja tämän perusteella laite kertoo, onko tarkastettava tuote hyväksytty vai hylätty. Vaikka näiden parametrien ja toleranssien opettaminen laitteelle vie todennäköisesti paljon aikaa, se on jatkuvaa prosessin kehittämistä ja vie tuotantoa parempaan suuntaan.

Virheitä, jotka voidaan havaita AOI-laitteella, ovat mm. puuttuva komponentti, väärin asennettu komponentti, pystyyn noussut komponentti, komponentin napaisuus ja ylösalaisin oleva komponentti. Lisäksi laite pystyy tunnistamaan komponentissa olevat merkinnät ja tämän perusteella tarkastaa, onko asennettu osa oikea. AOI-laite tarkastaa myös juotoksen määrän ja havaitsee sillat juotosten välillä sekä hauraat kylmäjuotokset.

Yleensä AOI-laitteen mukana tulee operaattorille tarkoitettu ohjelmisto, jonka avulla voi perustaa viallisten piirikorttien korjauspisteen. Korjauspaikan tietokoneella avataan kuva viallisesta kortista ja operaattori voi varmistaa koneen antamien virheiden oikeellisuuden ja mahdollisuuksien mukaan myös korjaa löydetyt viat.

3.4.3 Juotospastan tarkastuslaite

Lyhenne SPI tulee englannin kielen sanoista Soldering Paste Inspection, eli suomeksi juotospastan tarkastus. Laite sijoitetaan pintaliitosladontalinjaan pastakoneen ja ladontakoneen väliin. SPI-laite havaitsee, mikäli pastaa on tullut liian vähän tai epätasaisesti piirilevylle, kuten kuvassa 6 osoitetaan. Huonosti levittynyt pasta voi johtua esimerkiksi siitä, että pastakoneen stensiili on ollut likainen, eikä pasta ei ole levittynyt tasaisesti kaikkialle. Juotospastan määrästä laite arvioi kiinnittyvätkö ladottavat komponentit oikein tai onko pastanpainovaiheessa aiheutunut siltoja pasta-alustojen väleihin.



Kuva 6. Pastantarkastuslaitteen tuotantonäkymä. [11.]

3.5 AOI-laite laadunhallinnan työkaluna

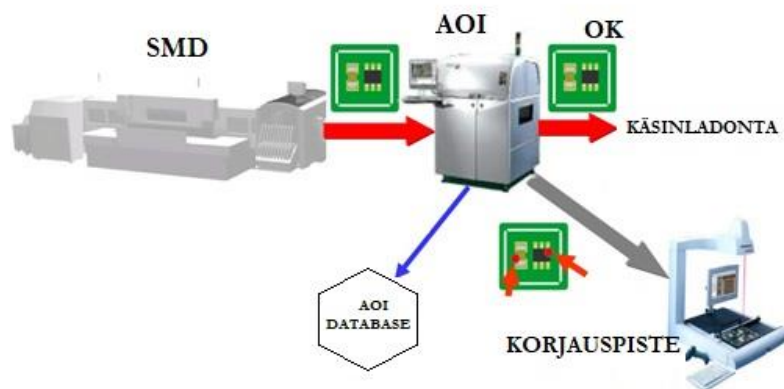
Tässä tapauksessa halutaan puhua AOI-laitteesta laatutyökaluna, sillä laite kerää tarkastamiensa piirikorttien laadusta tilastotietoa sisäänrakennetulla SPC-ohjelmistolla ja sitä kautta prosessinlaadun manuaalisesti suoritettun läpikäynnin tarve vähenee. Tarkastuslaitteen kaltaiset laatutyökalut eivät suoraan ennaltaehkäise tai korjaa jo syntyneitä vikoja, mutta antavat suuntaa sille, mistä viat tulevat ja mitä voisi tehdä paremmin. AOI-laitteella on tarkoitus nopeuttaa vikojen havaitsemista ja korjaamista tuotantoprosessissa, jolloin mahdollisesti myös systemaattisten virheiden syntymistä voitaisiin seurata ja ennaltaehkäistä.

AOI-laitteella tarkastetaan kaikki tuotannosta valmistuvat kortit ennen käsinladontaan viemistä. AOI-laitteen käyttö tuotannossa ei muuta käsinladonnan työvaihetta, mutta laitteen vaikutus näkyy piirikorttien korjausprosessissa, joka kokonaisuudessaan tulee siirtymään AOI-laitteen yhteyteen. Tällä uudella menettelyllä minimoidaan turhaa työtä ja nopeutetaan vikojen korjaamiseen kuluvaa aikaa.

AOI-laitteen oma älykyys ja nykyteknologia mahdollistavat jäljitettävyyden kortille, mutta tämän ominaisuuden hyödyntäminen vaatii luettavan sarjanumerotunnisteen. Tällä hetkellä kortin identifiointi tapahtuu vasta käsinladonnan jälkeen, sähköisen testauksen työvaiheessa, jolloin kyseistä tunnistetta ei päästä hyödyntämään AOI-laitteella. Tuotteiden parempi jäljitettävyys on merkittävä osa AOI-laitteen tuomia mahdollisuuksia ja tuotannon laatutapahtumien kokonaisuutta, joten aihetta käsitellään vielä erikseen luvussa 5. Tuotteiden jäljitettävyys.

4 AOI-laitteen käyttöönotto

AOI-laitteen tuotantoon sijoittelussa merkittävää on ympäristö, johon laite on tarkoitus implementoida. On huomioitava muiden laitteiden toiminta ja sijainti sekä yleisesti tarkastusprosessin toimintamalli (kuva 7). Ensin on mietittävä, halutaanko ja onko laite mahdollista sijoittaa uunin jälkeen osaksi tuotantolinjaa (in-line) vai päädytäänkö jonkinlaiseen island-ratkaisuun, jossa laite toimii valmistuslinjasta irrallisena. Molemmissa vaihtoehdoissa on hyvät ja huonot puolensa, mutta on arvioitava esimerkiksi, miten nopeasti laite haluttaisiin täyteen toimintaan. Todennäköistä on, että laitteen käyttö aloitetaan vain joitain toimintoja hyödyntämällä ja käyttöönotto suoritetaan vaiheittain.



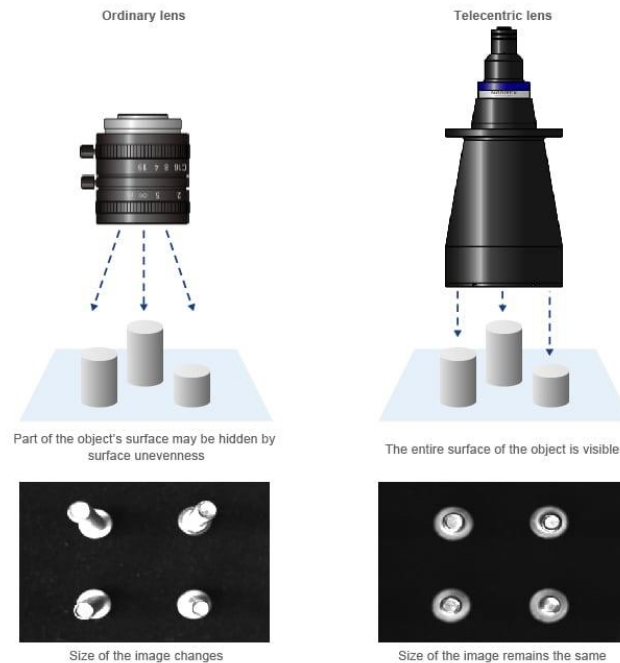
Kuva 7. AOI-laitteen läheisyyteen vaadittavien toimintojen kuvaus. [12.]

4.1 Pilottivaiheen evaluointi

Pilottijakson aikana on tutkittu AOI-laitteen käytettävyyttä sekä arvioitu laitteen tarpeellisuutta ja käytännöllisyyttä omaan tuotantoon. Koekäytössä olleet laitteet ovat testijaksonsa ajan sijainneet tuotekehitystiloissa, jonne on erikseen tuotu sopiva määrä kortteja opetettavaksi ja tarkastettavaksi. Pilottivaiheessa laitteelle opetetut kortit on valittu sillä perusteella, minkä mallin kortteja joutuu paljon korjaukseen sähköisestä testauksesta.

Koekäytössä olleet laitteet ovat eri valmistajilta ja käyttävät erilaista tekniikkaa keskenään. Tässä yhteydessä tarkastuslaitteista voidaan anonymiteetin vuoksi käyttää nimiä Laite 1 ja Laite 2. Laite 1 käyttää pelkästään 3D-tunnistusta ja muodostaa kuvat Moiré-kameratekniikalla, jossa yleensä neljä tai kahdeksan kameraa kuvaa komponenttia eri kulmista. Nämä kuvat yhteen liittämällä

saadaan 3D-kuva komponentista ilman varjoja. Laitteessa 2 käytetään ylhäältä päin yhtä kameraa, jossa on telesentrinen linssi minimoimassa kuvan vääristymistä (kuva 8). Korkeustieto osista saadaan laserpyyhkäisyllä ja valaisu tapahtuu linssin kehällä olevalla led-valolla. Laite 2 hyödyntää sekä 2D- että 3D-kuvia komponenttien tunnistuksessa ja piirikortin analysoinnissa.



Kuva 8. Havainnollistava esitys normaalin ja telesentrisen linssin eroista [13.]

Tarkastuslaitteet eroavat toisistaan myös tavassa, jolla piirilevyjä opetetaan laitteelle. Laitteessa 1 kaikki toiminnot tehdään samalla tietokoneella ja korttipohjan opettaminen laitteelle on melko työlästä. Ohjelman luominen suoritetaan vaiheittain, eikä tallennuksen jälkeen pääse helposti enää muokkaamaan edellisen vaiheen toimintoja.

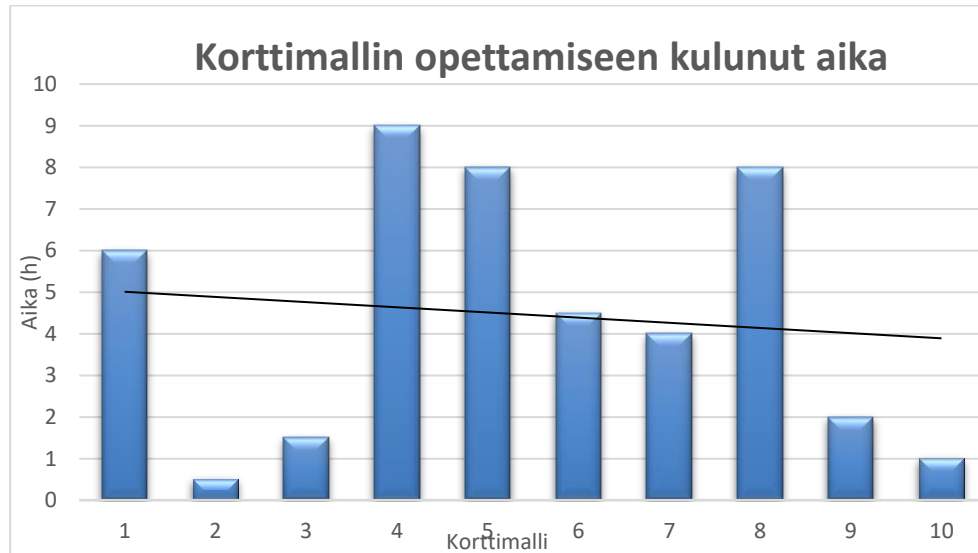
Laitteelle 2 ohjelma rakennetaan verkkolinkin takaa löytyvällä ohjelmistolla. Kun komponenttiosatiedosto on kohdistettu oikein paneelille, tuodaan luotu tiedosto tarkastuslaitteen ohjelmistoon. Laite käy läpi osalistan ja rakentaa komponenteille kotelointikirjastoon. Kotelot määräytyvät sen mukaan, minkä kokoinen komponentti on ulkomitoiltaan ja muodoltaan. Ensimmäisen korttimallin kohdalla määrittämättömiä komponentteja oli lähemmäs sata, mutta jo muutaman mallin jälkeen kirjastoon oli tarpeellista lisätä enää yksittäisiä osia mallia kohden. Tämä nopeuttaa ohjelmointia huomattavasti, verrattuna laitteen 1 tapaan suorittaa ohjelmointi. Komponenttikirjaston etuna on myös, että samoja tallennettuja parametrejä käytetään kaikilla samoilla osilla, eli toleranssien ja parametrien määrittäminen käy nopeasti.

Laitteita koekäytettiin viikkotasolla saman verran, mutta Laite 2 oli selkeästi aktiivisemmalla käytöllä. Tämä johtunee siitä, että laitteen käytettävyyks oli parempi ja käyttöliittymä vakaampi.

Laitteet kuitenkin havaitsivat samoja vikoja korteilta, eli vikojen tunnistuksessa ei ollut eroa. Oli kuitenkin havaittavissa, että Laite 1 antoi enemmän vääriä hälytyksiä, johtuen siitä, etteivät 3D-kuvat olleet todenmukaisia. Valo saattoi heijastua virheellisesti kirkkaista kohdista ja näin ollen laite piirsi piikkejä komponenttien juotoksiin. Laitteella 2 ongelmaa pystyttiin eliminoimaan käyttämällä pelkkää 2D-kuvaa tällaisissa ongelmallisissa kohdissa.

Kumpaankin laitteeseen sisältyy omat SPC- ja analyysityökalut, jotka keräävät tilastotietoa prosessista ja havaituista virheistä. Näiden avulla on mahdollista jäljittää piirilevyllä ilmenneet virheet pitkänkin ajan kuluttua. Lisäksi voidaan nähdä, mitkä ovat yleisimpiä prosessissa ilmenneitä virheitä ja tämän tiedon avulla voidaan tutkia virheiden juurisyitä.

Laitteen 2 pilottivaiheen edetessä kirjattiin ylös AOI-laitteelle korttimallien opettamiseen kuluneita aikoja (kuva 9). Trendiviivasta nähdään, että uuden korttimallin opettamiseen ja komponenttien parametrien säätöön kuluva aika on vähentynyt käytön myötä. Diagrammin tieto on kerätty laitteen koekäyttöjakson kolmen ensimmäisen viikon aikana.



Kuva 9. Korttimallien opettaminen ja säätöjen tekeminen nopeutuu, sillä laite hyödyntää komponenttikirjastoon aiemmin opetuista komponenteista tallennettuja toleransseja.

Korttimallit 1 ja 2 ovat keskenään sisarmalleja, joten erot kyseisissä korteissa ovat vähäisiä ja siksi opettaminen onnistui monta kertaa nopeammin toiselle mallille. Korttimallien 4, 5 ja 8 korkeammat tuntimäärät johtuvat siitä, että korteilla on AOI-laitteelle vaikeasti tunnistettavia

komponentteja. Näitä komponentteja ovat yleensä kiiltäväpintaiset komponentit, joiden heijastamasta valosta AOI-laite saattaa tehdä vääriä tulkintoja. Lisäksi kyseisten mallien kohdalla tuli AOI-laitteen komponenttikirjastoon uusia komponentteja, joiden määrittelyjen tekemiseen menee enemmän aikaa.

4.2 AOI-laitteen sijoittaminen tuotantoon

Tällä hetkellä elektroniikkatuotannon tilat ovat rajalliset, eikä in-line-ratkaisu ole fyysisesti mahdollinen ilman täysin uutta layout-suunnitelmaa. In-line-vaihtoehto olisi kuitenkin ihanteellinen pintaliitosprosessin laadun reaaliaikaisen seurannan kannalta. AOI-laitteelta saataisiin välittömästi tieto, jos pintaliitosladonnan laadussa toistuu jatkuvasti sama virhe. Tällöin prosessi on helppo keskeyttää ja tehdä tarvittavat muutokset, ennen kuin koko erä on valmistettu virheellisenä. In-line-sijoittelussa on myös automaatiopuolen etu, koska kortit pääsevät automaattisesti kuljettimia pitkin AOI-laitteelle tarkastettavaksi. Automaattisia kuljettimia käytettäessä linjalla riittäisi yksi nykyinen korttienlatausasema pintaliitosladontalinjan alussa, sekä linjan loppuun lajittelu hyvälle ja korjattaville piirilevyille.

Erikseen sijoiteltuna AOI-laitteelle on mahdollista kehittää useita erilaisia toimintamalleja. Toimintamallin rakentamisessa huomioidaan ensisijaisesti käytettävissä oleva tila sekä se, miten AOI-laitteen toimintaa on tarkoitus lähteä tuotannollistamaan. Onko laitteella tarkoitus tarkastaa aluksi vain muutamaa korttimallia, vai halutaanko opettaa jokainen malli silloin, kun se valmistuu pintaliitosladonnasta ja käy ajankohtaiseksi? Lisäksi tilan rajallisuuden takia on pohdittava paneeleille sopivat latausasemat, joita voisi hyödyntää tuotannossa myöhemminkin, kun tilaa on käytettävissä enemmän.

AOI-laitteen tuotannollisen käyttöönoton alussa laite vaatii aktiivista valvontaa operaattorilta. Laitteelle on tehtävä paljon säätöjä ja ohjelmanmuutoksia, jotta prosessista saataisiin mahdollisimman tehokas ja toimiva. Operaattorin tehtävänä on säätää asetuksia niin, ettei vääriä hälytyksiä ilmaantuisi. Alkuvaiheessa on mahdollista, että joudutaan käyttämään myös manuaalista piirilevyn vaihtoa, mikäli laite saapuu tuotantoon ennen varmoja päätöksiä lopullisesta sijoittelusta.

4.3 Työntekijöiden perehdytys

Uuden laitteen tai ohjelmiston oppiminen ei koskaan tapahdu hetkessä, ja se vaatii oppijalta aktiivisuutta ja motivaatiota. Jo pelkän ideologian ja toiminnan ymmärtämiseen kuluu aikaa, jos opittava kokonaisuus on oppijalle ennestään täysin tuntematon. Myös kouluttavan henkilön asiantuntemuksella ja esitystavalla on vaikutusta siihen, miten nopeasti uusi asia opitaan.

Tarkastuslaitteen toimintaperiaate on yksinkertainen, mutta sen käyttämä ohjelmisto voi aluksi vaikuttaa monimutkaiselta. Komponenttikohtaisia säätöjä löytyy lukuisia ja vain toistuvalla harjoittelulla oppii laitekokonaisuuden hallinnan. Komponenttien säätäminen tapahtuu visuaalisen reaaliaikaisen kuvan avulla, joten säätäessä huomaa heti, tekeekö säätöjä oikeaan suuntaan.

Tarkastuslaitteen hankkimisen yhteydessä on varmistettava riittävä koulutus, jotta laitteen kanssa työskentelevät henkilöt oppivat käyttämään laitetta. Laitevalmistajan ja maahantuojan tuki ongelmatilanteissa on tärkeää, jotta oppiminen ja laitteen käyttö ei keskeydy ensimmäiseen vastoinkäymiseen. Laitteen käytön oppimista nopeuttaa se, että laitteen operaattoreiksi koulutettavat työntekijät tuntevat myös pintaliitosprosessin. Nämä henkilöt toimivat jatkossa koneen käyttäjinä ja tietävät komponentit, joita laitteella tarkastetaan sekä IPC-A-610-standardin vaatimukset. Pintaliitosladonnan operaattoreilla on siis käsitys siitä, millainen poikkeama komponenteilla on sallittua. Näin ollen parametrien ja toleranssien asettaminen tapahtuu kokemuksen ja tietämyksen pohjalta.

Osaamistason kehittymistä voidaan havaita kolmella osaamisen tasolla, jotka kuvaavat alkuvaihetta (taso 1), harjoitteluvaihetta (taso 2) ja automaatiovaihetta (taso 3). [14, s. 25.]

Tasolla 1 työntekijä hahmottaa tarkastuslaitteen idean ja toiminnan. Uusia asioita tulee eteen jatkuvasti ja kaiken muistaminen on mahdotonta. Käyttöä harjoitellaan yrittämisen ja erehdyksen kautta ja työskentelyssä on havaittavissa epävarmuutta. Tasolla 2 työntekijä on omaksunut laitteen käytön ja muodostanut kuvan kokonaisuudesta. Mielikuva taidosta on kehittynyt ja työntekijä on motivoitunut oppimaan lisää, kun on huomannut perusasioiden onnistuvan. Työntekijä alkaa toimia itsenäisemmin ja osaa korjata virheitään. Automaatiovaiheessa tasolla 3 oppimista tapahtuu enää satunnaisesti ja laitteen käytöstä on muodostunut taito työntekijälle. Työntekijä käyttää laitetta tiedostamatta ja toiminta on automaattista. Virheitä tapahtuu vähän ja työntekijä kykenee tekemään useampaa tehtävää yhtä aikaa. [14, s. 25.]

Alussa laitteen kanssa työskennellessä oppimista tapahtuu paljon, mutta mitä pidempi aika kuluu, sitä vähemmän laitteen käytössä tulee vastaan uusia asioita ja näin ollen oppiminen hidastuu. Kun työntekijät ovat saavuttaneet tason 3, voidaan olettaa, että tarkastuslaite toimii täydellä sen hetkisellä kapasiteetillaan ja työntekijän toiminnasta johtuvia viivästyksiä ei ilmene.

5 Piirikorttien jäljitettävyyden kehittäminen

AOI-laitteen implementoinnin myötä herää kysymys, miten tunnistetaan AOI-laitteen hylkäävät kortit eli ne kortit, jotka eivät läpäise tarkastusta ja vaativat korjausta. Kuten mainittua, AOI-laite kykenee tallentamaan kuvatiedot korttikohtaisen sarjanumeron taakse ja tätä kautta viat kortilla saadaan näkyviin korjauspaikalla. AOI-laitteen järjestelmä kerää tilastoja vikojen määrästä ja laadusta. Lisäksi järjestelmästä on mahdollista päästä vaivattomasti tarkastelemaan tuloksia korttitasolla. Järjestelmästä löytyy myös tieto ajankohdasta, jolloin vikaa on ilmennyt. Tämän tiedon avulla on mahdollista lähteä tutkimaan, onko pintaliitosladontaprosessissa tapahtunut jotain, mikä on voinut aiheuttaa esimerkiksi suuren virhemäärän koneladontaerässä. Tai onko piirikorttien suunnittelussa jotain, mitä voitaisiin parantaa, jotta kyseistä vikaa ei enää tapahtuisi tuotannossa.

5.1 Toimintamalli ilman sarjanumerotunnistetta

Nykyisessä tuotantoprosessissa piirikortit saavat sarjanumeron vasta sähköisen testauksen työvaiheessa. Ennen tätä kortit kulkevat elektroniikkatuotannossa ilman tunnistetta ja tämä toimintatapa on ollut riittävä, sillä ei ole ollut tarvetta kerätä tietoa aiemmista tuotantovaiheista korttikohtaisesti. AOI-laitteen käyttö voidaan aloittaa ilman koneladontavaiheen sarjanumerotunnistetta, mutta tämä toimintamalli rajaa joustavuuden mahdollisuutta.

Korjausprosessin kannalta ei ole merkitystä, onko tarkastuslaite sijoitettu yhteydessä ladontalinjaan vai toimiiko se erillisenä tarkastuspisteenä linjan ulkopuolella. Eniten merkitystä on tavalla, jolla kortit tunnistetaan ja käsitellään korjausprosessissa.

Ensimmäisenä vaihtoehtona on, että tarkastuksen jälkeen kaikki piirikortit ladataan samaan makasiiniin, josta korttien korjaaja käy järjestyksessä vikoja sisältävät kortit läpi. Tässä tulee kuitenkin ylimääräistä työtä siitä, että korjaaja joutuu itse laskemaan, mitkä ovat virheitä sisältävät kortit. On myös tärkeää, ettei makasiinissa olevien korttien järjestys vaihdu missään vaiheessa, ennen kuin kortit voidaan päästää käsinladonnan työvaiheeseen.

Korttikohtaisen tunnisteen puuttuessa toisena vaihtoehtona on merkitä piirikortit paneelikohtaisesti. Tällöin AOI-laitteen jälkeen paneeliin liimataan tunnistekoodi, joka pitää

sisällään AOI-laitteen antaman tunnisteiden paneelille. Koodin avulla paneelin kuvat saadaan näkyviin korjauspaikalla, eikä korttien järjestys makasiinissa ole kriittinen.

Epäedullista näissä vaihtoehdoissa on, että piirikortteja ei pystytä yksilöimään ja jäljittämään jälkikäteen. Tämä tarkoittaa sitä, ettei kaikkia AOI-laitteen ominaisuuksia ja mukanaan tuomia mahdollisuuksia jäljitettävyyden suhteen päästä hyödyntämään.

5.2 Sarjanumerotunnisteen merkintä

Optimaalisessa tilanteessa korteissa on sarjanumerotunnisteet, kun ne saapuvat AOI-tarkastukseen. Tällöin korttien korjaaminen voi tapahtua vapaassa järjestyksessä ja toiminta on joustavampaa. AOI-laitteella saadut tiedot ja kuvat kortilta on tallennettu sarjanumeron taakse, ja koodinlukijalla on mahdollista avata tiedot korjaustyöpisteen tietokoneelle. Samat tiedot löytyvät järjestelmästä myöhemminkin, mikäli kortti vielä saapuisi korjaukseen uudelleen.

Piirikortin identifiointiin on saatavilla useita eri merkintätapoja ja merkintätapaa valitessa on huomioitava piirikortin materiaali, merkintätavan hankinta- ja ylläpitokulut, piirikortilla käytössä oleva tila ja kokonaisvaltainen soveltuvuus tuotantoprosessiin. Merkinnän tulisi mm. kestää kuumia lämpötiloja, sillä kortti kulkee kahden uunin läpi elektroniikkatuotannossa. Merkintä todennäköisesti tapahtuisi integroituna ladontalinjalla, joten merkinnän tuottamisen pitää olla nopea ja yksinkertainen prosessi. Yksi merkinnän haasteista on se, että tunnisteiden sijainti piirikortilla tulisi olemaan mallikohtainen. Tämä tarkoittaa, että merkintätavan pitäisi soveltua liikkumaan aksiaalisesti, jotta merkintä voidaan suorittaa useaan eri kohtaan. Tilaa piirilevyn komponenttipuolella merkinnälle on muutamia neliömillimetrejä mallista riippuen, joten merkinnän tulisi olla tarkka ja mahtua pienelle alueelle.

Tällä hetkellä merkintään käytetään piirikortin testauksen yhteydessä manuaalisesti liimattavaa sarjanumerotarraa ja yksi vaihtoehto on siirtyä käyttämään ladontakoneella kiinnitettävää tarraa. Ladontakoneetta hyödynnettäessä tarran liimauksessa suurempia laitehankintoja ei tarvitse tehdä. Markkinoilta löytyy ladontakoneeseen liitettäviä tarramakasiineja, jotka syöttävät tarttujalle sarjanumeron liimattavaksi piirikortille. Nämä tarrat on myös suunniteltu kestäväksi tuotantoprosessissa tapahtuvat uunitukset. Tässä vaihtoehdossa merkinnän tuottaminen ei vaikuta piirikortin läpimenoaikaan pintaliitosladonnassa. [15.]

Toisena vaihtoehtona on hankkia lasermerkkauslaite, joka polttaa sarjanumeron viiva- tai QR-koodina piirilevyille. Lasermerkkaus vaatii integroitavaa tarralaitetta enemmän tilaa linjalta. Laseria käytettäessä on otettava huomioon laserin vaatima suljettu kotelointi, jotta merkkaus voi tapahtua turvallisesti. Lasermerkkauslaitteen suojakotelointi hidastaa merkintäprosessia, sillä kortin liike seisahtuu kuljettimilla ja päätyluukkujen on sulkeuduttava, ennen kuin laserointi voi alkaa. Aikahäviö tuskin on merkittävää kokonaisprosessin kannalta, mutta on varottava, ettei merkintäprosessista tule liian hidas. [16.]

Laserin ja tarramerkin lisäksi kolmas vaihtoehto olisi käyttää tulostusta suoraan piirilevyille. Teollisuudessa käytettävät mustesuihkutulostimet ovat suunniteltuja nopeaan merkintään ja niiden mustesäiliöt ovat riittoisia, etenkin, kun huomioidaan piirilevyille tulevan tunnisteiden koko. Mustesuuttimen kuivumista on ehkäisty erilaisilla suojausmekanismeilla, ja mustesuihkun uskotaan olevan huoltovapaa laite. [17.]

6 AOI-laitteen vaikutukset

AOI-laitteen tuotannollisen käytön konkreettisten vaikutusten selvittämiseksi on tutkittu nykyistä tuotantoa ja verrattu sitä AOI-laitteen tuomiin muutoksiin. Pilottivaiheessa suoritettiin kolme tarkastelua, jotka käsittelevät piirikortin virheiden havaitsemiseen kuluvaan aikaan, AOI-tarkastuksen havainnointikykyä sekä piirikorttien valmistusaikojen muutoksia, kun AOI-tarkastus on otettu käyttöön.

6.1 Virheiden havaitsemisaika

Tarkasteluun valittiin korttimalli, jossa on ollut ongelmia komponenttien pystyyn nousemisessa. Jotta tarkastelu olisi validi, käytettiin vain samasta pintaliitosladonta erästä valmistuneita kortteja.

Tutkimus suoritettiin niin, että valittiin 60 kappaletta kortteja, jotka päästettiin normaalisti käsinladontaan ilman AOI-tarkastusta. Toiset 60 korttia tarkastettiin ja korjattiin ennen käsinladontaa. Kyseinen korttimalli pintaliitosladontaan neljän kortin paneeleissa, joten AOI-tarkastuksen läpi kulki 15 paneelia. Tarkastetuista korteista katsottiin tarkastukseen ja korjaukseen kulunut aika sekä merkattiin muistiin, montako virhettä korteissa ilmeni.

AOI-laitteen tarkastusaika on tälle tuotteelle 55 sekuntia/paneeli. Manuaalisesti suoritettuun paneelin vaihtoon ja AOI-tarkastukseen kului aikaa yhteensä 22 minuuttia. Tätä samaa aikaa (22 min) voidaan käyttää aikana, jonka korttierä oli tuotannossa pintaliitosladonnan jälkeen, ennen kaikkien virheiden havaitsemista. AOI-laitteella tarkastaessa havaittiin seitsemän virhettä, ja nämä korjattiin ennen käsinladonnan työvaihetta. Vikojen korjaukseen kului aikaa yhdeksän minuuttia, eli noin 1,3 minuuttia virhettä kohti. Korjauksesta huolimatta AOI-tarkastetuista korteista löytyi yksi virhe vielä sähköisessä testauksessa. Tämä virhe johtui korjauksen laadusta, eli korjausta ei ollut tehty tarpeeksi huolellisesti.

Tarkastamattomissa korteissa ilmeni kolme virhettä sähköisessä testauksessa. Kaikki virheet johtuivat pystyyn nousseista komponenteista ja voidaan olla varmoja, että AOI-laite olisi havainnut nämä virheet.

Virheiden havainnointitaulukossa on nähtävissä tuotannon tarkastelusta saadut tulokset (taulukko 2).

Taulukko 2. Virheiden havaitseminen

	AOI-tarkastetut	Ilman AOI-tarkastusta
Otanta (kpl)	60	60
Vikoja (kpl)	7	3
Korjausaika (min/virhe)	1,3	5
Virheen havaitsemiseen kulunut aika (min/kortti)	0,37	3,6

Yhteenvetona 60 tarkastamattomasta kortista kolme virhettä olisi voitu havaita jo aiemmassa prosessin vaiheessa, ja vastaavasti ilman AOI-laitteen käyttöä sähköisessä testauksessa olisi havaittu 10 virhettä 120 kortissa. Tuloksesta voidaan todeta, että AOI-laite karsii pintaliitosvirheiden määrää huomattavasti testausvaiheessa. Testausvaiheessa voidaan kuitenkin edelleen löytää virheitä, sillä kuten tämäkin tarkastelu osoittaa, korjausvirheen mahdollisuus on todellinen.

Aika, jonka kortit ovat tuotannossa ennen virheen havaitsemista, lyhenee merkittävästi AOI-laitteella tarkastaessa. Ilman AOI-tarkastusta korttien vikojen havaitsemiseen kuluu käsinladonnan työvaiheeseen kuluva aika. Tässä tapauksessa aika oli 216 min, eli 3,6 minuuttia yhdellä piirikortilla. AOI-laitteella tarkastettujen korttien viat saatiin selville 22 minuutissa, tällöin keskiarvoksi aika yhtä piirikorttia kohden on 0,37 min. AOI-laitteen avulla virheet piirikortissa havaitaan prosessitasolla lähes kymmenen kertaa nopeammin sekä sen pitäisi estää pintaliitosviallisten korttien pääsy käsinladonnan työvaiheeseen.

Piirikorttien korjausta nopeuttaa se, että AOI-tarkastetuille korteille on merkattu virheiden paikat laitteen antaman tiedon perusteella. Ilman AOI-laitteella suoritettua tarkastusta korjaaja joutuu itse etsimään virheet kortilta ja käsinladontakomponentit voivat olla hankaloittamassa korjausta. Sähköisen testauksen suorittajan työmäärää kasvattavat viallisista korteista tehtävät järjestelmäkirjaukset, jotka joudutaan tekemään vikojen havaitsemisen jälkeen. Manuaaliset järjestelmäkirjaukset tehdään, jotta pystytään seuraamaan vikamääriä ja -tyyppejä tuotannon saantomittarilla. Jatkossa AOI-laite kerää vastaavan tiedon pintaliitosladottujen korttien osalta heti ladontaprosessin jälkeen.

6.2 Virheiden havaitsemiskyky

Tässä tutkimuksessa samat piirikortit tarkastettiin sekä mikroskoopin avulla että AOI-laitteella. Tarkoituksena on tutkia puolueettomasti, havaitseeko ihminen samat virheet kuin tarkastuslaite ja kauanko tarkastukseen kuluu aikaa. Tarkastelulla ei ollut tuotannollisia tavoitteita, vaan se tehtiin antamaan konkreettisia lukuja AOI-laitteen nopeudesta ja monipuolisuudesta.

Tarkasteluun valittiin 10 paneelia, eli yhteensä 40 piirikorttia. Mikroskoopin avulla yhden paneelin tarkastukseen kului aikaa keskimäärin 4 min ja AOI-tarkastus yhdellä paneelilla kesti 55 sekuntia. Yhdeltä paneelilta oli mikroskoopilla tarkastaessa jäänyt huomaamatta kaksi virhettä, muuten AOI-laitteella ja mikroskoopilla havaittiin samat neljä vikaa korteissa. Havaituista virheistä viisi oli kriittisiä ja ne johtuivat pystyyn nousseista komponenteista. Yksi virheistä oli selvästi vinoon kääntynyt osa.

AOI-tarkastus oli yli neljä kertaa nopeampi kuin tarkastusta suorittanut ihminen ja laitteella havaittiin 1,5 kertaa enemmän virheitä kuin mikroskoopilla tarkastaessa (taulukko 3).

Taulukko 3. Mikroskoopilla tehtävä tarkastus ja AOI-tarkastus

	Mikroskoopilla tarkastetut		AOI-laitteella tarkastetut	
	Aika	Virheiden lukumäärä	Aika	Virheiden lukumäärä
Paneeli 1	04:40	-	0:55	-
Paneeli 2	05:00	2		2
Paneeli 3	03:00	-		-
Paneeli 4	04:00	-		2
Paneeli 5	04:10	1		1
Paneeli 6	03:20	-		-
Paneeli 7	03:00	1		1
Paneeli 8	04:00	-		-
Paneeli 9	04:20	-		-
Paneeli 10	04:50	-		-
Yhteensä	40:30	4	09:10	6

AOI-laitteen etu verrattuna ihmiseen on, ettei kone väsy tarkastamaan kortteja. Laite on myös huomattavasti ihmistä tarkempi, ja tästä syystä pienikään kaltevuus komponentin asennossa ei jää tarkastuslaitteelta huomaamatta. Puuttuvien komponenttien havaitseminen on ihmiselle lähes mahdotonta, sillä piirikorteilla voi olla paljon tyhjiä komponenttipaikkoja. Tarkastajan

täytyisi verrata levyä esimerkkipokuvaan, jotta näkisi, ovatko kaikki komponentit paikoillaan. AOI-laitteella tarkastaessa tieto saadaan heti, jos laite ei löydä tietyltä paikalta komponenttia.

6.3 Vaikutukset valmistusaikaan

Laadun parantamisen ohella AOI-laitteen tuotannollisella käytöllä pyritään nopeuttamaan korttien korjaamiseen kuluva aika. AOI-laitteen lisääminen tuotantoon tuo kuitenkin yhden työvaiheen lisää prosessiin, joten pintaliitosladonnan jälkeinen piirikortin valmistusaika pitenee. Realistisia tuloksia varten on jouduttu arvioimaan AOI-laitteen tuotannollisen käytön aiheuttamaa lisäaikaa, sillä todellista laitteen ulkopuolista käsittely- ja kuljetusaikaa ei tiedetä. Vain laitteen tarkastusaika on mitattavissa käytännössä, ja siihen on lisätty arvioita kuljettimien käyttöajasta kellottamalla muita tuotannossa olevia kuljettimia.

AOI-laitteen vaikutusta elektroniikkatuotantoprosessin valmistusaikoihin esitetään oheisessa taulukossa 4. Tarkasteltaviksi valitut tuotteet ovat keskenään erilaisia, jotta tuloksista saataisiin mahdollisimman kattava kokonaisuus. Piirikortin monimutkaisuus ja komponenttien lukumäärä vaikuttavat siihen, kuinka helppo piirikortilta on löytää virheitä korjausvaiheessa, jos toimitaan ilman AOI-tarkastusta.

Taulukko 4 AOI-laitteen vaikutus valmistusajan muutoksiin

	Tuote							Keskiarvo
	A	B	C	D	E	F	G	
Valmistusaika (min/kpl)	5,6	6,2	6,3	23,9	6,6	5,3	7,0	8,7
AOI-tarkastusaika (min)	0,2	0,2	0,3	0,7	0,2	0,1	0,3	0,3
Virheettömän kortin valmistusajan nousu AOI-tarkastuksen myötä (%)	4	3	4	3	3	3	4	3
Viällisen kortin korjausaika, kun AOI-tarkastusta ei käytetä (min)	5,5	6,0	6,2	13,5	8,3	6,2	6,2	7,4
Viällisen kortin korjausaika AOI-tarkastuksen jälkeen (min)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Korjattavien korttien läpimenoajan muutos (%)	- 77	- 78	- 79	- 90	- 84	- 79	- 79	- 81

Taulukkoon yhteenlaskettu valmistusaika koostuu käsinladonnasta, testauksesta ja järjestelmään kirjauksesta nykyisellä tuotannolla. (Liite 1) Kaikki tarkasteltavat ajat on jaettu niin, että tarkastellaan vain yhteen korttiin kuluva aikaa. AOI-laitteen tarkastusaikaan on lisätty hypoteettinen käsittelyaika kuljettimilla, sillä joka tapauksessa piirikortti pitää syöttää laitteeseen jollain tavalla.

Viallisen piirikortin korjausaika ilman AOI-tarkastusta sisältää vian etsintään kuluvan ajan, korjauksen sekä järjestelmäkirjauksen, joka suoritetaan korjauksen jälkeen huoltotyön purkamiseksi. Koska AOI-laitteen havaitsemista virheistä ei tehdä järjestelmäkirjauksia eikä vikojen etsimiseen kulu aikaa yhtä merkittävästi, korjausaika AOI-tarkastuksen jälkeen on puhtaasti se työaika, joka kortin korjaamiseen kuluu. Viallisen kortin korjausaika AOI-tarkastuksen jälkeen on kaikilla tuotteilla sama, sillä piirikortilla ei ole läpiladottuja komponentteja vaikeuttamassa korjaustyötä. Pintaliitosladotut piirikortit ovat yhdenvertaisia keskenään, eikä kortin koolla ja komponenttien lukumäärällä ole merkitystä, siksi korjaustyö on nopeampi suorittaa ennen käsinladontaa.

Vaikka AOI-laitteen käyttöönotto pidentää virheettömien korttien valmistusaikaa, niin korjattavilla korteilla korjaukseen kuluva aika on huomattavasti lyhyempi. Korjausaikoja vertaillen on kuitenkin huomioitava, että korjausaika nykyisellä tuotannolla vaihtelee paljon kortista ja viasta riippuen. Vian etsintään kuluva aika on merkityksellinen vertailun kannalta, mutta myös vaikea arvioida. On täysin sattumanvaraista, löytyykö vika kortilta välittömästi, viiden minuutin tarkastelun jälkeen vai ollenkaan.

Taulukon tuloksista voidaan laskea, että AOI-laite nostaa virheettömän kortin valmistusaikaa keskimäärin 3 % ja korjausaika lyhenee keskimäärin 81 %. Keskiarvoilla laskettaessa valmistusajan muutos näkyy tuotannolle positiivisena aina, kun piirikorttien korjaustarve on yli 3,6 %. Tällöin korttien lyhentyneestä korjausajasta saatava säästö on suurempi kuin AOI-tarkastuksesta johtuva pidentynyt valmistusaika. Tulosten pohjalta havaitaan, että jo muutaman kortin korjaus voi kattaa koko valmistuneen erän tarkastukseen kuluneen ajan. Tuotannolle saatava ajallinen hyöty on sitä suurempi, mitä useampi piirikortti tarvitsee korjausta ennen käsinladonnan työvaihetta.

Valmistusaikojen parantumisen myötä prosessi tehostuu ja sähköisessä testauksessa viallisten piirikorttien määrä vähentyy. Tämä vähentää testausvaiheessa tehtäviä huoltotyökirjauksia viallisista korteista ja nopeuttaa kortin korjaajan työmäärää sekä poistaa korjatun piirikortin uudelleen testauksen. Ajansäästön lisäksi tarkastusprosessilla saavutetaan säästöjä materiaalien kautta. Vaikka useimmat elektroniikkakomponentit ovat hankintahinnaltaan edullisia, niiden arvo

nousee koko ajan, mitä pidemmälle prosessia tarkastellaan. Tämän vuoksi on tärkeää päästä korjaamaan vialliset piirikortit ennen käsinladontaa, kun piirikortin jalostusarvo on huomattavasti alhaisempi.

Saavutetut tulokset todistavat tarkastelun alussa esitetyn teorian valmistusajan muutoksista oikeaksi. Vaikka AOI-laite lisää virheettömän kortin valmistusaikaa, viallisen kortin korjausprosessi tehostuu, jolloin se kompensoi elektroniikkatuotantoprosessin nopeammaksi tarkastuslaitetta hyödynnettäessä.

7 Pohdinta

Tähän opinnäytetyöhön kerätyn materiaalin ja tiedon pohjalta toimeksiantajan prosessin kehittäminen on oikea suunta elektroniikkatuotannon laadun parantamiseksi. AOI-laite mahdollistaa pintaliitosladonnan laadunvalvonnan heti ladontaprosessin jälkeen ja tällä pystytään seuraamaan valmistusprosessin laatutapahtumia. Lisäksi laitetta pystytään hyödyntämään piirikorttien korjausprosessissa, jossa se nopeuttaa virheiden löytämistä piirikortilta ja näin ollen korjausaika on lyhyempi nykyiseen toimintaan verrattuna.

AOI-laitteen tuotantoon sijoittamisen jälkeen on tärkeää, että tarkastusprosessi omaksutaan osaksi koko valmistusprosessia ja kaikki avainhenkilöt oppivat laitteen käytön. Aktiivinen työskentely korttien opettamisen, toleranssien asettamisen ja väärin hälytysten vähentämisen parissa nopeuttaa laitteelta toivottavan automaatiotason saavuttamista. Tarpeellisten syöttölaitteiden, kuljettimien ja/tai korttien lajittelijan (hyväksytyihin ja korjattaviin kortteihin) liittäminen AOI-laitteen yhteyteen on aiheellista manuaalisen työn vähentämiseksi.

Heti tuotantokäytön alussa ei ole suotavaa ryhtyä laadun parantamisen toimenpiteisiin, sillä aluksi laitteen antamat aiheettomat hälytykset voivat vääristää tilastoja. Kun tarkastuslaite on saatu toimimaan vakaasti, voidaan aloittaa saatujen tarkastustulosten ja tilastojen analysointi prosessin kehittämiseksi. Tarkastusprosessin tulosten analysoinnissa ja muutoksia tehdessä on muistettava yhteistyö eri yksiköiden välillä. AOI-laite antaa yksityiskohtaista tietoa laadusta, joten tiedon ja parannusehdotusten vieminen eteenpäin on helppoa.

Välittömien toimenpiteiden välttämisen poikkeuksena on elektroniikkatuotannon ilmankosteus ja lämpötila, joiden nykytilanne vaikuttaa kaikkiin valmistettaviin tuotteisiin. Työskentelyilman optimoinnilla vähennetään turhien yksityiskohtaisempien säätöjen tekemistä ja kokeilua, sillä tuotantotilan ilman on jo todettu olevan ajoittain epäideaali.

AOI-laitteen hankinta on yrityksen sijoitus tulevaisuuteen, sillä laitteen ominaisuudet lisäävät jatkokehityksen mahdollisuuksia. Jatkossa on mahdollista investoida esim. pastantarkastuslaitteeseen, joka kommunikoi AOI-laitteen kanssa. Jos pintaliitosladonnan tarkastukset halutaan maksimoida, on mahdollista liittää toinen AOI-laite ladontalinjaan ennen juotosuunia. Tulevaisuudessa myös ladontakoneille odotetaan vastaavaa tukea kommunikointia varten, jolloin AOI-laite voi itse lähettää tiedon ladontakoneelle usein virheellisesti asetetusta

komponentista ja ladontakone muuttaa asetuksiaan sen mukaan. Näiden kaikkien laitteiden keskinäinen kommunikointi prosessin epäkohdista vähentää manuaalisen työn tarvetta.

Kehitystyötä varten suoritettut tutkimukset AOI-laitteen vaikutuksista tuotantoon on pyritty toteuttamaan realistisina, vaikka tutkimushetkellä tarkastuslaitteen todellisia pitkäaikaisia vaikutuksia ei voidakaan mitata. Tutkimuksissa käytetyt aika- ja tulosarviot perustuvat nykyisestä tuotannosta mitattuihin arvoihin, joita on jalostettu tilanteen vaatimalla tavalla. Arvioiden ja laskelmien pohjalta voidaan tehdä päätelmiä ja oletuksia vaikutusten suuruudesta. Tutkimustyövaiheessa haasteellisinta on tietää, millaiseksi AOI-laitteen ympäristö tuotannossa muodostuu, esim. millaisilla piirilevyamakasiineilla korttien syöttäminen laitteelle toteutetaan. Nämä ratkaisut voivat vaikuttaa AOI-laitteen tuotannolliseen aikaan, mutta eivät kuitenkaan tuloksia radikaalisti muuttaen.

8 Yhteenveto

Työn loppuun kerätyistä tuotantoa vertailevista tutkimuksista käy ilmi, että AOI-laitteen vaikutukset tuotantoon ovat merkittäviä. Ensinnäkin, piirikorttien korjaus ennen käsinladontaa vähentää vikojen määrää sähköisessä testauksessa. Tämä toiminta saattaa jopa pelastaa joitakin kortteja, jotka olisivat viallisina saattaneet rikkoutua testauksessa lopullisesti. Toiseksi, AOI-laitteen antamat täsmälliset tiedot kortilla olevasta pintaliitosprosessin virheestä nopeuttavat korjaustyötä ja nämä tiedot tallentuvat AOI-laitteen järjestelmään, jolloin on mahdollista nähdä tilastotietoa prosessin laadusta. Kolmanneksi, tilastollisen prosessinohjauksen kautta päästään vaikuttamaan vikojen juurisyihin ja tätä kautta nostamaan tuotettavaa laatua.

AOI-laitteen käyttöönoton jälkeen prosessin tuottamaa laatua pystytään valvomaan huomattavasti nykyistä tilannetta paremmin ja laadunhallinnasta tulee helpompaa. Piirikorttien jäljitettävyyden parantaminen pintaliitosladontavaiheessa lisättävällä sarjanumerotunnisteella ja automaatiotason nostaminen liittämällä AOI-laite kiinteänä osana pintaliitosladontalinjaa ovat potentiaalisia jatkokehityssuuntia projektille.

Toimeksiantajan ainutlaatuinen mahdollisuus koekäyttää ja vertailla kahden eri valmistajan AOI-laitetta on auttanut myös tämän opinnäytetyön tiedon keräämisessä ja käytännön tason muutoksien tutkimisessa. Konkreettisen tekemisen ja kokeiluiden kautta työhön kerättyä tietoa voidaan pitää todenmukaisena. Työhön on kerätty tarkastusprosessin aloitusvaiheessa huomioitavia asioita, sillä laitteen käyttöönotto on toimeksiantajalle ajankohtainen. Pilottivaiheessa havaituista hyödyistä ja haasteista on haluttu tuottaa kattava yhteenveto, jotta laitteen tuotannollisen käytön aloittaminen tapahtuisi sujuvasti ja mahdollisimman nopeasti.

Lähteet

- 1 Mattila S. Laatu on yrityksen kehittämisen perusta. Saatavilla: <https://www.kohtilaatua.fi/l/laatuajattelu-on-yrityksen-kehittamisen-perusta/> Viitattu: 23.10.2018
- 2 Siemens. Teollisuuden kriittiset menestystekijät. Saatavilla: http://www.eis.fi/tapahtumat/2008/Siemens2008/02_Teollisuus_Megatrendit_2008_sho_rt.pdf Viitattu: 5.10.2018
- 3 Forstén A, Pintaliitoskomponenttien juotoskoulutus. 9.10.2018, Genelec Oy, Iisalmi
- 4 Logistiikan maailma. Laatu yrityksissä. Saatavilla: <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/laatu/laatu-yrityksissa/> Viitattu: 12.10.2018
- 5 Anttila J, Jussila K. Mitä laatu on? Saatavilla: https://www.sfs.fi/ajankohtaista/uutiskirjeet/uutiskirjeet_2016/mita_laatu_on_artikkeli Viitattu: 24.9.2018
- 6 IPC, the Association Connection Electronics Industries. Elektroniikkavalmisteiden hyväksyminen. IPC-A-610D (2005) s. 1-3, 1-4
- 7 Logistiikan maailma. Laadunhallinta, laatujohtaminen ja järjestelmät. Saatavilla: <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/laatu/laadunhallinta-laatujohtaminen-ja-jarjestelmat/> Viitattu: 8.10.2018
- 8 EPP Europe. Issues of fault coverage and quality. Saatavilla: <https://epp-europe.industrie.de/allgemein/issues-of-fault-coverage-and-quality/#slider-intro-1> Viitattu: 1.11.2018
- 9 Lambert L. EPTAC Webinar: Tips & Techniques PCB Assembly Inspection. Saatavilla: https://www.eptac.com/wp-content/uploads/2008/06/webinar_eptac_06_18_08.pdf Viitattu: 30.10.2018
- 10 Microscope. Omano Stereo Microscope Inspection System. Saatavilla: <https://www.microscope.com/omano-cx3-2300s-v3-digital-inspection-microscope.html> Viitattu 8.10.2018

- 11 Elexind. Vitechnology 3D SPI. Saatavilla: <http://www.elexind.it/pr/smt-equipment-inspection-solder-paste-inspection-138-pr.htm> Viitattu 8.10.2018
- 12 M.I.S. Electronics Inc. PCB AOI Testing Service. Saatavilla: <https://www.miselectronics.com/PCB-AOI-Testing.html> Viitattu 12.10.2018
- 13 Multipix. Moritex Telesentric lens. Saatavilla: <https://multipix.com/product/moritex-mtl-series-2> Viitattu 27.9.2018
- 14 Salakari, H. Taitojen opetus. Ylöjärvi: Eduskills Consulting; 2007.
- 15 Perel Oy. Tarrasyötin SMD-ladontakoneille. Saatavilla: <https://www.perel.fi/tuote/v84552677/kutronic-labelfeeder/tarrasyotin-smd-ladontakoneille/43388721/1> Viitattu: 31.10.2018
- 16 Cajo Technologies. Integroitavat lasermerkintäjärjestelmät. Saataville: <https://cajotechnologies.com/fi/laser-marking-systems/integrable-systems/> Viitattu: 31.10.2018
- 17 Suomen teollisuusmerkintä Oy. Jatkuvat toimiset mustesuihkutulostimet. Saatavilla: <http://www.teollisuusmerkinta.fi/laitteet/videojet-1000-sarja/> Viitattu 31.10.2018

Tuotantoaikojen laskeminen

Liite 1

Valmistusaika: THT+sähk.testaus+kirjaus

AOI-tarkastusaika:
$$\frac{\text{AOI+kuljettimet}}{n}$$

Korjausaika ilman AOI-tarkastusta:

Huoltotyökirjaus + korjausaika + huoltotyön purku + sähk. testaus

Korjausaika AOI-tarkastuksen jälkeen: korjausaika

THT= aika sisältää kaikki käsinladonnan työvaiheet

sähk. testaus= Sähköiseen testaukseen kuluva aika

kirjaus= Hyväksytystä kortista tehtävä kirjaus. Järjestelmässä kortti siirtyy varastotilaan, josta se on valmis loppukokoonpanoon.

AOI= AOI-laitteen tarkastusaika paneelilla

kuljettimet= arvioitu käsittelyaika kuljettimilla

n=piirikorttein määrä yhdellä paneelilla, vaihtelee tuotekohtaisesti

huoltotyökirjaus= viallisesta kortista tehtävä kirjaus, johon ilmoitetaan kortin vika

