



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

**JOOTMISE TOOTMISPROTSESSI VIGADE
LEIDMISE JA ANALÜÜSIMISE
DIGITALISEERIMINE**

**DIGITALIZATION OF SOLDERING ERROR DETECTION
AND ANALYZATION IN A PRODUCTION PROCESS**

RAKENDUSKÕRGHARIDUSTÖÖ

Üliõpilane: Liisbeth Tatter

Üliõpilaskood: 207877EDTR

Juhendaja: Karle Nutonen,
doktorant-nooremteadur

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

11. jaanuar 2024

Autor: Liisbeth Tatter

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

11. jaanuar 2024

Juhendaja: Karle Nutonen

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

11. jaanuar 2024

Kaitsmiskomisjoni esimees: Aime Ruus

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Liisbeth Tatter

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Jootmise tootmisprotsessi vigade leidmise ja analüüsimise digitaliseerimine, mille juhendaja on Karle Nutonen,
 - 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
 2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
-

11.01.2024

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

TalTech Instituudi nimetus

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Liisbeth Tatter, 207877EDTR

Õppekava, peeriala: Telemaatika ja arukad süsteemid, EDTR17/18

Juhendaja(d): Doktorant-nooremteadur, Karle Nutonen, 3363921

Lõputöö teema:

Jootmise tootmisprotsessi vigade leidmise ja analüüsimise digitaliseerimine

Digitalization of soldering error detection and analyzation in a production process

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade võimalikest AOI süsteemidest tootmisprotsessi jootevigade tuvastamiseks
2. Võrrelda võimalikke AOI süsteeme
3. Leida sobivaim GPV Estonia AS tootmisesse

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teemakohase kirjanduse läbitöötamine	10.23
2.	Andmekogumismeetodi ettevalmistamine	10.23
3.	Andmete kogumine	11.23
4.	Andmete töötlemine ja analüüs	12.23
5.	Tulemuste interpreteerimine	12.23
6.	Lõputöö käsikirja kokkupanek ja viimistlemine	01.24

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: 11. jaanuar 2024. a

Üliõpilane: Liisbeth Tatter digitaalselt allkirjastatud 11. jaanuar 2024. a

Juhendaja: Karle Nutonen digitaalselt allkirjastatud 11. jaanuar 2024. a

Programmijuht: Aime Ruus digitaalselt allkirjastatud 11. jaanuar 2024. a

SISUKORD

EESSÕNA	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	7
SISSEJUHATUS	8
1. ELEKTROONIKA TOOTMINE	10
3.1 Lävivauktehnoloogia	10
3.2 Pindliitetehnoloogia	12
3.3 Lävivauktehnoloogia kasutamine tootmisprotsessides.....	13
Räbusti	14
Eelsoojendus	15
Jootmine	16
Visuaalne kontroll	16
3.4 Jootevaad	17
2. AUTOMAATNE VISUAALNE KONTROLL (AOI).....	23
3.1 AOI algoritmid	23
3.2 Piltide tegemine.....	25
3.3 Valgusallikas	25
3.4 Süsteemi programmeerimine	26
3. OLEMASOLEVATE AOI-DE VÕRDLUS.....	27
3.1 modusAOI.....	27
3.2 GÖPEL.....	29
3.3 MEK	30
3.4 Viscom	32
4. TULEMUS JA TEHNOLOOGIA VALIMINE	34
KOKKUVÕTE	36
SUMMARY.....	37
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	38

EESSÕNA

Antud rakenduskõrgharidustöö teema sai alguse autori praktikast ettevõttes GPV Estonia AS, kus autor tegeles automaatoptilise inspeksiooni (edaspidi AOI) süsteemi tundma õppimisega ja ettevõtte tootmisse juurutamisega. Töö teema pakuti välja läbivauktehnoloogia protsessiomaniku ja praktikajuhendaja Ramon Kook poolt.

Töö eesmärk on analüüsida ettevõtte tootmise parendamiseks võimalikke AOI süsteeme ning teha ettevõttele GPV Estonia AS ettepanek, milline lahendus sobib läbivauktehnoloogia protsessi parendamiseks kõige paremini. Töö kirjeldab peamisi jooteprotsesse, läbivauktehnoloogia jootevigu ning milliseid vigu AOI tuvastama peaks. Seejärel valitakse AOI süsteem.

Võtmesõnad:

Automaatoptiline süsteem, tark tootmine, elektroonika tootmine, jootmine, läbivauktehnoloogia, diplomitöö

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

AOI – automaatne visuaalne kontroll (ingl. *Automated Optical Inspection*)

EMS – Elektroonika tootmisteenus (ingl. *Electronics Manufacturing Services*)

PCB – trükkplaat (ingl. *printed circuit board*)

SMA – pindliite assamblee (ingl. *Surface-Mount Assembly*)

SMD – pindliitekomponent (ingl. *Surface-Mount Device*)

SMT – pindliite tehnoloogia (ingl. *Surface-Mount Technology*)

THA – läbivauk assamblee (ingl. *Through-Hole Assembly*)

THT – läbivauktehnoloogia (ingl. *Through-Hole Technology*)

SISSEJUHATUS

Iga ettevõtte jaoks on oluline, et nende tehtav töö oleks efektiivne ja kvaliteetne, aina enam keskendutakse ka keskkonnasäästlikkusele ja jätkusuutlikkusele. Elektroonikat tootvas ettevõttes tekkinud vead ei ole kahjulikud ainult ettevõttele endale, näiteks tarne venimise ja seeläbi rahalise kulu suurenemisega, vaid ka tootmisvigade puhul tekkiva prügiga keskkonnale. Kvaliteetse ja efektiivse töö tegemiseks on võimalik erinevaid tootmisprotsesse digitaliseerida, seeläbi analüüsida tekkinud vigu, neid ennetada ja vältida.

Läbivauktehnoloogia (ingl. *Through-Hole Technology*, lühendatult *THT*) ei ole kõige uuem tehnoloogia, kuid on endiselt kasutuses trükkplaatide tootmises oma kvaliteetsete tehniliste omaduste tõttu. Suurema vasesisalduse tõttu on keerulisemate toodetega töötamine problemaatiline - tulemuseks on töötajate aja, rahaline kulu ning madal kvaliteet, mida aga tootmisettevõtte vältida soovib [1]. Kui montaaži läbinud tootega esineb probleeme on analüüsimiseks hetkel vaja mitme erineva taustaga inimesi – kedagi, kes probleemi avastab, kes probleemi analüüsib ja vastavad muudatused teeb. See on ettevõttele vajalik inimressurss, mille vajalikkus tuleks viia minimaalseni ning sisse juurutada digitaalne abivahend [2], mis oleks töökindel ega nõuaks suurel hulgal inimeste koolitamist.

Tark tootmine (ingl. *smart manufacturing*) suudab prognoosida uusi tekkivaid vajadusi ning kiiresti tuvastada tekkinud vigu, läbi mille on võimalik edendada tootmisprotsessi, suures pildis luua uusi tooteid ning parendada teenuseid [3]. Kui veel mõni aeg tagasi tähendas uue tehnoloogia kasutusele võtmine tehnoloogia jaoks tootmise kohandamist, siis tänapäeval peab uus tehnoloogia suutma adapteeruda ettevõtte protsessidega [4]. Soovitava efektiivsuse saamiseks on hädavajalik eeltöö, milline on sobivam tehnoloogia võttes arvesse ettevõtte vajadusi [2]. Tark tootmine pakub lisaväärtust andmete kogumise ja säilitamise kujul, andes sellega võimaluse tootmise muid protsesse edendada [5].

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on:

1. Anda ülevaade võimalikest AOI süsteemidest tootmisprotsessi jootevigade tuvastamiseks,
2. Võrrelda võimalikke AOI süsteeme,
3. Leida sobivaim GPV Estonia AS tootmisesse.

Töö käigus ei keskenduta tarkvara kulude ja tulude analüüsile. Tegemist on lõpliku otsuse tegemisel väga olulise aspektiga, kuid käesoleva lõputöö mahust jääb see välja.

Käesolev lõputöö koosneb neljast peatükist. Esimeses peatükis tutvustatakse kahte peamist elektroonika tootmise tehnoloogiat, läbivauktehnoloogiat ja pindliitetehnoloogiat. Alapeatükis tutvustatakse läbivauktehnoloogia kasutamist tootmisprotsessides ning selle jootevigu. Teises peatükis tutvustatakse automaatse visuaalse kontrolli valimiseks vajalikke erinevusi. Kolmas peatükk keskendub olemasolevatele AOI süsteemidele, et tuua välja nende tugevused ja nõrkused. Neljandas peatükis võrreldakse eelnevalt tutvustatud süsteeme ning autor teeb otsuse, milline AOI sobib ettevõttesse GPV Estonia kõige paremini.

Lõputöö tulemusena teeb töö autor ettepaneku ettevõttele GPV Estonia AS, milline AOI süsteem on uurimuse põhjal kõige sobivam tarkvara investeeringuks.

1. ELEKTROONIKA TOOTMINE

Elektronika tootmise esimesed protsessid hõlmavad endas komponentide jootmist eelnevalt disainitud ja ettevalmistatud trükkplaadile. Trükkplaat, mis on vajalikud elektroniliste ühenduste loomiseks, peetakse elektronika südameks [6].

Elektronika koostamisel on kasutusel kaks peamist jootmise tehnoloogiat – pindliite tehnoloogia (ingl. *Surface Mount Technology*, lühendatult *SMT*) ja läbivauketechnoloogia (ingl. *Through Hole Technology*, lühendatult *THT*). Jootmise protsessi valimisel tuleb täpsemalt arvestada, milliseid komponente soovitakse trükkplaadile joota ning kas esineb kombinatsiooni SMA ja THA komponentidest [7].

Jootmine tähendab elektroniliste komponentide liitmist jootesulamiga. Jootmisprotsessi materjaliks on reeglina tinasulam, millesse on lisatud omadusi parendavaid lisaaineid [7]. Eesmärk on luua sile jootekoht, millelt on tuvastatav väljaviigu kontuur ning joodis on loonud kiilja serva, kusjuures jootekoht on kujult nõgus [8].

Sõna jooke pärineb ladina keelsest sõnast „*solidare*“ tähendades eesti keeles millegi tugevamaks muutmist, elektronikatööstuses viidatakse sellega metallide ühtseks liitmist, et luua võimalus elektronilisteks ühendusteks [8].

Elektronika tootmisteenusid (inglise keeles *Electronics Manufacturing Services*, lühendatult *EMS*) pakkuvaks ettevõtteks peetakse tööstusettevõtet, mille tegevusalaks on toota elektronilisi komponente tellijatele [9]. Ettevõtte GPV Estonia AS on globaalne EMS ettevõtte, pakudes klientidele kvaliteetset, töökindlat, tõhusat ja paindlikku toodangut [10]. Ettevõtte pakutavate teenuste seas on pindpaigalduse ja läbiaugumontaaži tehnoloogiad, testimine, lakkimine ja lõppkooste [10].

3.1 Lävivauketechnoloogia

Lävivauketechnoloogia kui protsess kujutab endas komponendi asetamist läbi trükkplaadi, mille väljaviikudele on eelnevalt loodud toote disaini põhjal augud jootesihthoolele ning jootmine toimub teisel pool trükkplaadi jootepoolel [11]. Koostaja, inimene või robot,

kontrollib, kas tegu on õigete komponentidega ning asetades neid trükkplaadile, jälgib komponentide korrektset asetust selleks ette antud positsioonile. Kui trükkplaadile on elektroonilised komponendid lisatud, luuakse elektriline ühendus jootmise abil, näiteks lainejootmisega. Läbivauktehnoloogiat on eelistatud elektroonilistel toodetel, mis peavad olema väga töökindlad, toimima ekstreemsetes keskkondades ja vastu pidama mehaanilisele pingele. [6]

Läbivauktehnoloogia positiivseteks aspektideks on:

- Tehnoloogia on kasutusel olnud pikemal perioodil ning tänu sellele hästi välja arendatud,
- Komponentide kättesaadavus on hea,
- Lõpptoote töökindlus on tõestatud,
- Elektrooniliste testide vajadused on arusaadavad,
- Vajadusel on võimalik sooritada parandustöid. [7]

Läbivauktehnoloogial on siiski ka miinuseid, mõned neist on:

- Trükkplaadile saab asetada arvuliselt vähem komponente, sest need võtavad rohkem ruumi,
- Komponentid on kaalult raskemad, mis tähendab lõpptoote füüsilise raskuse suurenemist,
- Komponentide jalgade jaoks loodud augud piiravad trükkplaadi sees olevate ühendusradade marsruudi tihedust. [7]

Läbivauktehnoloogia kogus tuntust teise põlvkonna arvutite ehitamise ajal 1950. aastatel. Eialgu toimus komponentide montaaž trükkplaadi ühele küljele, kuniks tekkis vajadus keerulisematele toodetele ning seetõttu muutusid trükkplaadid ajapikku kahepoolseks ja siis juba mitmekihiliseks. [11]

Lisaks läbivauktehnoloogiale laialdasele kasutusele suurenes 1980. aastatel pindliitetechnoloogia kasutamine, mida peeti algselt läbivauktehnoloogia lõpuks. Siiski on läbivauktehnoloogia jäänud laia kasutusse oma töökindluse ja kõrge vastupidavuse tõttu. [11]

3.2 Pindliitetehnoloogia

Pindliitetehnoloogiat tutvustati esmakordselt juba 1960. aastatel [12], kuid populaarsus tõusis alles 1980. aastatel ning nüüd on see peamine jooteühenduste loomise tehnoloogia [6]. Pindliitekomponendid on väga väikese jalajäljega ja neid võidakse paigaldada mõlemale poole trükkplaati [13]. Komponendid joodetakse otse trükkplaadile [14] kasutades jootepastat. Alternatiivselt saab komponente plaadile kinnitada ka liimi abil, mis tähendab et jooteühendus tekib lainejootmise protsessi käigus [13].

Pindliitetehnoloogia positiivseteks aspektideks peetakse:

- Võimalus paigaldada trükkplaadile koguseliselt rohkem komponente, sest komponentide füüsiline suurus on väike,
- Protsessi on lihtsam automatiseerida, vähem manuaalset tööhulka,
- Kõrge paindlikkus,
- Suurendatud töökindlus ja jõudlus,
- Võimalik on disainida trükkplaate, mis on kergemad ja õhemad,
- Komponente on võimalik paigutada mõlemale poole ilma takistusteta aukude näol,
- On võimalik lisada trükkplaatidele paralleelselt läbivaukkomponentidega,
- Ettevõtte jaoks on väiksem tootmiskulu. [15]

Pindliitetehnoloogial on siiski ka miinuseid, mõned neist on:

- Lihtsasti purunevad tooted ja komponendid,
- Jootmistehnoloogiale on kõrged ootused,
- Keeruline visuaalkontroll komponentide suuruse tõttu,
- Palju erinevaid jootmisühendusi muudavad protsessi keerulisemaks,
- Suured investeeringud masinatesse. [15]

Tänu pindliitetehnoloogia laialdasele kasutusele 21. sajandil ning selle käigus kasutatakse enamasti suurtes mahtudes standardiseeritud komponente, on nii selle koostet kui ka järelkontrolli olnud võimalik automatiseerida. Ettevõttes GPV Estonia AS on antud protsessi kontrolliks olemas AOI süsteemid, mis on ka motivatsiooniks parendada läbivauktehnoloogia protsessi ja leida sinna toetavad AOI süsteemid.

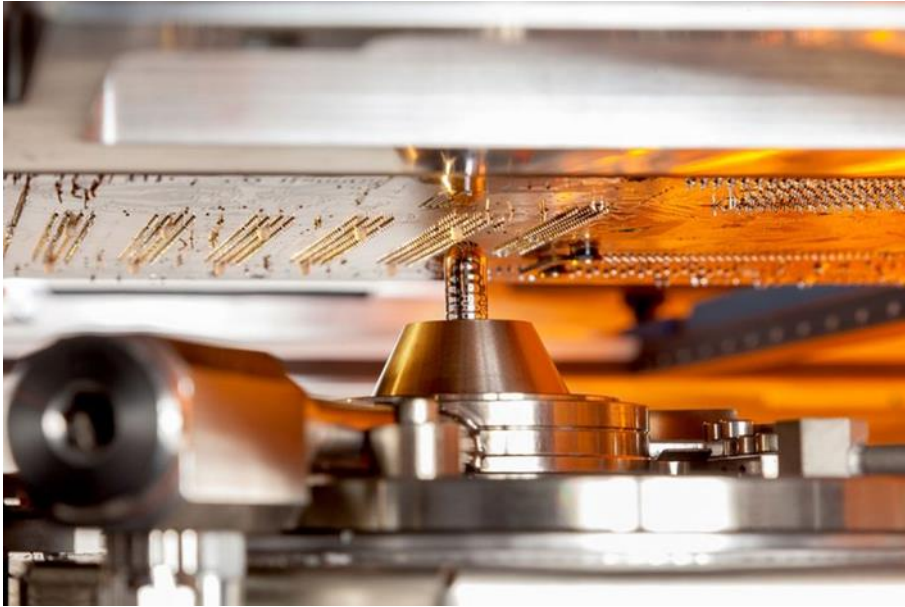
3.3 Lävivauktehnoloogia kasutamine tootmisprotsessides

Antud peatükis annab töö autor ülevaate lävivauktehnoloogia protsessi etappidest, mis on vajalikud edukaks lõpptulemuseks.

Lisaks mitmele jootmise tehnoloogiale, on olemas ka erinevad protsessid, kuidas jootmine läbi viiakse. On võimalik jootmist teha käsitsi, kuid suures tootmistehases ei ole see kõige mõistlikum ressursside kasutamise viis. Eelistatud viis läbiaugumontaaži ühenduste loomiseks on masinjootmine, mis jaguneb peamiselt kaheks – lainejootmine (vt Joonis 1-1) ja selektiivjootmine (vt Joonis 1-2).



Joonis 1-1. Kurtz Ersä lainejootemasin [15]



Joonis 1-2. Kurtz Ersa selektiivjootemasin [17]

Olenemata valitud masinjootmise viisist, on protsessis samad etapid. Erinevates etappides on võimalik kasutada erinevaid meetodeid, kuid antud peatükis on keskendunud meetoditele, mida kasutatakse ettevõttes GPV Estonia AS.

Järgnevalt on lahti kirjeldatud etapid, mis toimuvad läbivauketehnoloogia protsessis. Enne jootemasinasse panekut, paigaldab käsiladuja manuaalselt komponendid trükkplaadile ning asetab raamis oleva toote konveierile, mis seda jootemasinas transpordib.

Räbusti

Esimese etapina pihustatakse tootele räbustit. Antud sammu eesmärgiks on luua jootesulamile hea keskkond tugevate ühenduste loomiseks. See puhastab pinna ning valmistab toodet ette jooteprotsessiks [16]. Õige räbusti valimine ja korrektne kasutusviis määravad otseselt toote töökindluse, sest jooteühendused tekivad vaid oksiidi- ja mustusevabal pinnal [7].

Õige räbusti valimise nõuded on järgnevad:

- Peab eemaldama oksiidikihi,
- Peab olema termiliselt stabiilne,
- Peab vältima oksüdeerumist jootmistemperatuuril,
- Peab vähendama liidese pindpinevust,
- Ei tohi kahjustada komponente,

- Soovi korral kergesti eemaldatav,
- Ei tohi mõjutada toote töökindlust, kui on jäänud täielikult eemaldamata. [7]

Räbusti lisamise viise on mitmeid – vahuna, lainetamisena, pintseldades või pihustades [7]. Lainejooteprotsessis on eelistatud vedel räbusti, mida saab pihustades kanda konkreetsetele piirkondadele, kus toimub jootmine [17], Ersa poolt loodud jootemasinad kasutavad standardina räbusti lisamist tootele just pihustades [18].

Eelsoojendus

Eelsoojendusetapi eesmärk on ühtlaselt suurendada koostatud trükkplaadi temperatuuri toatemperatuurilt piisavalt kõrgeks, et toode ei jahtuks ära enne jooteprotsessi jõudmist. Trükkplaatide eelsoojenduseks saab kasutada kuumaõhu püstoleid, ahjusid ja infrapuna lainetega eelsoojendajad (vt Joonis 1-3) [19], mis on valitud GPV Estonia AS laine- ja selektiivjootemasinatesse.



Joonis 1-3. Kurtz Ersa eelsoojendus lainejootemasinas [15]

Eelsoojendamine on väga oluline vaheetapp, sest nii aktiveerub räbusti maksimaalne tõhusus. Eelsoojenduse käigus vähendatakse trükkplaadil võimalikku temperatuuri

erinevusest tekkiva šoki ohtu, samuti väheneb jootelainest vajalik soojushulk hea jootekvaliteedi saavutamiseks ja seeläbi kiirendatakse tootmist, sest toote ja jootesulami kokkupuute aeg väheneb. [20]

Jootmine

Ettevõttes GPV Estonia AS kasutatakse kahte masinjootmise tehnoloogiat – lainejootmine ja selektiivjootmine.

Lainejootmine on ökonoomne ja efektiivne viis elektroonika masstootmiseks [18], mille käigus on toode kokkupuutes jootesulamiga [21], et soojendada ja luua jooteühendusi [7]. Erinevad tooted, oma disaini ja eesmärgi poolest, vajavad kvaliteetseteks jooteühendusteks erinevaid sätteid, mida on võimalik lainejootemasinal muuta. Põhilised lainejootes omadused on määratud laiuse järgi, mis tagab, et risti trükkplaadi liikumissuunaga saaks kogu toode kokkupuute jootesulamiga, ja laine kõrguse järgi ehk maksimaalne kaugus harja tipust düüsi teradeni. [7]

Selektiivjootmine on paindlik ja eelistatud viis elektroonika tootmiseks, sest üksik ots jootepajal tagab võimaluse suunata vedel joode täpselt vajalikku kohta. Selektiivjootmist eelistatakse temperatuuritundlike komponentide ja piiratud ligipääsetavuse puhul, ohuga SMD komponendid lahti joota. [22]

Visuaalne kontroll

Toode, mis on läbinud eelnevad etapid, vajab visuaalset kontrolli, et tagada massitootmisel kvaliteet. Siiski ei taga visuaalkontroll täielikult toote kvaliteeti, näiteks ei ole võimalik inimsilmaga tuvastada jootesulami kvaliteeti ning teatud komponentide puhul jootes vertikaalset täituvust. [16]

Visuaalkontrolli sooritav töötaja peab kontrollima trükkplaati nii jootes poolelt kui ka jootes sihtpoolelt. Jootes sihtpoolelt tuvastatavad vead on suuremas osas tuvastatavad juba enne toote asetamist konveierile ning masinasse saatmist. Need vead on järgnevad:

- Komponenti jalg on paindunud
- Komponent on kõrgemal või madalamal
- Komponent on praak või valesti töödeldud
- Komponent on viltu
- Tegemist on vale komponendiga

- Komponenti polaarsus trükkplaadil on vale
- Komponenti väärtus on vale

Lisaks vigadele, mida saab tuvastada juba enne toote saatmist masinasse, peab visuaalkontrollija kontrollima ega ei ole trükkplaadi sihtpoolele valgunud joodet (vt Joonis 1-4).



Joonis 1-4. Trükkplaadile valgunud joodis

3.4 Jootevead

Elektronikatööstuses on olulisel kohal rahvusvahelise organisatsiooni poolt loodud IPC standardid, mis tagavad elektronikatööstuse kvaliteedi ja töökindluse, kirjeldades detailselt valdkonnas tegutsejatele seatud ootusi [23].

Standardi kasutamiseks on vajalik klassifitseerida elektronika koostud vastavalt planeeritavale kasutusotstarbe (vt Tabel 1-1), kehtestatud on kolm tooteklassi, kuid ühes lõpptootes olevad koostud võivad kuuluda erinevatesse tooteklassidesse. Tooteklassi määrab klient hankelepingus. [20] Tööstuselektronika tootvas ettevõttes GPV Estonia AS kuulub enamus tooteid klass 2.

Tabel 1-1 IPC klassid [20]

Klass 1	Laiatarbe-elektronikatooted	Ainus eesmärk on lõpptoote toimimine.
Klass 2	Äriklassi elektronikatooted	Peab olema jätkusuutlik ja vastupidav, tagama tõrgeteta töö, kuid see ei ole kriitilise tähtsusega.
Klass 3	Eriotstarbelised ja rasketes keskkonnatingimustes töötavad elektronikatooted	Peab vastu pidama pikemat perioodi ja olema kõrge jätkusuutlikkusega, toode peab vastu pidama rasketele keskkonnatingimustele ja tagama tõrgeteta töö. Kolmandasse klassi kuulub näiteks meditsiinitehnika.

Standardites on toodud välja milline tulemus on eesmärgiks, kuid seda tulemust ei pruugi alati olla lihtne saavutada. Seetõttu on oluline, et saadud tulemus oleks vähemalt aktsepteeritav, kuid siiski on võimalik, et tekib olukordi, mis ei vasta standardiga määratud tehnilistele olukordadele. Neid olukordi nimetatakse vastavalt defektiks ja protsessiindikaatoriks.

Defekti puhul ei ole tagatud elektroonilise kooste vorm, sobivus või töövõime. Protsessiindikaatoriks peetakse olukorda, mis on tingitud kõrvalekaldest, näiteks materjali, tööriistade või protsessi, kuid see ei mõjuta otseselt lõppkooste vormi, sobivust või töövõimet. Üks olukord võib olla klass ühes aktsepteeritav, klass kahes protsessiindikaator ja kolmandas klassis defekt, kuid on ka olukordi, kus kõrvalekalded on märgitud defektiks või aktsepteerituks kõigis kolmes klassis. Nõuded on standardis märgitud iga selgituse juurde. [20]

Kvaliteetne läbivauktehnoloogia jootehendus on sile, jootekuju on nõgus ja ühenduste märgumine, ehk vedelik on pinnal voolanud sujuvalt ega pole tekkinud piiskasid, on hästi tuvastatav. Lisaks sellele peab olema tuvastatav komponendi väljaviigu kontuur. [8] Kuigi eesmärk on tagada kvaliteetne ja järjepidevalt töötav protsess, tekib vahepeal siiski kõrvalekaldeid jooteprotsessis ning need kõrvalekalded võivad tekitada olukorra, kus jootekvaliteet ei vasta ootustele ja seda nimetatakse defektiks.

Defektid klass kahe puhul on järgmised:

- Augud jootes liideses (vt Joonis 1-5 **Error! Reference source not found.**) on defekt, kui augud jootehenduses vähendavad jootehenduse joodetavat ala alla miinimumnõuete. [8]



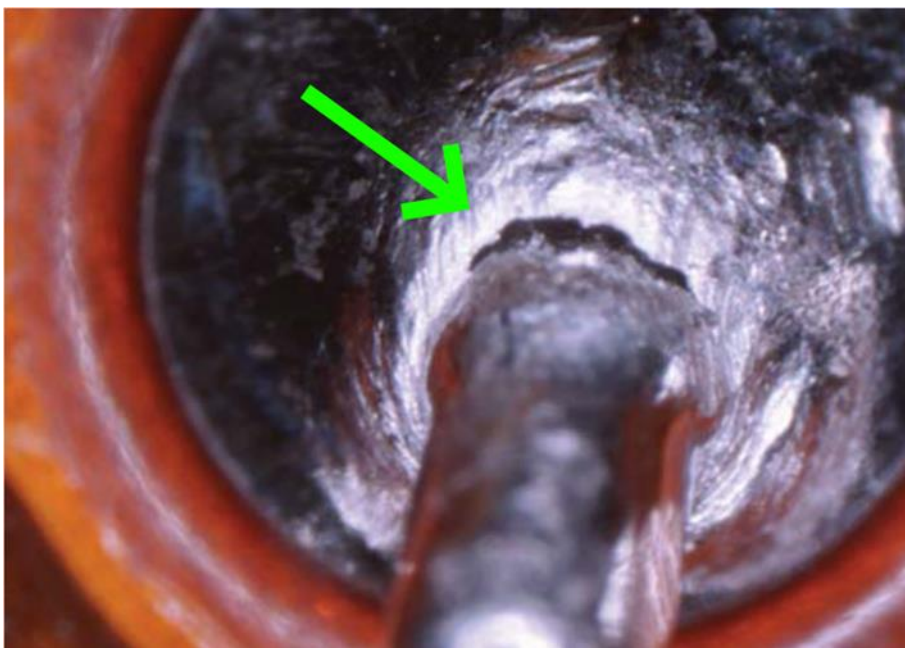
Joonis 1-5 Auk jootes liideses

- Joode puudub (vt Joonis 1-6)



Joonis 1-6 Joode puudub

- Lõhe või mõra joodises (vt Joonis 1-7) loetakse defektiks [8].



Joonis 1-7 Mõra joonises

- Komponenti jalg peab olema trükkplaadist läbi ulatuma, mitte ulatudes (vt Joonis 1-8) ja jootes mitte nähtavana loetakse seda defektiks [20]



Joonis 1-8 Komponenti jalg ei ole läbi plaadi

- Üleliigne jootekogus (vt Joonis 1-9)



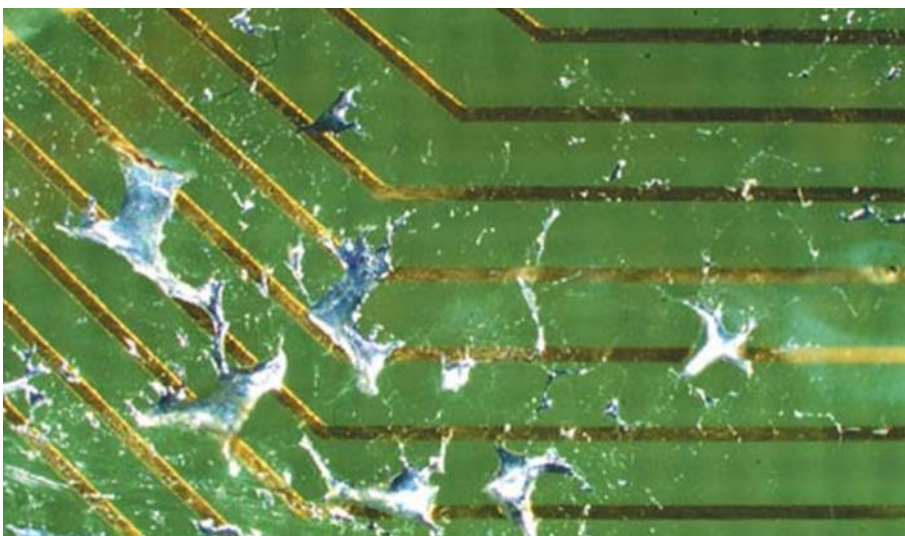
Joonis 1-9 Üleliigne jootekogus

- Ebapiisav jootekogus
- Puuduv komponent on defekt, mis näeb jootepoolt välja samamoodi nagu jooteühendus, kui läbiviik pole läbi trükkplaadi.
- Joodisepallid (vt Joonis 1-10) on defekt, kui need ei ole trükkplaadil kinnitunud või kapseldunud ning võivad tavalises lõpptoote keskkonnas eralduda [8].



Joonis 1-10 Joodisepallid

- Joodise pritsmeid (vt Joonis 1-11) loetakse defektiks, kui trükkplaadile on tekkinud joodise niidistik, joodise pritsmed ei ole kinnitunud või kapseldunud, samuti võivad pritsmed metallkomponendi pinnal kahjustada komponendi töövoimet [8].



Joonis 1-11 Joodise pritsmed [8]

- Joodisepiigid (vt Joonis 1-12) on defekt, kui need rikuvad toote või väljaviigu maksimaalse kõrguse nõudeid ning kui piik rikub minimaalset juhtide vahelist vahemaad [8].



Joonis 1-12 Joodisepiik [8]

- Külmjoode (vt Joonis 1-13), ebapiisav märgumine, mittemärgumine või valguga joode on defekt. [8]



Joonis 1-13 Külmjoode

- Jootesillad (vt Joonis 1-14) on defekt, kui kahe elektrijuhi vahel tekib ühendus, mis ei tohiks omavahel olla elektriliselt ühendatud [8].



Joonis 1-14 Jootesild

2. AUTOMAATNE VISUAALNE KONTROLL (AOI)

Asendades inimese poolt tehtav töö automaatse visuaalse kontrolliga, lühidalt AOI, tuleb arvesse võtta mitmeid erinevaid aspekte. AOI valimisel on olulised võimaliku kontrollitava ala suurus, milliseid vigu suudab süsteem tuvastada, samuti millise algoritmiga tuvastab AOI vigu, kuidas toimub pildi loomine, valgustusallikas ja programmeerimismeetod [24]. Järgnevalt on lahti selgitatud suurimad erinevused AOI süsteemides, mis on hiljem abiks süsteemide võrdlusel.

3.1 AOI algoritmid

AOI süsteem tuvastab jootevead analüüsides toodet visuaalselt. Analüüsiks on olulised kaamerad ja valgustus, kuid nendest olenemata on kõige olulisem etapp sisuline – kuidas analüüsib süsteem toodet. Selleks on kolm suuremat tehnoloogiat – malli sobitamine, mustri otsimine ja statistilise mustri otsimine. [24]

Malli sobitamise tehnoloogia põhineb loodud mallil ja selle sobitamisel uue kaadriga [5]. Loodud malli all peetakse käesoleva töö raames silmas korrektset kaadrit tootest, millel on kõik vajalikud jooteühendused korrektsed ja olemas.

Malli sobitamisel kasutab AOI kahte kaadrit, ühe põhjal on õpetatud süsteemile, milline on korrektne tulemus ning seda võrreldakse teise kaadriga, mis on hetkel analüüsitavast tootest [24].

Esimesel pildil (vt Joonis 2-1) on esile toodud lühis, mida saab määrata malliks ning edasi otsida lühiseid järgmistel toodetel kahe väljaviigu vahel.

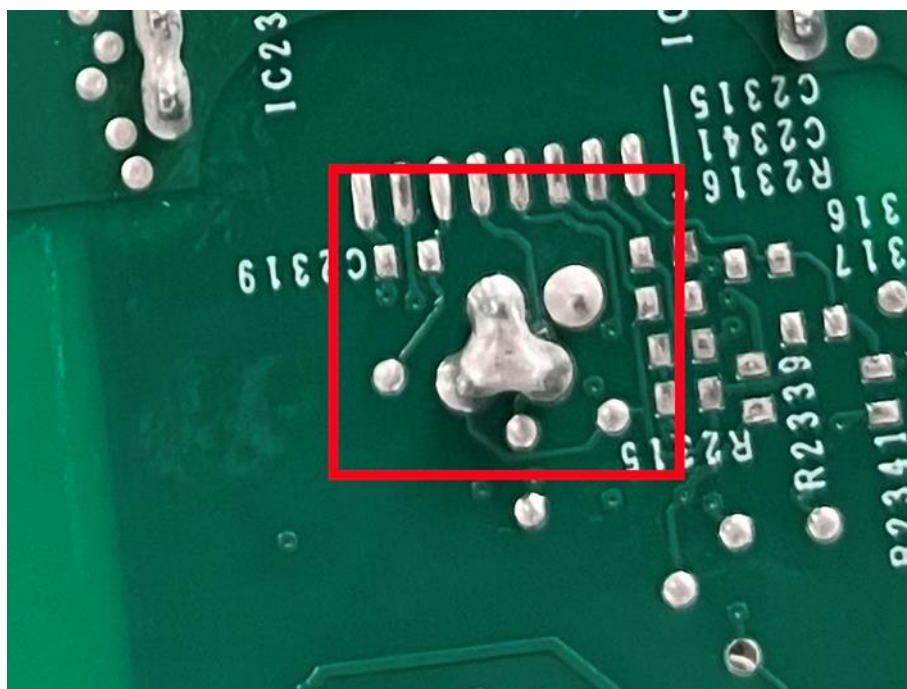


Joonis 2-1 Vertikaalne jootesild

Võimalik on märkida mallile, et see võib olla ka 90 kraadi külili (vt Joonis 2-2), kuid antud malli järgi ei leia algoritm kolme või enama väljaviigu vahel jootesilda (vt Joonis 2-3).



Joonis 2-2 Horisontaalne jootesild



Joonis 2-3 Jootesild kolme väljaviigu vahel

Mustri otsimise meetodi kasutamisel salvestab AOI süsteem informatsiooni nii korrektsete kui mittekorrektsete trükkplaatide ja jooteühenduste osas, luues uute piltide põhjal uusi ühendusi [24]. Mustrite otsimine on lihtne algoritm, mille põhifookus esineb aru saamisel, milline muster on otsitav ja milline on müra, seal hulgas mürast otsitava mustri eristamine. Otsides kaadrist mustrit, ei saa alati kindel olla, et soovitud tulem õpetatud mustriks piisavalt sarnaneb. Sel juhul on abiks suure andmebaasi loomine. Andmebaasi abil saab laialdasemalt defineerida mustri, mida leida soovitakse. Algoritm võrdleb ette antud tulemust eelnevalt õpetatud mustritega ning annab vastuse, kas muster on leitud või mitte. [25]

Statistilise mustri otsimine sarnaneb mustri otsimise meetodiga, kuid statistilise mustri otsimise meetod, nagu ka nimetus ütleb, kasutab statistikat uute probleemsete jooteühenduste tuvastamiseks. Salvestades andmebaasi erinevatel trükkplaatidel olnud vigu, suudab süsteem aktsepteerida tulemusi ka väiksemate kõrvalekalletega. [24]

3.2 Piltide tegemine

Üks kõige olulisemaid aspekte toimiva AOI puhul on süsteem, mis teeb tootest pilte. Tehtud pildid annavad võimaluse õpetatud süsteemile analüüsida toodet ja sellel olevaid jooteühendusi. Kaameraid võib süsteemis olla üks või mitu, samuti on kaamera tööprotsesse erinevaid.

Video voogedastuse korral luuakse igast hetkest täielik kaader. Jäädvustatud kaadritest on võimalik luua liikumatu pilt, millel saab signaali töödelda. Kuigi antud süsteemi eeliseks on väga hea kiirus, siis ei ole tegemist nii täpse pildiga. [24]

Fikseeritud kaamera süsteem on üldiselt paigaldatud vaadeldava trükkplaadi lähedale, vajades head valgustust. Vajalik võib olla ka kaamera liigutamine. [24]

3.3 Valgusallikas

Fluorestsents valgustus on levinud AOI süsteemides laialt valgustus. See pakub efektiivset valgust trükkplaadil olevate vigade vaatamiseks ja tuvastamiseks. Suurim

probleem fluorestsentse valguse puhul on lampide halvenemine aja jooksul, mis tähendab AOI süsteemi jaoks pidevat valguse taseme ja kvaliteedi muutumist. [24]

Tänu LED valgustuse arenemisele on võimalik luua tunduvalt stabiilsema valgustusega AOI süsteeme. Siiski väheneb ka LED valgustuse valgusvõimsus aja jooksul, aga seda on võimalik voolu suurenemisega kompenseerida. [24]

Infrapuna ja ultraviolet valgustused on teatud olukordades vajalikud defektide tuvastamiseks [24].

3.4 Süsteemi programmeerimine

“Kuldplaadi” kasutamine on üks meetoditest, kuidas õpetada AOI süsteemile, milline on korrektne trükkplaat. Selleks näidatakse süsteemile „kuldplaati“ ehk heade jooteühendustega trükkplaati, mille järgi süsteem õpib vajalikud atribuudid. Selleks, et süsteem saaks piisavalt andmeid koguda on vaja süsteemile õppimise protsessiks anda mitu kuldplaati. [24]

Algoritmi põhine programmeerimine trükkplaadi andmed edastatakse süsteemile ning süsteem loob trükkplaadile individuaalse profiili. Antud meetod nõuab ka reaalseid trükkplaate, sarnaselt kuldplaadile, kuid üldiselt on nende vajadus väiksem. [24]

3. OLEMASOLEVATE AOI-DE VÕRDLU

Turul on esile mitmeid ettevõtteid, kelle fookuses on AOI süsteemide loomine. AOI süsteemid said alguse küll SMT kontrolliks ja protsessi automatiseerimiseks, kuid 21. sajandil on siiski olulisel kohal THT ning kontrollmeetodeid vajab ka see tehnoloogia. THT jaoks loodud AOI süsteemid on tugevalt SMT AOI süsteemida mõjutusega. Siiski on vajalik luua uusi algoritme THT jooteühenduste kontrollimiseks, mis on oluliselt teistsugused SMT ühendustest.

Järgnevalt on lähemalt tutvustatud nelja ettevõtte poolt loodud AOI süsteeme, mis sobivad THT jooteühenduste kontrolliks.

3.1 modusAOI

Saksamaal tegutsev ettevõtte Modus High-Tech Electronics GmbH on loonud modusAOI laine- ja selektiivjoote ühenduste kontrollimiseks. Ettevõtte mõistab, et kuigi SMT on tänapäeval laialdasemalt elektroonikatootmises kasutuses, on reeglina THT jooteühenduste testitulemused kehvemad, põhiliste probleemidena avatud jooteühendused, jootesillad ja jootepallid. Väga suureks boonuseks näiteks modusAOI S3-ITM-R (vt Joonis 3-1) puhul on trükkplaadi jootepoole ja sihtpoole inspeksioon ehk süsteem suudab tuvastada komponentidega seotud probleeme, näiteks vale polaarsusega komponent või viltu paigaldatud komponent, ja jootuvusega seotud probleeme, näiteks jootesillad ja tinapallid. Modusel on mitu erinevat AOId, mis võivad sobida. [26]



Joonis 3-1 modusAOI S3-ITM-R [27]

ModusAOI S3-ITM-R (vt Tabel 3-1) on süsteem, mis on võimalik paigaldada nii enne kui ka kohe peale laine- või selektiivjootemasinat, mis annab võimaluse kontrollida komponendiga võimalikke veakohti, näiteks vale polaarsus või viltu paigaldatud komponent. [27]

Tabel 3-1 modusAOI S3-ITM-R andmed [21][22]

AOI algoritm	Malli sobitamine
Piltide tegemine	Akromaatiline objektiiv parallaksivaba kaadri loomiseks
Valgusallikas	Mitmevärviline LED valgustus
Süsteemi programmeerimine	Info puudub

Korraga suudab AOI tuvastada 420 mm x 550 mm suurust trükkplaati, mille kõrgus sihtpoolelt võib olla kuni 150 mm ja jootepolelt kuni 40 mm. Trükkplaadi kontroll toimub maksimaalselt 25 sekundi jooksul. ModusAOI-l on kolm LED valgustusega tuvastusüksust koos Moduse enda loodud parallaksivaba objektiiviga. Jooteühenduste kontroll toimub sinise-punase-valge LED valguse abil, mis kuvab erinevate nurkade alt. Kontroll mõlemalt poolt annab võimaluse veenduda, et SMT komponendid on peale THT jooteprotsessi endiselt alles. Spetsiaalse patenteeritud optika abil on võimalik tuvastada vöötkoode, kuid veebilehel puudub info, kas süsteemi on võimalik ühendada MES-iga. [27]

3.2 GÖPEL

Ettevõtte GÖPEL electronic GmbH on loonud AOI süsteemi THT Line – 3D (vt Joonis 3-2), millega lubavad tagada THT komponentide ja jooteühenduste ning liimitud SMD komponentide kontrolli. [28]



Joonis 3-2 GÖPEL THT Line - 3D [28]

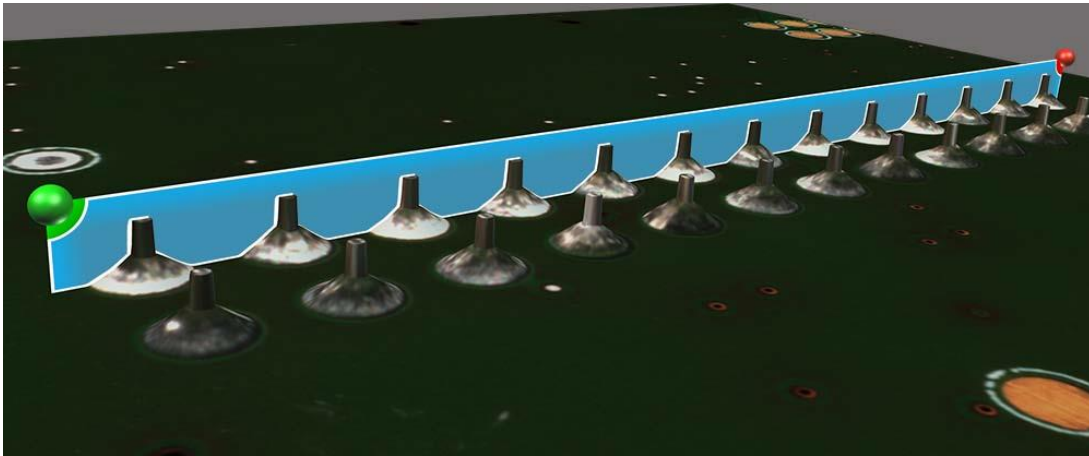
Korraga suudab AOI (vt Tabel 3-2) tuvastada 540 mm x 450 mm suurust trükkplaati, mille kõrgus sihtpoolet võib olla kuni 60 mm ja jootepoolet kuni 40 mm. Trükkplaadi kontroll toimub maksimaalselt 100 cm² sekundis. [29]

Tabel 3-2 GÖPEL THT Line - 3D [23][24]

AOI algoritm	Statistiline mustri otsimine
Piltide tegemine	4 või 8 nurga all olevat kaamerat
Valgusallikas	Multispektraalne valgustus
Süsteemi programmeerimine	Algoritmi põhine programmeerimine

Kaheksa kaamerat, mis on paigaldatud erinevate nurkade alla, loovad visuaali, kust on võimalik vähemate kaamerate puhul varju jäävaid komponente ja nende külgedel asuvaid märgistusi kontrollida. Süsteem on loodud kontrollima sihtpoolet olevaid THT ja SMD komponente, kuid tänu uudsele 3D kaameramoodulile on süsteemiga võimalik kontrollida ka THT jooteühendusi (vt Joonis 3-3), mis teeb selle süsteemi antud töö

jaoks relevantseks. Kontroll sihtpoolele ja jootepoolele toimub samaaegselt. Kontroll võimaldab jootekuju tuvastada ja mõõta. [28]



Joonis 3-3 3D analüüs THT jootehendustest [28]

AOI süsteemis on võimalik vigu salvestada individuaalselt ja luua digitaalseid raamatukogusid, mis võimaldab saavutada kontrolli usaldusväärsuse. [28]

Süsteem genereerib testprogrammi tootest iseseisvalt mõne minutiga kasutades gerber vormingus faile. Inspeksiooni loomisel kasutab süsteem teadmisi IPC standarditest, mis defineerib kas mitte-ideaalne olukord on defekt, protsessi indikaator või aktsepteeritav. Süsteemi on võimalik ühendada ka MESiga. [28]

THT Line – 3D kasutab Göpeli enda loodud tarkvara nimega Pilot Connect. [28] Pilot Connect tarkvara võimaldab AOI süsteemi ühendada MESi ja muude ettevõtte siseste jälgitavussüsteemidega. [30]

3.3 MEK

Ettevõtte Marantz Electronics, lühendatult MEK, on oma valdkonna liidrite seas AOI seadmete ja jootepasta inspeksiooni süsteemi loomisega, olles münud üle 10 000 AOI maailmas [31]. Üks MEKi poolt loodud AOI süsteemidest on MEK PowerSpector JTAz + JDAz 550BTL (edaspidi PowerSpector) (vt Tabel 3-2) [32].



Joonis 3-4 MEK PowerSpector BTL Dual Sided AOI [33]

PowerSpector (vt Tabel 3-3) võimaldab kontrollida trükkplaati suurusega kuni 550 mm x 550 mm, mille kõrgus sihtpoolelt võib olla maksimaalselt 60 mm ja jootepoolelt maksimaalselt 30 mm. Täiendav Z-telg võimaldab reguleerida külgkaameraid, mis annab mõlemalt poolelt lisaks 30 mm kontrollitava ala kõrgust. See on abiks näiteks toodete kontrollimisel jooteraami sees. Süsteemil on tehnilistes andmetes määratud ka trükkplaadi maksimaalseks raskuseks koos komponentidega kuni 5 kg. [33]

Tabel 3-3 MEK PowerSpector JTAz-JDAz 550BTL [27][28]

AOI algoritm	Info puudub
Piltide tegemine	18 kaamerat, 9 pildina tulemus
Valgusallikas	Kolm erisuunalist LED valgustust: punane külgvalgustus, sinine põhivalgus, valge hajutatud telje valgus
Süsteemi programmeerimine	„kuldplaadi“ kasutamine

Jootekvaliteedi kontrollimiseks on süsteemis kolm erinevat sorti LED valgustust - 45° nurga all olev punane külgvalgustus, 65° nurga all olev sünteetiline sinine põhivalgustus ja otse alla suunatud hajutatud telje valge valgus [32].

Uue programmi loomine toimub mõne minuti jooksul nõ kuldplaadi ehk esimese prototüübi režiimi kasutades [32]. PowerSpectoriga on võimalik tuvastada SMT ja THT komponentide eesmärgipärast asetust, kontrollida jootepasta ja THT jooteühenduste visuaalset kvaliteeti [32].

MEKi süsteemid on ehitud Apple Mac Mini ja iMac x2 arvutitele [32]. PowerSpector AOI süsteemi on võimalik ühildada MES süsteemiga.

3.4 Viscom

Ettevõtte Viscom on loonud mitmeid süsteeme tootmisprotsessi parendamiseks, nende seas iS6059 Double-Sided Inspection (edaspidi iS6059) süsteemi (vt Joonis 3-5), mis peaks toetama THT protsessi kontrollviiside parandamist. Nimetuses osa Double-Sided viitab süsteemi võimekusele kontrollida trükkplaadi mõlemat poolt. [34]



Joonis 3-5 Viscom iS6059 Double-Sided Inspection [35]

Korraga suudab iS6059 (vt Tabel 3-4) tuvastada 508 mm x 508 mm suurust trükkplaati kiirusega kuni 100 cm² sekundis, mis ajaga toimub kontroll nii joote sihtpoole kui ka jootepoole. Komponentide kõrgus sihtpoolelt võib olla kuni 50 mm ja jootepoolelt kuni

50 mm. Tuvastatavate vigade seas on nii THT paigalduse kui ka visuaalse jootekvaliteedi, SMD paigaldus ja visuaalse jootekvaliteedi kontroll. [34]

Tabel 3-4 Viscom iS6059 Double-Sided Inspectio [29][30][31]

AOI algoritm	Statistiline mustri otsimine
Piltide tegemine	Innovatiivne 3D kaamera 2 x 8 kaamerat
Valgusallikas	Erinev valgustus
Süsteemi programmeerimine	Algoritmipõhine programmeerimine

Kontrolliks kasutab iS6059 kahte 3D XM andurimootorit, mis võimaldab samaaegset kontrolli jootepoolelt ja jootesihtpoolelt [35].

Viscom on loonud oma süsteemidele töö- ja kontrolliprogrammi vVision [35] ning vVerify tarkvara [36]. vVision võimaldab luua ristsidumise kontrollitavate objektide vahel, teisendada erinevat sorti andmeid pilditötluseks, lisaks on programmis sees IPC-ga ühilduv kontrollteek [37]. Suuremas tehases eelistatakse võimalust luua vigadest raamatukogu, mida Viscomi AOI võimaldab [35]. Trükkplaadi kontrolliks saab süsteemi sisestada mitmes erinevas formaadis sisendandmeid, mida vVision tarkvara olemasolevate teekide põhjal genereerib komponentideks [38]. vVerify on aga tarkvara, mille ülesandeks on võimalike defektide jaotamine gruppidesse aktsepteeritav või defekt, et toetada pikemaajalist andmete kogumist kvaliteedi ja tõhususe tõstmiseks [36]. Lisaks sellele on vVerify näol lõppkasutaja jaoks tegemist mugava kasutajaliidesega, millele on Viscom loonud ja veebipõhise õppeprogrammi [36]. iS6059 süsteemis on võimalik lisaks eelnevalt mainitule programmeerida uusi programme distantsilt [35], mis ei takista tootmist. Süsteemi on võimalik ühendada ka MESiga [35].

4. TULEMUS JA TEHNOLOOGIA VALIMINE

Eelnevalt tutvustatud AOI süsteemidel on nii sarnasusi, kui ka erinevusi, mille seast tuleb leida kõige eelistatuim AOI süsteem.

AOIde võrdlus algab trükkplaadi suuruselt. Mida suurem kontrollala on, seda laiemat tootevalikut saab AOI abil kontrollida. Kokkuvõtvast Tabel 4-1 on näha, et kõige suuremaid trükkplaate võimaldab kontrollida MEK mõõtudega 550 mm x 550 mm ja Viscom mõõtudega 508 mm x 508 mm. Samas on oluline jälgida ka seda, kui suur on kontrollitav ala trükkplaadi sihtpoolelt ja jootepoolelt. Selles võrdluses on esikohal modus mõõtudega 150 mm sihtpoolelt ja 40 mm jootepoolelt.

Tabel 4-1 Maksimaalsed PCB mõõtmed

	ModusAOI S3-ITM-R	GÖPEL THT Line - 3D	MEK PowerSpector JTAz + JDAz 550BTL	Viscom iS6059 Double-Sided Inspection
PCB mõõdud (mm x mm)	420 x 550	540 x 450	550 x 550	508 x 508
Jootepoole sihtpoole maksimaalne kõrgus (mm)	150	60	60	50
Jootepoole maksimaalne kõrgus (mm)	40	40	30	50

Kõik võrreldavad AOI süsteemid suudavad tuvastada samu vigu – SMT ja THT komponentide asetus ning jootehendused. Selles võrdluspunktis on kõik AOI süsteemid võrdsed.

Valgustuse ja pildi tegemises on iga ettevõtte leidnud iseseisvalt lahenduse, kasutades nurga all olevaid mitmeid kaameraid või võimaldades kaameratel paindlikult liikuda. Valgustuses on süsteemid enamasti valinud LED valgustuse, kuid täpsemaid võrdluseid puudulike andmete tõttu teha ei saa.

Süsteemi programmeerimises on aga oluline, et see oleks võimalikult muretu ja kiire etapp, st ei nõuaks protsessispetsialistilt või -insenerilt palju tähelepanu muude ülesannete arvelt. GÖPELi ja Viscom puhul on välja toodud, et nende enda loodud

tarkvarad ei aita mitte ainult süsteemi jälgitavust parandada, vaid ka sisestada erinevas vormingus faile, näites gerberina, et süsteem looks iseseisvalt kontrollprogrammi. Kui antud süsteem töötab väheste probleemidega, säästab see väga palju spetsialistide aega, kuid suudab suurendada kontrollitavate toodete kogumit. MEK AOI puhul saab kasutada trükkplaati, mille põhjal loob süsteem ise esimese prototüübi režiimis esialgse programmi, mida spetsialist hallata ja korrigeerida saab.

MEK süsteemi puhul on oluline märkida Apple Mac Mini ja iMac x2 arvutite kasutus. Suurem osa tootmisettevõtete kasutab Windowsi operatsioonisüsteemiga arvuteid, mida on IT-meeskonnal lihtsam hallata. See võib ettevõtte otsust tugevalt mõjutada süsteemi kasuks mitte valimisel.

Ainus süsteem, mille veebilehel ei olnud kinnitust ühendatavuse kohta MES süsteemiga on modusAOI S3-ITM-R, kuid see on väga oluline ning valituks osutumisel tuleks üle täpsustada. Teised võrreldavad süsteemid on ühendatavad MES-iga.

Võrdluse põhjal osutus valituks GÖPEL THT Line - 3D mudelil. GÖPEL electronic GmbH poolt loodud AOI süsteem võimaldab kontrollida 540 mm x 450 mm trükkplaati, mille jootepoolel võib olla komponent kuni 60 mm ja jootepolelt kuni 40 mm. Kui mõlemal pool esineb THT protsessis joodetavaid komponente, tuleb arvesse võtta nende mõõtu, st väiksema füüsilise suurusega komponendid esimese jooteprotsessi ajal. SMT komponente need mõõdud ei mõjuta. Süsteemi eeliseks on ka algoritmi põhine programmeerimine, mis kiirendab uute programmide loomise protsessi ning statistilise mustrite otsimise, mis aitab luua süsteemil uusi andmeid edaspidisteks analüüsideks.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärk oli anda ülevaade võimalikest AOI süsteemidest tootmisprotsessi jootevigade tuvastamiseks, neid võrrelda ning leida sobivaim ettevõtte GPV Estonia AS tootmisesse.

Selleks tutvustas autor esimese asjana kahte peamist jootmise tehnikat ning töö keskmes oleva läbivauktehnoloogia jootevigu, mida vastav AOI tuvastama peaks. Järgmise sammuna tutvustati nelja erinevat AOI süsteemi. Antud osa tegi töö keeruliseks, kuna ettevõtted ei jaga oma veebilehtedel detailset infot süsteemide kohta ega õnnestunud nendega ka kontakti otsest kontakti luua. Antud põhjusel jäid mõned võrdluse puhul vaadeldavad osad puudu. Töö edasi arendamisel tuleb kindlasti kasuks võimalus huvi pakkuvate AOI ettevõtetega luua otsene kontakt näiteks messil käimisega.

Lõputöö tulemusena osutus valituks GÖPEL THT Line - 3D mudelil. GÖPEL electronic GmbH poolt loodud AOI süsteem võimaldab kontrollida 540 mm x 450 mm trükkplaati, mille jootesihthoolele võib olla komponent kuni 60 mm ja jootepoolelt kuni 40 mm. Kui mõlemal pool esineb THT protsessis joodetavaid komponente, tuleb arvesse võtta nende mõõtu, st väiksema füüsilise suurusega komponendid esimese jooteprotsessi ajal. SMT komponente need mõõdud ei mõjuta. Süsteemi eeliseks on ka algoritmi põhine programmeerimine, mis kiirendab uute programmide loomise protsessi ning statistilise mustri otsimise, mis aitab luua süsteemil uusi andmeid edaspidisteks analüüsideks.

Uurimistöö üheks eesmärgiks on teha ettevõttele GPV Estonia AS ettepanek, milline AOI sobib läbivauktehnoloogia parendamiseks. Lõplik otsus jääb ettevõtte teha. Autor loeb töö õnnestunuks.

SUMMARY

The purpose of this bachelor's thesis was to provide an overview of possible AOI systems for detecting soldering errors in the production process, which could be found to be the most suitable for the production of the company GPV Estonia AS.

The thesis started with an introduction of the two main soldering techniques and the soldering errors of the through-hole technology, which should be detected by the corresponding AOI. As a next step, four different AOI systems were introduced. This part made the task difficult as the companies do not share detailed information about the systems on their websites and it was a challenge to get in touch with them. For this reason, some parts considered in the comparison were missing. In the future development of this topic, the opportunity to establish direct contact with the AOI companies interested will certainly be useful.

As a result of the thesis, GÖPEL THT Line -3D model was selected. The AOI system created by GÖPEL electronic GmbH enables the inspection of a 540 mm x 450 mm PCB which can check components on the top side with the height up to 60 mm and on the bottom side up to 40 mm. If there are components to be soldered in the THT process on both sides, their size must be considered, i.e. components of smaller physical size during the first soldering process. SMT components are not affected by these measures. The system also has the advantage of algorithm-based programming, which speeds up the process of creating new programs and the search for statistical patterns helps to create new data for the system for future analyses.

One of the goals of the thesis is to propose to the company GPV Estonia AS which AOI system is suitable for improving THT process. The final decision rests with the company. Author considers the thesis as a success.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] R. Seidel, K. Schmidt, N. Thielen ja J. Franke, „Trustworthiness of machine learning models in manufacturing applications using the example of electronics manufacturing processes,” *Procedia CIRP*, kd. 107, pp. 487-492, 2022.
- [2] G. I. Korshunov ja A. A. Dzyubanenko, „Quality control in cyber-physical systems of smart,” *Journal of Physics: Conference Series*, kd. 2094, 2021.
- [3] S. Sahoo ja C.-Y. Lo, „Smart manufacturing powered by recent technological advancements: A review,” *Journal of Manufacturing Systems*, kd. 64, pp. 236-250, 2022.
- [4] Y. Lu, X. Xu ja L. Wang, „Smart manufacturing process and system automation – A critical review of the standards and envisioned scenarios,” *Journal of Manufacturing Systems*, kd. 56, pp. 312-325, 2020.
- [5] B. Roberto, *Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice*, Chichester: John Wiley & Sons, 2009.
- [6] Electronic Manufacturing Services Group, INC., „SMT vs. Thru-Hole Manufacturing,” EMSG, 22. märts 2022. [Võrgumaterjal]. Available: https://emsginc.com/resources/surface-mounting-vs-thru-hole-manufacturing/?fbclid=IwAR1PTmrNzB9fRAg7tnt6nBVTcQqiumICOfRM-CtoPyCQjz8OabTjIg6_tts. [Kasutatud 28. detsember 2023].
- [7] IPC, IPC-AJ-820 - Revision A - Handbook: Assembly & Joining Handbook, 2012.
- [8] IPC, IPC-A-610 - Revision E - Standard Only: Elektroonikakoostude vastavusnõuded, 2017.
- [9] GlobalSpec, „Electronic Manufacturing Services (EMS) Information,” GlobalSpec, n/a. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.globalspec.com/learnmore/electrical_electronic_manufacturing/electronic_manufacturing_services_ems. [Kasutatud 2. detsember 2023].
- [10] GPV Group A/S, „Electronics Manufacturing Services (EMS),” GPV Group A/S, n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://gpv-group.com/services/electronics-manufacturing-services/>. [Kasutatud 2. detsember 2023].
- [11] EMS solutions, „Through-Hole Technology and Its Advantages,” EMS solutions, 24. jaanuar 2017. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.myemssolutions.com/hole-technology-advantages/?fbclid=IwAR19yCxveN6VnKCs5jzgn9aGZGL4jcdYit5tXI4_U9E2xCuLd8f2bG2jNv0. [Kasutatud 28. detsember 2023].

- [12] AX Control, Inc, „Surface Mount Technology: What is SMT?“, Ax Control Inc, 14. september 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.axcontrol.com/blog/2021/surface-mount-technology-what-is-smt/14/09/>. [Kasutatud 28. detsember 2023].
- [13] Allion Labs, „Allion Labs“, 5. juuli 2022. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.allion.com/tech_surface_mount_tech/. [Kasutatud 3. jaanuar 2024].
- [14] E. Ikimi, „The Fundamentals of Surface Mount Technology: Basic Design Process and Techniques“, Maker Pro, 16. juuli 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://maker.pro/blog/the-fundamentals-of-surface-mount-technology-basic-design-process-and-techniques>. [Kasutatud 28. detsember 2023].
- [15] A. Ayodele, „SMT Manufacturing: Everything You Need to Know“, Wevolver, 14. juuni 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.wevolver.com/article/smt-manufacturing-everything-you-need-to-know>. [Kasutatud 27. detsember 2023].
- [16] IPC, IPC-HDBK-001 - Revision E - Handbook, 2012.
- [17] Chemtronics, „Chemtronics“, n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.chemtronics.com/essential-guide-to-flux-for-soldering-electronics>. [Kasutatud 3. jaanuar 2024].
- [18] Kurtz Ersa, „Wave Soldering“, Kurtz Ersa, N/A. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kurtzersa.com/technology/wave-soldering>. [Kasutatud 2. detsember 2023].
- [19] C. Zheng, „Why PCB Preheating is so Important?“, Seeed Studio, 17. juuni 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.seeedstudio.com/blog/2021/06/18/why-pcb-preheating-is-so-important/>. [Kasutatud 28. detsember 2023].
- [20] IPC, IPC-J-STD-001 - Revision E - Standard Only, 2010.
- [21] IPC, IPC-T-50 - Revision M - Standard Only, 2015.
- [22] Kurtz Ersa, „Selective soldering“, Kurtz Ersa, n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kurtzersa.com/technology/selective-soldering>. [Kasutatud 29. november 2023].
- [23] IPC, „IPC Standards“, n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ipc.org/ipc-standards>. [Kasutatud 28. detsember 2023].
- [24] I. Poole, „Automatic optical inspection, AOI systems“, Electronics Notes, N/A. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/test->

- methods/automatic-automated-test-ate/aoi-optical-inspection.php. [Kasutatud 3. detsember 2023].
- [25] Z. Ziad, „Guide to pattern matching: What it means and how to do it?,” Data Ladder, 12. september 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://dataladder.com/guide-to-pattern-matching-what-it-means-and-how-to-do-it/>. [Kasutatud 1. jaanuar 2024].
- [26] Modus High-Tech Electronics GmbH, „THT soldering inspection,” modus, n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.modus-hightech.com/solutions/tht-soldering-inspection/>. [Kasutatud 1. jaanuar 2024].
- [27] Modus High-Tech Electronics GmbH, „modusAOI S3-ITM-R,” modus, n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.modus-hightech.com/systems/inline-systems/modusaoi-s3-itm-r/>. [Kasutatud 4 jaanuar 2024].
- [28] GÖPEL electronic GmbH, „GÖPEL electronic,” n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.goepel.com/en/inspection-solutions/aoi/tht-inspection/tht-line>. [Kasutatud 5. jaanuar 2024].
- [29] GÖPEL electronic GmbH, „Göpel,” n/a. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.goepel.com/fileadmin/pdf/aoi/en/AOI_THT_Line.pdf. [Kasutatud 7. jaanuar 2024].
- [30] Göpel, „PILOT Connect,” Göpel, n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.goepel.com/en/inspection-solutions/connectivity/pilot-connect>. [Kasutatud 6. jaanuar 2024].
- [31] MEK Marantz Electronics, „Mek Marantz Electronics,” n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://marantz-electronics.com/about-mek/>. [Kasutatud 6. jaanuar 2024].
- [32] MEK Marantz Electronics, „Mek Marantz Electronics,” MEK PowerSpector BTL Dual Sided AOI, n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://marantz-electronics.com/wp-content/uploads/PowerSpector-BTL-J-series-Rev1.pdf>. [Kasutatud 5. jaanuar 2024].
- [33] MEK Marantz Electronics, „Mek Marantz Electronics,” n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://marantz-electronics.com/bottom-top-inline-aoi/>. [Kasutatud 5. jaanuar 2024].
- [34] Viscom, „Viscom Vision Technology,” n/a. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.viscom.com/fileadmin/content/downloads_brochures/en/Viscom_Brochure_AOI_iS6059_Double-Sided_Inspection_en_01.pdf. [Kasutatud 6. jaanuar 2024].

- [35] Viscom, „Viscom Vision Technology,“ Viscom, n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.viscom.com/en/products/optical-inspection-3d-aoi/top-and-bottom-side-is6059-double-sided-inspection/>. [Kasutatud 6. jaanuar 2024].
- [36] Viscom, „vVerify Software: Save Time and Classify Inspection Results with Excellent Reliability,“ Viscom Vision Technology, n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.viscom.com/en/products/software-solutions/vverify/>. [Kasutatud 6. jaanuar 2024].
- [37] Viscom, „vVision,“ Viscom Vision Technology, n/a. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.viscom.com/en/products/software-solutions/vvision/>. [Kasutatud 6. jaanuar 2024].
- [38] Viscom, „Viscom Vision Technology,“ n/a. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.viscom.com/fileadmin/content/downloads_brochures/en/Viscom_Brochure_vVISION_en.pdf. [Kasutatud 6. jaanuar 2024].