



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

KOOSTAMISPROTSESSIDE KVALITEEDI PARENDAMINE

IMPROVING THE QUALITY OF ASSEMBLY PROCESSES

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Sten Pihor

Üliõpilaskood 176983MATM

Juhendaja: Aigar Hermaste, lektor

Tallinn 2021

(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.

“04” jaanuar 2021

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Sten Pihor (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 27.05.1989)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Koostamisprotsesside kvaliteedi parendamine

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Aigar Hermaste

(*juhendaja nimi*)

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.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Sten Pihor, 176983MATM..... (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MATM02/15 - Tootearendus ja tootmistehnika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Aigar Hermaste, lektor, 6203269..... (amet, nimi, telefon)
Konsultant:(nimi, amet)
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Koostamisprotsesside kvaliteedi parendamine

(inglise keeles) Improving the quality of assembly processes

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Koostada ülevaade tootmisettevõttes esinevatest koosteprotsesside kvaliteedivigadest. Leida vigade ja kliendi reklamatsioonide peamised põhjused.
2. Tuua välja ideed ja teha ettepanekud, kuidas parandada koostamisprotsessi, et esineks vähem vigu.
3. Anda ülevaade võimalikest lahendustest ja ideedest, kuidas parandada järelkontrolli, selleks et kliendile jõuaks kvaliteetne toode.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Toote koostamise ja kvaliteediga seotud teemad	1.11.20
2.	Koostaja/töötaja vigade ülevaade ja analüüs	20.11.20
3.	Lahendused, parendusettepanekud ja tulevikuvision	20.12.20

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "4"jaanuar 2021 a

Üliõpilane: Sten Pihor ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: Aigar Hermaste..... ".....".....20.....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÖNA	7
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	8
1 SISSEJUHATUS.....	9
2 TOOTE KOOSTAMINE JA KVALITEEDIJUHTIMINE	11
2.1 Toote koostamine	11
2.2 Koosteliin.....	11
2.2.1 Koosteliini otstarbekus	13
2.3 Koostamise ajalugu.....	14
2.4 Koostamine Eestis.....	15
2.5 Enam levinud liited	15
2.6 Toote valmimisega seotud abiprotsessid ettevõttes	16
2.7 Kvaliteedijuhtimine	18
2.7.1 ISO kvaliteedijuhtimise standardid.....	19
2.7.2 Standard ISO 9001	19
2.8 Kvaliteedikulud.....	20
2.8.1 Reklamatsioon.....	21
2.9 LEAN tootmine	22
2.9.1 Kuus sigmat.....	22
2.9.2 Kaizen.....	23
2.9.3 Kanban	23
2.9.4 Poka-yoke	24
2.9.5 5S	24
2.9.6 Just in time süsteem.....	25
3 VIGADE ÜLEVAADE JA STATISTIKA	26
3.1 Vigade statistika ja reklamatsioonide põhjused	26
3.2 Vigade ülevaade	29
3.2.1 Vigade põhjused ja järeldused.....	34
3.3 Tootmistarkvara reklamatsioonide käsitlemiseks.....	34
3.4 Andmete kogumine	35
4 TOOTE KVALITEEDI PARENDAMINE	37
4.1 Ennetamine.....	37
4.2 Koosteliini töökoha planeerimine.....	38
4.3 Tööjuhendid.....	40
4.3.1 Välja printitud paberkujul.....	40
4.3.2 Digitaalsed tööjuhendid	41

4.3.3 Prinditud joonis/skeem	43
4.3.4 Liitreaalsuse (projekteeritud) juhendid	43
4.4 Kontrolli meetodid	44
4.4.1 Töötaja kontroll	44
4.4.2 Testseade	44
4.4.3 Liitreaalsuse abil kontroll	45
4.5 Koosteliini automatiseerimine ja selle eelised	47
4.6 Kulude vähenemine kvaliteedi paranemisel	50
4.6.1 Tootja tehases esinevad kulud.....	50
4.6.2 Välised kulud	51
4.7 Investeeringute otstarbekus.....	52
4.8 Tulevik	53
KOKKUVÕTE	55
SUMMARY.....	57
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	59

EESSÕNA

Antud töö autor on töötanud kahes tootmisettevõttes mitmetel erinevatel ametikohtadel ja osakondades. Oma karjääri tootmise valdkonnas alustas autor kvaliteediosakonnas mõõtelaboris ning sellest järgmine samm oli kvaliteediinseneri ametikoht. Kvaliteediinsenerina oli üks osa tööst seotud ka süsteemi kvaliteedinäitajate jälgimise ja statistika koostamisega. Samuti pidi autor osalema protsesside parendamisega seotud projektides ning tegema ettevalmistusi kliendi audititeks. Viimased paar aastat on ametiks olnud koostetehnoloog. Ligi nelja aastaga on omandatud üksjagu kogemusi tootmise valdkonnas. Kahes erinevas osakonnas töötamine on andnud võimaluse näha tootmist ja toote koostamist erinevate nurkade alt. Kvaliteediosakonnas oli autor rohkem kaudne mõjutaja ja neutraalne vaatleja. Tehnoloogi töökohustused on suunanud autori otse tootmisprotsessi keskele ning kõik teod ja otsused on otseselt seotud toote kvaliteedi tagamise ning kliendi nõuete täitmisega. Ligi kahe aasta jooksul on kokku puutunud paljude kliendi reklamatsioonidega ning tegeletud ettevõtte sisese koosteosakonna praagiga. Aja jooksul kujuneb välja oma muster – teatud toodetega on kordades rohkem probleeme kui mõndade teistega, kuigi koostemahud ja keerukus on neil suhteliselt sarnased. Sarnane muster kujuneb välja ka kui analüüsida koosteosakonnas esinenud vigu, mille tõttu praak juhtus. Antud töös on ka analüüsitud neid vigu ning üritatud otsida põhjuseid, miks need vead ikkagi juhtusid.

Selleks et omandatud kogemused ning teadmised kokku võtta ja kasutada neid enda igapäevatöös, sai ka antud lõputöö teema valitud. Antud töö on koostatud autori enda algatusel ning töös on kasutatud koostamisosakonna kvaliteedinäitajate statistikat 2020. aasta kohta ettevõttest HANZA Mechanics Tartu. Käesolev magistritöö ei koostatud selleks, et kellegi peale konkreetselt näidata ja süüdlasi otsida. Peamine eesmärk on leida lahendusi ja parendusettepanekuid, kuidas vähendada toote koostamisel esinevat praaki ning parandada toote kvaliteeti. Samuti tutvustatakse ideid, kuhu suunas on koostamine tulevikus arenemas ning millistel juhtudel uued lahendused, tehnoloogia ning investeeringud end ära tasuvad.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

APS – *advanced planning system* (täiustatud planeerimissüsteem)

BOM – *bill of material* (materjali loetelu)

CNC – *computer numerical control* (arvprogrammjuhtimine)

ERP – *enterprise resource planning* (ettevõtte ressursside planeerimine)

ESD – *electrostatic discharge* (staatiline elekter)

HMT – HANZA Mechanics Tartu

JIT – *just in time*

KJS – kvaliteedijuhtimissüsteem

MRP – *material requirements planning* (materjali vajaduste planeerimine)

MRP II – *manufacturing resource planning* (tootmisressursside planeerimine)

VR - virtuaalreaalsus

1 SISSEJUHATUS

Viimased aastakümned on tootmisettevõtetele olnud väga keerulised ja seda mitte ainult Eestis, vaid üldse kõikides riikides, mida loetakse jõukamate hulka. Inimeste kasvav heaolu ja suuremad palganõudmised on paljud tootmisettevõtted viinud olukorda, kus ei suudeta enam konkurentsivõimeliste hindadega toota. Samuti on keeruline leida tööjõudu protsessidele, mis nõuvad rutiinsete ja korduvate liigutuste tegemist. Selliste tööde tegemiseks ei ole vaja kõrget kvalifikatsiooni ning suurt väljaõpet. Sel põhjusel ei ole tootmisettevõtted huvitatud ka antud töö eest kõrge töötasu maksmisest. Suuremad kulutused palgale ning tootmisprotsessidele mõjutavad oluliselt ka lõpptoote hinda. Tänapäeva globaliseerunud ühiskonnas peavad ettevõtted müüma oma tooteid kõrvuti toodetega, mis on valmistatud nõ kolmandates riikides, kus tööjõu- ja tootmiskulud on kordades madalamad. Tarbija valib suure tõenäosusega kahest sarnasest tootest odama variandi. Ettevõttel, kel on suurte tootmiskulude tõttu kallim tootehind, on väga raske turul konkureerida ning ellu jääda. Seega tuleb teha midagi teistmoodi ning kallim toode peab pakkuma tarbijale lisandväärtust, mille eest ollakse nõus maksma. Tavaliselt on sellisteks omadusteks usaldusväärne maine, suurepärase kvaliteet ja kliendile orienteeritus.

Käesolev magistritöö keskendub just toote koostamisele ja selle kvaliteedi tagamisele. Töö koostamisel on võetud aluseks eelkõige autori enda kogumused tootmisettevõttes kooste- ja kvaliteediosakondades. Selleks et oleks ka fakte, millele toetuda, on koostatud ettevõtte HANZA Mechanics Tartu viimaste aastate koosteosakonna reklamatsioonide põhjal statistiline ülevaade. Statistika põhjal on autor leidnud ja välja toonud olulisemad põhjused, miks reklamatsioon esitati ja mis olid peamised vealiigid.

Magistritöö on jaotatud kolmeks suuremaks peatükiks. Põhiosa esimese peatüki esimene pool keskendub toote koostamisega seotud teooria tutvustamisele ning annab ülevaate koostamise ajaloost, protsessidest ja liidetest. Teine pool on seotud kvaliteedijuhtimisega. Lugejale tutvustatakse teemasid ja ideid, millele tugineb kaasaegse tootmisettevõtte kvaliteedijuhtimissüsteem. Need said kokku pandud ühte peatükki, kuna ei ole otseselt autori enda välja mõeldud. Antud info tugineb suuresti juba kirja pandud teostele ja artiklitele. Samas on tootmine ja kvaliteet omavahel tihedalt soetud. Kogu tootmis- ja koostamisprotsess tuleb üles ehitada vastavalt, et oleks tagatud maksimaalne kvaliteet.

Töö põhiosa teine peatükk keskendub statistikale ja koostamisel esinevate vigade tutvustamisele. Teise peatüki esimene pool on seotud HMT koosteosakonna kvaliteedistatistikaga ning seejärel on välja toodud erinevad vealiigid. Kirjeldatud vealiigid on juba üldised ning pole seotud ainult ettevõttega HMT. Autor tutvustab üldiselt kõiki erinevaid vigu, mis võivad erinevate toodete koostamisel juhtuda. Seejärel on välja toodud meetodid ja programmid, kuidas on võimalik tänapäeva tootmisettevõttes andmeid koguda. Absoluutselt kõiki andmeid igast tootmisettevõtte osakonnast on võimalik salvestada ja grupeerida. Tänapäeval on paljudes ettevõtetes probleemiks, et on olemas küll andmebaas, kuidas kahjuks kasutatakse neist vaid väikest osa. Selleks ongi teises peatükis välja toodud soovitused, mida kvaliteedi ja koostamisega seotud andmetega peale hakata ning kuidas oleks kõige otstarbekam neid kasutada.

Viimane peatükk on antud töös kõige olulisem ja mahukam. Seal tutvustab töö autor ideid ja lahendusi, kuidas teises peatükis välja toodud probleeme ning vea põhjuseid saab tänapäevaste meetoditega lahendada. Peatükis käsitletakse kahte suuremat teemat. Esiteks on ettepanekud, kuidas parendada koostamisprotsessi, et väheneks töötajate tehtav praak. Teine teema keskendub olukorrale, kus toode on juba koostatud. Lugeja saab aimu, kuidas kiirendada ja parandada toote kvaliteedi kontrollimist. Välja on toodud nii odavamad ja tootmisettevõtetes juba üsna levinud lahendused, kui ka innovaatilised ning suuri investeeringuid nõudvaid ettepanekud. Peatüki viimane osa keskendub kulude vähendamisele, mida antud ideede rakendamine kaasa tooks.

2 TOOTE KOOSTAMINE JA KVALITEEDIJUHTIMINE

2.1 Toote koostamine

Toote koostamine on protsess, kus komponentide ühendamisel saadakse uus koost või toode. Toode koostab kas inimene (koostaja) või masin (robot). Toote aluseks on koostejoonis ning struktuur. Tihti kasutatakse väljendit *BOM list*, mis tuleb inglise keelest – *bill of material*. See on kasutatava materjali loetelu, milles kirjeldatakse toote valmistamiseks kasutatavad komponendid, nende kogus, revisjon, nende materjal ja muu vajalik info. Koostejoonise ja *BOM listi* sisu ning ülesehitus sõltuvad organisatsioonist. Antud töö autor on kokku puutunud paljude erinevate ettevõtete joonistega ning praktiliselt kõigil on oma stiil. On ettevõtteid, kes numerdavad joonisel iga komponendi ning lisavad komponentide loetelu ka joonisele. Teised jälle annavad ainult peamised vaated, ilma ühegi tähistuseta. Paraku on suuri ja tuntud ettevõtteid, kelle joonised ei ole tasemel, mida neilt võiks oodata.

Selleks et koosteoperaator ei peaks ise joonise ja struktuuri järgi töötama, koostab tooteinsener (tehnoloog) koostejuhendi. Olenevalt ettevõttest võib see olla nii paberkuul kui ka digitaalne. Koostejuhend peaks olema võimalikult lihtne, paljude visuaalsete abivahenditega ning sisaldama kõiki artikli numbreid ja koguseid. Koostamisel leitud defekte on hilisema avastamisega võrreldes tunduvalt odavam kõrvaldada. Koostamine on toote valmistamise viimane etapp, seega määrab see ka peamiselt toote kvaliteedi ja kasutusnäitajad [1].

2.2 Koosteliin

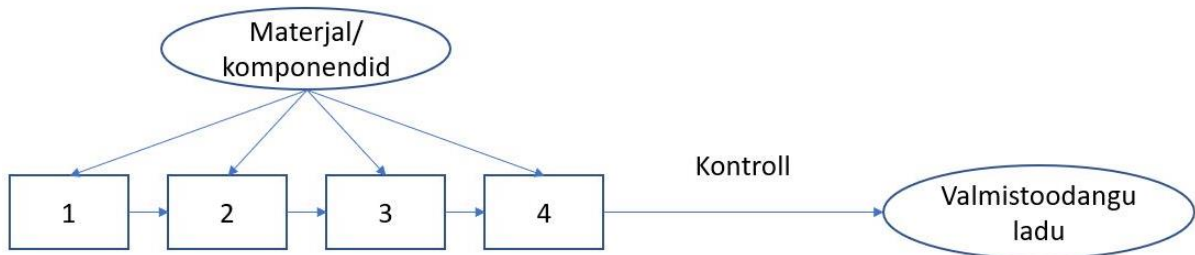
Toode koostatakse koosteliinil, mille ülesehitus sõltub toote keerukusest, tootmismahust ja sellest, kas liin valmistatakse ühe kindla toote jaoks või on universaalne. On ilmselge, et keerulise toote (auto, lennuk) koostamiseks on vaja mitmeid inimesi ning suuremõõtmelist tootmisliini. Samas kui lihtsa toote koostamiseks läheb vaja vaid ühte inimest. Kui toode valmistab üks inimene, siis ei ole õige nimetada seda ka koosteliiniks, vaid pigem koostetöökohaks.

Koostamisliini võib üles ehitada koostamisoperatsioonide järjestuse alusel:

- Järjestikuline;

- Paralleelne;
- Järjestik-paralleelne (kombineeritud) [1].

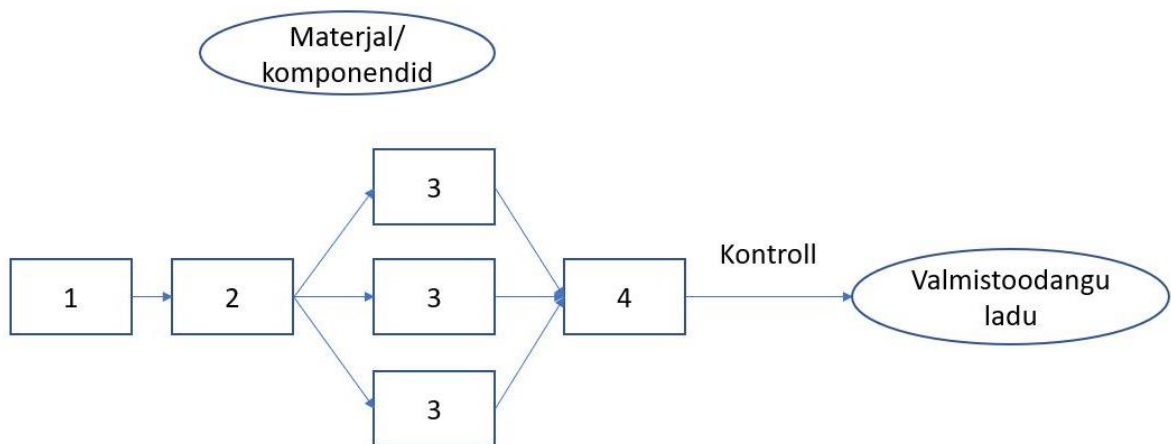
Järjestikulise koostamise korral toimuvad koosteoperatsioonid kindlas järjekorras. Ühel töökohal tehakse üks koosteoperatsioon. Saab kasutada juhul, kui koosteoperatsioonide sisu ja ajamahukus on enam-vähem sarnane.



Joonis 2.1 Järjestikuline koostamine

Järjestikuline koostamine võib olla ka U-kujuline, L-kujuline või ring. Oleneb tootmise pindalast, toote keerukusest ja protsessi vajadustest. Paralleelne koostamine on protsess, kus ühel koostetöökohal tehakse mitu erinevat koosteoperatsiooni. Selliseid koostetöokohti võib olla suur hulk. Eeliseks on mitmekülgsem töö ning protsessi jätkumine juhul, kui üks lüli (koostaja) vahelt ära kukub (haigestub). Negatiivse külje pealt on keerukam väljaõpe ja suurem praagiprotsent [1].

Järjestik-paralleelne koostamine on kombineeritud kahest eelnevast. Mingis etapis liiguvad tooted järjestikku ning mingis etapis paralleelselt. Peamine faktor on aeg. Üks protsess võtab rohkem aega, samal ajal teine protsess saab tehtud kiiremini. Selleks et vältida nõ „pudelikaela“ tekkimist, siis kasutataksegi kombineerimist.



Sele 2.2 Kombineeritud koostamine

2.2.1 Koosteliini otstarbekus

Koosteliini kavandamisel on palju erinevaid tegureid, millega tuleb arvestada. Kõige olulisem, mida iga ettevõtte taotleb, on majanduslik tasuvus. On kaks omadust, mis kõige enam mõjutavad tootmisliini planeerimist:

- Kogus – kõige olulisem teema, millest tuleb lähtuda. Kui koostatakse suhteliselt odavat toodet mõnikümmend tükki aastas, siis ilmselgelt ei ole otstarbekas liini automatiseerida. Kogusest sõltub ka tootmise pindala. Samuti on otseses sõltuvuses ka lao pindala, kus toorainet ja valmistoodangut hoitakse;
- Toote keerukus – kas toode koosneb mõnest detailist (nt pastakas) või tuhandetest detailidest. Lihtsa toote koostab üks operaator algusest lõpuni. Keerukal tootel võib olla sadu erinevaid koostajaid, kus igaüks koostab vaid kindlat operatsiooni. Toote keerukusest lähtub ka töötajate valik. Sellest sõltub kas koostamiseks on vaja spetsialiste või piisab ka lihttööjõust [1].

Kui toote kogus ja keerukus on paika pandud, tuleb arvestada järgmiste punktide ja nõuetega:

- Toote suurus ja mass – kas toote tõstmiseks ja detailide kinnitamiseks on vajalik tõsteseade? Kas koosteoperatsioonide teostamiseks on vajalik redel või hoopis mikroskoobid ja luubid?;
- ESD – kas toode on tundlik staatilisele elektrile? Siia kuuluvad eelkõige elektroonikaseadmed, näiteks trükkplaadid (PCBA);
- Kemikaalid – kas koostamisel tuleb kasutada ohtlikke kemikaale, mille aurud võivad olla inimesele mürgised? Samuti tuleks arvestada, et kemikaali (nt liim) kuivamiseks kulub lisa-aeg. Lisaks võib vaja minna abivahendeid ja -seadmeid (vaakumkamber, ahi, ventilatsioon);
- Detailide kinnitamine – kuidas detailid üksteisega kinnitatakse? Kas on kasutusel standardsed kinnitusvahendid (kruvid, poldid, needid, mutrid) või muud meetodid - jootmine, keevitamine, liimimine, pressimine;
- Muud nõuded kas kliendi poolt esitatud või protsessi iseloomust sõltuvad. Näiteks suruõhu vajadus, elektromagnetkiirgus, kalibreerimine vms.

2.3 Koostamise ajalugu

Enne tööstusrevolutsiooni toodeti kaubad nii, et käsitööline oli mingi toote ekspert. Iga käsitööline valmistas ja sidus oma toote ülejäänud koostuga vastavalt oma meetoditele. Koos tööstusrevolutsiooniga hakkas üha enam tootmist koonduma suurtesse tehastesse ning väikesed käsitöökojad tõrjuti kõrvale. Need ei suutnud oma efektiivsuse ning hinna osas konkureerida masstootmisega. Eelkõige mõjutas masstootmise tekkimist vahetatavate osade kontseptsioon.

Esimesena pakkus idee välja Prantsuse relvavalmistaja Honoré LeBlanc. Ta soovitas relvade valmistamisel võtta kasutusele standardsed osad ja elemendid. Varasemalt oli iga relvavalmistaja toode unikaalne, mida mingi komponendi purunemise korral oli keeruline parandada. Teiste relvameistrite vastuseisu tõttu see uuendus siiski massiliselt ei levinud. Alles 18. sajandi lõpus hakkas vahetatavate osade kasutusele võtmine rohkelt levima. Leiutajaks peetakse Ameerika inseneri Eli Whitney't. Enam ei pidanud toodet valmistama kogemustega käsitööline, vaid sellega sai hakkama ka oskusteta tehasetööline. Lisaks oli võimalik purunenud detail kiiresti välja vahetada ka relva kasutajal [2].

Koosteliin oma olemuselt nagu tänapäeval seda tuntakse on loodud 20. sajandi algul, autotööstuse massilise kasvamisega. Autode koostamine masside jaoks ei olnud mõeldav vana mudelit kasutades. Ransom Olds ja Henry Ford on uue kontseptsiooni loojad. R. Olds lõi ja patenteeris esimese liini, mida H. Ford täiustas ning arendas edasi vastavalt oma vajadustele. Oluliseim ja kõige revolutsioonilisem uuendus, mis kasutusele võeti oli konveiersüsteem. Auto tõmmati kőie abil läbi erinevate koostejaamade, kus igas jaamas teostati kindlad koosteoperatsioonid. Fordi mudel T koosteaaeg vähenes tänu sellele kõigest 90. minutile. Auto hind vähenes tänu sellele umbes 3 korda [3].

1960. aastatel hakkasid levima tööstusrobotid. Koosteliinid muutusid automatiseerituks. Paranes oluliselt tööde kiirus, efektiivsus ja kvaliteet. Kõik need uuendused kokku alandasid autode hinda, nii et autod ei olnud enam luksuskaup, vaid ka tavalised keskklassi inimesed suutsid neid osta [2].

2.4 Koostamine Eestis

Paljud Eesti tootmisettevõtted tegelevad mingil määral ka toote koostamisega. Eesti Ekspress avaldas 25.11.2020 Eesti väärtuslikemate ettevõtete tabeli. TOP 101 suurema firma hulka kuuluvad järgmised koostamisega tegelevad tootmisettevõtted:

- 14. Ericsson Eesti AS;
- 16. BLRT Grupp AS;
- 58. LTH-Baas AS;
- 34. Glamox AS;
- 75. Cleveron AS;
- 80. ABB AS;
- 98. Harju Elekter AS [4].

Tabelisse ei mahtunud, kuid veel on väga tuntud ettevõtted: Norma AS, Enics Eesti AS, HANZA Mechanics Tartu AS, Ensto Ensek AS, Stoneridge Electronics AS jne.

Eesti tootmisettevõtted üldiselt ei teeni väga suuri kasumeid, võrreldes mõne teise valdkonnaga (nt finants, IT). Kuna tootmises on konkurents äärmiselt tihe ning kolmanda maailma ettevõtted (peamiselt Aasia) on odava tööjõuga pannud ka ülejäänud maailma ettevõtted surve alla. See mõjutab tugevalt ka Eestit. Sel sajandil on paljud tootmisettevõtted tegevuse lõpetanud ja tehased sulgenud, kuna ettevõtte omanikud on oma tehased ning tootmise viinud Aasiasse. Selleks et ellu jääda, peab ettevõtte turumuutustega kohanema, liikuma Tööstus 4.0 lahenduste suunas ja panustama eelkõige kvaliteedile, tarnekiirusele ning -täpsusele.

2.5 Enam levinud liited

Toote disainer ja insenerid otsustavad, mis liidet kasutada detailide ühendamisel. On mitmeid erinevaid võimalusi ning valik sõltub eelkõige toote olemusest ja eesmärgist. Kui liitel on eluliselt oluline roll, siis on võimalik kasutada ka kombineeritud liidet, näiteks kruvi kinnitakse liimi ja momendiga. Kui on ette teada, et toodet on tulevikus vaja remontida või hooldada, siis tasuks kasutada lihtsasti lahti võetavat liidet, nii et see toodet ei kahjustaks. Näiteks klippliidet on võimalik kiiresti ja lihtsalt koostada, kuid korduvalt lahti võttes muutub kasutuskõlbmatuks.

Liited võib liigitada järgmiste tunnuste alusel.

Konstruktivne tunnus:

- Lahtivõetavad kinnisliited;
- Lahtivõetamatud kinnisliited;
- Lahtivõetavad liikuvad liited;
- Lahtivõetamatud liikuvad liited [1].

Tehnoloogiline tunnus:

- Keermesliited;
- Neetliited;
- Pressliited;
- Klippiiited;
- Klemmliited;
- Liimliited;
- Joodisliited;
- Keevisliited [1].

Koostamisviisi tehnoloogilise iseloomu järgi:

- Detailide paigaldamine haaravate pindade abil ilma jõudu rakendamata;
- Plaste deformeerimine (neetimine, valtsimine, painutamine);
- Elastne deformeerimine (stopperrõngad, vedrud, voolikud);
- Hõõrdejõu kasutamine (keermesliited, kiilud, liistud);
- Täiendav kiht pindade vahel (keevitamine, jootmine, liim);
- Erimeetodid (klambrid, õmblus) [1].

2.6 Toote valmimisega seotud abiprotsessid ettevõttes

Toote koostamine on tootmisettevõttes põhiprotsess, kuid lisaks on mitmed erinevad seda toetavad protsessid, milleta ettevõtte ei toimi. Tootmine saab alguse planeerimisest. Tavaliselt on selleks eraldi inimene – planeerija, kes koostab tootmistellimuse, arvestades tootmismahтусid, materjali olemasolu ja inimressurssi. Planeerimisel on veel paljusid erinevaid aspekte, mida planeerija peab arvesse võtma. Nende hulka kuuluvad võimalikud tarneprobleemid, töötajate puhkused ja

haigestumised, riigipühad, üldine maailma majanduse olukord, koroonakriis jne. Paljude toodete planeerimisel tuleb arvestada, et erinevatel perioodidel on tarbimine erinev. Näiteks jõuludel on paljude kingiks sobivate esemete tarbimine mitmekordne ning sellele järgnev periood on jälle erakordselt madala tarbimisega. Planeerija peab arvestama, et ladu kriitilisel hetkel tühjaks ei saa ning ettevõtte ei jääks ilma suurtest kasumitest. Samas ei tohi lattu liialt ette toota, sest see hoiaks vajalikku laopinda asjatult kinni.

Järgmine etapp on ostmine. Kui planeerija on sisestanud süsteemi tellimuse, siis ostja kontrollib laojääki (näiteks ERP, MRP süsteemist) ning materjali ja komponentide puudumisel, võtab ühendust tarnijatega. Erinevatel komponentidel võib olla väga erinev tarneaeg. Standardsed komponendid (nt levinud kinnitusvahendid) võivad jõuda tehasesse juba samal päeval, samas kui unikaalse komponendi tarneaeg võib olla rohkem kui pool aastat. Ettevõtetel on välja kujunenud kindlad tarnijad (koostööpartnerid), kelle poole esmalt pöördatakse.

Kauba vastuvõtt ja ladustamine – ostetud tooted tuleb lattu vastu võtta ja üle kontrollida. Kontroll võib olla põhjalik, kus 100% tooteid üksikshaaval üle kontrollitakse. Tavaliselt võetakse kaup vastu pärast põgusat vaatlust ja põhjalikku kontrolli ei tehta, kuna see oleks liialt ajamahukas. Kui kaup on vastu võetud, siis tuleb see ladustada laokohale ning süsteemis (ERP) arvele võtta.

Komplekteerimine – selleks, et komponendid jõuaksid koostajani, tuleb tootmistellimus komplekteerida. Kindlasti on ettevõtteid, kus koostaja peab ise komplekteerima ja komponendid endale töölauale tooma. Selleks et koostaja ei kaotaks väärtuslikku aega, on tavaliselt komplekteerimiseks eraldi inimesed. Saatelehe alusel komplekteeritakse vajalikud komponendid ning viiakse koosteliinile.

Seejärel toimub põhiprotsess – toote koostamine. Koostamist toetavad kaudselt veel mitmed inimesed. Meister, tehnik, tehnoloog, eestöoline, tootmisjuht – kes kõik mingil moel panustavad ja mõjutavad. Näiteks töötajate graafiku valmistamine, tööjuhendite loomine, tööriistade hankimine, tõrgetega tegelemine jne.

Kui toode on valmis, toimub viimane protsess – kvaliteedi või funktsionaalsuse kontroll. Olenevalt tootest teostab kontrolli kas ainult inimene või kasutatakse ka automaatikat. Tavaliselt tulemused dokumenteeritakse ja säilitakse aastaid. Pikaajaliste kogutud tulemuste põhjal saab teha järeldusi ning parendada tootmisprotsessi, toodete kvaliteeti ja operaatorite töökorraldust.

Lisaks on veel palju erinevaid koostamisega seotud kaudseid protsesse, mis erinevad olenevalt ettevõtte eripärast. Sinna kuuluvad näiteks turundus, projekteerimine, katsetamine ja testimine, kliendisuhtlus jne.

2.7 Kvaliteedijuhtimine

Kvaliteet ei teki iseenesest. Selleks, et toode või teenus oleks kvaliteetne, on vaja seda juhtida. Juhtimine saab alguse ettevõtte juhtkonnast, kes peab eraldama selle jaoks ressursid ning määrama vastutused. Suuremates ettevõtetes on loodud isegi omaette kvaliteediosakond. Väiksemates ettevõtetes määratakse tavaliselt üks inimene, kelle ülesandeks on luua kvaliteedijuhtimissüsteem (KJS) ning kindlustada ettevõtte vastamine antud süsteemile.

KJSi juurutamine aitab ettevõttel olla konkurentsivõimeline ning näidata klientidele oma tegevuse vastavust nõuetele ning kohanduvatele õigusnormidele. Selleks et nõuded, millele ettevõtte peab vastama oleks kõikidele üheselt arusaadavad ning nende nõuete juurutamise hõlbustamiseks on rahvusvaheline standardiseerimise organisatsioon (ISO) loonud ISO 9000 standardite seeria.

ISO 9000 seeria standardites on välja toodud kaheksa kvaliteedijuhtimise printsiipi:

- Tarbijakesksus;
- Juhtkonna eestvedamine;
- Töötajate kaasamine;
- Protsessipõhine tegutsemine;
- Süsteemne lähenemisviis juhtimisel;
- Pidev parendamine;
- Otsused tuginevad faktidele;
- Vastastikused kasulikud suhted [5].

2.7.1 ISO kvaliteedijuhtimise standardid

Kvaliteedijuhtimise standardite eesmärgiks on abistada erineva tüübi ja suurusega organisatsioone, et juurutada ja kasutada efektiivselt kvaliteedijuhtimise süsteeme.

- ISO 9000 kirjeldab kvaliteedijuhtimise süsteemi aluseid ja sisaldab sõnavara ning terminoloogiat;
- ISO 9001 kirjeldab kvaliteedijuhtimise süsteemidele esitatavaid nõudeid. Organisatsioon peab demonstreerima oma võimet pakkuda toodet (teenust), mis täidab kliendi esitatud ja seadusandluses ettenähtud nõudeid ning taotleb kliendi igakülgset rahuldamist;
- ISO 9004 esitab suunised kvaliteedijuhtimise süsteemi toimivuse parendamiseks, efektiivsuse ja tulemuslikkuse tagamiseks;
- ISO 19011 esitab kvaliteedi- ja keskkonnajuhtimissüsteemide auditeerimise juhised;
- Teised abistavad ja täiendavad ISO standardid, näiteks kvaliteedidokumentatsiooniks (10013) ja kaebuste käsitlemiseks (10018) [6].

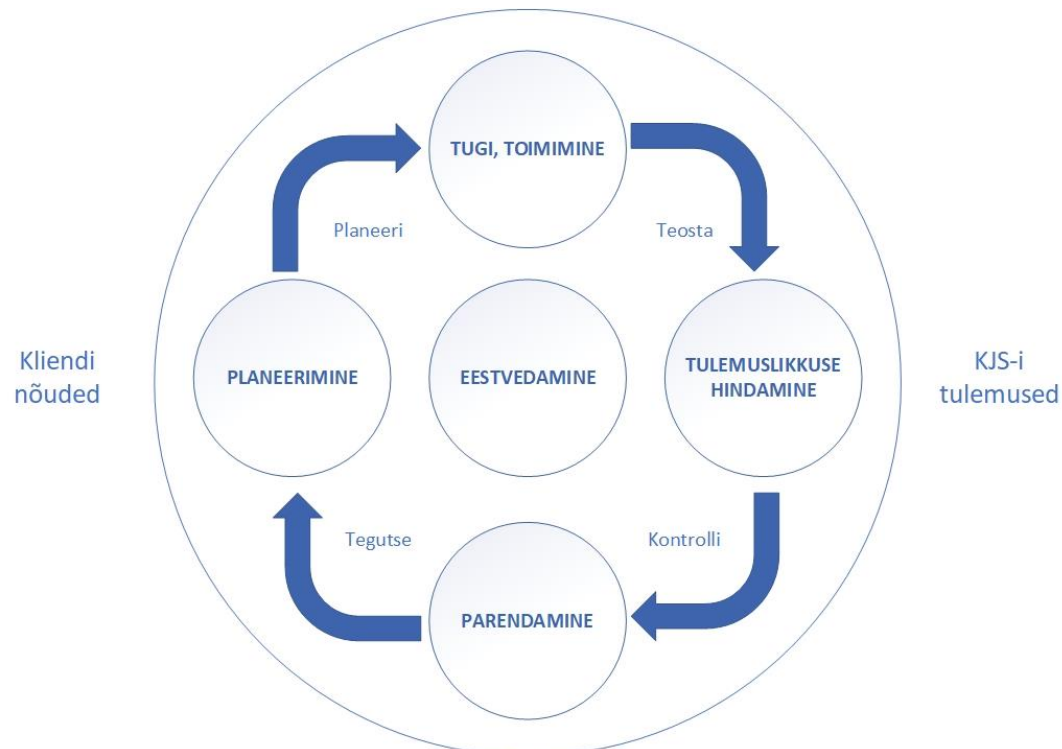
2.7.2 Standard ISO 9001

Rahvusvaheline standard, mis kirjeldab nõudeid kvaliteedijuhtimissüsteemidele. See on kõige olulisem ja enim kasutatud KJS standard. Viimane versioon on jõustunud 2015. aastal. 2020. aasta novembri seisuga on Eestis ISO 9001:2015 järgi sertifitseeritud ettevõtteid 1163 [7].

Kvaliteedijuhtimissüsteemi kasutuselevõtt on organisatsiooni enda otsus, mis võib aidata organisatsiooni üldist tulemuslikkust ja luua aluse jätkusuutliku arengu jaoks. Süsteemi rakendamise võimalik kasu organisatsioonile on järgmine:

- Suutlikkus järjekindlalt pakkuda nii kliendi nõuetele kui kohaldatavatele seadusjärgsetele nõuetele vastavaid tooteid ning teenuseid;
- Kliendi rahulolu;
- Eesmärkidega seotud riskide ning võimaluste käsitlemine;
- Näidata oma vastavust kindlaksmääratud kvaliteedijuhtimissüsteemi nõuetele [5].

Standard kasutab protsessikeskset lähenemist, milles kasutatakse planeeri-teosta-kontrolli-tegutse (PDCA) tsüklit ja riskipõhist mõtlemist (joonis 2.3).



Joonis 2.3 Kvaliteedijuhtimissüsteemi mudel PCDA

Kogu kvaliteedijuhtimissüsteemi aluseks ja sisendiks on kliendi nõuded. Joonisel 2.3 olevate punktide järgi on üles ehitatud ka standard ISO 9001. Põhimõte on järgmine:

- Planeeri – ettevõtte peab planeerima KSJ-i ja selle jaoks vajalikud ressursid;
- Teosta – planeeritud protsesside ellu viimine;
- Kontrolli – protsesside kontrollimine ja mõõtmine, tulemuslikkuse hindamine;
- Tegutse – vajadusel protsesside parendamine.

Selleks et ISO 9001 standardist paremini aru saada, on loodud ka ISO 9000 „Kvaliteedijuhtimissüsteemid“, kus on kirjeldatud alused ja sõnavara (hetkel kehtib 2015 versioon) [5].

2.8 Kvaliteedikulud

Selleks, et ettevõtte kvaliteedi tagamiseks seotud kuludest oleks ülevaade, tuleb kõik erinevad kululiigid kokku liita. Need kulud võib jagada ennetus-, hindamis- ja tõrkekuludeks. Tõrkekulud saab omakorda jagada nendeks, mis tekivad sisemiste ja väliste tõrgete tõttu. Ennetuskulud on seotud kvaliteedijuhtimissüsteemi kavandamise, ellurakendamise ning hooldamisega. Ennetamiskulud on näiteks kvaliteediplaneerimine

ja -tagamine, inspekteerimisseadmed, koolituskulud, tootele või teenusele esitatavad nõuded. Hindamiskulud on seotud sellega, kuidas tarnija ja klient hindavad nende poolt ostetud materjalide, protsesside, toodete ja teenuste vastavust nõuetele. Nende hulka kuuluvad: verifitseerimine, kvaliteediauditid, kontrollseadmestik ja tarnijate hindamine. Sisemised tõrkekulu tekivad sellest, kui tehtud töö ei vasta nõuetele, kuid see avastatakse enne üleandmist kliendile. Sisemiste tõrgete hulka kuuluvad järgmised tegevused: raiskamine, praak, ümbertegemine, korduvkontroll ja tõrgete analüüs. Välised tõrkekulud tekivad sellest, kui tooted või teenused ei saavuta kokkulepitud nõudeid, kuid see avastatakse alles pärast seda, kui nad on tarbijale üle antud. Välised tõrkekulud on: remont ja teenindus, garantiinõuded, kaebused, tagastamised, tootevastutus, ettevõtte maine väärtuse kaotus [8].

2.8.1 Reklamatsioon

Juhul kui klient leiab, et tellitud toode ei vasta tema nõuetele, on kliendil õigus esitada reklamatsioon. Tavaliselt on tootmisettevõttes selleks eraldi töötaja, tarnija kvaliteediinsener (või ka lihtsalt kvaliteediinsener). Ta kogub kokku vajaliku materjali, teeb vajadusel pildid ning saadab info tarnijale (tootjale). Kui toode on kasutuskõlbmatu, siis tagastatakse ka see tarnijale. Kui toodet on võimalik ise parandada, siis paljud ettevõtted seda ka teevad. Lihtsam on ise lisada puuduv kruvi, kui tegeleda reklamatsiooniga, mis võib bürokraatia tõttu kesta mitu kuud (kirjavahetus, transport).

Toote valmistaja avab enda süsteemis kliendi reklamatsiooni. Seejärel selgitatakse välja praagi põhjused ning otsustatakse, kas nõustutakse reklamatsiooniga või lükatakse see tagasi. Sageli ei jõu eriosapooled ühisele arusaamale, eriti just siis kui tegemist on visuaalsete nõuetega. Näiteks kriim, täke või värvidefekt. Üldiselt siiski tuleb tarnija kliendile vastu, isegi kui temaga ei nõustu. Pikemas perspektiivis on tähtis ikkagi hoida klienti ja omada temaga häid suhteid. Pärast reklamatsiooni esitamist on kliendil kaks varianti: kas nõuda raha tagasi või laseb tarnijal saata oma kuludega asendustooded.

Olenevalt ettevõtte kvaliteedipoliitikast, tuleb mõnikord praaki teinud ettevõttel täita ka tarnija reklamatsiooniga seotud vormid ja paberid. Sinna võivad kuuluda näiteks 8D raport, 5 Miksi analüüs või muu raport. Nende protseduuride abil peaks välja selgitatama praagi esinemise põhjus ning kasutusele võetama meetodid, et viga tulevikus vältida.

2.9 LEAN tootmine

Kaasaegses ettevõttes on tootmise (koostamise) protsessi aluseks LEAN meetod ja pidev parendamine. See keskendub tootmise efektiivsuse tõstmisele ja raiskamise vähendamisele. Kõik tegevused, mis ei lisa väärtust, tuleks kõrvaldada. LEAN meetod sai alguse Jaapanist. Esmased tunnused on pärit juba 20. sajandi algusest Fordi tehase, kuid 1930.-1940. aastatel leidsid Toyota autotootja direktorid, et väikeste ning lihtsate parenduste abil on võimalik parendada protsessi voogu ja tõsta tootmise efektiivsust ning kvaliteeti [9]. Lean on üldine nimetus, mis koosneb erinevates meetoditest. Tuntumad on näiteks kuus sigmat, kanban, kaizen, poka-yoke. Samuti on oluline töötajate kaasamine, kes on igapäevaselt protsessis sees. Töötajad peavad tundma, et neid hinnatakse ja nende panust väärtustatakse. Sellisel juhul tõuseb töötajate motiveeritus, paranevad meeskonnatöö, tootlikkus ning efektiivsus.

2.9.1 Kuus sigmat

20. sajandi lõpupoole hakkas aina suuremat rolli mängima toote kvaliteet. See oli aeg, kus ettevõtete vaheline konkurents aina suurenes ning ettevõtted, kes soovisid ellu jääda, pidid muutma oma strateegiat ja tootmise protsessi.

Kuue sigma protsessi aluseks on mudel DMAIC, mis koosneb viiest põhilisest etapist: määratle (*define*), mõõda (*measure*), analüüsi (*analyze*), parenda (*improve*) ja ohja (*control*). Sellest moodustub parendustsükkel, mille aluseks omakorda oli W.E. Deming'i loodud PDCA (planeeri, teosta, kontrolli, tegutse) mudel. DMAIC põhineb statistilisel analüüsil leitud veallikate ja nende kõrvaldamise vahendite kindlakstegemisel.

Kuue sigma ettevõtted keskenduvad:

- Klientide nõuete mõistmisele;
- Kliendi jaoks väärtust loovate põhiprotsesside määratlemisele ja neile keskendumisele;
- Pideva parendamise jätkamisele;
- Kõikide töötajate kaasamisele;
- Valmisolekule reageerida muutustele;
- Juhtimise rajamise reaalsetele andmetele [8].

2.9.2 Kaizen

Järjekordne Jaapanist pärit kontseptsioon. *Kaizen* on pideva parendamise filosoofia ettevõtte kõigi töötajate jaoks. Tegemist on lõppematu protsessiga ning töötaja peaks iga päeva alustama mõttega, et protsessi saab alati paremaks teha [8].

Kaasatud on kõik ettevõtte töötajad ning neilt oodatakse pidevalt parendusettepanekuid, mis aitaks parandada kvaliteeti, vähendada tootmiskulusid, kiirendada tootmisprotsessi jne. On ettevõtteid, kus igal töötajal on kohustus esitada mingi arv ettepanekuid teatud perioodi vältel. Enamus nendest ettepanekust ei leia kunagi rakendust, aga eesmärgiks ongi panna töötaja mõtlema, et kuidas saaks tootmist parendada. Sii ei kuulu mitte ainult tootmisosakond, vaid kogu organisatsioon. Alates juhtkonnast ja inseneridest kuni koristajateni välja. Igaüks peab oma põhitöö kõrvalt ka otsima ja genereerima uusi ideid, kuidas oma valdkonda täiustada.

Tihti on *kaizeni* ka kritiseeritud just liige surve avaldamise tõttu töötajatele. Paljud töötajad ei soovi midagi parendada. Nad käivad vaid tööl selleks, et endale elatist teenida ning ei soovi tegeleda ettevõtte arendamisega. Selliste kohustuste olemasolu võib töötajatele tekitada stressi ning kokkuvõttes võib sel filosoofial olla hoopis vastupidine efekt [8].

2.9.3 Kanban

Kanban süsteem töötati välja Toyota tehases. Selle eesmärgiks oli saavutada efektiivne toodete ja varude liikumise juhtimine. See on väga tihedalt seotud *just in time* meetodiga. Modernses tootmisettevõttes on koostamine planeeritud just võttes arvesse kanban meetodit. Idee seisneb selles, et tootmises oleks alati vajalik kogus komponente, aga mitte liiga palju. Täpselt peab olema teada, mis toodet ja kui palju on vaja rahuldamiseks kliendi vajadusi. Kõik komponendid asuvad märgistatud karpides ning enne kui need otsa saavad, on laol juba info olemas, et antud karpi tuleb täita. Nii välditakse ebavajalike pauside ja raiskamise tekkimist [10].

2.9.4 Poka-yoke

Poka yoke ehk vigade vältimine on meetod, kus operaatori vea tekkimise võimalus on välistatud. Siin on kaks varianti. Esiteks kas muudetakse toote disain selliseks, et on võimatu valesti koostada. Teine variant on muuta tootmise protsessi. Selliselt, et on kas võimatu valesti koostada või koostaja eksimus avastatakse koheselt. Poka-yoke meetod on laialt levinud ka meie ühiskonnas ja elu keskkonnas. Inimlike eksimuste vältimiseks ja kasutajate elu hõlbustamiseks on loodud lugematu hulk erinevaid lahendusi. Näiteks võib tuua, et erinevad tehnikaseadmete kaablid on erinevate otstega. Tavakasutaja ei saa USB kaablit ühendada LAN pesasse. Samuti võib näiteks tuua igasugused alarmid ja märguanded. Kui autos kütusetase on madal, annab indikaatortuli kasutajale märku [1].

2.9.5 5S

5S ehk töökoha korrashoiu meetod, mis koosneb viiest sammust ja mille eesmärgiks on muuta töökeskkond võimalikult tõhusaks. See on vajalik eelkõige kõrge töökultuuri saavutamiseks ja distsipliini tagamiseks. Koostaja töökoht on mugavam, ergonomilisem ning ta keskendumisvõime säilib kauem. Kokkuvõttes aitab see parendada ja kiirendada koostamisprotsessi.

5S koosneb järgnevatest sammudest:

- Sorteereri – töökohal peavad olema ainult vajalikud töövahendid. Kõik kõrvalised asjad, näiteks telefon ja kohvitass, tuleb eemaldada. Need võtavad liigselt ruumi ja takistavad töö tempot;
- Sea korda – iga asi peab olema omal kohal. Olgu selleks tööriist, juhend, joonis või komponent;
- Sära – töökoht peab olema puhas. Töötajal on endal mugavam ja meeldivam töötada puhtas töökeskkonnas. Peale töö lõppemist tuleb töökoht puhastada;
- Standardiseeri – tuleb luua reeglid, millest töötajad peavad kinni pidama. Siia kuuluvad ka sildid, millega tähistatakse komponente ja tööriistade asukohti;
- Säilita – töökoha korrastamine peab olema pidev protsess. Tihtipeale võivad töötajad lohakaks muutuda ajapikku ning seetõttu tuleks ettevõttel endal teostada kontrolle (näiteks audit) [10].

2.9.6 Just in time süsteem

Pärineb 1960. aastatest ning töötati välja Jaapanis. Tähendab varudeta tootmist – iga asi õigel ajal õiges kohas. Lao- ja logistikakulud on ühed suuremad kulud ettevõtte jaoks. Seetõttu hakkas 20. sajandi lõpupoole levima JIT süsteem. Vähendati laopindalasi ning telliti tarnijalt kaup täpselt selleks perioodiks, kui oli materjali vajadus ning minimaalses (kuid piisavas) koguses.

Sama põhimõtet hakati kasutama ka tehase tootmisosakondades. Võeti kasutusele kanban meetod – tootmisesse viidi materjal ainult vajadusel. Koostelaua on vajalik kogus komponente. Ainult standardseid komponente võib olla rohkem (kinnitusvahendid).

JIT toimimiseks on vajalikud mitmed kvaliteedijuhtimise meetodid nagu:

- Voodiagrammid;
- Ennetav hooldus;
- Statistiline protsessiohje;
- Protsessi uurimine ja analüüs;
- Ruumide ja seadmete paigutuse planeerimine;
- Kanban;
- Veakindlaks muutmine;
- Partiide suuruse vähendamine;
- Paindlik tööjõud [8].

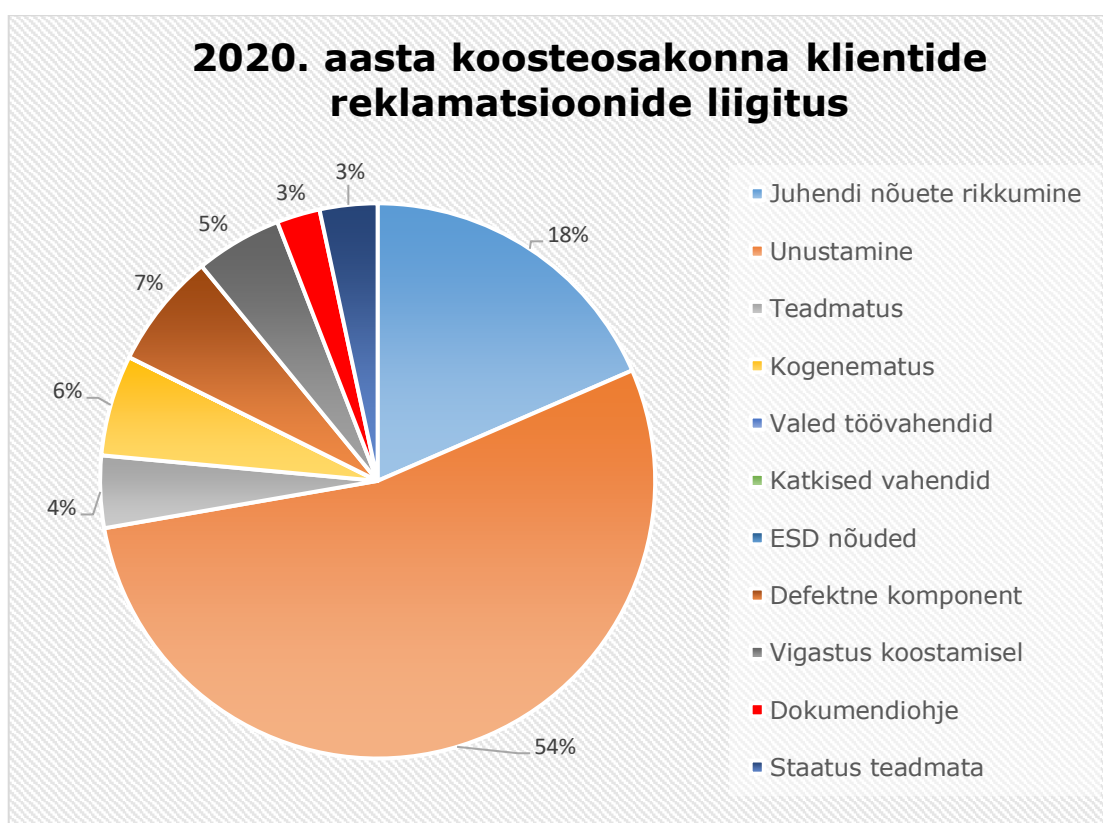
JIT edukaks toimimiseks peab ettevõttes kogu materjali voogu juhtima ja tootmist planeerima. Enamus tootmisettevõtteid kasutab vastavaid arvutiprogramme (ERP, MRP), mille abil on võimalik jälgida laovarusi ning mis automaatselt teavitavad vastavaid töötajaid (ostjaid) tellimuse vajadustest.

JIT-süsteemil on ka negatiivseid külgi. Aegajalt tekivad varustajatel tarneraskused. Tarned võivad hilineda ning see on väga aktuaalne praeguse koroonakriisi ajal. Igasugune reisimine on raskendatud ning see hõlmab ka kauba saatmist. Kui ladu saab tühjaks ja uus materjal hilineb, siis on oht, et kogu tootmine võib seisma jääda. Selle vältimiseks on soovitatav hoida piisav laovaru ja leida mitmeid alternatiivseid tarnijaid.

3 VIGADE ÜLEVADE JA STATISTIKA

3.1 Vigade statistika ja reklamatsioonide põhjused

Käesoleva magistritöö aluseks on võetud koosteosakonna statistika ettevõttest HMT. Detailne statistika ei kuulu avaldamisele, kuid protsentuaalselt on klientide reklamatsioonide liigitus ja põhjused toodud joonistel 3.1 ja 3.2. Periood, milles vältel reklamatsioone esitati on 01.01-31.10.2020.



Joonis 3.1 HMT klientide reklamatsioonide liigitus [11]

Reklamatsioone analüüsidis oli tihti keeruline liiki määrata. Väga sagedasti võib liigitada reklamatsiooni mitmesse kategooriasse. Kõige keerulisem oli määrata, kas tegu oli tööjuhendi nõuete rikkumisega või unustamisega. Kuna tavaliselt on reklamatsiooni registreerimisel toote valmistamisest möödunud mitu kuud, siis on keeruline välja selgitada, mis täpselt juhtuda võis. Niivõrd pika aja tagant polnud võimalik välja selgitada, kas töötaja kasutas valesid või kalibreerimata töövahendeid. Seega on nende osakaal 0%. Samuti ei esinenud ühtegi reklamatsiooni ESD nõuete rikkumise tõttu. See on seotud sellega, et HMT põhitegevus pole trükkplaatide valmistamine. ESD nõuete rikkumiste tõttu saadavate reklamatsioonide osakaal on seotud ettevõtte valdkonnaga. Näiteks

trükkplaatide ja elektroonikakomponentide tootjad ettevõtte saavad oluliselt rohkem reklamatsioone läbipõlenud komponentide tõttu.

Joonisel on näha, et kaks enim levinud põhjust on unustamine ja tööjuhendi nõuete rikkumine. Nagu eelnevalt mainitud, võib need ka kokku võtta. Ehk siis peaaegu kolmveerand reklamatsioonidest on seotud sellega, et koostaja ei jälginud korrektselt juhendit või unustas mingi detaili lisada. Kokku 10% moodustasid reklamatsioonid, mis olid seotud teadmatusena ja kogematusena. Nende reklamatsioonidega olid seotud uued töötajad, kes valmistasid esimesi tooteid ning sellest tulenevalt põhjustasid praaki. Analüüsides reklamatsioone selgus, et enamus neist olid seotud jootmisega. Jootmine ongi protsess, kus töötaja vajab veidi kogemusi ja harjutamist. 5% juhtudest tekkis praak koostamise etapis. Kõik detailid said kinnitatud korrektselt, kuid koostamise käigus sai kahjustada näiteks visuaalne pind või kaabel. Paraku seda ei märgatud koostamise ega lõppkontrolli käigus või siis otsustati, et defekt pole piisav, selleks et toodet utiliseerida.

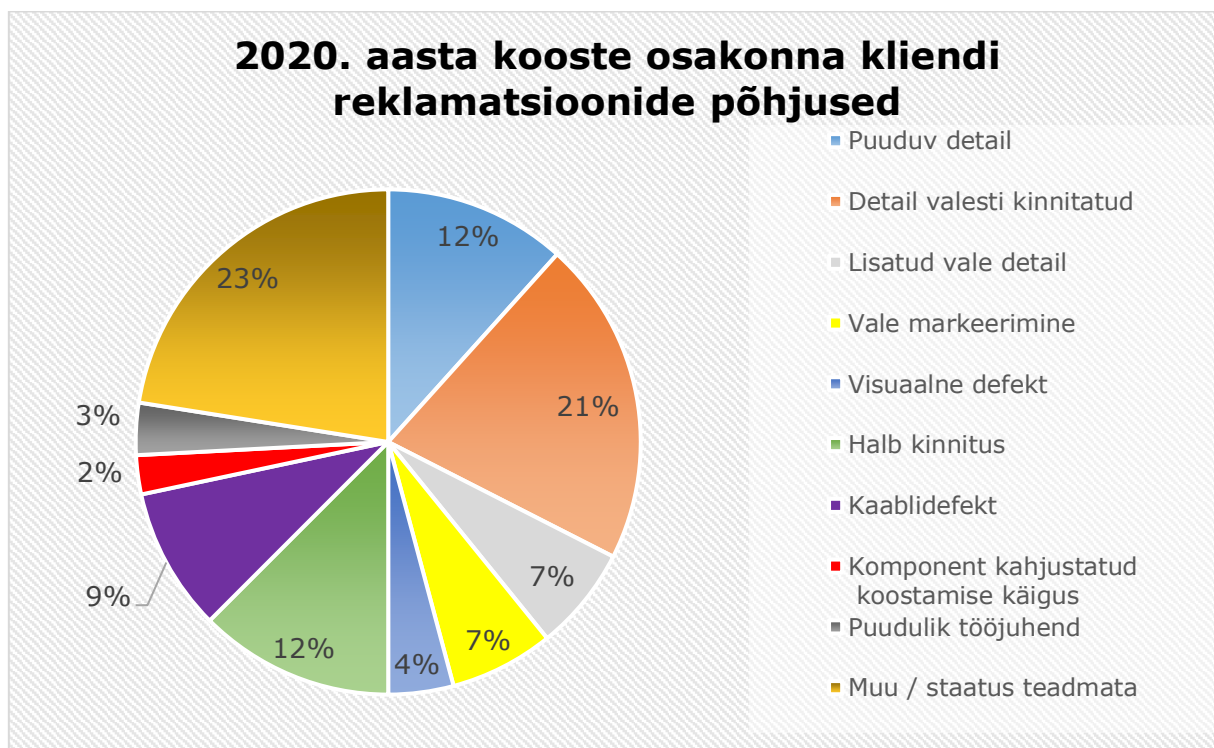
Eraldi tasuks välja tuua ka ostukomponentide defektid, mille tõttu saadud reklamatsioonid moodustasid 7% koguarvust. See pole halb tulemus, kuid siiski võiks see olla mõttekoht, kuidas numbrit vähendada. Kas tõhustada sissetulevate komponentide kvaliteedikontrolli enne vastuvõtmist või siis juhendada töötajaid ning panna neile lisakohustuseks komponentide kontroll. Antud töö autori isiklikud kogemused on näidanud, et on teatud tooted, millel esineb rohkem kvaliteediprobleeme. Need tooted tuleb süsteemis märgistada (näiteks lisa operatsioon) ning neid rangemalt kontrollida.

Kui nüüd analüüsida täpsemalt, mis oli konkreetselt reklamatsiooni põhjus, siis on tulemused välja toodud joonisel 3.2. Seal on välja toodud protsentuaalselt suurimad põhjused, miks klient reklamatsiooni esitas. 23% juhtumitest on märgitud põhjusega „muu“. Sinna kuuluvad kõik reklamatsioonid, mis antud töö kirjutamise hetkel polnud veel lõplikult ära määratud või oli tegemist juhtumiga, mis üldpilti vaadates ei sobitunud teistesse gruppidesse.

Edasi tulevad reklamatsioonid, kus detail on kas puudu, halvasti või valesti kinnitatud. Selliste reklamatsioonide osakaal on 45% ehk peaaegu pooled kõikidest koosteosakonnale esitatud reklamatsioonidest. Vale ja halva kinnituse vahe on selles, et valesti kinnitatud detail on juhtum, kus detail on näiteks valepidi kinnitatud. Näiteks esines mitu juhtumit, kus rõngakujuline detail pressiti avasse laiem pool ees. Kliendi joonisel oli nõue, et pressida kitsam pool ees (faas). Selline detail saadeti kliendile, kel

polnud võimalik antud alamkoostu kasutada ja ta esitas reklamatsiooni. Halva kinnituse korral on kõik muu õieti tehtud, aga kruvid, poldid või mutrid on jäänud korralikult kinni keeramata.

Viimaseks võib välja tuua ka juhtumid, kus kinnitati vale detail (7%), kaabliga seotud defektid (9%) ja vale markeerimine (7%). Vale markeerimine tähendab puudulikult tähistatud toodet või tootega kaasa mineva dokumentatsiooniga seotud eksimust (paberid ebakorrektselt täidetud). Ülejäänud vigade osakaal oli niivõrd tühine, et ei tasu neid eraldi välja tuua.



Joonis 3.2 HMT kliendi reklamatsioonide põhjused [11]

Samuti tasuks lisada veidi statistikat mahtude osas. Pikema aja jooksul (01.01.2017...30.11.2020) koostatud statistika põhjal selgub, et ligikaudu 10% kõikidest ettevõtte klientidest esitasid umbes 50% koosteosakonnaga seotud reklamatsioonidest. Need artiklid, millele peaaegu nelja aasta jooksul esitati reklamatsioon, neist 15% moodustasid omakorda umbes 50% kõikidest reklamatsioonidest [11]. Nendest andmesteb selgub, et kvaliteedinäitajate tõstmiseks ja reklamatsioonide vähendamiseks piisab, kui valida välja väike osa – umbes 10...15% ettevõttes valmistatavatest toodetest. Need tooted tuleks võtta prioriteediks ning hakata tegelema nende kvaliteedi ja koostamisprotsesside parendamisega. Loomulikult ei tähenda see, et teised tooted ja kliendid võiks kõrvale jätta. Aga kui ettevõttel on

palju erinevaid tooteid ja kliente, siis paratamatult tuleb teha valik, sest nii tööjõu- kui ka rahaline ressurss on piiratud.

Kuna eelnevalt välja toodud statistika põhjal selgub, et enamus reklamatsioone on seotud sellega, et ei järgitud korrektselt tööjuhendit või siis unustati lisada komponent (või lisati vale komponent), siis keskendub ülejäänud töö peamiselt sellele, kuidas vähendada praaki koostamisel. Töö üritab leida vastuseid, kuidas tõhustada kvaliteedikontrolli ning mis võiks olla tootmisettevõtetele parimad ja kasumlikumad lahendused.

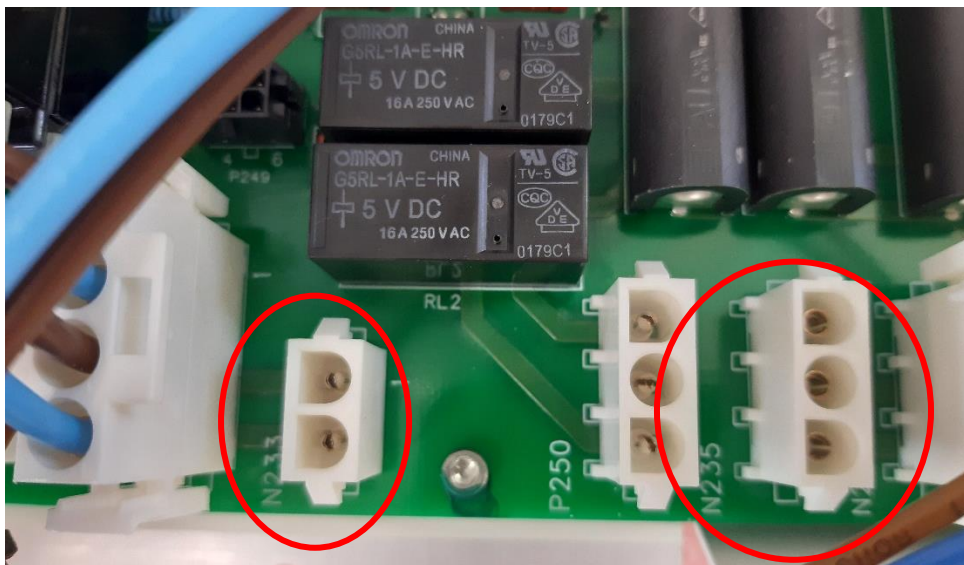
3.2 Vigade ülevaade

Töötaja koostevea põhjusel ei ole tavaliselt süüdi ainult üks tegur. Tihtipeale võib vea liigitada korraga mitmesse erinevasse kategooriasse. Toote koostamisel esinevate vigade põhjused võib üldistatult liigitada järgmiselt:

- Tööjuhendi nõuete rikkumine – töötaja teadlikult teostab operatsiooni teisiti kui juhendis ettenähtud. Tavaliselt esineb see juhul, kui koostaja on leiutanud viisi, kuidas kiiremini ja mugavamalt tööd teha. Aegajalt on see õigustatud ja probleeme sellega ei teki. Samas on see siiski üks levinumaid põhjuseid praagi tekkimisel. Algselt võib tunduda, et kõik on korras ja toode saadetakse edasi kliendile. Alles hilisemas faasis avastatakse viga. Siia alla kuuluvad ka erinevad operatsioonide tegemata jätmised. Näiteks juhendis on kirjas, et kontrollida mõõt nihikuga üle, aga töötaja eeldab, et silma järgi paika pandud mõõt on piisav.
- Unustamine/hajameelsus – üldiselt kuulub siia mingi detaili puudumine. Töötaja on lihtsalt unustanud lisada komponendi. Tavaliselt on see detail, mille tükkide arv koostus on suur ning mis oma mõõtmetelt on väikene ning peale vaadates kohe silma ei torka. Näiteks kinnitusvahend: kruvi, mutter, seib, neet. Kui koostul on kümneid kruve, siis juhtub üsna tihti, et üks neist ununeb. Antud punkt on väga sarnane juhendi nõuete rikkumisele. Kui töötaja unustab detaili lisada, siis võib öelda, et tegemist on samuti tööjuhendi nõuete rikkumisega. Kui töötaja oleks korrektselt juhendit järginud, siis oleks ka detail lisatud. Peamine erinevus on selles, et esimesel juhul töötaja teadlikult eirab juhendi nõudeid ja jätab teostamata operatsiooni. Teisel juhul koostaja järgib küll juhendit, kuid siiski unustab mingi detaili lisamata.

Samuti liigitatakse siia gruppi vale detaili lisamine. Hajameelsusest tingituna lisatakse väga sarnane, kuid siiski teine detail. Näiteks kaabel, PCB elektroonikakomponent vms. Et seda vältida, on oluline, et kõik detailid oleks üksteisest eraldatud ja korrektselt tähistatud. Seda mitte ainult tootmises, vaid ka laos. Kui laotöötaja komplekteerib ja viib tootmisesse vale detaili, siis koostaja ei pruugi seda märgatagi. Tavapärane on see juhul, kui detailid on väga sarnased. Töö autor on kokku puutunud mitmete reklamatsioonidega, kus põhjuseks oli vale kaabel. Erinevad kaablid on peaaegu sama pikkusega, sama värvitooniga ja ka konnektorid on samad. Ainus erinevus oli väike kiri isolatsiooni peal ning kaabli läbimõõt, mis erines paari millimeetri võrra. Koostaja paraku ei märganud erinevust ning kasutas valet kaablit toote koostamisel. Joonisel 3.3 on toodud näide, kus trükkpladikoostule on N-positsioonis kaks erinevat konnektorit, ühes on emane ja teises isane, kuigi märgistus viitab, et peavad olema ühesugused.

Kindlasti soodustab selliste tähelepanematused ja hajameelsusest tekkivate vigade esinemist mingi kõrvaline tegur. Näiteks kaastöötajaga jutustamine, mobiili jälgimine, raadio kuulamine või ka paus (kohvi-, lõuna-, wc-, suitsupaus), mil töötaja mõtted ja keskendumine on suunatud mujale.



Joonis 3.3 N-positsioonis vale terminal

- Teadmatus – esineb peamiselt uute töötajate korral. Töötaja järgib küll tööjuhendit, kuid esineb olukordi, kus ta pole kindel, kuidas antud operatsiooni teha. Sellisel juhul tuleks kindlasti pöörduda kogenuma kolleegi poole. Kui töötaja siiski abi ei küsi, vaid üritab ise hakkama saada, siis võibki tagajärjeks olla praak.

Teadmatust esineb ka juhul kui ettevõttes koostatakse uut toodet või kogunud töötaja saadetakse teist toodet koostama, millega ta pole varem kokku puutunud. Kui toode on tehases uus, siis ei pruugi vea tekkimises süüdi olla koostaja teadmatus, vaid ka tooteinseneri või tehnoloogi oma. On üsna levinud, et uute keeruliste toodete esmased näidised ebaõnnestuvad. Töö autor on valmistanud näidiseid, mis said ärikliendilt heakskiidu alles neljandal korral. Siin oli osaliselt süüdi ka klient, kes andis ebaselgeid juhiseid ning puudulikud joonised. Tooteinsener ja tehnoloog õpivad oma vigadest ning mida kogenum töötaja on, seda väiksem on näidiste ebaõnnestumise tõenäosus.

- Kogenematus – see on mingi määral sarnane teadmatusale. Aga erinevus seisneb selles, et kogenematusel puhul töötaja küll teab, kuidas tuleb teha, aga lihtsalt ei tule välja. See on töö või protseduur, mis vajab harjutamist. Kui töö on selline, et ümber töödelda pole võimalik, siis tuleb firma kuludega toode praaki kanda. Siia kuuluvad sellised tööd nagu jootmine, keevitamine ja liimimine. Näiteks joonisel 3.4 on toodud klaasi külge liimitav metallist detail, kus liiga vähesel liimi ja nõrga surve tõttu on tekkinud visuaalne laik. Antud defekti on küll võimalik parandada, kuid selleks kulub palju aega. Lisaks on oht, et klaas saab parandustöö käigus kriimustada ning ikkagi tuleb toode utiliseerida.



Joonis 3.4 Liimimise defekt

- Valede töövahendite kasutamine – peamiselt valede tööriistade kasutamine. Näiteks vale momentvõti. Kasutatakse kas teadmatusel, lohakusest või töövahendite puudusest. Olukorras kus töötajad peavad tööriistad jagama, võib tekkida olukord, et töövahend on hetkel hõivatud. Selleks et töö seisma ei jääks,

- kasutatakse alternatiivseid variante. Sellise vea esinemist on hiljem tagantjärgi väga keeruline tõestada. Võib vaid oletada, et ilmselt kasutati väärraid tööriistu.
- Katkiste töövahendite kasutamine – väga sarnane eelmisele punktile. Juhul kui tööriist ei tööta korrektselt, aga samas operaator ei pruugi sellest teadlik olla. Näiteks momentvõti kinnitab vale momendiga. Peale vaadates tundub, et kõik on korras. Alles kalibreerimisel selgub, et nõutud moment pole tagatud. Selleks et seda vältida, tuleb sellise otstarbega tööriistad kalibreerida. Levinud praktika on, et korra aastas toimub kalibreerimine. Lisaks juhul, kui tööriistaga on midagi juhtunud, näiteks maha kukkunud.
 - ESD nõuete rikkumine – tundlike elektroonikakomponentidega tööd tehes tuleb jälgida ESD nõudeid, et vältida elektrostaatilise laengu tekkimist ja komponentide läbi põlemist. Siia alla kuulub praak, mis on põhjustatud töötajapoolselt ESD nõuete eiramisest, kas teadlikult või teadmatuses. Siia ei kuulu ainult operaatori põhjustatud kahjud, vaid ka teiste tootmises viibivate isikute (meister, tehnoloog, külaline, tehase juht) ESD nõuete rikkumised. ESD nõudeid tuleb jälgida ka väljaspool tootmist. Nendega tuleb arvestada juba majja saabumisel – sisendkontrollis, laos ning komplekteerimisel. Tootmiseks ESD tundlikke detaile komplekteeriv laotöötaja peab kasutama spetsiaalset ESD käru ning kilet. Tavaline vahtplast tekitab tugevat ESD laengut ning võib elektroonika ära rikkuda. ESD nõuete koostajapoolsed rikkumised võivad olla näiteks ESD jalanõude või kitli, ESD töövahendite või maandava randmepaela mittekasutamine.
 - Defektne ostukomponent – väga tihti esinev probleem on koostes kasutatav defektne ostetud komponent. Paljudel ettevõtetel on selliste komponentide kontrollimiseks ka spetsiaalne inimene (sisendkontroll), kes hindab kvaliteedi vastavust nõuetele. Suurematel ettevõtetel, kus ostetavaid detaile on tuhandetes, pole tavaliselt ressursi, et 100% detaile kontrollida. Sellisel juhul on sisse viidud protseduur, et kontrollitakse näiteks 5% detailidest või ainult keerukamaid ja olulisemaid detaile. Antud meetodit kasutades on väga tõenäoline, et vigane detail jõuab lõpuks ka tootmisesse. Kui ka töötaja ei märka, et komponent on defektne, vaid kasutab ära ning tootele ei tehta lõppkontrolli ning saadetakse kliendile, siis on tulemuseks reklamatsioon. Tavaliselt koostaja ikkagi leiab üles defekti, aga kui antud komponendiks on näiteks trükkplaat, siis sellised vead jäävad üldiselt märkamatuks.
 - Vigastus koostamisel – isegi kui koostaja jälgib kõiki reegleid ja juhendit, siis paratamatult vahest juhtub õnnetusi. Näiteks kruvikeeraja otsaga kriimustatakse kogemata visuaalset pinda. Värvitud metall ja plastik on väga tundlikud kriimudele. Piisab kui kergelt kruvikeeraja otsikuga tõmmata üle pinna

ning pind on rikutud. Joonisel 3.5 on näha defekt, mille on põhjustanud koostaja kruvide kinnitamise käigus. Valgele pinnale tõmmati umbes 25 mm pikkune kriips, mille tõttu tuli kallid detailid utiliseerida.

Sii alla kuuluvad ka muud sorti detailide vigastamised, kui järgitakse kõiki nõudeid. Näiteks detailide maha kukkumine, detaili purunemine liigse jõu kasutamise tõttu, tööriistaga detaili vigastamine.



Joonis 3.5 Visuaalsel värvitud pinnal kriim

- Dokumendihje – juhul kui tootmisesse on sattunud kas vale joonis või tööjuhend. Enim levinud on juhtum, kui tootel on väljas uus revisjon, aga vana revisjoniga dokument on jäänud tootmisesse. Selleks et seda vältida, on soovitatav, et kõik välja printitud juhendid ja joonised oleks arvel. Kui peaks välja antama uus juhend või joonis, siis tuleb kõik aegunud dokumendid kokku korjata ja kas hävitada või arhiveerida.

On olnud juhtumeid, kus klient on toote tellijaks ja ise on unustanud edastada uue revisjoni dokumendid. Nüüd kui koostatakse toode vana revisjoni järgi ning saadetakse kliendile, siis klient avab valmistajale reklamatsiooni. Uurimisel aga selgub, et klient on ise süüdi ning valmistaja lükkab reklamatsiooni tagasi. Sellised vaidlused on tihtipeale pikad ja keerulised. Mõlemad poole huviks on näidata vastaspoolt süüdlasena. Isegi kui üks osapool saab aru, et tema suurem süüdlane, siis üritatakse ikkagi jõuda kompromissile, et jagada ära liigsed kulutused. Kui kokkuleppele ei jõuta, siis võib vaidlus minna kohtusse.

3.2.1 Vigade põhjused ja järelused

Analüüsidest reklamatsioone on hiljem tagantjärei väga keeruline aru saada, miks ikkagi koostetöötaja vea tegi. Aeg-ajalt saab selguse, et põhjuseks oli teise inimese eksimus. Näiteks oli koostejuhendis viga või laotöötaja komplekteeris saadetise valesti. Sellisel juhul on hiljem tõendatav koostejuhendit kontrollides või laojääki üle lugedes. Paraku sellised vead on tugevalt vähemuses ning nagu joonistel 3.1 ja 3.2 välja on toodud, siis ligemale 90% juhtumitest on ikkagi seotud eksimusega, mis juhtus koostamisel. Autor jälgis ja kontrollis ka koostetöötajate tehtud tööd ligi poole aasta vältel ning selle põhjal tehtud märkused ning järelused:

- Teatud koostajad põhjustavad kordades rohkem eksimusi kui teised, kuigi mõlemad on väga kogunud ning sama tööd teinud korduvalt;
- Teatud artiklitel on koostevea esinemise sagedus oluliselt suurem. Vead kipuvad korduma, seega kogunud kontrollija teab mida ja mis koostusid tuleb kontrollida hoolikamalt;
- Vea tõenäosust mõjutasid eesootavad pausid ja tööpäeva lõpp. See on arusaadav, kuna koostaja kiirustas tööd lõpetama, et ei jääks pausile hiljaks. Samuti tulles pausilt tagasi ei pruukinud koostaja alati mäletada, mis operatsioon ja millises etapis pooleli jäi.

Lisaks on loogilised järelused ka, et vea esinemist mõjutavad muud keskendumist segavad faktorid, nagu näiteks muusika kuulamine, liigne müra, ebasobivad keskkonna tingimused, telefonis olemine ja omavaheline suhtlemine.

3.3 Tootmistarkvara reklamatsioonide käsitlemiseks

Tootmisettevõtted kasutavad kliendi reklamatsioonide haldamiseks ja säilitamiseks erinevaid tootmistarkvaralahendusi. Need programmid on spetsiaalselt loodud vastavate võimaluste ja moodulitega, et lihtsustada reklamatsiooniga töötamist. Klient teavitab tootjat avastatud defektist, seejärel vastav töötaja (kvaliteediinsener või planeerija) registreerib süsteemis reklamatsiooni ning saadab info laiali ettevõtte siseselt. Kõik töötajad, kes on antud tootega seotud, saavad automaatse teavituse. Igal neist on oma vastutused, mis tuleb ära teha. Logistik organiseerib tagastuse või asendustoote transpordi, planeerija planeerib uue toote valmistamise, tehnoloog (insener) ja kvaliteediinsener vaatavad üle tootmisprotsessi ning üritavad välja

selgitada praagi põhjused. Lisaks kliendi reklamatsioonidele salvestatakse tarkvaras ka ettevõtte sisene praak. Pikema aja jooksul salvestud praagi andmetest, saab ülevaatliku statistilise analüüsi. See toob välja ettevõtte kitsaskohad ja problemaatilised tooted ning saab ülevaate, mida tootmises parendada kvaliteedi tõstmiseks.

Tuntumad sellised tarkvaralahendused on näiteks ERP, MRP, MRP II ja APS. Need on kõik üldised tarkvaralahenduste grupid, mille abil juhitakse ettevõtte ressursse ning toimimist ja planeeritakse kogu ettevõtte tööd alates kliendi tellimusest kuni arvete maksmiseni. Teisisõnu on need programmid, tänu millele on kõik osakonnad omavahel suhtluses ning toimub pidev infovoog. Neil kõigil on erinevused ja kõik on pärit erinevatest ajaperioodidest. Kõige vanem on MRP, mille esmased versioonid loodi juba 1960. aastatel. Seejärel ilmusid MRP II, ERP ja APS. Kõigil on erinevad sisendid ja iga järgmine on eelmisest täiuslikum ning suudab hallata rohkem informatsiooni. Kõige uuenduslikum ja rohkemate võimalustega on APS süsteem, mille töö aluseks on infotehnoloogia ja elektrooniliste sidevõimaluste areng. Alguse sai see tehisintellektil põhinevate planeerimismeetodite kasutuselevõtuga. APS süsteem võtab arvesse toodete nomenklatuuri võimalikke muutusi, vajadust lühendada tarneaegu ning parandada toodete kvaliteeti [10].

Tootmistarkvara kasutusele võttev ettevõtte peab analüüsima ja kindlaks tegema, mis on peamine eesmärk ning millised on ettevõtte vajadused. Seejärel alles otsustama, kas kasutusele võtta MRP (II), ERP või APS süsteem. Eelnevalt nimetatud järjekord näitab ka programmi võimekust ja integreeritust. See mõjutab oluliselt tarkvara hinda. Nende litsentsid on väga kallid ja mida täiuslikum lahendus ning mida rohkem see suudab, seda kallim on hind. Arvestama peab, et programmi hind ei ole ühekordne väljaminek, vaid need on litsentsipõhised ja ning maksma iga ajaperioodi tagant.

3.4 Andmete kogumine

Uuendusliku tootmise üks tähtsamaid ülesandeid on andmete kogumine ja analüüsimine. Iga masina ja töötaja liigutused salvestatakse serveris. Kõik liigutused, operatsioonid, raporteerimised, ajaline mõõde, tükide arv ja kvaliteet - kõigest jääb jälg maha. Kõike saab tagantjärele uurida ja analüüsida ning planeerida tulevast tööd. Andmed salvestatakse serverisse tohutu suure andmebaasina. Selleks et neist kasu oleks, tuleb need struktureerida. Inimene ei suuda ise hoomata ja aru saada suurest

andmete massist. Seepärast kasutatakse abistavat tarkvara. Kogutud andmete põhjal saab koostada visuaalseid abivahendeid ja graafikuid. Nende abil saab lihtsalt filtreerida endale täpselt soovitud andmed ja statistika teatud perioodi jooksul.

Paljudes ettevõtetes on probleemiks, et kogutakse küll andmeid ja omatakse tohutut andmebaasi, kuid kahjuks ei osata nende andmetega suurt midagi peale hakata. Selleks et andmebaasist ka kasu oleks, tuleb seda targalt ja põhjalikult analüüsida. Tänapäeval on suhteliselt levinud, et kasutatakse vaid väga väikest osa andmebaasist. Andmete kuvamise erinevate võimaluste hulk on tohutu. Ettevõtetel tihti pole lihtsalt ressursi või vastavat inimest, kes saaks ja jõuaks andmetega järjepidevalt töötada. Selleks et protsessi lihtsustada ja andmed pidevalt automaatselt uueneksid, on loodud mitmeid erinevaid tarkvaralahendusi. Üks tuntumaid pakette on Microsoft Outlook. Kõige tuntum andmete kogumiseks ja visualiseerimiseks mõeldud tarkvara on Microsoft Excel. Veidi vähem tuntakse Microsoft Power BI, mis on ärianalüüsi tarkvara. Selle eesmärgiks on kuvada interaktiivseid visualiseeringuid ja kasutajaliidest, mille abil kasutaja saab luua raporteid. Antud visuaalseid graafikuid on lihtne jälgida. Nende abil saad näiteks töötajatele kuvada neile vajaliku infot ettevõtte või osakonna kohta. Näiteks müüginumbrid, tootmise efektiivsus ja erinevad kvaliteedinäitajad. Samas näevad need graafikud piisavalt professionaalsed ja esinduslikud välja, et kasutada neid avalikult ettevõtte tutvustamiseks ning info edastamiseks äriklientidele või meediale.

Andmete kogumise peamine eesmärk ei ole siiski inimestele info kuvamine, vaid sel on äriiline eesmärk vähendada kulusid ja suurendada tulusid. Esiteks saab kuvada kvaliteedinäitajaid lõpetatud tootmistellimustest. Siin on oluline, milline töötaja, millisel hetkel ja mis operatsioonil vea põhjustas. Kõige problemaatilisemad keskused, operatsioonid ja töötajad tuleks põhjalikult üle vaadata ning analüüsida, miks praak juhtus. Seejärel saab kasutusele võtta vastavad meetmed ja lahendused. Näiteks töötajaid koolitada ja korraldada neile täiendõpe või parandada tootmisprotsessi. Samuti vähenevad garantii- ja tagasikutsumise kulud, mis võivad olla ühed suuremad lisakulutused ettevõtete jaoks (oleneb toote valdkonnast). Tulude suurendamine toimub eelkõige oskusliku planeerimise arvelt. Aastate peale kogunenud andmed joonistavad tavaliselt mustri. On perioodid, millal tellimuste arv on kõrgem ja neile vastukaaluks on väga madala käibega perioodid. Näiteks inimesed tarbivad jõulude eel rohkem ja selleks perioodiks toodetakse laod täis. Seejärel saab suhteliselt passiivne periood. Andmete kogumine ja statistika aitavad neid perioode ennustada ja korrektselt planeerida. See vähendab lao-, transpordi, hanke- ja tööjõukulusid.

4 TOOTE KVALITEEDI PARENDAMINE

4.1 Ennetamine

Toote koostamise üks kõige olulisemaid tegureid on vigade ennetamine. Kuidas ette valmistada koostamise protsess, et koostaja võimalike vigade hulk oleks minimaalne. Ideaalis toimiks ettevalmistus koos toote inseneridega. Aga kui toote tellija ja insener ei tööta samas asutuses, siis pole see üldiselt võimalik. Tellija annab valmistajale joonised ette ning tootja ülesanne on olemasoleva disaini põhjal valmistada maksimaalse efektiivsusega koostamistehnoloogia. Arvestada tuleb, et ettevõtte rahakott pole põhjatu. Kõik kulutused peavad olema mõistlikud ning proportsioonid toote hinna ja tootmismahutudega.

Seega koostamise planeerimisel tasuks protsessiinseneril (tehnoloog) vigade ennetamiseks kaaluda järgnevat võimalusi:

- LEAN meetod – juba varasemalt käsitletud erinevad meetodid, millest enamus on pärit Jaapanist. Kuigi võivad tunduda tühised ja mitte eriti kasulikud, on siiski nende efektiivsus tõestatud. Jaapani hea kvaliteedi maine on seotud just nende LEAN tehnikatega. Töötajate kaasamine ja neile mugava ning puhta töökeskkonna tagamine aitavad olulisel määral vältida vea tegemise võimalusi;
- Poka-yoke – eraldi LEAN tööriistadest tuleb välja tuua just veakindel süsteem. Ka sellest oli varem juttu peatükis 2.9.4. Kui võimalik, tuleks juba toodet projekteerides leida võimalikult palju selliseid lahendusi, et koostaja ei saaks valesti koostada. Kui on tellimustöö, kus disainimuudatusi sisse viia ei saa, siis tuleks koostamise protsess üles ehitada nii, et koostaja avastaks vea kohe. Kõige lihtsam meetod oleks näiteks ette komplekteerimine. Iga toote jaoks väljastatakse karpi täpselt vajalik kogus neete. Seega pole võimalik, et koostaja unustab needi lisamata, kuna see hakkaks talle kohe silma töö lõppedes;
- Targad tööjuhendid – Täpsemalt seletatud lahti peatükis 4.3. Tegelikult on abiks iga korralik tööjuhend, kuid mida rohkem digitaliseeritud juhend, mis suudab ise koostajat juhendada ning kontrollida, seda väiksem võimalus vigade tekkeks. Digitaalne monitoril kuvatav juhend on parem kui paberkuju. Monitorist efektiivsem on omakorda liitreaalsusel põhinev juhend. Liitreaalsust muudavad kasulikumaks erinevad lisafunktsioonid ja interaktiivne suhtlus ettevõttes kasutatavate programmide vahel;
- Targad tööriistad – need koos liitreaalsusega seotud tööjuhenditega võiks olla koostamise tulevik. Tulevikus tehnoloogia arenedes ja töövahendite odavnedes, on aina rohkematel ettevõtetel fintaantsiliselt võimalik investeerida liitreaalsusega

töövahenditesse. Siia kuuluvad erinevad tööriistad, mis on erinevate anduritega varustatud ning toimub interaktiivne suhtlus serveriga. Näiteks võib tuua tööriistad, mis loevad koostaja liigutuste arvu. Need teavad täpselt mitu kruvi, polti, neeti on kinnitatud ja kas kasutati õiget momenti. Tööriistadele lisaks võivad süsteemi kuuluda ka positsioneerimise andurid, projekteerimisseaded, helisüsteem jne. Näiteks võib tuua tootja SCS Concept Group. Töötajale projekteeritakse lauale tekst, mis on järgmine samm, näiteks „võta 4 kruvi“. Samuti valgustatakse töötajale karp, kust need kruvid tuleb võtta. Süsteem tunneb automaatselt ära, kui valest karbist võetakse kruve ja teavitab koostajat alarmiga. Samuti projektor valgustab karbi rohelise värviga (vale karbi korral värvub karp punaseks, lisaks helisignaal). Seejärel valgustatakse avad, kuhu need kruvid tuleb kinnitada. Tegemist on äärmiselt intelligentse ja lollikindla süsteemiga, kus on kõik operatsioonid ja liigutused garanteeritud vähemalt topelt kontrolliga;

- Töötajate koolitamine – siin on mõeldud eelkõige täiendkoolitusi. Baaskoolitus ja väljaõpe on elementaarsed. Töötajatele (koostajatele, operaatoritele) tasuks tutvustada LEAN meetodeid, ISO standardeid, kvaliteedijuhtimise põhimõtteid jne. Need mõjuvad töötajatele motiveerivalt ning avardavad silmaringi. Töötajad näevad, mis on nende protsesside sisu, millest kõik saab alguse. Paljudes ettevõtetes on töötajad võõrdunud kvaliteedi protseduuridest. Nemad näevad vaid, et keegi vahepeal käib neid hindamas ja viib läbi auditeid, mis töötajatele endile jäävad tihti arusaamatuks;
- Töötajate motiveerimine – hea vahend töökeskkonna ja sisekliima parandamiseks on töötajate motiveerimine erinevate boonussüsteemidega. Üks võimalus on näiteks preemia heade töötulemuste eest. Kui koostaja on vältinud või teinud koostevigu minimaalselt, siis makstakse selle eest preemiat. Preemia võib väljenduda näiteks ka ühisürituste näol, aga tänapäeva kapitalistlikus ühiskonnas on ikkagi raha peamine vahend.

4.2 Koosteliini töökoha planeerimine

Koosteliini planeerides tuleb alustada sellest, kui mitu koostetöökohta liinile ehitada. Põhimõtte millest lähtuda on, et toodet tasub hoida liikumises. Ideaalis liiguks toode aeglases tempos konveierliinil, nii et iga koostaja jõuab oma operatsioonid ära teha. Kuna konveierliin on suhteliselt kallis ning töös hoidmine kulukas, siis selle asemel siiski

kasutatakse rohkem kas rullikuid või lihtsalt toote tõstmist järgmisse töökohta. Iga töötaja peaks tegema mõned üksikud koosteoperatsioonid. Siis jäävad koostajal oma operatsioonid koheselt meelde ja ta ei pea liigselt tööjuhendit kasutama. Väheste koosteoperatsioonide teostamisel on ka üks puudus – koostaja tüdineb ruttu ning töö muutub väga rutiinseks ja üksluiseks. See võib tähendada, et töötaja keskendumisvõime väheneb ja ta muutub hooletuks.

Kui koostetöökohtade arv on paika saadud, tuleb järgmiseks kujundada töökohad. Kõik detailid ja komponendid tuleks hoida eraldi karpides ning karbid peavad olema märgistatud artikli numbri või nimetusega. Kui ühel töökohal valmistatakse erinevaid alamkooste, siis tasuks nende komponendid hoida kõrvuti karpides. See lihtsustab ja kiirendab koostaja tööd, kui karbid paiknevad struktureeritult. Struktureerida võib ka komponendi eesmärgi järgi (kinnitusvahendid, kaablid, elektroonika jne).

Koostetöökohta kujundamisel tuleks arvesse võtta LEAN põhimõtteid, näiteks 5S, millest on rohkem kirjutatud alapeatükis 2.9.5. Töökoht peab olema korras, puhas ja seal ei tohiks olla üleliigseid vahendeid. Töökohta korrektsusele aitab kaasa, kui iga vahend, tööriist ja karp asuvad alati selleks ettenähtud kohas ning koht võib olla ka märgistatud. Töötaja saab kiiresti ilma liigseid liigutusi kasutamata ning aega raiskamata tööriista kasutusele võtta. Koheselt peale kasutust pannakse tööriist tagasi omale kohale. Enim kasutatud tööriistad, näiteks elektrilised kruvikeerajad tasuks kinnitada balansiiriga laua raami külge töötaja kohale.

Töökoht peab olema kasutajale ergonoomiline. Laua ja tooli kõrgus, detailide karpide asetus ning kõrgus peavad olema töötajale sobilikud. Peab analüüsima, kuidas vältida töötaja liigset sundasendis olemist, et ta suudaks antud tööd teha päev läbi ja pikema aja vältel (aastad). Kui tööandja loob töötajale mugavama ja ergonoomilise töökoha, siis saadab see positiivse noodi töötajatele ning paraneb töötaja produktiivsus, kiirus, vastupidavus ja ka toote kvaliteet.

Kindlasti peab arvestama ka toote suurusega ning selle erinevatele külgedele ligipääsetavusega. Vältima peab mõttetuid liigutusi ja igasuguseid tõstmisi. Kui on veidi suuremõotmelisem toode ning selle igale küljele on koostamise protsessi käigus vaja juurdepääsu, siis tasuks peaks töökohad paiknema mõlemal pool konveierit või kasutama abivahendeid, näiteks pööratavad alusplaati või lauda [1].

4.3 Tööjuhendid

Üks suuremaid vigade vältimise vahendeid on korralik tööjuhend või instruksioon. Juhend peaks olema võimalikult täpne, sisaldama piisavalt infot kõikide artiklite numbrite, nimetuste ja kogustega. Kindlasti tuleks meeles järgida põhimõtet, et see, mis tundub loogiline juhendi autorile, ei pruugi koostajale nii loogiline ja arusaadav olla. Seega pigem tasuks lisada rohkem selgitavat infot.

Tööjuhendis tulevad kasuks pildid ja üldse igasugune visuaalne materjal. Ideaalne oleks, kui töötaja ei peaks teksti lugemagi, vaid piisaks ainult piltide vaatamisest ja tekst oleks siis rohkem informatiivseks abivahendiks. Piltide juurde võivad kuuluda viitavad nooled, tähistused ja tekstiruudud, mis veelgi konkreetsemalt toovad välja, mida juhendis just sel etapis mõeldud on.

Tekst peaks olema kergesti loetav. See ei tohiks olla liiga väikses kirjas, liiga tihedalt, halva fondiga ning taustaga ühte sulav. Kui teksti saab korraga liiga palju, siis töötaja ei pruugi süveneda sellesse, vaid vaatab selle pealiskaudselt üle. Eesti ettevõtetes peab arvestama, et koostaja emakeel ei pruugi olla eesti keel. Seetõttu tasuks hoiduda liiga keerulise sõnavara kasutamisest.

4.3.1 Välja prinditud paberkujul

Kõige enam levinud lahendus on paberkujul juhendite välja printimine. Eeliseks on selle odavus ja lihtsus. Juhend valmistatakse tavaliselt arvutis näiteks *Microsoft Word* või *Powerpoint* programmiga, prinditakse välja ning viiakse tootmisesse.

Levinud on, et enne juhendi kinnitamist vaatab keegi teine selle üle. Juhendi autor võib koostada enda arvates väga selge ja loogilise juhendi. Selle kontrollimiseks vaatab antud tootega mitte kursis olev inimene selle üle, kas ta saab sellest aru. Üldiselt leiab ta mingeid ebatäpsusi ja segaseid punkte, mis autoril tuleks seejärel parandada. Samuti juhtub autoril ka inimlikke vigu, näiteks vale artikli number, valed kogused ja trükivead.

Tööjuhendite üle peab olema kontroll ja ülevaade, kui palju on neid hetkel tootmises ja mis revisjoniga. Alati kui uuendatakse juhendit, tuleb vanad juhendid tootmisest eemaldada. Väga levinud praagi põhjus on, et vana dokumentatsioon jääb kusagile

vedelema. Koosteprotsessi see ehk nii palju ei mõjuta, kui mehaanilist töötlemist. Kui CNC pink seadistatakse vana joonise järgi, siis on terve partii praak.

Välja printitud juhendeid võib kiletada ja hoida kiirkõitjate või kaante vahel. Ka siin on oluline, kuidas tööjuhendeid hoitakse. Tavalist kiirkõitja vahel hoitavad juhendit võib töötajal olla ebamugav jälgida. Esiteks tuleb sellele mingi raskus peale panna, et juhend ei sulguks. Lisaks tuleb peale igat paari operatsiooni pöörata lehte. Samuti võtab juhend palju ruumi, olles töötaja ees laual. Kõige suurem oht antud juhul on see, et koostaja ei jälgi enam juhendit. Operatsioonid ja liigutused jäävad talle meelde ning juhend on küll laual, kuid selle järgi ei koostata. See pole üksnes oht, vaid see on ka reaalselt sisse juurdunud harjumus. Eriti kui tegemist on suhteliselt lihtsa tootega.

Parem variant on valmistada juhendile spetsiaalne alus. Näiteks joonisel 4.1 on näidatud meetod. Selline lahendus on ettevõtte jaoks algul küll kulukam, kuid töötajale tunduvalt mugavam kasutada. Pikema aja jooksul tuleks see kasuks, kuna väheneb tõenäosus, et töötaja tänu sellele koostamisel vea teeb.



Joonis 4.1 Tööjuhend koostajale

4.3.2 Digitaalsed tööjuhendid

Aina enam võtavad organisatsioonid kasutusele digitaalseid tööjuhendeid. Esialgu on see küllaltki suur investeering. Igal koostajal peab olema oma monitor või tahvelarvuti. Kui arvesta, et puuetundlike monitoride hinnad algavad 300 € ja võtame näiteks

koostajate arvuks 50 inimest, siis oleks investeeringu minimaalsed kulud 15000 €. Sinna lisanduks ka muu varustus: arvutid, kaablid, programmide litsentsid jne. Paigaldamiseks ja üles seadmiseks kuluks päevi. Nii et tõenäoliselt tuleb reaalse summa saamiseks korrutada esialgne number vähemalt kahega.

Digitaalse tööjuhendi korral on esitusviisi võimalused järgnevad:

- Slaidiseanss (slideshow) – olenevalt operatsiooni keerukusest on koostajal teatud aeg, mille jooksul tuleb töö ära teha. Seejärel leheküljed vahetuvad teatud aja tagant automaatselt. Miinuseks on, kui töötaja ei jõua operatsiooni lõpetada, siis ta jääb maha. Töö tuleb seisma panna korraks, et tagasi eelnevale lehele saada. Puuetundlikul ekraanil on see lihtne, kuid kui vahetamiseks tuleb arvuti juurde liikuda, siis läheb palju aega kaduma;
- Kogu info ühel lehel – võimalik lihtsate koostude korral, kui kogu info suudetakse ühele ekraanile ära mahutada. Seega lehekülgede vahetamise vajadus puudub;
- Töötaja vahetab ise lehekülgi – vajalik kas tahvel või puuetundlik monitor. Töötaja vahetab ise lehekülgi kas klikkides või sõrmega libistades. Eelisena puudub sel ajakulu, kui peaks automaatse esituse korral maha jääma. Miinuseks on aeg, mis kulub lehekülge vahetamiseks.

Digitaalsel tööjuhendil on eelised võrreldes paberjuhendiga:

- Väheneb ettevõttes kasutava paberi kogus. Sellega seoses väheneb ka printerikassettide kogus. Eriti suurt mõju avaldab see juhul, kui tööjuhendid on pikad ja mahukad;
- Vähem bürokraatiat – juhul kui välja printitud tööjuhendid on arvel, neid väljastakse vaid allkirja vastu ning neid hoitakse ka füüsiliselt ettevõtte arhiivis, siis selle töö vajadus kaoks ära;
- Toote koostamise aeg väheneb, kuna koostaja ei pea aega kulutama lehekülgede vahetamisele;
- Koostajad jälgiksid tööjuhendeid tähelepanelikumalt. Juhendid oleks alati neil silme ees ning praagi osakaal väheneks;
- Tootmise üldpilt näeb modernsem ja innovaatilisem välja. Aitaks parandada ettevõtte mainet.

Siiski leidub ka mõningaid puuduseid:

- Suureneb elektritarbimine elektroonika käigus hoidmiseks;
- Süsteemi rike (näiteks viirus) võib töö seisata;
- Küllaltki suured esialgsed investeeringud.

4.3.3 Prinditud joonis/skeem

Kui on väga lihtne koost, siis pole alati tööjuhendit vaja. Tööjuhendi eest võib olla ka joonis, mille järgi koostada. Üldiselt kasutatakse seda juhul, kui koost koosneb mõnest üksikust detailid ning sel puuduvad erinõuded.

Antud peatüki alla võib paigutada ka meetodi, mis on levinud kaablikoostamises. Kaablikoost harutatakse joonisena lahti ja prinditakse välja. Seejärel paigutakse pilt seinale ning lisatakse abistavad koostamise- ja kinnitusvahendid. Antud pildi järgi koostab töötaja kaablikoostu, lisades kaablid täpselt sinna, kus need joonise järgi jooksevad. Kõik jooned on markeeritud ning realselt joone peale asetatav kaabel peale klappima nii pikkuse kui värvi osas. See on küllaltki veakindel meetod. Kui kaabel on puudu, siis on see koheselt koostajale näha.

4.3.4 Liitreaalsuse (projekteeritud) juhendid

See on kõige uuem ja innovaatilisem lahendus. Eestis see pole veel väga levinud, kuna tehnoloogia on suhteliselt kallis võrreldes ülejäänud lahendustega. Samuti on Eestis antud tehnoloogia levitajaid küllaltki vähe.

Maailmas on hetkel aina enam levimas tööstuse digitaliseerimine ehk Tööstus 4.0. Liitreaalsusega esitatavad tööjuhendid on üks osa sellest. Tehnoloogia ei koosne mitte ainult projekteerimisseadmetest, vaid tavaliselt on need osa suuremast süsteemist. Siia kuuluvad arvutiprogrammid, andurid, positsioneerijad, nutikad tööriistad, kaalud jne. Tarkadest tööriistadest, mis aitavad koostamist ja teostavad tehtud tööde kontrolli sai räägitud ka peatükis 4.1.

Antud tehnoloogia on juba kasutusele võtnud suured ja jõukad ettevõtted, kus on taga väga suured mahud ning kallid tooted. Siia kuuluvad autotööstus, elektroonikatööstus ja lennundus. Need on valdkonnad, kus vigade hulk peab olema 0. Liitreaalsus on üks kindlaim vahendeid selle saavutamiseks. See on kindlasti reaalsus, mida näeme lähituleviksu aina enam. Tehnoloogia areneb ning muutub odavamaks ja kättesaadavaks ka ettevõtetele, mille investeeringud on piiratud.

4.4 Kontrolli meetodid

Peale koostamist teostatav kontroll enne pakkimist on saanud tootmise lahutamatuks osaks. Iga tootmisettevõtte eesmärgiks peaks olema defektsete toodete arvu hoidmine nulli lähedal. Seda kindlasti ei saavutata ilma valmis tooteid kontrollimata.

4.4.1 Töötaja kontroll

Enim levinud ja kõige odavam on meetod, mille korral kas koostaja ise või spetsiaalne kvaliteedikontroll vaatab üle valmis tooted. Selle võib jagada kaheks:

- Liinimeetod – enne oma operatsioonide teostamist vaatab koostaja üle eelmise koostaja tehtud operatsioonid;
- Kvaliteedikontroll – tavaliselt kvaliteediosakonnast pärit töötaja. Ametnimetus näiteks kvaliteeditehnik, -spetsialist vms. Kui koostatud toode on valmis, siis enne pakkimist kontrollib üle visuaalselt kõikide komponentide olemasolu; testib vajadusel toote funktsionaalsust; kontrollib et vajalikud mõõdud, keermed ja avad oleksid tolerantsi piires; veendub, et toode täidaks visuaalseid nõuded. Tulemused tuleks salvestada ja säilitada.

4.4.2 Testseade

Kõige kindlam ja turvalisem variant. Mõnes valdkonnas, näiteks elektroonika, võib see olla vältimatu. Eriti kui tegemist on pooltootega ning toode saadetakse edasi järgmise kliendi juurde koostamiseks. Kuna toode on poolik, siis pole võimalik tema funktsionaalsust testida toodet ennast sisse lülitades.

Toote kontrollimiseks valmistatakse spetsiaalne masin. Näiteks nagu joonisel 4.2, kus toodet kontrollitakse, andes testitavale koostule erinevaid voolutugevusi. Automaatika kontrollib iga voolutugevuse korral lülitite käitumist vastavalt programmile. Juhul kui lüliti ei tee seda, mida kästakse, siis kuvatakse koheselt monitorile veateade. Peale testi märgistatakse iga koost unikaalse seerianumbriga ning tulemused salvestatakse aastateks ja on kliendile igal ajal kätte saadavad.

Puuduseks on kontrollimiseks vajaliku seadme kõrge hind. Hind oleneb muidugi toote funktsionaalsusest ja keerukusest. Mõnda LED riba ja indikaatorlampi kontrollida on suhteliselt lihtne ja odav. Mida keerulisem on toode, seda kulukam on üldiselt ka tema kontrollimiseks vajalik seadeldis. Autori enda kogemustest – joonisel 4.2 olev masin elektrilülite ja voolu kontrollimiseks läks maksma umbes 40000 € ning sellel saab kontrollida vaid ühte tooteperekonda.



Joonis 4.2 Kaitsmete testimiseks kasutatav seade

Automatiseeritud kontroll ja testseadmed sobivad eelkõige elektriliste ühenduste kontrollimiseks. Samuti leiab see hästi üles defektselt joodetud kaablid. Testseadmed võivad olla ka pneumaatilised. Kasutaja saab kontrollida lüliteid, manomeetrit ja õhuvoolu liikumist. Kui tootel on puudu detail või komponent, mis on konkreetselt seotud toote testimisel kontrollitava funktsiooniga, siis ka need leitakse üles. Puuduseks on, et testseade ei suuda hinnata visuaalset pinda ning ei tuvasta halvasti kinnitatud kinnitusvahendeid ja kõiki puuduvaid komponente.

4.4.3 Liitreaalsuse abil kontroll

Tegemist on jälle ühe Tööstus 4.0 tööriistaga. Varasemalt peatükis 4.3.4 sai tutvustatud liitreaalsusega seotud tööjuhendeid. Liitreaalsuse mitmekülgsust saab kasutada ka toote kvaliteedi kontrollimiseks. Tavaliselt puudub hilisem kontroll, kuna liitreaalsuse süsteemid ise kontrollivad koostamise ajal koostaja tööd. Niipea kui koostaja teeb vale

liigutuse, märkavad seda andurid ning süsteem annab koostajale nii värvi- kui ka helisignaali märku.

Tehnoloogia on suhteliselt uudne ja iga aastaga areneb jõudsalt edasi. Ka Eestisse on tekkinud esimesed ettevõtted, kes pakuvad liitreaalsuse lahendusi tootmisettevõtetele. Kuid nagu varem mainitud, siis oma uudsuse ja unikaalsuse pärast nõuavad lahendused küllaltki suuri investeeringuid. Seetõttu pole tehnoloogia veel väga levinud, kuid tõenäoliselt võtab aina rohkem ettevõtteid selle kasutusele.

Kontrollimiseks on olemas nii lihtsamad kui ka keerulisemad lahendusi. Vajalik on tarkvara, mis kontrollib detailide olemasolu ning seadeldis, millel kontrolli teostada. Riistvara on tavaliselt kas tahvelarvuti või nutitelefon, kuid selleks sobivad ka virtuaalreaalsuse prillid. Põhimõte on küllaltki sarnane sellele, mida tänapäeval ka erinevad sotsiaalmeedia ja nutitelefoni VR rakendused kasutavad (levinud just noorte seas). Riistvara tuleb suunata kontrollitava toote poole. Tarkavara rakendus leiab nullpunkti ja baaspinnad, mille suhtes see toodet kontrollima hakkab. Kõik detailid, mis ta üles leiab, kuvatakse näiteks rohelisena. Kui midagi on puudu, siis antakse kasutajale märku, näiteks joonistab rakendus puuduva detaili asukoha ümber punase ringi [12].

Liitreaalsuse abil saab kontrollida eelkõige puuduvaid detaile ja komponente ning valede detailide lisamist. Need aitavad vähendada koostaja tähelepanematuses seotud vigu. Kui on süsteemiga ühendatud ka targad tööriistad, siis need kontrollivad, et koostamisel sai kinnitatud vajalik arv kinnitusvahendeid õigete momentidega. Kui enne oli välja toodud, et enamused juhtumeid on seotud sellega, et töötaja ei järgi korrektselt tööjuhendit, siis aitaks liitreaalsus vähendada kliendi reklamatsioonide mahtu ligemale 80% (joonised 3.1 ja 3.2). Negatiivse poole pealt, liitreaalsus ei sobi väga hästi erinevate joote-, kaabli- ja elektriühenduste kontrollimiseks ning visuaalsete pindade kvaliteedi hindamiseks.

Eelnevalt kirjeldatud on kõige lihtsam ja primitiivsem meetod. Tööstus 4.0 näeb ette, et kogu tootmine on omavahel tihedalt integreeritud ning erinevad programmid suhtlevad omavahel. Eelnevast meetodist edasiarendus on tihe infovahetus. Kontrollija ei saa mitte ainult märku, et midagi on valesti, vaid kogu info salvestatakse automaatselt. Pikema aja peale koostatakse statistika, mis on peamised vead ja saab leida nende põhjuse, et tulevikus neid vältida.

Lisaks on võimalik kontrollida erinevate seadmetega seotud infot. Kui on keeruline toode, mis sisaldab kontrollereid, PCB-sid, arvuteid, andureid vms, siis pärast

üksikkomponentide kontrolli on tulemused salvestatud ettevõtte serverisse. Vaadates neid komponente läbi infoseadme, siis kuvatakse võrgust võetud info kasutajale. Kontrollija näeb infot, mida andurid hetkel edastavad: mis on temperatuur, kui suur on rõhk jne. Tulemuseks on kvaliteedi ja funktsionaalsuse kontroll, mille kiirus on kordades suurem inimese omast [12].

4.5 Koosteliini automatiseerimine ja selle eelised

Selleks et tänapäeva tihedas konkurentsisis ellu jääda, peavad ettevõtted pidevalt otsima võimalusi, kuidas teha protsesse ja tööd efektiivsemalt ning protsesside tootlikkus. Tuleb oma konkurentidest kuidagi eristuda, ettevõtte peab paistma silma ning omama head mainet. Kui ettevõttele jääb külge halb maine, siis on sellest väga raske lahti saada. Heale ja usaldusväärsele mainele aitab kaasa toote kvaliteet. Üks paremaid lahendusi parandada toodete kvaliteeti ning ennetada praagi tekkimist, on koosteliini automatiseerimine. Tooteliini automatiseerimine on siiski väga kulukas ning nõuab suuri investeeringuid. Seega enne otsustamist tuleb alati koostada projektiplaan ning teha tasuvusarvutused.

Nagu peatükis 2.3 juba kirjutati, siis idee on kasutusel juba rohkem kui 100 aastat. Tehnoloogia arenedes ja massilise levikuga seoses ka selle odavnedes, on automatiseeritud koostamine muutunud ettevõtetes üsna tavaliseks. Automaatika pole enam ainult suurte ettevõtete juurde kuuluv, vaid tehnoloogiat saavad endale lubada ka väikese ja keskmise suurusega ettevõtted.

Tootmise automatiseerimise esmane tulemus on tootmise kiirendamine. Seega enne automatiseerimist on esimene punkt, millest lähtuda – kui suur on tootmismah. Sellest saab kõik alguse. Isegi kui on väga keeruline ja kallis toode, siis väikese koguse korral ei ole otstarbekas seda teostada automatiseeritud koosteliinil. Siit tuleb veel järgmiseks küsida, kas tootmine on kliendikeskne ja toimub ainult tellimuste alusel? Kui on vaid ühele kliendile orienteeritud, siis tasuks olla ettevaatlik ja pigem hoiduda investeeringutest. Klient võib ootamatult tühistada oma tellimused või vahetada tarnijat. Kui toode on mõeldud laiadele massidele kasutamiseks, siis on riskid paremini maandatud ja võib julgemalt tegutseda.

Teiseks tuleks lähtuda toote keerukusest. Kui tootel on vaid mõned komponendid, mille omavaheline ühendamine on küllaltki lihtne operatsioon, siis on ka vajalikud investeeringud tõenäoliselt odavad. Hind on antud tähenduses suhteline mõiste – ühe ettevõtte jaoks 50000 € on pigem väikesemahuline investering. Teise ettevõtte jaoks aga kogu aastane kasum. Üldiselt siiski automatiseeritud koosteliini hind, mis jääb alla 50000 €, on pigem odavama poolne. Näiteks võib tuua, et tavalise uue robotkäe hind koos kontrolloriga algab umbes paarikümnest tuhandest eurost. Kasutatud robotite hinnad algavad mõnest tuhandest eurost, kuid antud tehnoloogia on juba suhteliselt vana ja ka seisukord ei pruugi olla rahuldav [13].

Väga oluline kriteerium on ka automaatikaseadme tüübi valik. Kas masinal on vaid üks kindel ülesanne ja liigutus, mida see on võimeline teostama või peab masin teostama mitmeid operatsioone. Mida universaalsem on masin ning mida rohkem funktsioone sel on, seda suurem hind ja hoolduskulu. Näiteks robotkäsi, mis on küll kulukas investering, kuid seda on võimalik kasutada erinevate operatsioonide teostamiseks. Teatud ajaperioodil kasutatakse ühe toote koostamisel ning kui vajadusi tootele pole, siis saab ümber programmeerida ning kasutada teise toote koostamiseks. Samuti on tavaliselt võimalik sellistel robotkäitel vahetada tööriista, mis võimaldab seda kasutada hoopis teiste operatsioonide tegemiseks (näiteks liini pealt maha tõstmise, värvimine jms).

Automaatika ei tähenda, et tööjõudu pole üldse vaja. Siiski jäävad ülesanded, mida automaatika pole võimeline teostama. Automatiseeritud koosteliini peab alati keegi jälgima, kas selle läheduses või läbi kaamera. Automaatikaga kaasnevad seadmete rikked ja muud ootamatused, seega peab alati olema valmis liinitööd koheselt seiskama. Lisaks vajavad robotid seadistamist, programmeerimist ja hooldamist. Tavaline on igapäevane kiire hooldus, kus kontrollitakse näiteks õlitaset ja muid parameetreid. Samas pikema aja tagant tuleks ka spetsialistil läbi viia suurem hooldus, vahetada kulunud detailid jne.

Kui ladu pole automatiseeritud, siis on lisaks vajalik robotile komponentide ette andmine. Kui detailid saavad karbist otsa, siis süttib punane tuluke ja operaator lisab uued komponendid. Vanemad robotid ei pruugi olla niivõrd targad ning kui detailid saavad otsa, siis robot jätkab koostamist ilma detailita. Tulemuseks on praagi tekkimine. Lõpetuseks kui toode on valmis, siis teostab operaator pakkimise ja toimetab tooted lattu.

Toote koostamine võib toimuda ka pooleldi automaatselt ja osaliselt koostaja poolt. Koostamisel võivad olla operatsioonid, mida robotid ei suuda (või antud mudelid pole võimelised) teostada. On väga levinud, et trükkplaadid koostab ja ühendused joodab robot ning koostaja seejärel teostab ülejäänud operatsioonid. Suur osa tooteid, mis valmivad automatiseeritud koosteliinil, ongi seotud just viimati mainituga, kus koostaja ja robot mõlemad annavad panuse toote valmimiseks [14].

Koosteliinil töötajate asendamisel automaatikaga on järgnevad eelised:

- Toote koostamisaeg väheneb – masina tehtavad liigutused on kordades kiiremad ja täpsemad võrreldes inimesega;
- Paraneb toote kvaliteet – masin ei tee vigu, ei unusta detaile külge lisada ega lisa valesid komponente. Suurim oht on inimlik eksimine - masina vale seadistamine või valede detailide ette söötmine;
- Roboti tootlikkus on suurem, kuna see ei tee pause, ei jää haigeks ja suudab töötada 24/7. Tuleb aga arvestada, et masin võib minna rikki ning vajab korralisi hoolduseid. Olenevalt seadmest võib vajada ka igapäevast kalibreerimist ning seadistamist;
- Väheneb toote omahind – see punkt on siiski lahtine ning alati pruugi see nii olla. Omahind sõltub toodete kogusest ning investeeringute maksumusest. Selle teada saamiseks teostatakse tasuvusarvutused;
- Väheneb tööõnnetuste esinemise oht. Robotid ja liikuvad seadmed töötavad alati kinnises alas, kuhu töötaja ei tohi siseneda, ilma masinat seiskamata. Reaalses elus seda siiski vahest juhtub. Sellisel juhul eksib töötaja karmilt reeglite vastu ja riskib oma elu ning tervisega;
- Väheneb kutsehaiguste esinemissagedus – töötaja ei pea olema pidevas sundasendis. Lisaks kui toote koostamisel kasutatakse kemikaale, siis töötaja ei pea sisse hingama mürgiseid aure. Tavaliselt küll kasutatakse respiraatorit või maski, kuid olles päev läbi kemikaaliaurude keskel, siis need 100% kaitset ei paku;
- Väheneb rutiinsete tööde maht – kõige odavamad investeeringud on lihtsate koostamisoperatsioonide automatiseerimiseks. Need on suhteliselt kerged tööd, mis on igavad ja rutiinised. Koostajale päev otsa samade rutiinsete liigutuste tegemine ei mõju motiveerivalt. Ta ei ole 100% oma mõtetega töö tegemise juures, tüdineb kiiresti ning on suur tõenäosus unustamiseks, praagi tekkeks või tööõnnetuse juhtumiseks;
- Innovaatilise ettevõtte maine – kasutades innovaatilisi lahendusi ja uuemat tehnoloogiat, paraneb ettevõtte positsioon turul ning omab eelist konkurentide ees. Ettevõtte saab end võimalikele tulevastele klientidele paremini müüa ning

turundada. Parem maine ei meelita mitte ainult kliente, vaid ka tööjõudu. Tööotsijad eelistavad üldiselt hea mainega tööandjaid ning ettevõtte töökuulutustele kandideerib rohkem väljaõppinud spetsialiste.

4.6 Kulude vähenemine kvaliteedi paranemisel

Ettevõtte seisukohalt pole siiski kõige olulisem maine paranemine läbi reklamatsioonide vähenemise, vaid majanduslik tasuvus ja kulude vähenemine. Iga investering peab olema läbi mõeldud ja eesmärgiks on tootlikkuse kasv ning kvaliteedi paranemine. Järnevalt on välja toodud peamised kasud, mis kaasnevad eelnevalt soovitatud paranduste sisse viimisega.

4.6.1 Tootja tehases esinevad kulud

Esimene märgatav tulemus on sisemise praagi vähenemine. Vähenevad kulud, mis on seotud konkreetsetel tehases avastatud praagiga. Esiteks väheneb töötajate palgakulu. Siia hulka kuuluvad administratiivse kuluga seotud isikud, kes registreerivad reklamatsiooni ja tegelevad antud juhtumi analüüsi ning võimalike parandustega. Samuti väheneb koostetöötajate palgakulu, kes tegelevad praaktoote (või partii) parandamisega. Lisaks palgakulule vähenevad ümbertöötlemiseks kasutatavate materjalide ning komponentide kulud. Oleneb, mis detail on vaja välja vahetada. Näiteks kruvi lisamine on ettevõtte jaoks tähtsusetu kulu, kuid kui tuleb tervel partiil trükkplaadid välja vahetada, siis võivad kulud ulatuda kümnetesse tuhandetesse eurodesse (oleneb partii suurusest ning kulu võib olla ka suurem). Tehase seisukohast on kõige kriitilisem, kui välja tuleb vahetada detail, mida laos pole ning seda tuleb kas juurde toota või osta. Sellega lisanduvad märkimisväärsed kulud. Tootmise planeerija peab ümber korraldama tehase töö ja leidma vabad masinad detailide tootmiseks. Masinad tuleb uuesti seadistada – keeruka frees- või treidetaili tootmiseks võib masina seadistamine aega võtta kuni 8 tundi. Praktiliselt terve vahetus läheb kaduma lihtsalt selleks, et toota praagi asendus. Arvestades, et tehase töö on tavaliselt mitmeks nädalaks ette planeeritud ning vaba masinat ei pruugi lähinädalail olla, siis võib hilineda tarne kliendile. Sama olukord võib esineda ka juhul, kui puuduv komponent on ostetav toode. Kui ka tarnijal on hetkel ladu tühi, siis võib uute komponentide saabumiseks kuluda mitu kuud. Siis on üsna tõenäoline, et ka tarne ei jõua kliendile kokkulepitud ajaks ning vastavalt

lepingutingimustele võivad lisanduda trahvid. Eelnevalt mainitud on otsesed kulud. Kaudseteks kuludeks võib veel lisada näiteks tööriistade ja -seadmete amortisatsioonikulud, mida praagi parandamiseks kasutatakse. Samuti tarbivad seadmed elektrit ning kui tuleb CNC pinkidega puudu olevaid detaile juurde toota, siis kaasneb suur energiakulu.

Tehases avastatud praak:

- Töötajate palk
- Laojäägi sorteerimine
- Materjalide/komponentide kulu
- Tööriistade ja seadmete amortisatsioon

Võimalikud lisakulud:

- Uute detailide valmistamine / ost
- Elektri tarbimine
- Trahvid tarne hilinemise eest

Joonis 4.3 Praagi parandamisega kaasnevad kulud

4.6.2 Välised kulud

Järgmine märgatav tulemus on kliendi reklamatsioonide ja nendega seotud kulude vähenemine. Kui praaktoode või -partii on ettevõttest välja saadetud kliendile, on olukord juba keerulisem ja firma jaoks tunduvalt kulukam. On oluline eristada, kas tegemist on ärikliendiga või erakliendiga. Kui eraklient on saanud praaktoote, siis ta tagastab toote tootjale või tootja esindajale. Garantii korras saab ta kas parandatud või uue toote. Kui aga on tegemist ärikliendiga, siis kehtivad üldiselt teised reeglid ja protseduurid. Praaktoote avastanud äriklient registreerib reklamatsiooni ning ainuüksi selle eest on tal juba õigus nõuda mingisugune kompensatsioon. Tavaliselt lepitakse summa suurus koostöölepingus kokku. See sisaldab ka palgakulu, mis kaasneb kui ettevõtte töötaja peab tegema tööd reklamatsiooniga. Näiteks ERP süsteemis registreerimine ja tootja teavitamine on kõik lisatöö ärikliendi jaoks. Seejärel lepitakse kokku, kuidas edasi minna. Kas äriklient soovib kogu laos oleva kauba üle sorteerida? Kui jah, siis lisanduvad tootja jaoks sorteerimiskulud, mis jagunevad samuti kaheks. Esiteks kulud, mille esitab äriklient seoses enda laojäägi sorteerimisega. Teiseks kulud, mis tekivad, kui tootja sorteerib oma laojäägi. Kõiki kulusid, mis on seotud tootja enda tehases olevate töötajate palgaga, võib mingil määral vaadelda, kui kaudseid. Keegi

ettevõttele arvet selle eest ei esita. Samas saaks ressursi kasutada mujal teiste projektide peal ning teenida kasumit.

Kui kogu partii on sorteeritud ja praaktooted kõrvale pandud, lepatakse kokku järgnev tegevus. Kui äriklient parandab praagi ise oma ettevõttes, siis lisanduvad siia tööjõukulud. Tavaliselt on need üsna suured, kuna äriklient tihti kasutab oma eelist, küsida mitmekordset tunnitasu. Seega kui tegemist pole just üksiku juhtumiga, siis oleks majanduslikult otstarbekas lasta ärikliendil praaktooted tagasi saata tootja juurde. Seejärel lisanduvad transpordikulud. Kui ettevõtted asuvad samas või lähiriigis, siis ei ole kulud ülemäära suured. Samas kui ettevõtted asuvad eri kontinentidel, tasuks arvestada märkimisväärsete lisakuludega.

Kui tooted on tagastatud ning algab ümbertöötlemine, siis lisanduvad veel täpselt samad kulud, nagu nimetatud alapeatükis 4.6.1. Algab sama protsess ning töö toimub sarnaselt nagu praak oleks avastatud ettevõttes. Kui parandustöö on tehtud ja uus asenduspartii on valmis kliendile saatmiseks, tuleb tootjal uuesti organiseerida transport, mille eest ta peab ka ise maksma.

Kliendi juures avastatud praak:

- Samad kulud, nagu tehases avastatud praagil
- Laojäägi sorteerimine ja võimalik ümbertöötlus kliendi juures
- Administratiivsed kulud (nii kliendil kui ka tootjal)
- Tagastus- ja asendustransport

Joonis 4.4 Kliendi juures avastatud praagiga kaasnevad kulud

4.7 Investeeringute otstarbekus

Kui ettevõtte plaanib investeerida raha uue varustuse ostmiseks, siis tuleb koostada projektiplaan, mille üks olulisemaid punkte on tasuvusaeg. Väiksematel muudatustel on ilmselgelt kiirem tasuvusaeg. Igal investeeringul ei ole ainult see kulu, mis on seotud uue varustuse ostmisega. Sellele lisanduvad kaudsed kulud, mis on seotud sellega, et meeskond üldse projektiga tegeleb.

Uute investeeringute plaanimisel tuleb alati arvestada tootmiskahtudega. Kui kulutada suuri summasid kvaliteedi kontrollimiseks virtuaalreaalsuse või automaatika abil, samas tootmiskahtud on sellised, et suurema osa ajast seisaks ostetud varustus kasutuseta, siis ei ole antud investeering otstarbekas. Sellisel juhul tasuks kaaluda odavamaid variante ja ilmselt piirduda vaid LEAN tootmise erinevate filosoofiatega ning kvaliteedi kontrollimiseks kasutada inimest. Samuti on mõistlik investeerida varustusse, millega saab kas koostada või hiljem kontrollida rohkem kui ühte kindlat toodet. Näiteks virtuaalreaalsuse prillid, mida saab programmeerida paljude erinevate koostude kvaliteedi kontrollimiseks. Kui ettevõtte on teinud tasuvusarvutused ja on kindel, et suured investeeringud tasuvad end ära, siis koostamise enim tootlikkust ja koostaja töö kvaliteeti parandavad lahendused on seotud ikkagi virtuaalreaalsusega. Need on niivõrd lollikindlad süsteemid, kus süsteem juhendab ja kontrollib koostaja tööd samaaegselt. Kvaliteedi tagamiseks ja koosteksimuste vältimiseks juhendab ning suunab projektor koostajat ideaalselt. Iga liigutus on kontrollitud topeltkontrolliga ning eksimuste esinemine on praktiliselt võimatu.

Tihti on väga keeruline sisse viidud muudatuste mõju ja tulemuslikkust mõõta. Kui viiakse sisse kvaliteediga seotud parendus, näiteks 5S töökohad, siis ei tähenda see, et päevapealt toote kvaliteet paraneb ning koostevigade esinemine lakkab. Tulemuslikkust saab hinnata pikema aja jooksul statistikale toetudes. Autori kogemustest on näide, kus tootel, mille koostamiseks kasutatakse tööjuhendit, mis on toodud välja joonisel 4.1, pole esinenud ühtegi kliendi reklamatsiooni alates tootmise algusest aastal 2019. Suuresti on see ka tänu sellele, et toodet testitakse peale koostamist ja defektsed tooted leitakse majas üles. Toote testimise läbimise tõenäosus on rohkem kui 95% [11]. Põhjused, miks toode ei läbi testi, pole seotud koostaja eksimustega. Need on seotud keeruliste frees- ja treidetailide ning ostetavate manomeetritega. See näitab, kui oluline on lihtsasti jälgitav ja pidevalt koostaja silme ees olev tööjuhend ning toote testimine testseadmel peale koostamist.

4.8 Tulevik

Eestis on üle 1000 ettevõtte, mis on sertifitseeritud ISO 9001 standardi järgi. Samuti liikudes ringi suuremates tootmisettevõtetes hakkab silma, et erinevad LEAN tehnoloogiad on küllaltki levinud ja kasutusse võetud. Need on muutunud väga tavapäraseks ning nende kasutamises pole enam midagi uudset. Samuti pole midagi uudset automatiseeritud koosteliinis. Erinevaid liine ja tööstusroboteid võib näha

paljudes tootmisettevõtetes. Need on muutunud kättesaadavaks ka väiksema käibega ettevõtetele, samas kui tootmismahud pole piisavalt suured, siis tehnoloogia hankimine ja juurutamine ei tasu end siiski ära.

Uudse lahendusena võtavad koostamisega tegelevad firmad kasutusele erinevad Tööstus 4.0 lahendused ja kontseptsiooni. Järjest rohkem digitaliseeritakse tööstust, kasutatakse statistilisi andmeid ning teisi innovaatilisi lahendusi. Tõenäoliselt tulevikus on väga levinud ning kasutatakse laialdaselt nii koostamiseks kui ka kvaliteedi kontrollimiseks liitreaalsust. Selle lihtsamad lahendused on juba praegu ettevõtetele kättesaadavad. Tehnoloogia arenedes muutuvad seadmed veel tootlikumaks, kasumlikumaks ning odavamaks. Samas julgeb antud töö autor väita, et käsitsi koostamine ja hiljem töötaja poolne visuaalne kontrollimine ei kao kunagi, ükskõik kui odavad erinevad innovaatilised lahendused ka poleks. Kuigi nende osatähtsus küll väheneb, siiski leidub alati projekte ja tooteid, mille koostamiseks on kõige õigem ja mõistlikum kasutada nõ primitiivsemaid lahendusi.

KOKKUVÕTE

Antud magistritöö üheks peamiseks eesmärgiks oli tutvustada erinevate koostamisoperatsioonidega seotud kvaliteediprobleeme ning kaardistada peamised vead, mis toote koostamise käigus esinevad. Tööd sai alustatud, eeldades et peamised klientide reklamatsioonide põhjused on seotud koostaja eksimusega ning töö käigus analüüsid ning uurides reklamatsioone, sai autor sellele ka kinnitust. Reklamatsioonide põhjal sai koostatud statistika enim esinenud vigadest. Kuigi põhjalik statistiline ülevaade on ettevõtte omand ning ei kuulu avalikustamisele, sai siiski koostatud üldine protsentuaalne ülevaade enim esinenud vea liikidest. Lisaks on välja toodud ka teised võimalikud koostevead, toetudes autori enda kogemustele nii kvaliteedi- kui koosteosakonnas. Vead on grupeeritud sarnaste omaduste põhjal ning välja on pakutud lahendused, mis võiksid aidata vähendada koostamisel esinevaid töötajate eksimusi. Selleks et tootmisettevõtte saaks hakata enda problemaatilisi tooteid ning kvaliteedivigu välja selgitama, oleks soovitatav kaasa minna tootmise digitaliseerimise protsessiga. Erinevad ERP, APS ja muud andmetöötlusprogrammid aitavad koguda andmeid ning grupeerida ja kasutajale lihtsasti kättesaadavaks teha soovivat informatsiooni. Kui ettevõtte toodab erinevaid tooteid, siis selleks, et oluliselt parandada ettevõtte kvaliteedinäitajaid ning vähendada praagikulusi, piisab kui keskenduda kõigest 10...15% erinevatest toodetest.

Viimane peatükk keskendub erinevatele koostamisvigu ennetavatele ja kvaliteeti parendavatele protsessidele. Odavate ja lihtsate meetoditega on võimalik palju ära teha. Näiteks võttes kasutusele Jaapanist pärit erinevad LEAN filosoofiad, parandades ja arendades koostajate ja tootjate töökohti ning välja ehitades koostajale sobiv ja ergonoomiline töökoht. Lisaks on välja toodud ka suuremaid investeeringuid nõudvad protsessid, mille käiku laskmiseks tuleb kindlasti koostada põhjalik projektiplaan ning analüüsida majanduslik tasuvus sõltuvalt tootmismahust, toote keerukusest ning hinnast. Siia hulka kuuluvad tootmise automatiseerimine, digitaalsed tööjuhendid, liitreaalsus ning „targad“ tööriistad. Peatüki teises pooles said välja pakutud ideed, kuidas täiustada kvaliteedikontrolli etapis, kui toode on juba valmis. Selgus, et parim meetod on ikkagi automatiseeritud kontroll ning tulevikus aina enam kasutusse tulev liitreaalsus, mille korral on defektse toote kliendile jõudmine praktiliselt välistatud.

Probleem, mida antud lõputöös niivõrd ei käsitletud oli inimeste psühholoogiline pool, miks ikkagi vead juhtusid. Antud teema ei ole seotud niivõrd inseneri- ja tehnikavaldkonnaga, vaid kuulub pigem sotsiaalteaduste hulka. Välja sai toodud, et

vigade esinemise tõenäosust tõstavad igasugused pausid, kõrvalised tegevused, liigne müra ning omavaheline suhtlemine. Autor jättis teadlikult kõrvale töötajate vaimse poole ja isiklikud mured, mis tegelikult mängivad ka suurt rolli inimese võimes keskenduda tööle ja anda endast maksimaalne panus.

Antud töö annab kindlasti väga palju uut infot inimesele, kes on seotud küll inseneritööga, kuid kes pole igapäevaselt kokku puutunud toote koostamise ja kvaliteediga ning tootmisettevõtte kvaliteedijuhtimisega. Need, kes on valdkonnaga rohkem tuttavad, said tööd lugedes aimu statistiliselt enim esinevatest vigadest koostamisel. Inimene, kes soovib ettevõttes vähendada kvaliteediga seotud probleeme, sai tööst ettepanekuid, millest alustada, mida koostamisel parendada ning kuidas edasi võiks tegutseda. Loodetavasti oli tööst kasu mitte ainult autorile endale, vaid ka laiemale ringile ning tootmisettevõtetes töötavatele inimestele.

SUMMARY

One of the main objectives of this master's thesis was to introduce quality problems related to the various assembly operations and to collect the main errors that occur during the assembly of the product. The work was started, assuming that the main reasons for the claims of clients were related with the error of the assembly operator and, during the work, by analyzing and studying customer claims, the author also received confirmation. Although a comprehensive statistical overview is the property of the company and is not subject to disclosure, the overall percentage of error types that occurred was compiled. In addition, other possible assembly errors have been identified, based on the author's own experience in both the quality and the assembly department. Errors are grouped based on similar characteristics and solutions have been proposed that could help to reduce operator errors. To be able to identify its problematic products and quality defects, it is advisable to start with the process of digitization of manufacturing. Various ERP, APS and other data processing programs can help to collect and group data. If a company produces different products, then in order to significantly improve the company's quality indicators and reduce scrap costs, it is sufficient to focus on just 10...15% of the different products.

The final chapter focuses on the different processes that prevent and improve quality of assembly errors. A lot can be done with cheap and simple methods. For example, by introducing different LEAN philosophies from Japan, improving and developing assembly instructions and building a suitable and ergonomic workplace for the operator. In addition, processes requiring bigger investments have been identified. For implementation of those ideas, it is strongly recommended a comprehensive project plan and an analysis of economic profitability depending on the production volume, the complexity and price of the product. This includes automation of production, digital work instructions, augmented reality and "smart" tools. In the second half of the chapter, ideas were offered how to improve quality control when the product is already finished. It turned out that the best method is still automated control and the augmented reality that will come more into use in the future. With those proposals, it is practically excluded that defective product reaches to the customer.

The problem that was not so much discussed in this thesis was the psychological side of people, why did the mistakes happen anyway. This issue is not so much about engineering, but rather part of the social sciences. It was shown that the probability of errors increased by any pause, extraneous activities, excessive noise and

communication between people. The author deliberately dismissed the mental side of the employees and personal concerns, which also play a major role in a person's ability to focus on work and make the most of themselves.

This work certainly provides a great deal of new information to people who are involved in engineering, but who have not familiar with the assembly and quality of the product daily and the quality management of the production company. Those who are more familiar with the field were able to learn about the most significant errors in the assembly. A person who wants to reduce quality problems in the company received work suggestions from which to start, what to improve in assembly process and how to proceed. Hopefully, the work benefited not only the author himself, but also the wider circle and the people working in the production companies.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Jüri Riives, „Uuenduslik tootmine“, TTÜ Kirjastus, Tallinn 2011. Lk 293.
- [2] <https://robohub.org/the-evolution-of-assembly-lines-a-brief-history/> (aprill 2014)
- [3] <https://corporate.ford.com/articles/history/moving-assembly-line.html>
- [4] Eesti Ekspress, Eesti väärtuslikemate ettevõtete edetabel TOP101, 25.11.2020
- [5] EVS-EN ISO 9001:2015, Kvaliteedijuhtimissüsteemid. Nõuded
- [6] Andres Jagomägi, „Kvaliteediõpetus“, Tallinn 2009
- [7] <https://www.eaq.ee/sertifikaadid/>
- [8] John S. Oakland, „Terviklik kvaliteedijuhtimine“, Kirjastus Külim, 2006
- [9] <https://www.lean.org/whatslean/history.cfm>
- [10] Rein Küttner, „Nüüdistootmise õpetus“, TTÜ Kirjastus, 2016
- [11] HANZA Mechanics Tartu ERP süsteem
- [12] <https://www.asm-smt.com/en/products/>
- [13] https://www.machinesseeker.com/mss/industrial+robots?gclid=CjwKCAiAtej9BRAvEiwA0UAWXge2exkvtfafENuU8S51pebVVktRntsXCIIbl31Rwf1abMnN13raelBoCo1MQAvD_BwE
- [14] Elmo Pettai, „Tootmise automatiseerimine“, Tallinn 2005