



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

***Lean ir 6 Sigma* metodikų taikymas elektronikos produktų
gamybos operacijų efektyvumui didinti**

Baigiamasis magistro projektas

Donatas Kmieliauskas
Projekto autorius

Lekt. Laura Gegeckienė
Vadovė

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

***Lean ir 6 Sigma* metodikų taikymas elektronikos produktų
gamybos operacijų efektyvumui didinti**

Baigiamasis magistro projektas
Gamybos inžinerija (6211EX015)

Donatas Kmieliauskas
Projekto autorius

Lekt. Laura Gegeckienė
Vadovė

Lekt. Ingrida Venytė
Recenzentė

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Donatas Kmieliauskas

***Lean ir 6 Sigma* metodikų taikymas elektronikos produktų gamybos operacijų efektyvumui didinti**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Donato Kmieliauskas, baigiamasis projektas tema „Elektronikos produktų gamybos operacijų efektyvumo didinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

Donatas Kmieliauskas

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



Kaunas technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Studentui (-ei) – Donatui Kmieliauskui

1. Projekto tema –

Lean ir 6 Sigma metodikų taikymas elektronikos produktų gamybos operacijų efektyvumui didinti
(Lietuviškai)

The Implementation of Lean and 6 Sigma Methodologies to Increase the Efficiency of Electronic Products Manufacturing Operations

(Angliškai)

2. Projekto tikslas ir uždaviniai –

Projekto tikslas: ištirti pasirinktų elektronikos gaminių rankinių operacijų efektyvumo nuostolių priežastis ir padidinti operacijų efektyvumą.

Projekto uždaviniai:

1. Įvertinti dažniausiai pasitaikančias gamybos efektyvumo nuostolių priežastis ir galimus efektyvumo didinimo metodus.
2. Ištirti pasirinktų elektronikos gaminių rankinių operacijų efektyvumo nuostolių priežastis ir numatyti veiksmus efektyvumui padidinti.
3. Įvertinti atlikto tyrimo rezultatus ir sudaryti operacijų trukmės skaičiavimo metodiką, kurioje būtų įvertinami tyrime nustatyti operacijų efektyvumo veiksniai.

3. Pradiniai projekto duomenys –

Netaikoma.

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos –

IPC-610 standartas.

Projekto autorius	Donatas Kmieliauskas	2020-11-06
	(Vardas, Pavardė)	(parašas) (data)
Vadovė	Laura Gegeckienė	2020-11-06
	(Vardas, Pavardė)	(parašas) (data)
Krypties studijų programų vadovė	Regita Bendikienė	2020-11-06
	(Vardas, Pavardė)	(parašas) (data)

Kmieliauskas Donatas. *Lean ir 6 Sigma* metodikų taikymas elektronikos produktų gamybos operacijų efektyvumui didinti. Magistro baigiamasis projektas vadovė lekt. Laura Gegeckienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Gamybos inžinerija (E10), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: *Lean*, *6 Sigma*, efektyvumas, elektronikos produktų gamyba.

Kaunas, 2021. 61 p.

Santrauka

Pagrindinis atlikto tyrimo tikslas buvo pritaikyti *Lean* ir *6 Sigma* metodikas elektronikos produktų gamybos efektyvumui didinti. Neefektyvi gamyba sukėlė finansinius nuostolius ir gaminių tiekimo vėlavimą. Atlikto tyrimo metu įvertintos dažniausiai pasitaikančios ir *Lean* metodikoje pateikiamos gamybos efektyvumo nuostolių rūšys. Apžvelgti *Lean* metodikoje pateikiami įrankiai, kurie gali būti pritaikyti efektyvumo nuostolių priežastims identifikuoti ir procesams tobulinti. Įvertintas *6 Sigma* metodikos įrankis DMAIC, kuris gali būti pritaikytas rankinių elektronikos gamybos operacijų efektyvumui didinti. Išanalizuotos penkios elektronikos gamybos rankinės operacijos ir jų trukmę lemiantys veiksniai. Pritaikytas DMAIC metodas ir *Lean* įrankiai operacijų efektyvumui didinti. Įgyvendinus šį projektą sumažėjo finansiniai operacijų nuostoliai, o bendras operacijų efektyvumas pakilo nuo 54,17 % iki 95,57 %. Remiantis tyrimo metu surinktais duomenimis buvo sudaryta analizuotų operacijų trukmės skaičiavimo metodika, kuri leidžia tiksliau ir paprasčiau apskaičiuoti procesų atlikimo trukmę.

Kmieliauskas Donatas. The Implementation of Lean and 6 Sigma Methodologies to Increase the Efficiency of Electronic Products Manufacturing Operations. Master's Final Degree Project / supervisor lekt. Laura Gegeckienė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Production and Manufacturing Engineering (E10), Engineering Sciences (E).

Keywords: Lean, 6 Sigma, efficiency, electronic products manufacturing.

Kaunas, 2021. 61.

Summary

The main goal of the study was to apply Lean and 6 Sigma methodologies to increase the efficiency of electronic products manufacturing operations. Inefficient production led to financial losses and delays in products delivery. During the research, the most common types of production efficiency losses, presented in the Lean methodology, were evaluated. Lean methodology tools, which can be adapted to identify the wastes and improve the processes, were reviewed. Evaluated 6 Sigma methodology tool DMAIC, which can be used to increase the efficiency of manual electronics manufacturing operations. Five manual operations of electronics production and the factors determining their time were analyzed. The DMAIC method and Lean tools was applied to increase the efficiency of operations. After implementation of this project, financial losses of operations were reduced and the efficiency of these operations increased from 54.17% to 95.57%. Based on the data, collected during the study, a methodology for calculating the time of the analyzed operations was developed. It allows to calculate the time of processes more accurate and simpler.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Literatūros apžvalga	13
1.1. Tyrimo aktualumas	13
1.2. Tyrimo naujumas.....	14
1.3. Gamybos efektyvumo nuostolių rūšys	15
1.4. <i>Lean</i> metodika ir jos įrankiai.....	17
1.4.1. <i>Lean</i> metodas <i>Poka-Yoke</i>	17
1.4.2. <i>Lean</i> metodas <i>One-piece flow</i>	17
1.4.3. <i>Lean</i> metodas <i>Ishikawa</i>	18
1.4.4. <i>Lean</i> metodas <i>5 S</i>	19
1.4.5. <i>Lean</i> metodas <i>Kaizen</i>	20
1.4.6. <i>Lean</i> metodas <i>Gemba</i>	20
1.5. Efektyvumo didinimas naudojant <i>6 Sigma</i> metodiką.....	21
1.5.1. <i>6 Sigma</i> įrankis <i>DMAIC</i>	21
1.6. Atliktų tyrimų analizė.....	22
1.6.1. <i>6 Sigma</i> ir <i>Lean</i> metodikų taikymas mobiliųjų telefonų gamyboje.....	22
1.6.2. <i>6 Sigma</i> ir <i>Lean</i> metodikų automobilių dalių gamyboje	23
1.6.3. <i>Lean</i> metodikos taikymas elektronikos gamyboje	26
2. Eksperimentinė dalis	28
2.1. Analizuojamos operacijos	28
2.1.1. Rankinis surinkimas	28
2.1.2. Rankinis litavimas	29
2.1.3. PCB išskyrimas iš ruošinio.....	30
2.1.4. Kokybės kontrolė.....	32
2.1.5. Elektromechaninis surinkimas.....	32
2.2. Rankinių operacijų trukmės veiksniai	33
2.2.1. Rankinio surinkimo, litavimo ir kokybės kontrolės trukmės veiksniai.....	33
2.2.2. Išskyrimo iš ruošinio trukmės veiksniai	35
2.2.3. Elektromechaninio surinkimo trukmės veiksniai	35
2.3. <i>DMAIC</i> metodo taikymas	36
2.3.1. Nustatymo etapas.....	36
2.3.2. Išmatavimo etapas	37
2.3.3. Analizės etapas	39
2.3.4. Tobulinimo etapas	43
2.3.5. Kontrolės etapas	47
3. Rezultatai.....	48
4. Rekomendacijos.....	49
4.1. Naujos skaičiavimo metodikos sudarymas.....	49
4.1.1. Rankinio surinkimo trukmės skaičiavimas.....	50
4.1.2. Rankinio litavimo trukmės skaičiavimas.....	51
4.1.3. Plokštės išskyrimo iš ruošinio trukmės skaičiavimas.....	52

4.1.4. Kokybės kontrolės trukmės skaičiavimas	53
4.1.5. EM surinkimo trukmės skaičiavimas	54
4.1.6. Galutinių rezultatų pateikimas	56
Išvados	57
Literatūros sąrašas	58
Priedai.....	61
1 priedas. Operacijų stebėjimo šablonas	61
2 priedas. Gaminio A rankinio surinkimo operacijos stebėjimo rezultatai	62
3 priedas. Gaminio A rankinio litavimo operacijos stebėjimo rezultatai	64
4 priedas. Gaminio A išskyrimo iš ruošinio operacijos stebėjimo rezultatai	66
5 priedas. Gaminio A kokybės kontrolės operacijos stebėjimo rezultatai.....	68
6 priedas. Gaminio A elektromechaninio surinkimo operacijos stebėjimo rezultatai.....	70

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Dažniausiai naudojami PCB tvirtinimo ruošinyje metodai	31
2 lentelė. Pradiniai DMAIC projekto duomenys.....	37
3 lentelė. Operacijų efektyvumo nuokrypio finansiniai nuostoliai	38
4 lentelė. Operacijų metu užfiksuoti pastebėjimai	41
5 lentelė. Operacijų tobulinimo veiksmų planas	43
6 lentelė. Operacijų efektyvumo nuokrypio finansiniai nuostoliai atlikus DMAIC projektą.....	48

Paveikslų sąrašas

1 pav. Poliarškumą turinčios jungtys [11, 12]	17
2 pav. <i>One-Piece Flow</i> principu sukurta SMT surinkimo linija [14]	18
3 pav. <i>Ishikawa</i> diagramos modelis [16].....	19
4 pav. Darbo vieta prieš (kairėje) ir po (dešinėje) 5 S sistemos įgyvendinimo [18].....	20
5 pav. DMAIC metodo etapai	22
6 pav. Surinkimo linijos darbo centrų balanso grafikas [23]	24
7 pav. Surinkimo linijos darbo centrų balanso grafikas po patobulinimų [23].....	25
8 pav. Lakavimo procesas prieš įgyvendinant patobulinius [24].....	26
9 pav. Lakavimo procesas po darbo vietos pertvarkymo [24]	27
10 pav. THT komponentų pavyzdžiai [25]	28
11 pav. Komponentų poliarškumo pavyzdys: kairėje – poliarškumo neturintys komponentai – varžos [26]; dešinėje – poliarškumą turintys komponentai – diodai [27]	29
12 pav. Rankinio litavimo pavyzdys [28]	30
13 pav. Ruošinys su spausdintinėmis plokštėmis [29].....	30
14 pav. Elektromechaninis gaminys [34].....	32
15 pav. Gaminų operacijų trukmės statistika	37
16 pav. Analizuojamų gaminų efektyvumo grafikas	38
17 pav. Analizuojamų gaminų efektyvumo grafikas atlikus DMAIC projektą	48
18 pav. Pradinių duomenų įvestis	49
19 pav. Komponentų sąrašo įvestis	49
20 pav. Rankinio surinkimo duomenų įvestis	50
21 pav. Rankinio surinkimo operacijos trukmės rezultatai	51
22 pav. Rankinio surinkimo veiksmų trukmės skaičiavimo rezultatai	51
23 pav. Rankinio litavimo duomenų įvestis.....	51
24 pav. Rankinio litavimo veiksmų trukmės skaičiavimo rezultatai	52
25 pav. Rankinio litavimo operacijos trukmės rezultatai.....	52
26 pav. Išskyrimo iš ruošinio operacijos duomenų įvestis.....	53
27 pav. Išskyrimo iš ruošinio operacijos trukmės rezultatai	53
28 pav. Kokybės kontrolės duomenų įvestis.....	54
29 pav. Kokybės kontrolės veiksmų trukmės skaičiavimo rezultatai	54
30 pav. Kokybės kontrolės operacijos trukmės rezultatai.....	54
31 pav. EM surinkimo pasiruošimo duomenų įvestis	55
32 pav. EM surinkimo vykdymo duomenų įvestis	55
33 pav. EM surinkimo operacijos trukmės rezultatai.....	55
34 pav. Operacijų trukmės rezultatai	56

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

PCB (angl. *Printed Circuit Board*) – spausdintinė plokštė;

THD (angl. *Through Hole Device*) – išvadinis komponentas;

THT (angl. *Through Hole Technology*) – išvadinių komponentų surinkimo technologija;

ERP (angl. *Enterprise Resource Planning*) – verslo valdymo sistema;

MES (angl. *Manufacturing Execution System*) – gamybos vykdymo sistema;

IPC-610 – elektronikos surinkimo kokybės standartas;

PPM (angl. *Parts per Million*) – gamybos kokybės rodiklis;

KPI (angl. *Key Performance Indicator*) – veiklos vykdymo rodiklis;

OEE (angl. *Overall Equipment Effectiveness*) – bendrojo įrangos efektyvumo rodiklis.

Įvadas

Elektronikos produktų gamyba yra viena iš svarbiausių ir didžiausių šiuolaikinio pasaulio pramonės sektorių. Prasidėjusi ketvirtoji pramonės revoliucija dar labiau skatina elektronikos produktų diegimą įvairiose pramonės, paslaugų ir buitinės technikos srityse. Gamintojai, siekdami išpildyti didėjančią elektronikos produktų poreikį ir išlaikyti konkurencinį pranašumą, privalo užtikrinti patrauklią produktų kainą, greitą gaminių pristatymą ir aukštą kokybę. Šiems kriterijams pasiekti reikalinga sumažinti gamybos sąnaudas, sutrumpinti gamybos ciklą trukmę ir sumažinti defektų riziką. Vieni elektronikos gamintojai pasirenka modernizuoti ir automatizuoti gamybą. Šis pasirinkimas reikalauja papildomų investicijų ir gali nesuteikti pageidaujamų rezultatų. Tam tikrais atvejais netinkamai organizuojant inovacijų diegimą ir naudojimą galima gauti neigiamų rezultatų. Taip pat sudėtinga automatizuoti gamybą, kurioje vyrauja maži gaminių kiekiai ir didelė jų įvairovė. Tokiu atveju tinkamai planuojamas ir koordinuojamas rankinis darbas gali būti pranašesnis už brangios ir sudėtingos įrangos naudojimą. Siekiant maksimalių rezultatų, būtina užtikrinti tinkamą rankinių operacijų darbo organizavimą ir aukštą atliekamų procesų efektyvumo lygį. Taip pat labai svarbu sumažinti arba visiškai pašalinti defektų riziką, kurią gali sukelti žmogiškieji veiksniai, proceso specifika, gaminio dizainas ir technologiniai reikalavimai.

Operacijų efektyvumas yra vienas pagrindinių rodiklių, apibūdinančių procesų vykdymo kokybę ir lemiančių įmonės finansinę padėtį. Teisingas efektyvumo įvertinimas ir užtikrinimas yra būtinas siekiant tiksliai planuoti gamybos resursus, priimti atitinkamus sprendimus ir laiku įgyvendinti klientų užsakymus. Procesų našumo nuostoliai gali sukelti gaminių pristatymo vėlavimą, nuostolingą įmonės veiklą ir konkurencingumo rinkoje sumažėjimą. Siekiant to išvengti, būtina kuo tiksliau ir kuo anksčiau pašalinti efektyvumo nuostolių priežastis ir įgyvendinti prevencinius veiksmus. Todėl kiekviena gamybos įmonė privalo kritiškai įvertinti kiekvienos operacijos efektyvumą ir imtis reikalingų veiksmų jam padidinti.

Lean ir *6 Sigma* yra visame pasaulyje paplitusios ir įvairiuose sektoriuose naudojamos metodikos, kurių pagrindiniai tikslai yra: sumažinti gamybos išlaidas, pašalinti efektyvumo nuostolius ir padidinti kokybės rodiklius. Nors šios metodikos yra universalios ir pateikia nemažai jų įgyvendinimui skirtų įrankių, tačiau kiekvienu atveju situacija privalo būti įvertinta individualiai. Atlikta nemažai tyrimų apie *Lean* ir *6 Sigma* metodikų taikymą įvairiose gamybos srityse, tačiau siekiant jas panaudoti elektronikos gamybos rankinių operacijų efektyvumui didinti, būtina atlikti naują tyrimą ir įvertinti metodikų taikymo galimybę pasirinktoms operacijoms.

Projekto tikslas: ištirti pasirinktų elektronikos gaminių rankinių operacijų efektyvumo nuostolių priežastis ir padidinti operacijų efektyvumą.

Projekto uždaviniai:

1. Įvertinti dažniausiai pasitaikančias gamybos efektyvumo nuostolių priežastis ir galimus efektyvumo didinimo metodus.
2. Ištirti pasirinktų elektronikos gaminių rankinių operacijų efektyvumo nuostolių priežastis ir numatyti veiksmus efektyvumui padidinti.
3. Įvertinti atlikto tyrimo rezultatus ir sudaryti operacijų trukmės skaičiavimo metodiką, kurioje būtų įvertinami tyrime nustatyti operacijų efektyvumo veiksniai.

1. Literatūros apžvalga

Literatūros apžvalgoje pristatomas vykdomo tyrimo aktualumas ir naujumas elektronikos produktų gamybos operacijų efektyvumo didinimo srityje. Apžvelgiamos *Lean* metodikoje nurodomos dažniausiai pasitaikančios gamybos efektyvumo nuostolių priežastys. Taip pat pristatomos *Lean* ir *6 Sigma* metodikos ir jų įrankiai, kuriais galima sumažinti operacijų ciklo trukmę ir efektyvumo nuostolių priežastis. Galiausiai apžvelgiami ir įvertinami atlikti tyrimai įvairiuose elektronikos gamybos sektoriuose, kuriuose sėkmingai pavyko įgyvendinti *Lean* ir *6 Sigma* metodus didinant darbo efektyvumą.

1.1. Tyrimo aktualumas

Lyginant su ankstesniaisiais pramonės etapais, šiuolaikinė gamyba patiria daug permainų ir atnaujinimų. Vakarų šalys dažnai taiko automatizaciją ir kompiuterines integruotąsias technologijas gamybai tobulinti. Japonijos pramonėje vyrauja *Lean* filosofija paremti metodai, kurie yra koncentruoti į vertę klientui kuriančius procesus. Vadovaujantis *Lean* sistemos *Kaizen* principu, šie metodai nuolat tobulėja ir vystosi. Resursų švaistymo pašalinimas yra pagrindinis *Lean* metodikos tikslas, kuriuo siekiama patobulinti gamybos procesus. Būtent švaistymas įvardijamas kaip viena iš pagrindinių daugelio problemų priežasčių, kylančių gamybos įmonėse [1].

Lean gamybos metodų taikymas turėjo teigiamų rezultatų įvairiuose gamybos procesuose didinant efektyvumą, produktyvumą ir kokybę. *Lean* filosofija paremta įvairių metodų taikymu, kuriais siekiama identifikuoti pridėtinės vertės nekurančius veiksmus ir juos sumažinti arba eliminuoti. Tai lemia mažesnę gamybos kainą ir geresnę produktų kokybę [2]. *Lean* ir *6 Sigma* metodai ir jų pateikiamų įrankių universalumas leidžia juos pritaikyti įvairiuose gamybos sektoriuose ir skirtingose operacijose. Todėl tai gali būti tinkamas būdas ištirti elektronikos gamybos rankinių operacijų efektyvumo nuostolių priežastis ir jas pašalinti.

Nuo masinės gamybos pradžios, rankinio surinkimo procesai yra neatsiejama daugelio gamybos įmonių dalis. Jie suteikia būtina lankstumą surinkimo linijose, kurio negalėtų užtikrinti automatizuotos sistemos. Tačiau rankinį darbą atliekantiems operatoriams būtinas tinkamas darbo organizavimas ir pagalba tinkamai reaguojant į produktų ir procesų pokyčius. Darbuotojai vis dažniau privalo sugebėti tiksliai ir greitai atlikti plataus pobūdžio užduotis [3]. Todėl labai svarbu užtikrinti efektyvią procesų kontrolę ir tinkamų užduočių darbuotojams skyrimą.

Žmogus įvardijamas kaip svarbi kiekvienos inžinerinės gamybos sistemos dalis, galinti padidinti konkurencingumą įvairiuose procesuose, kuriuose gaminamų produktų kiekis ir modifikacija keičiasi labai greitai. Žmogus geba prisitaikyti prie naujų gamybos operacijų, netrikdant bendros gamybos aplinkos [4]. Atsiradus pakeitimams nereikia stabdyti visos linijos darbo arba keisti įrenginių išdėstymo. Tai labai svarbu įmonėse, kuriose vyrauja didelė gaminių įvairovė, o nauji produktai nuolatos įvedami į serijinę gamybą.

Žmogiškųjų veiksnių pašalinimas gali sumažinti pramoninių sprendimų kompleksškumą. Nepaisant to, darbuotojų išlaikymas gamybos grandinėje gali sukurti konkurencinį pranašumą, nes žmogus pasinaudodamas savo intuicija ir patirtimi gali greitai reaguoti ir priimti sprendimus. Siekiant išspręsti gamybos problemas ar pradėti naujų produktų gamybą, robotui būtų reikalingas perprogramavimas ir adaptavimas [4]. Žmogus daug greičiau galėtų prisitaikyti prie pasikeitusių sąlygų, naujų gaminių

ar procesų. Todėl efektyvus žmogaus darbo panaudojimas vis dar yra labai svarbus uždavinys kiekvienoje gamykloje, kurioje atliekamos rankinės operacijos.

1.2. Tyrimo naujumas

Lean principai, skirti darbo resursų švaistymui eliminuoti ir efektyvumui didinti, buvo inicijuoti Taiichi Ohno. Po jų įgyvendinimo *Toyota Motor* kompanijoje, įvairūs verslai pastebėjo *Lean* metodikos teikiamus privalumus efektyvumo didinimo srityje. Šiandieninėmis konkurencinės rinkos sąlygomis, gamybos įmonės patiria didelį klientų spaudimą išpildyti produktų kokybės lūkesčius, greitai reaguoti į paklausą, sumažinti kainą ir padidinti produktų įvairovę. Taikant *Lean* principus gamybos sektoriuose, įmonės gali padidinti efektyvumą ir įgyvendinti klientų pageidavimus [5].

Dėl šiuolaikinės dinamiškos ir konkurencingos aplinkos, organizacijoms tenka dažnai perplanuoti savo procesus ir strategijas. Gamybos sektoriuje *Lean* metodika yra laikoma tradicine sistema, orientuota į resursų švaistymo pašalinimą vertės srauto grandinėje ir gamybos procesų efektyvumo užtikrinimą. Ketvirtosios pramonės revoliucijos iškilimas suteikė naujų technologinių galimybių ir leido iš naujo pažvelgti į gamybos organizavimą. *Lean* metodologijos integracija *Pramonė 4.0* laikotarpiu yra labai svarbi, norint užtikrinti konkurencingumą ir pasiekti gamybos organizacijų tikslus [6].

Pramonė 4.0 suteikia didelį gamybos procesų duomenų potencialą. Įmonėms šie duomenys gali būti itin naudingi organizuojant ir prižiūrint darbuotojų atliekamus procesus [3]. Pasitelkiant skaitmenizuotąsias duomenų surinkimo technologijas, galima greitai ir efektyviai surinkti ir pateikti duomenis tiek apie automatizuotų, tiek apie rankinių operacijų atlikimą. Nepaisant to, dažnai šių duomenų nepakanka tiksliai nustatyti efektyvumo nuostolių priežastis ar kokybės problemas. Todėl siekiant tiksliai identifikuoti problemas, reikalingas procesų stebėjimas, jų atlikimo vietoje. Tik nustatčius ir išanalizavus priežastis, galima planuoti atitinkamus veiksmus joms pašalinti.

Nors *Lean* ir *6 Sigma* metodikų principai buvo sukurti ganėtinai seniai ir jau yra laikomi tradiciniais, tačiau jų panaudojimas konkrečioje srityje visuomet yra naujas ir kompleksiškas uždavinys. Kiekvienas atvejis privalo būti analizuojamas individualiai, o šių metodikų įrankiai yra tik gairės, padedančios tyrimo ir tobulinimo procesams. Ketvirtosios pramonės revoliucijos metu atsiradusios duomenų kaupimo ir apdorojimo technologijos taip pat reikšmingai prisideda prie tradicinių metodų taikymo ir leidžia daug greičiau ir efektyviau pasiekti užsibrėžtus tikslus. Todėl siekiant geresnių rezultatų, tikslinga derinti tradicinius *Lean* ir *6 Sigma* metodus su *Pramonė 4.0* teikiamomis technologijomis bei tirti kiekvieną procesą individualiai.

Šio tyrimo objektas yra elektronikos produktų gamybos rankinės operacijos, kurių efektyvumas yra žemas ir neatitinka įmonės iškeltų tikslų. Tai itin specifinės operacijos, kurios nors ir gali būti atliekamos įvairiose elektronikos gamybos įmonėse, tačiau kiekvienu atveju jų organizavimas ir kontrolė yra atliekama skirtingai. Todėl atsirado poreikis atlikti šių procesų tyrimą ir padidinti jų efektyvumą konkrečioje pasirinktoje įmonėje. Vadovaujantis *Lean* ir *6 Sigma* metodais reikalinga iš naujo įvertinti rankinių operacijų organizavimą ir jose atliekamus veiksmus. Tuomet bus galima sudaryti veiksmų planą efektyvumui didinti ir paruošti naują rankinių operacijų trukmės skaičiavimo metodiką.

1.3. Gamybos efektyvumo nuostolių rūšys

Pagrindinis *Lean* metodikos tikslas yra pašalinti vertės nekuriančius ir nebūtinus veiksmus arba sumažinti jų trukmę. Tai tokie veiksmai, kurie nepakeičia gaminio sandaros ir nėra būtini atsižvelgiant į gaminio technologinius reikalavimus. *Lean* metodologijoje įvardijami aštuoni pagrindiniai efektyvumo nuostolių veiksniai: transportavimas, inventorių, judesiai, laukimas, produkcijos perteklius, pertekliniai veiksmai, defektai ir neišnaudojami darbuotojų įgūdžiai.

Transportavimas įvardijamas kaip švaistymo rūšis, atsirandanti dėl inventoriaus perkėlimo iš vienos vietos į kitą. Nereikalingas transportavimas padidina gamybos kaštus, pailgina operacijų trukmę, padidina produktų defektų riziką ir dėvėjimąsi. Transportavimo trukmę galima sumažinti supaprastinant procesus, optimizuojant darbo zonų planus, mažinant gaminių perkėlimo skaičių, trumpinant atstumus tarp skirtingų darbo zonų [7].

Dažniausiai darbo centrų išdėstymas sukuriama atsižvelgiant į gaminių technologinį kelią. Tokiu būdu sutrumpinamas atstumas tarp skirtingų operacijų ir išvengiama transportavimo nuostolių iš vienos gamyklos pusės į kitą. Siekiant nustatyti transportavimo nuostolių priežastis ir optimizuoti gaminių judėjimo kelius, gali būti stebimi procesai, braižoma *Spaghetti* diagrama arba sukuriama vertės srauto žemėlapis (angl. *Value Stream Mapping*). Panaudojant šiuos *Lean* metodikos įrankius galima reikšmingai sumažinti transportavimo nuostolius ir sutrumpinti bendrą gaminio gamybos trukmę.

Dar viena išskiriama gamybos efektyvumo nuostolių rūšis yra inventorių. Darbo procesuose inventorių apibūdinamas kaip tarp operacijų susikaupusios medžiagos ir komponentai. Tai gali nutikti dėl didelių produkcijos partijų ir ilgos procesų ciklo trukmės. Šie inventoriaus nuostoliai atsiranda kai į gamybą tiekama daugiau medžiagų nei reikia nustatytai produkcijai pagaminti [7]. Taip pat nereikalingas inventorių gali susikaupti sandėlyje užsakius daugiau medžiagų ir komponentų nei reikia gautiems užsakymams įvykdyti. Nors didesnis užsakomų komponentų kiekis dažniausiai leidžia gauti geresnę kainą ir išvengti jų stygiaus gamyboje, tačiau tai sukuria didesnes sandėliavimo išlaidas.

Nuostoliai dėl inventoriaus taip pat atsiranda gaminant daugiau produkcijos, nei reikalinga užsakymams išpildyti. Tokiu atveju gaminiams reikalingas papildomas sandėliavimas, kurio metu atsiranda ne tik defektų rizika, bet ir gaminių poreikio sumažėjimo tikimybė. Prie inventoriaus nuostolių priskiriama ir nenaudojami arba sugedę įrenginiai, nebereikalingos medžiagos, nebetinkami komponentai ir gaminiai. Visa tai nesukuria jokios pridėtinės vertės ir užima gamybos patalpų plotą.

Kita efektyvumo nuostolių priežastis yra judesiai, kurie nesukuria jokios pridėtinės vertės gaminamam produktui, atliekamai paslaugai ar vykdomam procesui. Judesių nuostoliams gali būti priskiriami bet kokie nebūtinai fiziniai veiksmai, pavyzdžiui, darbuotojų vaikščiojimas, kuris atitraukia juos nuo tiesioginių gamybos procesų [7]. Siekiant išvengti nereikalingų judesių poreikio, būtinas tinkamas darbo vietos išdėstymas ir operacijos organizavimas. Visos reikalingos medžiagos ir įrankiai privalo būti lengvai pasiekiami ir paruošti naudoti.

Laukimas įvardijamas kaip efektyvumo nuostolių padarinys, kuris atsiranda tuomet, kai procesas privalo būti sustabdytas dėl kito linijos darbuotojo užimtumo arba pasibaigus reikalingoms medžiagoms [7]. Todėl būtina užtikrinti nenutrūkstamą reikalingų medžiagų tiekimą, tinkamą darbo organizavimą ir greitą atsiradusių problemų šalinimą. Gaminio technologinį kelią taip pat stengiamasi

paruošti taip, kad visos jį sudarančios operacijos turėtų panašią trukmę. Tokiu būdu galima išvengti didelių gaminių sancaupų prieš ilgiausiai trunkančią operaciją ir laukimo nuostolių po jos.

Laukimas gali atsirasti ir dėl įrangos sulėtėjimo, gedimų ar atsiradusių gaminių defektų. Taip pat iškilus technologinėms problemoms ir netikėtiems klausimams, darbuotojams gali tekti laukti sprendimų ir atsakymų. Dažnai pasitaikanti laukimo priežastis – proceso siaurymė (angl. *Process Bottleneck*). Ji atsiranda tuomet, kai linijoje dirba keli darbuotojai arba įrenginiai, kurių operacijos ciklas yra nesuderintas. Tokiu atveju darbuotojas arba įrenginys privalo laukti, kol jį pasieks gaminyje arba jį galės perduoti į kitą etapą. Todėl siekiama, kad visi linijoje dirbantys įrenginiai arba darbuotojai veiksmus atliktų per vienodą laiko intervalą ir būtų išvengta laukimo.

Dar viena efektyvumo nuostolių rūšis yra produkcijos perviršis. Jis įvardijamas kaip nereikalingas pagamintos produkcijos kiekis. Linijos balanso sukūrimas ir tinkamas darbo organizavimas gali sumažinti produkcijos perviršio kiekį [7]. Taip pat labai svarbu tinkamai apskaičiuoti ir įvertinti gaminių poreikį ir turimus gamybos resursus.

Kiekvienas planuojamas produkcijos kiekis turi būti kuriamas atsižvelgiant į kliento užsakymus ir jų prognozę. Priešingu atveju bus gaminama tuo metu nereikalinga produkcija ir švaistomi gamybos ištekliai, kurie galėtų būti skiriami kitiems užsakymams ir gaminiams [8]. Produkcijos perviršis taip pat sukuria inventorius nuostolius, kurie pasireiškia kaip papildomos sandėliavimo išlaidos ir defektų rizika.

Darbo efektyvumo nuostolių priežastimi įvardijamas ir perteklinis darbas. Jis atsiranda kai reikalinga peržiūrėti arba perdaryti tam tikrą procedūrą ar produktą, nes tai nebuvo tinkamai atlikta pirmą kartą. Taip pat šis veiksnys atsiranda kai naudojami nereikalingi produktų gamybos procesai arba dirbama neefektyviai dėl netinkamo įrankio ar produkto dizaino. Tai sukuria ne tik nereikalingus papildomus judesius, bet gali sukelti ir defektus [7].

Viena iš pagrindinių efektyvumo nuostolių priežasčių yra defektai. Tai yra klaidos, kurioms pataisyti reikalingas papildomas laikas, resursai ir energija. Gamybos procesuose, defektų kategorijai gali būti priskiriamos brokuotos dalys, kurias darbuotojas privalo pataisyti arba perdaryti. Brokuotų gaminių gamyba, remontas, pakartotinis gaminimas, nurašymas ar pakeitimas sukuria papildomus laiko nuostolius ir finansines išlaidas. Taip pat gali sutrikti produkcijos tiekimas ir vėluoti užsakymai. Defektai gali atsirasti ir dėl organizacinių priežasčių – klaidų dokumentacijoje, neteisingos informacijos perdavimo ir netinkamų technologinių sprendimų [7].

Prie gamybos resursų švaistymo ir efektyvumo nuostolių priskiriama neišnaudotas darbuotojų potencialas ir įgūdžiai. Identifikavus operatorių sugebėjimus ir tinkamai juos panaudojus, būtų galima pasiekti geresnių efektyvumo rezultatų ir sumažinti gamybos išlaidas. Netinkamose pozicijose dirbantys darbuotojai gali lemti kitų efektyvumo priežasčių atsiradimą ir darbo našumo nuosmukį [7]. Taip pat labai svarbu atsižvelgti į darbuotojų atsiliepimus ir pasiūlymus, kuriuos galima panaudoti procesų tobulinimui.

Efektyvumo nuostolių priežastys yra glaudžiai tarpusavy susijusios ir gali būti viena kitos pasekmė arba priežastimi. Todėl analizuojant gaminius ir jų operacijas, labai svarbu identifikuoti ir pašalinti pirmines priežastis. Tam reikalingas administracijos ir gamybos skyrių įsitraukimas ir individuali kiekvieno atvejo analizė. Sėkmingam tyrimui ir veiksmų įgyvendinimui gali padėti *Lean* ir *6 Sigma* metodikos ir jų siūlomi įrankiai.

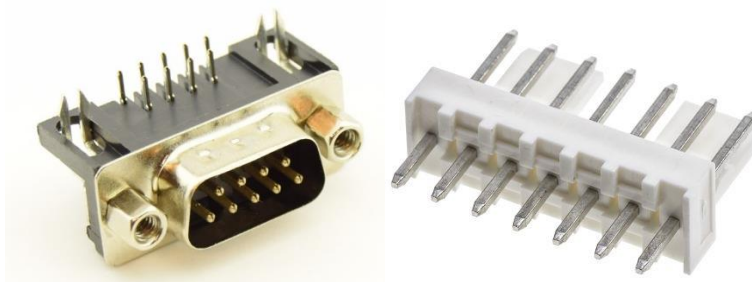
1.4. *Lean* metodika ir jos įrankiai

Lean metodika paremta vertės nekuriančių veiksmų šalinimu ir naudos klientui kūrimu. Gamybos resursų švaistymo identifikavimas ir pašalinimas yra pagrindinis *Lean* filosofijos tikslas. Naudojant šią metodiką galima sumažinti gamybos darbuotojų skaičių, darbo vietos plotą, finansinius resursus ir reikalingų medžiagų kiekį [9]. Daugelis šiuolaikinių gamybos įmonių vadovaujasi *Lean* metodikos principais, siekdamos sumažinti gamybos išlaidas, sutrumpinti gamybos trukmę, padidinti procesų efektyvumą ir kokybę. Šiems rezultatams pasiekti gali būti naudojami papildomi *Lean* metodai, kurie pasirenkami atsižvelgiant į individualią situaciją ir užsibrėžtus tikslus.

1.4.1. *Lean* metodas *Poka-Yoke*

Vienas iš *Lean* sistemos įrankių, kurio tikslas yra visiškai pašalinti defektų atsiradimo riziką, yra *Poka-Yoke*. Jis apibūdinamas kaip „atsparus klaidoms“ įrankis, kurio tikslas – apsaugoti gaminius nuo defektų atsiradimo arba pranešti apie juos ankstyvajame etape [10]. *Poka-Yoke* principą dažnai siekiama pritaikyti rankinio surinkimo operacijose, kuriose vyrauja žmogiškieji veiksniai ir vyrauja didelė komponentų supainiojimo tikimybė. Kai tai leidžia technologinės ir dizaino galimybės, elektronikos poliariškumą turintys komponentai projektuojami taip, kad juos įstatyti į plokštę būtų galima tik vienintele pozicija. Dažniausiai tai būna įvairios jungtys, turinčios nesimetrišką išvadų išdėstymą. Išvadinių komponentų rankiniame surinkime gali būti naudojami unikalūs šablonai, kurie nurodytų komponento poziciją ir fiziškai neleistų jo įstatyti į kitą vietą. Taip pat specialūs šablonai gali būti naudojami ir tikrinant komponentų, dažniausiai jungčių, poliariškumą. Jeigu komponentai įstatyti teisingai, šablonas užsideda ant surinktos plokštės. Jeigu netinkamai – šablonas neužsideda ir taip informuoja, kad surenkant buvo padaryta klaida.

1 paveiksle pavaizduotos dvi skirtingos, poliariškumą turinčios jungtys, naudojamos elektronikos gaminiuose. Kairėje pateikta jungtis, suprojektuota remiantis *Poka-Yoke* principu. Ji turi tik vieną montavimo poziciją. Dešinėje pateikta jungtis, kurios dizainas apsaugo nuo netinkamo atsakomosios jungties prijungimo, tačiau neapsaugo nuo neteisingo montavimo spausdintinėje plokštėje.



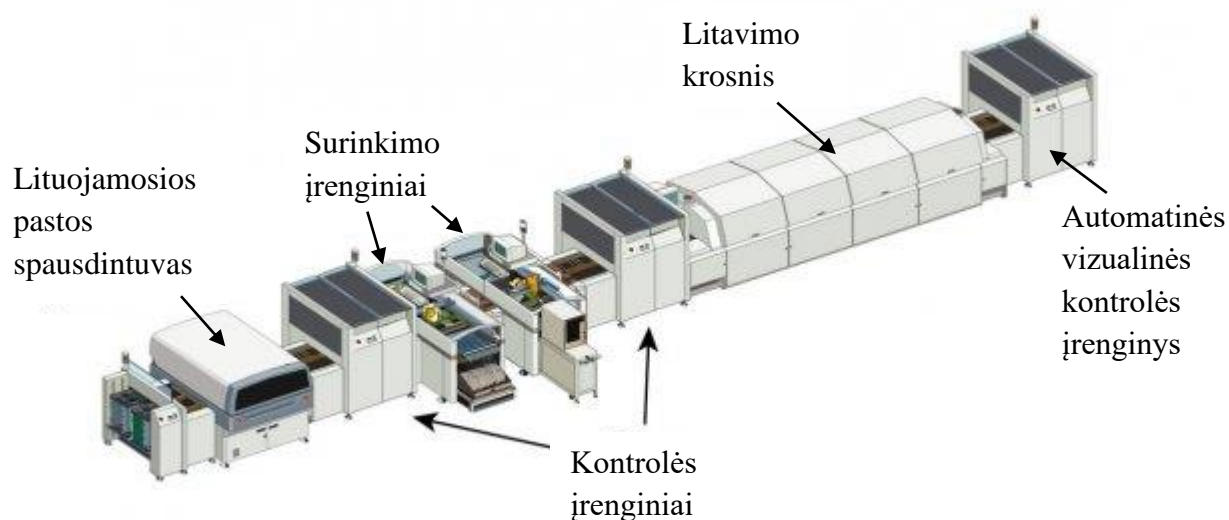
1 pav. Poliariškumą turinčios jungtys [11, 12]

1.4.2. *Lean* metodas *One-piece flow*

Vienas iš gamyboje naudojamų *Lean* metodikos įrankių yra *One-Piece Flow*. Šio įrankio tikslas – sukurti procesų seką, kurioje kiekvienas gaminytis atlikus veiksmus vienoje operacijoje būtų iškart perduodamas į kitą. Toks metodas užtikrina nenutrūkstamą gamybą, palaiko balansą ir užtikrina geresnę produktų kokybę, nes leidžia greičiau pastebėti atsiradusius defektus. Taip pat *One-Piece Flow* principu organizuojant gamybą sumažėja produkcijos inventorius, sukaupiamo tarp operacijų, kiekis ir defektų sukaupti rizika. Sumažėja gaminių transportavimo trukmė ir nereikalingų judesių

kiekis. Pritaikius šį metodą padidėja operacijų efektyvumas ir sutrumpėja bendroji produkto gamybos trukmė. Pastebima, kad *One-Piece Flow* metodu organizuojamuose procesuose lengviau pastebėti gamybos problemas ir galimus patobulinimus [13].

Elektronikos produktų gamyboje *One-Piece Flow* principu suprojektuota linija pateikta 2 paveiksle. Liniją sudaro penkios pagrindinės dalys: lituojamosios pastos spausdintuvas, surinkimo įrenginiai, kontrolės įrenginiai, litavimo krosnis ir automatinės vizualinės kontrolės įrenginys. Spausdintinės plokštės tiekiamos į pastos spausdintuvą, komponentai sudedami į surinkimo įrenginius, o po automatinės vizualinės kontrolės gaunami surinkti gaminiai. Tai vientisa procesų seka, kurioje įdiegti kontrolės etapai leidžia laiku pastebėti defektus ir atlikti korekcinis veiksmus. Analogiškai šį *Lean* įrankį galima pritaikyti rankinio surinkimo operacijose.



2 pav. *One-Piece Flow* principu sukurta SMT surinkimo linija [14]

1.4.3. *Lean* metodas *Ishikawa*

Ishikawa diagrama sukurta 1960 metais profesoriaus Kaoru Ishikawa, kuris buvo kokybės valdymo procesų pradininkas *Kawasaki* laivų statybos įmonėje ir vienas iš moderniosios vadybos kūrėjų. Ši diagrama dar vadinama „žuvies kaulo“ diagrama, dėl savo vizualinio panašumo į žuvies griaučius. Ši diagrama vis dar naudojama daugelyje įmonių identifikuojant problemas, jų priežastis ir planuojant korekcinis veiksmus. Naudojant šį metodą, buvo pasiekta reikšmingų rezultatų kokybės gerinimo srityje. Diagrama sudaroma pildant iš dešinės į kairę ir vykdant šiuos veiksmus [15]:

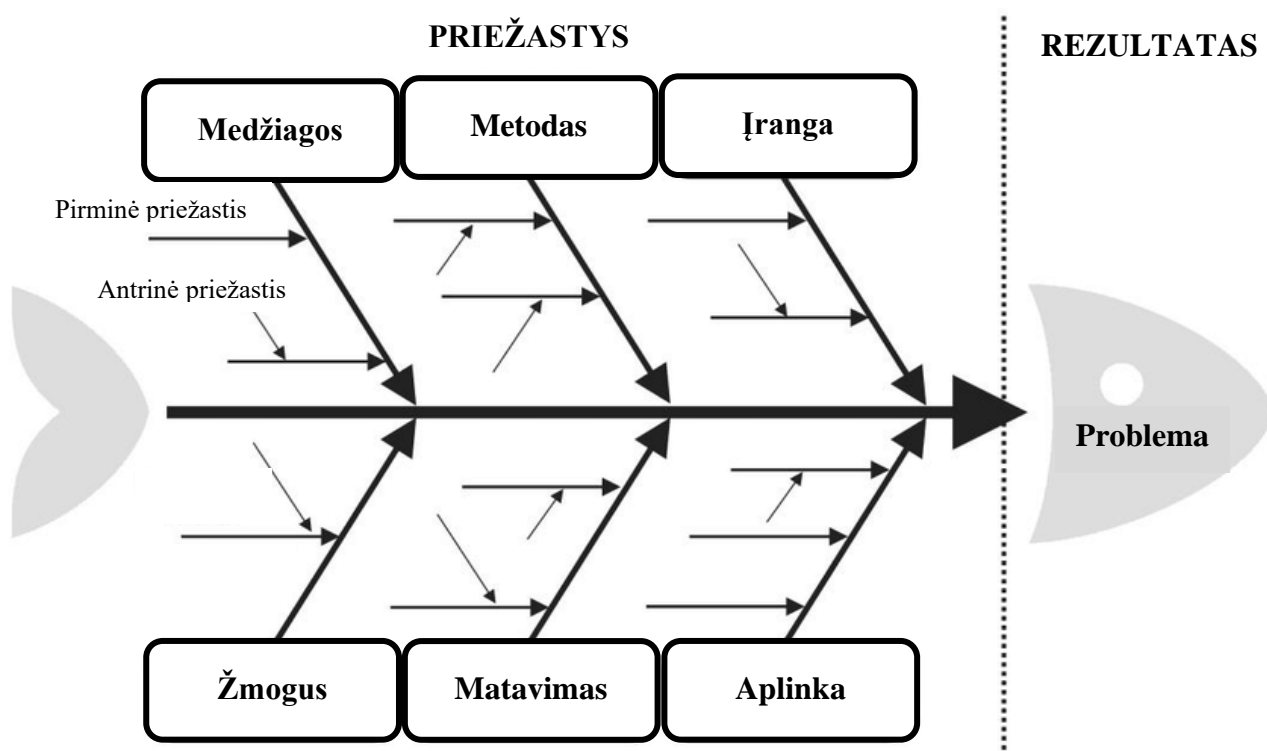
1. Identifikuojama problema.
2. Nustatomi pagrindiniai ją lemiantys veiksniai.
3. Įvardijamos potencialios veiksmų priežastys.
4. Analizuojami rezultatai.

Problemos priežastys sugrupuojamos į atskiras kategorijas, atsižvelgiant į jų atsiradimo šaltinius. Pagrindinės kategorijos [15]:

- Žmogus. Šiai kategorijai gali būti priskiriami visi asmenys, susiję su analizuojamu procesu.

- Metodas. Tai yra proceso atlikimo tvarka ir jo reikalavimai, įskaitant procedūros aprašymą, taisykles ir instrukcijas.
- Įranga. Priskiriama visa įranga ir įrankiai reikalingi procesui atlikti.
- Medžiagos. Tai yra žaliavos ir komponentai, reikalingi gaminiui ir procesui vykdyti.
- Matavimas. Tai yra proceso duomenys, naudojami vertinant kokybės parametrus.
- Aplinka. Prie aplinkos veiksnių priskiriamos darbo sąlygos, pavyzdžiui, vieta, laikas, temperatūra, darbo kultūra.

Ishikawa diagrama (žr. 3 pav.) yra paprastas, tačiau efektyvus grafinis įrankis, kurį naudojant galima išsiaiškinti problemą, jos priežastis ir nustatyti ryšius tarp jų. Šis metodas gali būti naudojamas tyrimo komandos „minčių lietaus“ idėjoms užfiksuoti ir susidaryti bendrą vaizdą apie problemą. Taip pat jis padeda suorganizuoti ir susieti veiksnius, suteikiant priežastinius ryšius. Kita vertus, kartais diagrama gali tapti labai kompleksiška ir apsunkinti priežasčių tyrimą [15].



3 pav. *Ishikawa* diagramos modelis [16]

1.4.4. *Lean* metodas 5 S

Lean sistemos įrankis 5 S yra skirtas paruošti vieningą veiksmų seką, sukuriančią tvarkingą darbo vietą ir padidinančią darbo efektyvumą. Netinkamas ir netvarkingas darbo vietų organizavimas dažnai lemia efektyvumo nuostolius. Pagrindiniai 5 S įgyvendinimo etapai [17]:

- Darbo reikmenų ir įrankių išrūšiavimas, pašalinant perteklių.
- Racionalus reikiamų priemonių išdėstymas.
- Darbo vietos švaros palaikymas.
- Rezultatų registravimui padedančių standartų sukūrimas.
- Nuolatiniai tobulinimai.

Darbo vietos, kurioje buvo įgyvendinta 5 S sistema, pavyzdys pateiktas 4 paveiksle.



4 pav. Darbo vieta prieš (kairėje) ir po (dešinėje) 5 S sistemos įgyvendinimo [18]

1.4.5. *Lean* metodas *Kaizen*

Kaizen yra *Lean* metodikos įrankis, kuriuo siekiama padidinti veiklos konkurencinį pranašumą naudojant nuolatinių tobulinimų strategiją. Tai yra Japonijoje kilusi filosofija, kurioje skatinami smulkūs, tačiau reikšmingi, kasdieniniai patobulinimai. Ji paremta poreikių įvertinimu ir teigiamų pokyčių siekiu. Sėkmingo *Kaizen* metodo įgyvendinimo pamatas yra tinkama komunikacija tarp aukščiausių vadovų ir darbuotojų, aiški bendradarbiavimo strategija, reikiamos vadybos žinios ir darbuotojų įtraukimas į vykdomų procesų gerinimą. Pabrėžiama, kad ilgalaikiai patobulinimai įvykdomi tuomet, kai darbuotojai nuolat ir kryptingai siekia aukščiausių darbo standartų [19].

Kaizen įgyvendinimui gali būti naudojama keturių etapų strategija – „Planuoti-Veikti-Tikrinti-Keisti“. Tai yra uždaras ciklas nuolatiniam tobulėjimui pasiekti. Pirmajame, planavimo, etape įvardijamos tobulintinos arba probleminės vietos ir galimi jų pakeitimai. Šiame etape galima naudoti kitus *Lean* sistemos įrankius, pavyzdžiui, *5 Why* arba *Value Stream Mapping*. Trečiajame ciklo etape patikrinama, ar atlikti patobulinimai suteikė naudos ir išsprendė problemą. Rezultatai užrašomi ir pateikiami gamybos valdybai ir darbuotojams įvertinti. Paskutiniame etape, atsižvelgiant į gautus rezultatus, atliekami pakeitimai. Jeigu pasiekimai yra sėkmingi ir atitinka lūkesčius, svarstoma, ar galima pritaikyti tuos pačius patobulinimus kitiems gaminiams ar procesams [19].

1.4.6. *Lean* metodas *Gemba*

Vienas iš populiariausių *Lean* metodų, naudojamų siekiant išsiaiškinti gamybos problemas, yra *Gemba*. Tai yra procesų stebėjimas ir analizė jų atlikimo vietoje. Dažniausiai yra sudėtinga suprasti gamybos problemas ar efektyvumo nuostolių priežastis, gyvai nepamačius, kas atliekama operacijų metu. Netgi procesus, kurie nesukelia jokių problemų, yra naudinga patikrinti, nes taip galima surasti tobulintinų vietų. Norint pasiekti maksimalų rezultatą, prieš atliekant *Gemba* apžvalgą, svarbu tinkamai pasiruošti. Naudinga suburti komandą iš įvairių įmonės skyrių. Tai padės naujai pažvelgti į stebimus procesus ir iškelti galbūt netikėtus, tačiau reikšmingus klausimus. Prieš einant stebėti procesų nereikėtų turėti jokių išankstinių nuostatų ir įsitikinimų. Stebint operaciją ir joje atliekamus veiksmus, reikia susitelkti į proceso vertinimą, o ne darbuotojus, kurie jį vykdo. Taip pat negalima komentuoti, kritikuoti ar taisyti stebimus veiksmus. Procesas privalo būti atliekamas natūraliai, o visi užfiksuoti galimi patobulinimai aptariami ir inicijuojami po stebėjimo.

Gemba metodas yra itin naudingas įrankis, naudojamas įvairiuose gamybos sektoriuose. Jis padeda vadovams ir kitiems suinteresuotiems asmenims analizuoti darbuotojų produktyvumo nuokrypius, aptikti defektų riziką ir įsigilinti į vykdomus procesus. Atliekant *Gemba* stebėjimą galima ne tik gauti daugiau informacijos apie procesus, tačiau ir pasikalbėti su darbuotojais, išsiaiškinti galimus jų darbo vietų patobulinimus, išklausti pasiūlymus produktyvumui didinti. Pasikalbėjus su darbuotojais galima įvertinti jų stiprybes ir silpnybes. Tai atlikus darbuotoją galima paskirti į jam tinkamiausią poziciją. Taip galima išvengti darbuotojų potencialo švaistymo, pagerinti procesų efektyvumą ir gaminių kokybę. Taip pat darbuotojai įgyja daugiau motyvacijos ir pasijaučia svarbia organizacijos dalimi [8].

1.5. Efektyvumo didinimas naudojant 6 Sigma metodiką

Vienas iš *Lean* metodikoje įvardijamų efektyvumo nuostolių priežasčių yra defektai, kuriems pašalinti reikalingi papildomi resursai. Būtent 6 *Sigma* metodika yra orientuota į kokybės rodiklių gerinimą ir nuokrypio nuo pageidaujamos reikšmės mažinimą. Išsprendus kokybės problemas gali sutrumpėti produktų gamybos ciklo trukmė ir sumažėti finansiniai nuostoliai. Taigi gaminių ir procesų kokybė yra neatsiejama efektyvumo dalis, todėl analizuojant procesus labai svarbu įvertinti ne tik juose atliekamus veiksmus, bet ir jų rezultata.

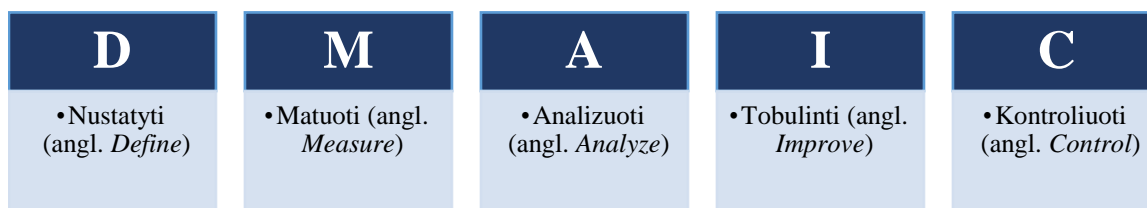
6 *Sigma* metodika dažnai naudojama automobilių gamybos pramonėje, siekiant pagerinti procesų kokybę. 6 *Sigma* taip pat gali būti laikoma verslo ir mokslo strategija, kurios tikslas – sumažinti gamybos ir paslaugų išlaidas, kuriant reikšmingus patobulinimus. Šioje metodikoje derinami statistiniai ir verslo modeliai. 6 *Sigma* metodikoje naudojamas DMAIC įrankis, kuriuo siekiama patobulinti operacijų atlikimą ir sumažinti nuokrypius, kurie lemia defektų atsiradimą. Tokiu būdu pagerėja produktų kokybė ir verslo pranašumas [10].

Sigma yra statistikos sąvoka, žyminti standartinį nuokrypį. Jis nurodo atsitiktinių kintamųjų reikšmių sklaidą apie vidurkį. Sąvoka 6 *Sigma* žymi šešis kartus didesnę standartinio nuokrypio vertę. Kai proceso defektų skaičius yra mažesnis nei 3,4 iš milijono imties, procesas laikomas atitinkančiu 6 *Sigma* lygį. Defektas fiksuojamas kai tikrinamo parametro vertė viršija nurodytas tolerancijos reikšmes [20]. Efektyvumo sumažėjimas taip pat žymi nuokrypį nuo nustatytos reikšmės, todėl tai galima laikyti proceso defektu ir, naudojant 6 *Sigma* metodiką, ieškoti neatitikties priežasčių.

Šiuolaikinėje gamyboje 6 *Sigma* metodika vis labiau populiarėja įvairiuose pramonės sektoriuose. Pastebima, kad ji labiausiai sutelkta į gamybos procesų tobulinimus, kurie padidina įmonių pelningumą. Norint pasiekti 6 *Sigma* lygį, reikalinga išsiaiškinti procesų nuokrypius ir pokyčius, o tada atlikti jų priežasčių ir pasekmių analizę. 6 *Sigma* metodikoje pateikiamas kokybės tobulinimo įrankis DMAIC gali padėti padidinti efektyvumą ir įgalinti greitai reaguoti į iškilusias problemas [20].

1.5.1. 6 Sigma įrankis DMAIC

Vienas iš populiariausių ir dažnai praktikoje naudojamų 6 *Sigma* metodikos įrankių yra DMAIC. Sąvoka DMAIC yra akronimas, kurį sudaro penki metodo projektiniai etapai [21]. Šie etapai yra pateikti 5 paveiksle.



5 pav. DMAIC metodo etapai

DMAIC metodas pradedamas nustatymo etape, kuriame identifikuojama problema, sudaroma projekto komanda, nustatomas tyrimo vykdymo terminas ir iškeliamas projekto tikslas. Matavimo etapas skirtas surinkti informaciją apie gaminius ir procesus, kuriuos planuojama tobulinti. Analizės etape naudojami įvairūs metodai ir įrankiai, siekiant išsiaiškinti problemų priežastis, įvertinti rizikas, iširti surinktus duomenis. Tobulinimo etapo tikslas – panaudoti turimą informaciją ir sukurti veiksmų planą, padėsiantį išspręsti ankstesniuose etapuose įvertintas problemas. Kontrolės etape siekiama įsitikinti, kad tobulinimo etape suplanuoti veiksmai buvo sėkmingai įgyvendinti ir projekto tikslai buvo pasiekti. Taip pat šiame etape nustatomi kontrolės metodai, kuriais bus stebimi procesai ir registruojami nuokrypiai nuo pasiektų reikšmių [20]. Naudojant DMAIC metodą galima greičiau ir lengviau analizuoti sudėtingus procesus ir paprasčiau surasti tobulinimo sprendimus. Ypač svarbu nuosekliai ir tiksliai atlikti DMAIC etapus, o jų vykdymą įtraukti procesų specialistus, gamybos darbuotojus, inžinierius, vadovybę ir netgi administraciją.

1.6. Atliktų tyrimų analizė

6 Sigma ir Lean yra veiksmingos ir praktikoje patikrintos metodikos efektyvumui didinti. Jos pateikia pakankamai universalius įrankius, kuriuos galima pritaikyti įvairiuose pramonės sektoriuose. Svarbu pabrėžti, kad kiekvienas atvejis yra unikalus, todėl ir tinkamiausio metodo pasirinkimas turi būti individualus. Taip pat prieš atliekant analizę ir įgyvendinant veiksmus, būtina tiksliai įvardyti problemą ir iškelti planuojamus tikslus. Priešingu atveju, pritaikyti metodai gali nesuteikti norimo rezultato. Toliau apžvelgiama keletas Lean ir 6 Sigma metodų ir jų įrankių pritaikymo pavyzdžių, kuriuose, įgyvendinus nustatytus veiksmus, pagerėjo procesų efektyvumas ir kokybės rodikliai.

1.6.1. 6 Sigma ir Lean metodikų taikymas mobiliųjų telefonų gamyboje

6 Sigma metodikos įrankis DMAIC buvo pritaikytas atliekant tyrimą [22] mobiliuosius telefonus surenkančioje elektronikos gamybos įmonėje. Tyrime buvo siekiama pašalinti litavimo defektus sukeliančias priežastis ir padidinti operacijos kokybės rodiklius. Pirmajame, nustatymo, etape atlikta klientų atsiliepimų analizė parodė, kad beveik 20 % mobiliųjų telefonų buvo grąžinta dėl funkcinių ekrano ir kameros defektų, kurie atsirado litavimo proceso metu. Siekiant išsiaiškinti defektų priežastis, buvo sudaryta komanda iš skirtingų gamybos ir administracijos skyrių. Iškeltas tikslas sumažinti PPM kokybės rodiklį nuo 3800 iki 1000 pirmajame etape ir iki 200 antrajame etape.

Išmatavimo etape buvo surinkti dvylikos savaitių ir trijų pamainų litavimo defektų PPM rodiklio duomenys. Gaminų PPM rodiklis svyravo nuo 402 iki 565 per savaitę. Surinkus statistinius duomenis, pradėtas analizės etapas, kurio metu tyrimo komandos nariai panaudojo Gemba įrankį ir atliko procesų stebėjimą jų vykdymo vietose. Naudojant Ishikawa diagramą, identifiкуotos problemos buvo suskirstytos į keturias kategorijas: įranga, metodas, žmogus, medžiaga.

Nustačius defektų priežastis ir suskirsčius jas į atitinkamas kategorijas, inicijuojamas tobulinimo etapas, kuriame paruošiamas dviejų dalių veiksmų planas. Atlikus pirmąją veiksmų dalį, defektų skaičius per pusę metų sumažėjo nuo 3800 iki 1183. Įvykdžius antrosios dalies veiksmus, defektų kiekis per metus sumažėjo iki 203. Paskutiniame, kontrolės, etape buvo nuspręsta periodiškai vykdyti operacijų stebėjimus ir įsitikinti, kad patobulinimai yra įvykdyti, o pakeitimų laikomasi. Taip pat buvo suorganizuota litavimo mokymų programa, kurioje pristatomos litavimo technologijos ir tinkami jų įgyvendinimo metodai [22].

Apibendrinant atliktą tyrimą [22], pastebėta, kad panaudojus DMAIC įrankį sumažėjo ne tik defektų skaičius, bet ir gamybos trukmė, kurią pailgindavo gaminių remontas. Atitinkamai sumažėjo ir gražinamų produktų remonto ir administravimo išlaidos. Taigi panaudojus 6 *Sigma* metodiką, pagerėjo kokybės ir efektyvumo rodikliai, o įmonė pasiekė didesnę pelną. Tai pavyko įgyvendinti be didelių finansinių investicijų – įrangos tobulinimo ar procesų automatizavimo.

1.6.2. 6 Sigma ir Lean metodikų automobilių dalių gamyboje

Efektyvumo didinimo projektas buvo įgyvendintas Portugalijos automobilių dalių gamybos įmonėje FICOSA. Projekto tikslas – išanalizuoti vieną pasirinktą surinkimo liniją, pašalinti joje vyraujančias efektyvumo nuostolių priežastis, pertvarkyti operatorių pasiskirstymą darbo centruose ir pasiekti nustatytą efektyvumo lygį. Tyrimo metu buvo pritaikytas 6 *Sigma* metodas DMAIC [23].

Pirmajame DMAIC etape buvo išanalizuotos surinkimo linijos, turinčios didžiausią efektyvumo nuostolių lygį. Problemoms išskirti buvo panaudota projekto komandos ir gamybos skyriaus „minčių lietaus“ strategija. Siekiant nustatyti, kurią surinkimo liniją tobulinti, buvo įvertinti du pagrindiniai įmonėje naudojami KPI rodikliai – OEE ir DLD. Pastarasis rodiklis žymi skirtumą tarp realiai dirbančių operatorių skaičiaus ir teoriškai reikalingų operatorių skaičiaus, kuris reikalingas pagaminti nustatytą kiekį gaminių. Teorinis operatorius skaičius apskaičiuojamas remiantis nustatytu kiekvienos linijos valandiniu produktyvumu PPH. Taigi surinkimo linijos buvo vertinamos pagal šiuos veiksnius [23]:

- OEE rodiklis pasiekia tikslą, tačiau linijoje dirba didesnis skaičius operatorių.
- OEE rodiklis pasiekia tikslą, tačiau linija turi našumo problemų.
- Remiantis ankstesniais duomenimis, linija turi didžiausią potencialą.

Pagal minėtus kriterijus buvo išskirtos trys surinkimo linijos. Tyrimo metu buvo palygintas kiekvienoje iš jų dirbančių operatorių skaičiaus vidurkis, OEE rodiklis ir efektyvumas, įvertinant teorinį operatorių skaičių. Išanalizavus duomenis, buvo pasirinkta surinkimo linija *PAS Travão*, nes joje dirba daugiau operatorių nei nustatyta. Priklausomai nuo produkto, linijoje dirba penki arba šeši darbuotojai [23].

Matavimo etape buvo įvertinta pasirinktos linijos informacija ir rodikliai. Ši informacija leido komandoms nariams sutelkti dėmesį į konkrečias sritis bei pasiekti geresnius rezultatus. Analizuojamus duomenis sudarė [23]:

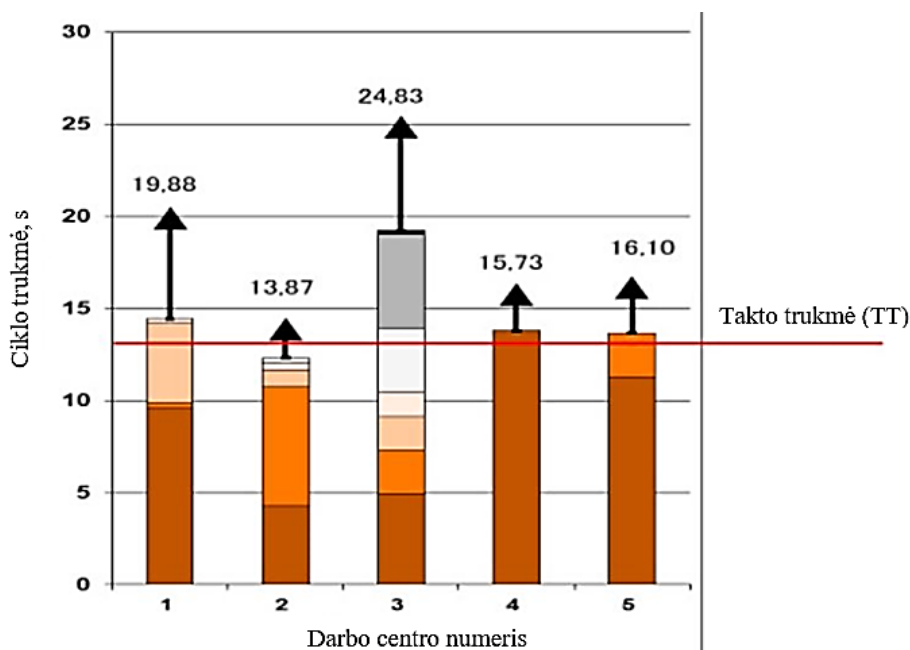
- OEE rodiklis ir jo dedamosios (kokybė, našumas, veikimas).
- Pasiruošimų skaičius ir trukmė.
- Ciklo laikas ir produktyvumas.

Tyrimo metu buvo nustatyta, kad 2018 metų savaitinis OEE rodiklio vidurkis siekia 66,8 %, o jo vertės svyruoja nuo 60 % iki 75 %. Tai yra mažiau nei įmonės nustatytas tikslas – 85 %. Vidutinė linijos pasiruošimo trukmė yra 40 minučių, o reikalingas pasiruošimų skaičius yra keturi. Išmatuotas linijos produktyvumas vidutiniškai siekia 187 vienetus per valandą, o apskaičiuota gaminio ciklo trukmė yra 19,2 s [23].

Analizės etape surinkimo linija buvo tiriama ją išskaidžius į darbo centrus ir juose atliekamas operacijas. Buvo atlikti du pagrindiniai žingsniai [23]:

1. Išmatuota atskirų surinkimo linijos darbo zonų operacijų trukmė. Nustatyta, kiek kiekvienas operatorius praleidžia laiko, dirbdamas įprastu tempu ir be specialių aplinkybių susidarymo. Visos operacijos buvo atidžiai stebimos ir fiksuojamos, siekiant išsiaiškinti efektyvumo nuostolių priežastis. Šis matavimas leido susidaryti bendrą vaizdą ir paruošti potencialių tobulintinų vietų sąrašą.
2. Kiekvienoje darbo zonoje atliktas palyginimas tarp realios ciklo trukmės ir takto trukmės, kuri nurodo intervalą, per kurį kiekvienas produktas privalo būti pagamintas, norinti išpildyti kliento poreikį. Taip pat atlikta linijos balanso vizualizacija leido pamatyti, kad tam tikros darbo zonos dirba daug greičiau arba daug lėčiau nei kitos. Tai sukelia produkcijos perviršį ir laukimą tarp skirtingų darbo centrų.

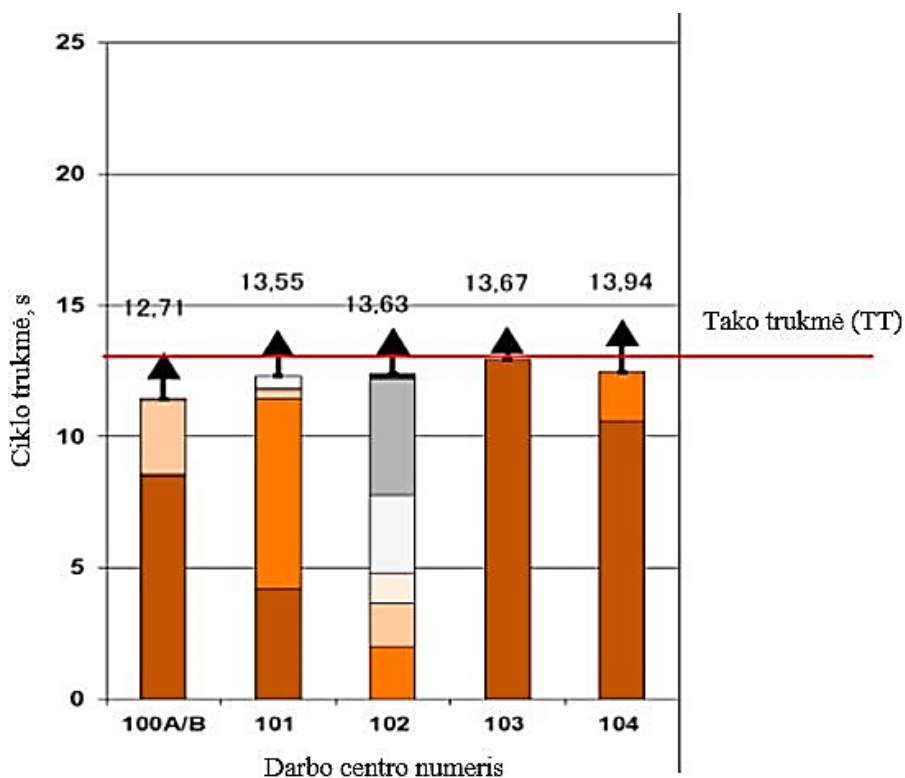
Atsižvelgiant į tai, kad savaitinis kliento poreikis yra 21300 gaminių, o surinkimo linija dirba dviem pamainomis po 8 valandas per dieną, apskaičiuota takto trukmė yra 13,1 s. Tai reiškia, kad linija turi pagaminti vieną gaminį per 13,1 s. Iš surinktų duomenų matoma, kad visų darbo centrų, išskyrus antrąjį, ciklo trukmė viršija takto trukmę. Proceso siaurymė susidaro trečiojoje linijoje, kurioje ciklo trukmė ilgiausia. Linijos balanso grafike (žr. 6 pav.) matoma, kad pirmasis, trečiasis, ketvirtasis ir penktasis darbo centrai turi būti patobulinti, siekiant suvienodinti ciklo trukmę ir ją sumažinti iki takto trukmės. Taip pat pastebėta, kad pirmojo ir trečiojo darbo centrų ciklo trukmė svyruoja dėl perteklinių judesių ir komponentų transportavimo [23].



6 pav. Surinkimo linijos darbo centrų balanso grafikas [23]

Tobulinimo etape gaminio ciklo trukmę išskaidžius tarp skirtingų darbo centrų, buvo identifikuotos kiekvieno darbo centro efektyvumo nuostolių priežastys. Kiekvienai iš jų numatytas korekcinis veiksmas. Šių priežasčių nustatymas ir atsakomųjų tobulinimo veiksmų įgyvendinimas leido perorganizuoti operacijų darbo centrus ir subalansuoti surinkimo liniją. Taip pat sutrumpėjo ciklo trukmė ir padidėjo produktyvumo lygis. Šis rezultatas buvo pasiektas pertvarkant liniją pagal 5 S metodiką, sutrumpinant atstumus tarp darbo centrų, perorganizuojant medžiagų ir komponentų tiekimą, nustatant tikslų operatorių skaičių ir įgyvendinant individualius procesų patobulinimus [23].

Kontrolės etape buvo patikrinti įgyvendinti veiksmai ir išmatuotos naujosios operacijų ciklų trukmės. Atliekant šį patikrinimą, buvo išsiaiškinta, ar atlikti veiksmai išsprendė efektyvumo nuostolių problemą, padidino produktyvumą ir OEE rodiklio reikšmę. Naujame linijos balanso grafike (žr. 7 pav.) matoma, kad visų operacijų trukmės yra mažesnės nei takto trukmė, todėl kliento poreikis yra išpildomas. Taip pat pastebima, kad atskirų darbo centrų ciklo trukmė susilygino. Dėl to sumažėjo laukimo laikas ir inventorius kiekis tarp operacijų [23].



7 pav. Surinkimo linijos darbo centrų balanso grafikas po patobulinimų [23]

Atlikus tyrimą [23] ir įgyvendinus tobulinimo veiksmų planą, kiekvieno surinkimo linijos darbo centro ciklo trukmė buvo mažesnė nei takto trukmė, todėl kliento poreikis buvo išpildomas. Pavyko padidinti produktyvumo lygį nuo 187 iki 225 gaminių per valandą. Efektyvumo rodiklis pakilo nuo 65 % iki 80 %. Subalansavus operacijų trukmę, linijos balanso rodiklis pakilo nuo 85 % iki 93 %. Atlikus patobulinimus sutrumpėjo ir pasirošimo trukmė nuo 40 min iki 28 min. Galiausiai, panaudojus 5 S metodą, procesų audito rezultatas padidėjo nuo 28 % iki 92 %.

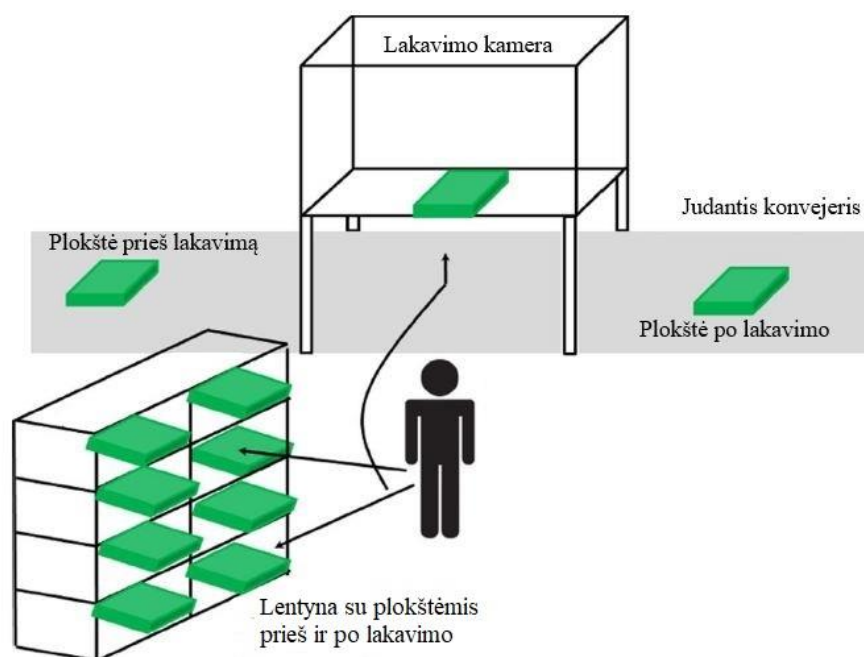
Atliktas tyrimas parodė, kaip tikslingai ir efektyviai galima pritaikyti DMAIC įrankį procesų tyrimui ir tobulinimui. Taip pat projekto metu buvo įvertinta operacijų balanso įtaka visos linijos efektyvumui ir gaminio ciklo trukmei. Aptiktos *Lean* metodikoje nurodomos efektyvumo nuostolių priežastys –

judėsiai ir transportavimas. Šie veiksniai pašalinti naudojant 5 S metodą ir individualius procesų pertvarkymus. Pastebima, kad šią tyrimo metodiką galima taikyti ir kitose operacijose įvairiuose pramonės sektoriuose.

1.6.3. Lean metodikos taikymas elektronikos gamyboje

Lean metodika pritaikyta atliekant tyrimą [24] elektronikos gamybos įmonėje, kurioje buvo siekiama padidinti lakavimo operacijos efektyvumą. Tai yra vienas iš pagrindinių procesų elektronikos gamyboje, kurio metu surinktos plokštės padengiamos laku. Jis apsaugo elektronikos komponentus ir plokštę nuo trumpo jungimo ir neigiamo aplinkos poveikio. Šios operacijos ciklo trukmė buvo išmatuota nuo gaminio paėmimo iki gaminio uždėjimo ant konvejerio po lakavimo ir kaitinimo procesų. Šioje operacijoje ilgiausias procesas yra lakavimas, kuriam reikalingi keturi operatoriai 60 s ciklui pasiekti. Procesui skirtas bendras laikas yra 240 s, tačiau tik 190 s sudaro vertę kuriantys veiksmai. 50 s reikalinga operatorių judėjimams – gaminio paėmimui iš lentynos prieš lakavimą ir padėjimui po lakavimo.

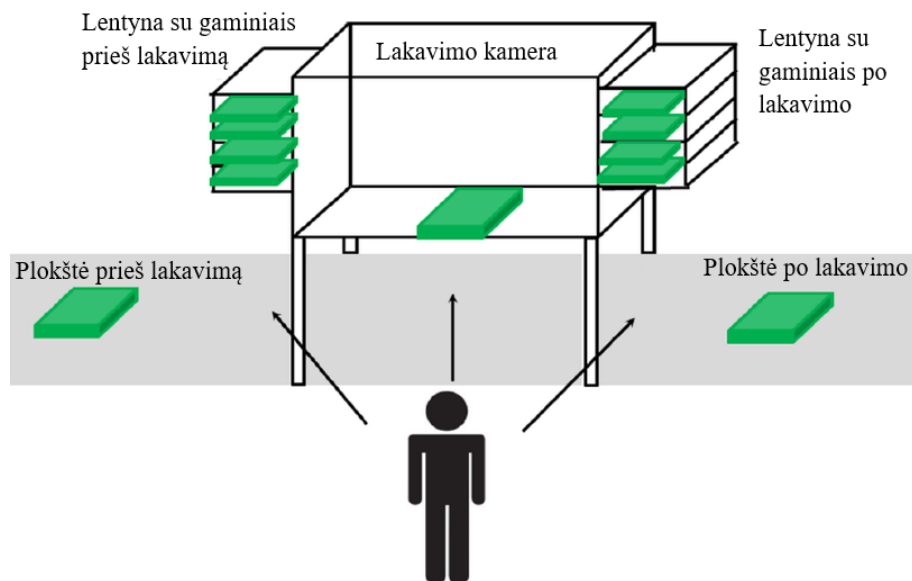
Atlikus *Gemba* stebėjimą buvo nustatyta, kad paimdamas kiekvieną gaminį operatorius turi pasilenkti nuo 90° iki 145° kampų. Plokštės laikomos laukimo lentynoje šalia konvejerio, kairėje operatoriaus pusėje. Pirmiausia, operatorius turi paimti plokštę, nulakuoti apatinę jos pusę ir padėti ją atgal į lentyną išdžiūti. Kai plokštė išdžiūsta, darbuotojas padeda ją atgal ant konvejerio. Pastebėta, kad darbo vieta yra neergonomiški, o pakartotiniai judesiai sukelia nuovargį, kuris gali lemti efektyvumo nuostolius ir defektus [24]. Darbo zonos išdėstymas pateiktas 8 paveiksle.



8 pav. Lakavimo procesas prieš įgyvendinant patobulimus [24]

Siekiant sumažinti gaminio ciklo trukmę ir pašalinti vertės nekuriančius veiksmus, buvo atliktas *Kaizen* patobulinimas ir darbo vieta pertvarkyta pagal 5 S reikalavimus. Pirmiausia, gaminių lentynos buvo perkeltos ir pritvirtintos prie lakavimo kameros. Parinkus tinkamą lentynų aukštį operatoriui neberekėjo susilenkti paimant ir padedant gaminius. Taip pat sumažėjo reikalingas pasisukimo kampas. Atlikdamas lakavimo operaciją, darbuotojas pasisuka į kairę maždaug 20° kampą, paima

gaminį, lakavimo kameroje jį nulakuoja ir įdeda į dešinėje įrengtą lentyną. Kai gaminys išdžiūsta, jis padedamas ant konvejerio, kuris transportuoja į kitus procesus [24]. Atnaujintos darbo zonos planas pateiktas 9 paveiksle.



9 pav. Lakavimo procesas po darbo vietos pertvarkymo [24]

Tyrimo [24] metu buvo atliktas elektronikos lakavimo operacijos stebėjimas ir vertinimas. Nustačius vertės nekurančius veiksnius, buvo pakeistas darbo zonos išdėstymas ir atnaujinta proceso veiksmų seka. Atlikus šiuos pakeitimus ir sumažinus nereikalingų judesių trukmę, operacijos produktyvumas padidėjo 1000 vienetų per mėnesį. Gaminio ciklo trukmė sutrumpėjo nuo 50 s iki 60, t. y. 16,7 %. Taip pat pagerėjo darbo vietos ergonominiai rodikliai, nes operatoriui nebereikia pasilenkti ir pasisukti dideliu kampų. Pritaikius *Lean* filosofiją ir jos metodus, operacijos efektyvumas padidėjo be didelių investicijų ir procesų automatizavimo. Tai parodo, kad *Lean* metodika yra naudingas ir efektyvus įrankis analizuojant efektyvumo nuostolius ir tobulinant įvairius gamybos procesus.

2. Eksperimentinė dalis

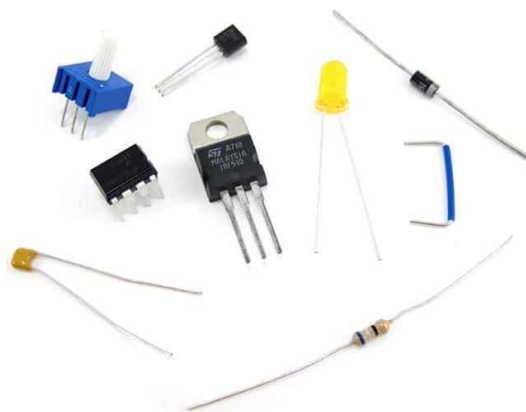
2.1. Analizuojamos operacijos

Tobulėjant technologijoms daugelį gamybos procesų siekiama automatizuoti ir taip paspartinti gamybos procesus. Tokiu būdu pašalinamas arba sumažinamas žmogaus įsitraukimas ir žmogiškosios klaidos rizika. Vis dėlto, daugelis procesų išlieka rankiniai. Tai lemia procesų specifika, ekonominės priežastys, gaminio ir surenkamų komponentų dizainas. Būtent dėl šių priežasčių tam tikros elektronikos gamybos operacijos vis dar atliekamos rankiniu būdu.

Tyrimui ir efektyvumo didinimui pasirinktos penkios rankinės operacijos – rankinis surinkimas, rankinis litavimas, išskyrimas iš ruošinio, kokybės kontrolė ir elektromechaninis surinkimas. Būtent šios operacijos pasirinktoje įmonėje sudaro reikšmingą efektyvumo nuostolių dalį ir privalo būti tobulinamos. Prieš pradėdant konkrečių gaminių tyrimą ir efektyvumo nuostolių analizę, pirmiausia, reikalinga apžvelgti šiose operacijose atliekamus pagrindinius veiksmus ir jų trukmę lemiančius veiksniai.

2.1.1. Rankinis surinkimas

Elektronikos gaminiuose viena iš pagrindinių komponentų grupių yra išvadiniai komponentai (angl. *Through Hole Devices*). Jie turi išvadus (žr. 10 pav.), kurie surinkimo metu įstatomi į spausdintinėje plokštėje išgręžtas metalizuotas skylės ir prilituojami, tiekiant skystą lydmetali kitoje, litavimo, pusėje.

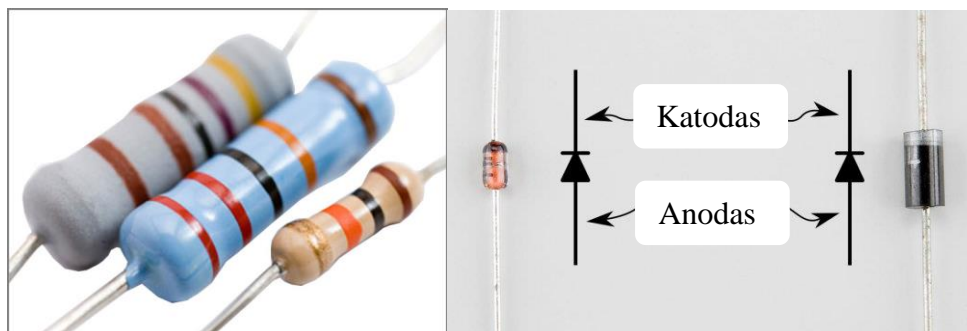


10 pav. THT komponentų pavyzdžiai [25]

Rankinis komponentų surinkimas dažniausiai yra greitas, paprastas procesas, nereikalaujantis aukštos kvalifikacijos darbuotojų. Pagrindiniai išskiriami šio proceso trūkumai – didelė klaidos tikimybė ir netolygi surinkimo ciklo trukmė, kurią lemia žmogiškieji veiksniai. Atliekant šią operaciją, pirmiausia, komponentai paimami iš atskirų sukomplektuotų skyrių, kurie paruošiami ankstesnėje operacijoje. Kiekvienas skyrius turi unikalų identifikacinį numerį, pagal kurį operatorius pasirenka reikiamą komponentą. Tuomet, vadovaudamasis surinkimo brėžiniu ir instrukcijomis, darbuotojas įstato komponentą į reikiamą poziciją. Priklausomai nuo reikalavimų, komponentai gali būti papildomai tvirtinami arba fiksuojami.

THT komponentai gali būti skirstomi į turinčius ir neturinčius poliariškumą (žr. 11 pav.). Tokie komponentai kaip elektrolitiniai kondensatoriai, šviesos diodai ar tam tikros jungtys turi poliariškumą ir privalo būti surinkti tiksliai, nesumaišant komponento krypties. Kai kurių komponentų išvadų

išdėstymas yra nesimetriškas ir užtikrina, kad komponentas nebus įstatytas netinkamai. Kitų komponentų išvadai yra simetriški, todėl gali būti įstatyti ir netinkama kryptimi. Siekiant to išvengti, poliariškumas žymimas ant pačių komponentų, spausdintinės plokštės šilko grafijoje, surinkimo brėžiniuose ir instrukcijose. Kiti komponentai, pavyzdžiui, varžos, ritės, feritai, keraminiai kondensatoriai, poliariškumo neturi, todėl jų surinkimas dažnai yra paprastesnis.



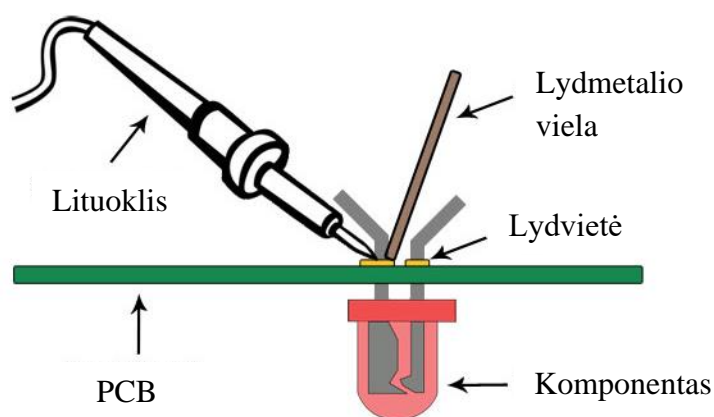
11 pav. Komponentų poliariškumo pavyzdys: kairėje – poliariškumo neturintys komponentai – varžos [26]; dešinėje – poliariškumą turintys komponentai – diodai [27]

Poliariškumo sumaišymas gali lemti lengvas arba sunkias pasekmes. Prie lengvųjų pasekmių galima priskirti tai, kad gaminys nesurenkamas, neprijungiamas, tinkamai nefunkcionuoja. Prie sunkių pasekmių priskiriami sudegę komponentai, pažeista spausdintinė plokštė, žmogaus gyvybei ar aplinkai pavojų keliantys funkciniai sutrikimai. Siekiant išvengti tokių pasekmių, surinktos plokštės tikrinamos įvairiais elektriniais ir funkciniais testais, automatinės optinės inspekcijos įrenginiais arba vizualinės kontrolės metu.

2.1.2. Rankinis litavimas

Rankinio litavimo operacija naudojama tuomet, kai dėl technologinių reikalavimų arba gaminio dizaino specifikos negalima naudoti automatizuotų litavimo technologijų. Taip pat šioje operacijoje gali būti atliekama sulituotų gaminių kontrolė, kurios metu patikrinama litavimo kokybė ir ištaisomos litavimo klaidos. Dažnai rankinio litavimo operacijoje atliekami ir smulkūs papildomi veiksmai – klijuojami lipdukai, įstatomi trumpikliai arba saugikliai.

Komponentus lituojant rankiniu būdu, pirmiausia, reikalinga juos teisingai įstatyti. Labai svarbu užtikrinti teisingą komponentų poliariškumą ir neviršyti leistino komponento pakilimo nuo plokštės. Litavimo procesas taip pat reikalauja technologinių žinių ir praktinių litavimo įgūdžių. Vieni iš svarbiausių kontroliuojamų proceso parametrų yra: litavimo temperatūra, litavimo trukmė, lituoklio galiuko dydis ir litavimo kampas. Prieš pradėdant naujo produkto gamybą, kurioje atliekama rankinio litavimo operacija, litavimo parametrai parenkami atsižvelgiant į gaminio technologinius ir dizaino reikalavimus. Komponentas įstatomas vienoje plokštės pusėje, o jo išvadai lituojami kitoje pusėje, naudojant įkaitusį lituoklį ir tiekiant lydmetaliu vielą (žr. 12 pav.).

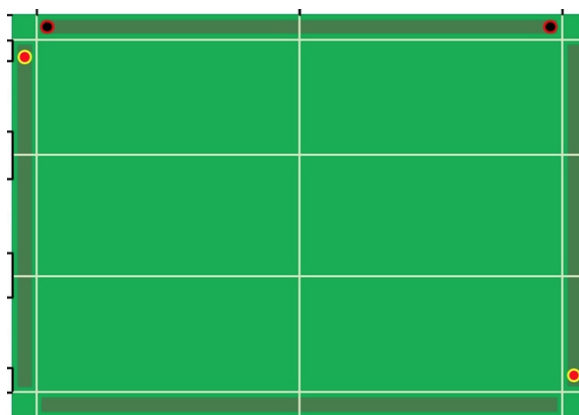


12 pav. Rankinio litavimo pavyzdys [28]

Siekiant komponento montavimo ir litavimo procesą padaryti ergonomišku, lengvesniu ir patogesniu, operacijos metu gali būti naudojami plokščių ir komponentų prilaikymo įtaisai. Juose gaminiai patikimai įsistato, todėl operatorius gali patogiau ir greičiau atlikti litavimo darbus. Pagalbinių įtaisų naudojimo būtinybę taip pat gali nulemti gaminio dizaino specifika – gaminio dydis, lituojamų komponentų dydis ir išdėstymas.

2.1.3. PCB išskyrimas iš ruošinio

Siekiant paspartinti gamybos procesus ir pritaikyti plokštes prie įrangos keliamų technologinių reikalavimų, projektuojami ruošiniai (žr. 13 pav.), kuriose plokštės sujungiamos atitinkamai parinktais metodais. Toks projektavimas leidžia ne tik greičiau surinkti ir prilituoti kelias plokštes vienu metu, tačiau ir suteikia galimybę pagaminti mažas ir įvairių formų plokštes, kurių pavienių surinkti linijoje nepavyktų. Taip pat tokiu būdu ruošinyje sukuriamos technologinės juostelės, kurios suteikia daugiau standumo ir leidžia saugiai transportuoti plokštes gamybos linijų konvejeriais.

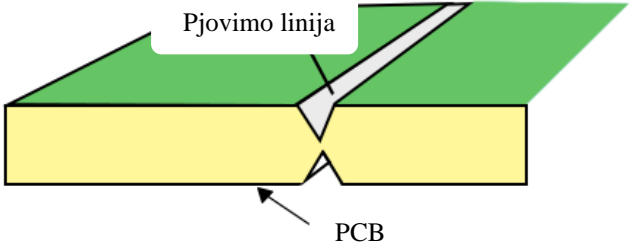
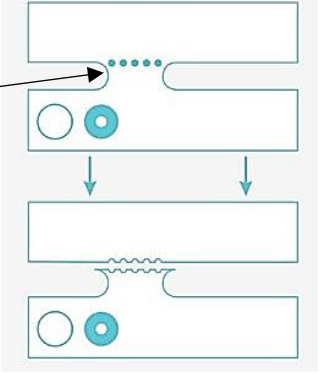
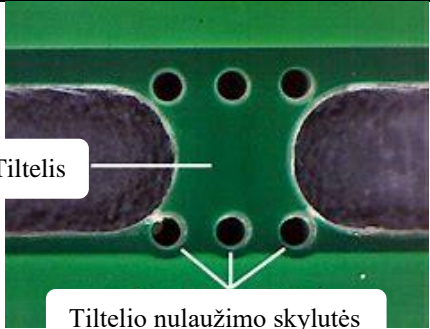
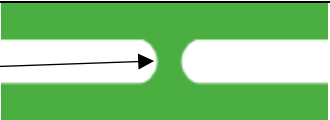


13 pav. Ruošiny su spausdintinėmis plokštėmis [29]

Pagrindiniai projektavimo ruošinyje metodai pateikti 1 lentelėje. Įpjova *v-cut* naudojama projektuojant ruošinyje plokštes, kurių kraštinės yra lygios, be išsikišimų arba iš plokštės ribų išlendančių komponentų. Toks metodas yra greitas, paprastas ir efektyvus. Išskyrimo linijos sudaromos 30° kampu įpjauant plokštes iš abiejų pusių. Plokštės su įpjova *v-cut* išskiriamos iš ruošinio naudojant rankinį diskinį pjaustiklį arba išilginį peilį. Naudojant diskinį pjaustiklį, pjovimo vietoje atsiranda koncentruoti įtempiai, kurie gali pažeisti plokštės kraštuose prilituotus paviršinio

montažo komponentus. Saugesnis, tačiau sudėtingesnis ir lėtesnis būdas, yra naudoti išilginį peilį. Išskiriant ruošinį šiuo įrankiu, išskyrimo vietoje mechaniniai įtempiai pasiskirsto tolygiai, todėl sumažėja komponentų pažeidimo rizika.

1 lentelė. Dažniausiai naudojami PCB tvirtinimo ruošinyje metodai

Įpjova <i>v-cut</i> [30]	
Nulaužiami tilteliai [31]	
Nukerpami tilteliai [32]	
Frezuojami tilteliai [33]	

Kitas išskyrimo iš ruošinio metodas – nulaužiami tilteliai. Tokie tilteliai sujungimo su plokšte vietoje turi skylutes (angl. *Mouse Bites*), kurios skirtos susilpninti lūžio vietą ir užfiksuoti laužimo liniją. Nulaužiamas tiltelis lieka kartu su ruošinio technologinėmis juostelėmis. Laužiama dažniausiai rankomis arba replėmis, laikant už nulaužiamo ruošinio krašto. Nors toks metodas yra paprastas ir greitas, laužiant tiltelį susidaro įtempiai, kurie gali pažeisti komponentus, ir lieka nelygios nulaužimo vietos.

Nukerpami tilteliai yra panašūs į nulaužiamus, tačiau turi silpninančias skylutes abiejose tiltelio pusėse. Projektuojant ruošinį šiuo metodu, galima sujungti vieną plokštę su kita, nes išskyrimo metu tiltelis yra visiškai pašalinamas. Nulaužimui naudojama speciali įranga, kurios antgalis turi dvi

atramas, iš apačios prilaikančias plokštę, ir vieną judančią svirtį, kuri užkabina tiltelį iš viršaus ir nutraukia jį į apačią. Tokiu būdu gaunami mažesni įtempiai, nes antgalio atramos sumažina plokštės deformacijas nulaužimo vietoje. Nulaužiamus tiltelius galima naudoti, kai tai leidžia plokštės dizainas, o jų projektavimo vietoje nėra komponentų ir nėra rizikos atsirasti komponentų mechaniniams pažeidimams. Taip pat toks išskyrimas iš ruošinio trunka ilgiau, reikalauja tikslumo ir atidumo.

Dar vienas dažnai naudojamas plokščių sujungimo ruošinyje būdas – frezuojami tilteliai. Tai vienas universaliausių metodų, kuris gali būti naudojamas sujungiant įvairios formos ir dizaino plokštes. Frezuojamos gali būti ir tiesios, ir kreivų linijų plokštės. Išskiriant iš ruošinio šiuo būdu susidaro mažiausiai įtempiai, todėl šalia sumontuoti komponentai yra saugūs nuo deformacijų išskyrimo vietose. Šis metodas yra greitas ir saugus, tačiau reikalauja specializuotos įrangos, kuriai reikalingas techninis paruošimas ir priežiūra. Darbuotojai, dirbantys su šia įranga, taip pat privalo būti išmokyti ir tiksliai vykdyti technologinio proceso keliamus reikalavimus. Taip pat išskyrimo iš ruošinio metu atsiranda dulkių, kurios privalo būti pašalinamos nusiurbiant arba nupučiant.

2.1.4. Kokybės kontrolė

Kokybės kontrolės operacijoje patikrinama, ar gaminiai neturi ankstesnėse operacijose padarytų defektų ir atitinka keliamus reikalavimus. Ši operacija gaminiui nesukuria realios pridėtinės vertės, tačiau yra būtina siekiant išvengti problemų tolimesniuose procesuose. Dažniausiai kokybės kontrolė yra viena iš paskutiniųjų gaminio technologinio kelio operacijų, po kurios atliekamas gaminių pakavimas arba galutinis elektromechaninis surinkimas. Patikrinimas atliekamas vadovaujantis IPC-610 elektronikos gaminių surinkimo priimtino standartu ir papildomais gaminių reikalavimais, jei tokių yra. Pagrindiniai kokybės kontrolėje tikrinami parametrai:

1. Mechaniniai plokštės ir komponentų pažeidimai, atsirandantys po išskyrimo iš ruošinio arba transportavimo tarp operacijų metu.
2. Išvadinių komponentų montavimas ir litavimo defektai.
3. Užklijuoti lipdukai ir jų informacija.

2.1.5. Elektromechaninis surinkimas

Elektromechaninio (toliau EM) surinkimo operacijoje elektronikos plokštės surenkamos su mechaninėmis detalėmis (žr. 14 pav.), tokiu būdu sukuriant pusgaminius arba galutinį produktą. Šioje operacijoje taip pat gali būti atliekamas mechaninių detalių kokybės vertinimas, lipdukų klijavimas, kabelių prijungimas, detalių komplektavimas ir pakavimas.



14 pav. Elektromechaninis gaminy [34]

EM surinkimo operacijos eiga pateikiama gaminio surinkimo instrukcijoje. Joje taip pat pateikiamas reikalingų įrankių sąrašas ir jų parametrai. Kiekvienam varžtui turi būti nustatytas sukimo momentas ir atitinkamai pagal jį sukalibruojami įrankiai. Surenkant taip pat gali būti nurodyti kontroliuojami surinkimo matmenys, t. y. atstumai arba aukščiai, kurie privalo atitikti nurodytą reikšmę, nes priešingu atveju gaminio gali nepavykti surinkti tolimesniuose operacijos etapuose. Siekiant išvengti papildomo gaminio perrinkimo, nustatytų detalių paviršių kokybė gali būti tikrinama dar prieš surinkimą.

2.2. Rankinių operacijų trukmės veiksniai

Analizuojamos rankinės operacijos atliekamos skirtingų darbuotojų, todėl žmogiškieji veiksniai, lemiantys operacijų trukmę, yra neišvengiami. Juos galima išskaidyti į tiesiogiai ir netiesiogiai lemiančius operacijų trukmę. Tiesioginiai veiksniai yra darbuotojo išsilavinimas ir praktiniai įgūdžiai. Netiesioginiams galima priskirti žmogaus charakterį, savijautą, motyvaciją ir nusiteikimą dirbti. Būtent dėl šių veiksnių operacijų trukmė gali kisti net ir vykdant tuos pačius nustatytus veiksmus.

Ypač didelę reikšmę žmogiškieji veiksniai turi elektromechaninio surinkimo operacijos trukmei. Ši operacija išsiskiria tuo, kad dažnai sudėtingiems ir kompleksiškiems veiksams atlikti reikalingas aukštesnis darbuotojo kvalifikacijos lygis ir praktiniai įgūdžiai. Kuo operatorius greičiau atsimena proceso eigą ir joje reikalingus atlikti veiksmus, tuo greičiau ir tiksliau surenkamas gaminys. Tačiau šioje vietoje pastebima dar viena tendencija – darbuotojui surenkant, lituojant ar tikrinant ilgą laiką tą patį gaminį, sumažėja dėmesio sutelkimas, motyvacija ir pailgėja gaminio ciklo laikas. Be šių žmogiškųjų veiksnių operacijų trukmę lemia ir kiekvienai atskirai operacijai priklausantys darbo trukmės parametrai.

2.2.1. Rankinio surinkimo, litavimo ir kokybės kontrolės trukmės veiksniai

Vienas iš pagrindinių parametru, lemiančių rankinio surinkimo, litavimo ir kokybės kontrolės operacijų trukmę, yra **komponentų skaičius**. Kuo didesnis komponentų kiekis, tuo ilgiau užtruks surinkimo ir litavimo procesas. Atitinkamai pailgėja ir kokybės kontrolės operacijos trukmė, nes reikalinga patikrinti daugiau komponentų. Taip pat komponentų kiekis tiesiogiai lemia žmogiškosios klaidos ir defektų riziką. Atlikdamas šias rankines operacijas, darbuotojas lengviau įsimena proceso veiksmus, kai naudojama mažiau komponentų. Įsiminus komponentų pozicijas, poliarškumą arba tikrinimo kriterijus, operacijos atliekamos daug greičiau, nes nebereikia nuolatos tikrinti surinkimo brėžinio arba kokybės kontrolės reikalavimų. Todėl vieno komponento surinkimo, litavimo arba kokybės kontrolės trukmė yra mažesnė, kai gaminyje yra du arba trys komponentai, nei tuomet, kai gaminyje montuojama dešimt ar daugiau komponentų.

Kitas labai svarbus parametras, atliekant šias operacijas, yra **komponentų dydis**. Didelių (100×100×100 mm) arba labai mažų (5×5×5 mm) komponentų montavimas dažnai yra sudėtingesnis ir reikalaujantis daugiau operacijos laiko. Tam tikrais atvejais gali reikėti ir papildomų priemonių. Didesni komponentai gali turėti didesnę šilumos išsklaidymą, o tai lemia ilgesnę litavimo trukmę. Išskirtinai dideliems arba labai mažiems komponentams tinkamai prilituoti gali tekti pasikeisti litavimo antgalį, kurio pakeitimas taip pat pailgina operacijos trukmę. Galiausiai, tokių komponentų kokybės tikrinimas užtrunka ilgiau, nes sudėtinga manipuliuoti plokšte, kurioje įmontuoti dideli komponentai, ir sunkiau pastebėti labai mažų komponentų montavimo arba litavimo defektus.

Dar vienas svarbus šių operacijų trukmę lemiantis parametras yra **komponento išvadai**. Tai vienas iš pagrindinių parametru, nuo kurių priklauso rankinio litavimo trukmė. Kuo daugiau komponentas turi išvadų, tuo daugiau laiko reikės jiems visiems prilituoti. Dėl didesnio šilumos išsklaidymo, storesniems išvadams reikalinga ilgesnė litavimo trukmė. Surenkant komponentus operacijos trukmę gali pailginti ploni išvadai, kurie netiksliai statomi gali užlinkti ir likti neprilituoti. Surinkimo procesui palengvinti ir kokybei užtikrinti, tam tikti komponentai projektuojami su fiksuojančiais išvadais, kurie neleidžia komponentui iškristi, pasvirti ar pakilti surinkimo ir litavimo metu. Tokių komponentų kontrolė atliekama greičiau, o defektų skaičius dažniausiai yra mažesnis.

Analizuojamų operacijų atlikimo trukmę lemia ir **komponentų poliariškumas**. Tiek rankinio surinkimo, tiek rankinio litavimo operacijose poliariškumą turintiems komponentams reikalingas didesnis dėmesys ir atidumas, siekiant teisingai įstatyti juos į plokštę. Operatorius privalo pasitikrinti montavimo brėžinyje pavaizduotus poliariškumą žyminčius ženklus ir identifikuoti juos ant montuojamų komponentų. Taip pat šis papildomas tikrinimas reikalingas ir kokybės kontrolės operacijoje, nes neteisingas įmontuotų komponentų poliariškumas yra vienas dažniausiai pasitaikančių surinkimo defektų.

Kitas svarbus šių rankinių operacijų trukmės veiksnys yra **gaminio dizainas**. Didelių plokščių surinkimui ir litavimui reikia daugiau laiko, nes jas nepatogu laikyti, apversti ir prilaikyti komponentą. Ypač problemų atsiranda tuomet, kai komponentas turi būti prilituotas plokštės viduryje, o ne kraštuose. Su itin mažomis plokštėmis taip pat sudėtinga dirbti, nes jas sudėtinga laikyti ir užtikrinti tinkamą komponento įstatymą ir prilaikymą. Surinkimo ir litavimo darbus apsunkina papildomi reikalavimai komponento padėčiai, pavyzdžiui, komponento pakilimas plokštės atžvilgiu arba tam tikras reikalaujamas posvyrio kampas. Visi šie reikalavimai privalo būti ne tik užtikrinami surinkimo ir litavimo metu, tačiau ir įvertinami kokybės kontrolės operacijoje. Gaminio dizaino ypatumai dažnai sprendžiami naudojant pagalbines surinkimo ir litavimo priemones. Dar viena pasitaikanti dizaino problema – dideli plokštės vario sluoksnio plotai šalia lituojamų komponentų išvadų. Šie vario sluoksniai išsklaido šilumą, apsunkindami litavimo procesą ir pailgindami operacijos laiką.

Operacijų trukmę gali lemti ir **komponentų dizainas**, t. y. forma, medžiaga ir konstrukcija. Pasitaiko komponentų, kuriuos prilaikyti ir užtikrinti reikalaujamą jų poziciją ant plokštės yra itin sudėtinga, o kartais be papildomų priemonių išvis neįmanoma. Tokiems komponentams gali būti naudojamas laikinas kljavimas, svareliai ir specialiai suprojektuoti litavimo laikikliai. Komponentų medžiaga taip pat lemia pagalbinių priemonių naudojimą. Pavyzdžiui, jeigu komponento korpusas yra metalinis ir tiesiogiai sujungtas su lituojamais išvadais, proceso metu jis stipriais įkais ir rankomis prilaikyti komponento nebepavyks. Taip pat komponentų dizainas gali trukdyti vizualiai įvertinti litavimo kokybę ir komponento poziciją. Tokiais atvejais gali būti naudojamos specialios pagalbinės priemonės.

Rankinių operacijų metu naudojamos **pagalbinės priemonės** dažniausiai pailgina procesų trukmę. Komponentų laikikliai ir fiksatoriai naudojami tuomet, kai įprastinį litavimą – prilaikant komponentą ir plokštę rankomis, riboja gaminio arba komponentų dizainas, arba kai yra nustatyti papildomi technologiniai reikalavimai. Nors šios priemonės ir palengvina procesą, tačiau naudojant jas operacijoje reikalingas papildomas laikas gaminiui ar komponentui įstatyti ir išimti. Kokybės kontrolės operacijoje taip pat dažnai naudojamos pagalbinės priemonės – kalibrai, padidinantis stiklas, mikroskopas, rentgeno aparatas.

Galiausiai, rankinio surinkimo, litavimo ir kokybės kontrolės operacijų trukmę lemia gaminamų **gminių kiekis**. Šiuo atveju tai apima tiek partijų dydį, tiek ir gaminamų partijų dažnumą. Daugeliu atveju didesnė gamybos apimtis ir partijos kiekis leidžia greičiau atlikti rankines operacijas. Darbuotojas ilgesnį laiką dirbdamas su tuo pačiu gaminiu geriau įgunda ir tiksliau atlieka operacijos veiksmus. Komponentų pozicijų ir poliariškumo nebereikia identifikuoti žiūrint į brėžinį, nes šiuos parametrus operatorius įsimena. Taip pat gaminant didesnę kiekį sutrumpėja gaminiui skirtas pasiruošimo laikas, kuris skiriamas kiekvienai partijai.

2.2.2. Išskyrimo iš ruošinio trukmės veiksniai

Išskyrimo iš ruošinio operacijos trukmę labiausiai lemia **tvirtinimo ruošinyje metodas**. Greičiausiai išskyrimas atliekamas ruošiniuose su *v-cut* įpjova ir naudojant diskinį pjaustiklį. Daugiau operacijos laiko reikalaujantis metodas yra išskyrimas laužiant. Tai taip pat iš dalies greitas ir paprastas būdas, tačiau jo trukmę gali pailginti papildomų priemonių naudojimas. Ilgiausiai užtrunka kerpamų arba frezuojamų tiltelių pašalinimas. Tam reikalinga specializuota įranga ir atitinkamas operatorių pasirengimas. Išskiriant šiuo metodu labai svarbu vadovautis instrukcijomis ir veiksmus atlikti tikslia seka. Priešingu atveju gali būti pažeidžiama PCB ir jos komponentai. Kiekvieno metodo naudojimą nustato gaminio dizainas ir technologiniai reikalavimai, todėl kiekvienu atveju svarbu pasirinkti tinkamiausią projektavimo ruošinyje metodą.

Kaip ir kitų rankinių operacijų atveju, išskyrimo iš ruošinio operacijos trukmę lemia **gamybos kiekis**. Šis veiksnys didžiausią įtaką turi ruošiniams, kuriuose projektuojami kerpami arba frezuojami tilteliai. Būtent šiais atvejais reikalinga ilgesnė pasiruošimo trukmė, kuri pasiskirsto kiekvienam gaminiui. Pasiruošimas reikalingas tiek įrangai suderinti, tiek operatoriams susipažinti su veiksmų atlikimo seka. Taip pat pirmieji gaminiai bus išskiriami lėčiau, nes darbuotojui reikės daugiau laiko susipažinti su operacijos specifika ir įgusti. Ruošiniams su *v-cut* įpjova arba su nulaužiamais tilteliais nereikalingas ilgas pasiruošimas, o išskyrimas yra paprastas ir nereikalaujantis aukšto darbuotojų pasirengimo lygio.

2.2.3. Elektromechaninio surinkimo trukmės veiksniai

Vienas iš labiausiai surinkimo operacijos trukmę lemiančių veiksnių yra **surinkimo procesas**, kurį nustato gaminio surinkimo technologija ir jo dizainas. Surinkimo procesą taip pat gali pailginti papildomų įrankių naudojimas ir gaminiui keliami aukšti paviršiaus kokybės reikalavimai, kurie ne tik privalo būti patikrinti prieš pradedant surinkimą, bet ir užtikrinti viso surinkimo metu. Dėl to gali būti reikalaujama proceso metu dėvėti specialias pirštines arba nupūsti paviršius suspaustu jonizuotu oru. Dažnai mechaninės detalės gaunamos supakuotos tiekėjo pakuotėse, todėl jų išėmimas, priklausomai nuo įpakavimo, taip pat pailgina operacijos trukmę.

Surinkimo operacijos trukmė tiesiogiai proporcinga skirtingų **detalių kiekiui**. Projektuojant surinkimui stengiamasi įtraukti kuo mažiau skirtingų detalių, nes tai ne tik pailgina surinkimo trukmę, bet ir padidina panašių detalių supainiojimo riziką. Skirtingas detales būtina identifikuoti prieš surinkimą ir vadovaujantis surinkimo instrukcija nustatyti reikiamą jų poziciją junginyje. Šie veiksmai reikalauja papildomo laiko, kurį būtų galima sutaupyti naudojant vienodus komponentus, pavyzdžiui, varžtus ar veržles.

Dar vienas svarbus EM surinkimo trukmės parametras yra **detalių dydis**. Labai mažų arba labai didelių detalių rankinis surinkimas dažniausiai reikalauja daugiau laiko, nes su tokiais elementais yra

sunkiau suimti, prilaikyti ar įstatyti. Smulkiems elementams gali būti naudojami papildomi įrankiai ir vaizdo padidinimo įranga. Stambioms detalėms taip pat gali būti reikalinga pakėlimo įranga, kurios naudojimas reikalauja papildomo laiko. Didelės detalės reikalauja ir daugiau gamybinio ploto, o jų transportavimas į operaciją ir iš jos yra dažnesnis ir sudėtingesnis.

Didelę reikšmę EM surinkimo operacijos trukmei turi gaminamų **partijų dydis**, nes būtent ši operacija dažnai reikalauja ilgesnio pasiruošimo proceso. Jo metu gali reikėti pasiruošti ir sukalibruoti įrankius, susikomplektuoti iš išsipakuoti detales, pasiruošti pagalbines medžiagas. Todėl gaminant mažesnę partiją, vienam gaminiui tenkantis pasiruošimo laikas bus didesnis nei gaminant didesnę partiją. Pavyzdžiui, gaminant 10 vienetų partiją, kai pasiruošimo trukmė yra 20 min, vienam gaminiui atiteks 2 min pasiruošimo trukmės, kai gaminant 100 vienetų partiją, vienam gaminiui atitektų tik 0,2 min.

Galiausiai, EM surinkimo operacijos trukmei didelę reikšmę turi **darbo organizavimas ir darbo vietos paruošimas**. Siekiant sumažinti nereikalingų operatoriaus judesių ir veiksmų kiekį, EM operacijos darbo vieta turi būti patogi, ergonomiška, o visi įrankiai ir medžiagos paruošti naudojimui. Greitesniam komponentų komplektavimui, surinkimo vietose gali būti įrengiamos *Kanban* lentynos, kurios patogiai pasiekiamos ir papildomos pagal reikalingų detalių poreikį. Taip pat darbo vieta įrengiama pagal 5S principus, kurie nurodo, kad vieta privalo būti švari ir sutvarkyta. Įrankiai ir komponentai turi būti surūšiuoti ir standartizuoti, o ši nustatyta tvarka privalo nuolat būti palaikoma.

2.3. DMAIC metodo taikymas

Efektyvumo didinimo projektas pradedamas peržiūrėjus ir atnaujinus vieno kliento verslo modelį, kuriame gaminiams buvo pritaikytos nuolaidos ir sumažintos jų kainos. Atitinkamai buvo ieškoma pigesnių medžiagų ir komponentų tiekėjų, tačiau didžioji dalis sumažintos kainos turėjo būti kompensuojama mažinant gamybos sąnaudas. Taip pat dėl ekonominių priežasčių padidėjo rankinių operacijų valandinis įkainis nuo 14 Eur/h iki 16 Eur/h. Po šio pokyčio padidėjo nuostoliai dėl analizuojamų operacijų efektyvumo nuokrypio. Galiausiai, padidėjus planinių užsakymų kiekiui, išaugo prognozuojamų nuostolių dydis. Siekiant padidinti operacijų efektyvumą ir sumažinti gamybos sąnaudas, pirmiausia, reikalinga identifikuoti praradimų priežastis, o tuomet sudaryti ir įgyvendinti operacijų tobulinimo planą. Šiems etapams atlikti naudojamas 6 *Sigma* metodikos įrankis DMAIC.

2.3.1. Nustatymo etapas

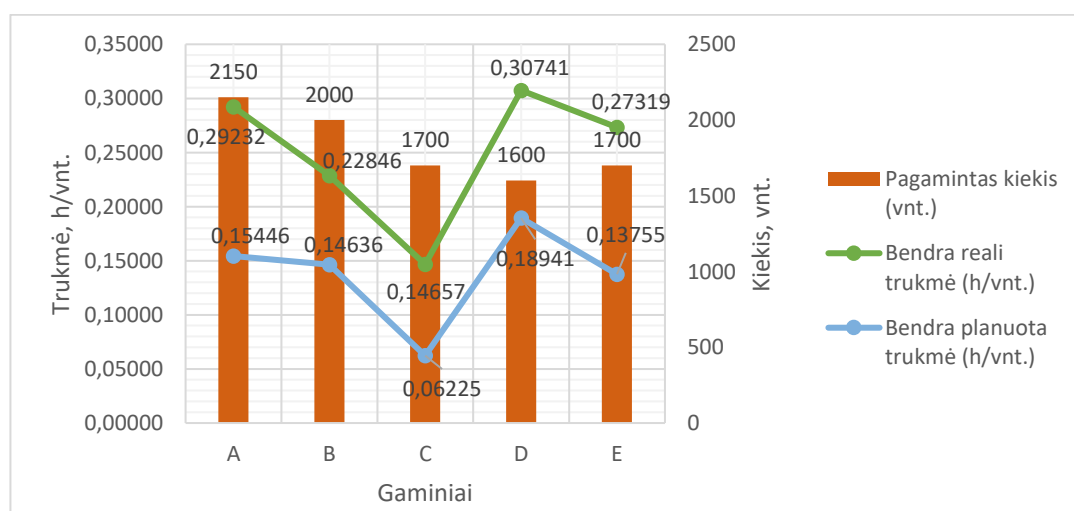
Pirmajame DMAIC metodo etape įvardijama analizuojama problema ir iškeliamas projekto tikslas, detaliam neanalizuojant problemos ir jos priežasčių. Šiame etape pasirenkami vienos gaminių grupės penki patys neefektyviausi gaminiai, kuriuose yra rankinio surinkimo, rankinio litavimo, išskyrimo iš ruošinio, kokybės kontrolės ir EM surinkimo operacijos. Pasirinkti gaminiai yra skirti industriniams įrenginiams ir pagal nurodymus specifikacijoje turi atitikti IPC-610 standarte antrajai klasei keliamus reikalavimus. Paruošiamas projektas, kuriame nurodomas projekto pavadinimas, savininkas, pradžia, planuojama projekto pabaiga ir projekto komanda. Nustatymo dalyje aprašoma problema ir projekto tikslas. Šie duomenys pateikiami 2 lentelėje. Atlikus šį etapą pereinama į antrąjį, išmatavimo, etapą.

2 lentelė. Pradiniai DMAIC projekto duomenys

Projekto pavadinimas		Gaminių grupės X efektyvumo didinimas
Projekto savininkas		Donatas Kmieliauskas
Projekto pradžia		2020-07-01
Planuojama projekto pabaiga		2020-09-01
Projekto komanda	Projekto vadovas	Donatas Kmieliauskas
	Projekto nariai	Produkto inžinierius Proceso inžinierius Rankinio litavimo proceso inžinierius Išskyrimo iš ruošinio proceso inžinierius Kokybės ir <i>Lean</i> inžinierius Gamybos meistras Duomenų analitikas
1. Nustatymo etapas		
Problemos aprašymas		2020-ųjų metų sausio mėnesį buvo pradėta penkių naujų gaminių serijinė gamyba. Po pusės metų gamybos, t. y. iki 2020-07-01, rankinių operacijų trukmė yra nestabili ir didesnė už planuotą. Operacijų efektyvumas nepasiekia įmonės tikslo – 110 %. Dėl efektyvumo nuokrypio patiriami finansiniai nuostoliai ir pailgėja bendra gaminių gamybos trukmė. Efektyvumo nuostolius turinčio rankinės operacijos: 1. Rankinis surinkimas; 2. Rankinis litavimas; 3. Išskyrimas iš ruošinio; 4. Kokybės kontrolė; 5. EM surinkimas.
Projekto tikslas		Penkių X gaminių grupės gaminių pasirinktų operacijų efektyvumas yra ne mažesnis nei 100 %.

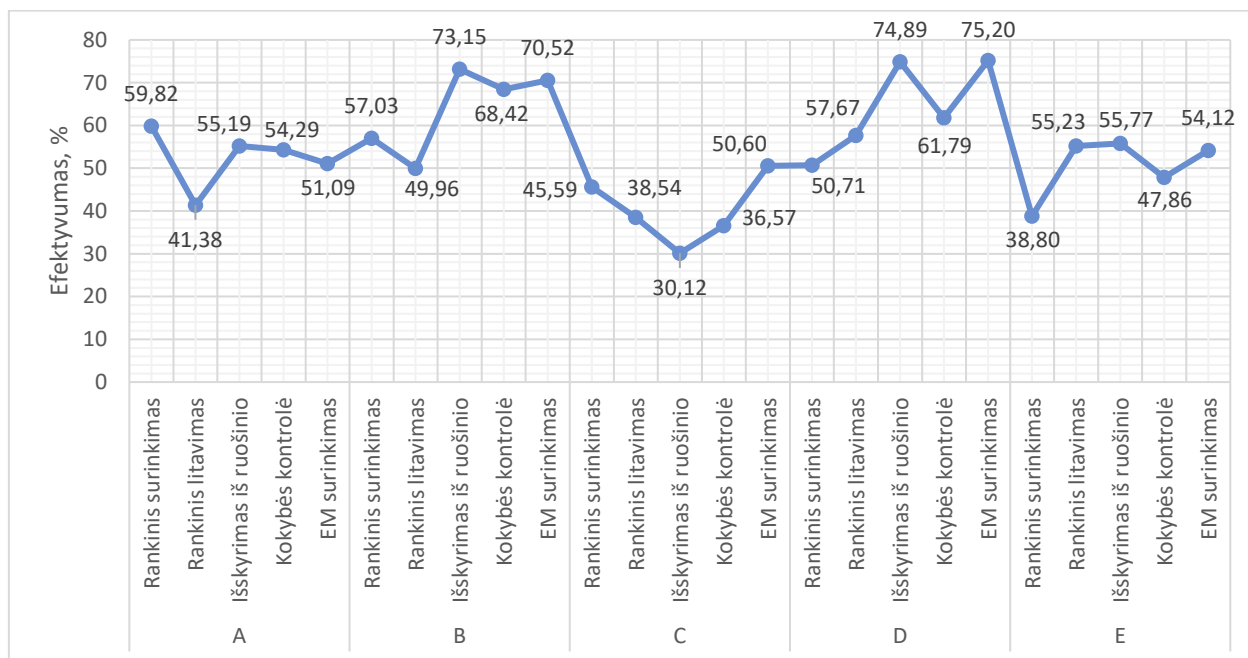
2.3.2. Išmatavimo etapas

Antrajame DMAIC metodo etape iš įmonės ERP sistemos surenkami ir pateikiami duomenys apie iškeltos problemos mastą. 15 paveiksle pateiktas pusės metų laikotarpio, t. y. nuo 2020-01-01 iki 2020-07-01, gaminių operacijų trukmės statistika.



15 pav. Gaminių operacijų trukmės statistika

Analizuojamų gaminių rankinių operacijų efektyvumas pateikiamas 16 paveikslo grafike. Visų gaminių ir visų analizuotų operacijų efektyvumo vidurkis siekia 54,17 %. Kaip matoma iš grafiko duomenų, operacijų efektyvumas svyruoja nuo 30,12 % iki 75,20 %. Mažiausią efektyvumą turi C gaminio operacijos. Šio gaminio rankinių operacijų efektyvumo vidurkis siekia 40,28 %. Didžiausią efektyvumą turi D gaminio operacijos. Jų efektyvumo vidurkis siekia 64,05 %.



16 pav. Analizuojamų gaminių efektyvumo grafikas

Apskaičiuojami laikotarpio nuo 2020-01-01 iki 2020-07-01 finansiniai nuostoliai, atsiradę dėl analizuojamų gaminių efektyvumo nuokrypio. Skaičiuojant naudojamas operacijų ankstesnysis valandinis įkainis – 14 Eur/h. Rezultatai pateikiami 3 lentelėje. Bendri šių gaminių nuostoliai sudaro 14326,33 Eur.

3 lentelė. Operacijų efektyvumo nuokrypio finansiniai nuostoliai

Gaminys	Bendra reali trukmė, h/vnt.	Bendra planuota trukmė, h/vnt.	Skirtumas, h/vnt.	Pagamintas kiekis, vnt.	Nuostolis, Eur/vnt.	Laikotarpio nuostolis, Eur
A	0,29232	0,15446	0,13786	2150	1,93	4149,59
B	0,22846	0,14636	0,08210	2000	1,15	2298,71
C	0,14657	0,06225	0,08432	1700	1,18	2006,74
D	0,30741	0,18941	0,11800	1600	1,65	2643,20
E	0,27319	0,13755	0,13563	1700	1,90	3228,11
Suma	1,24795	0,69004	0,55791	9150	7,81	14326,33

Planuojamas šių gaminių kiekis dvylikos mėnesių laikotarpiu, t. y. nuo 2020-09-01 iki 2021-09-01, yra 16800 vienetų. Neatlikus korekcinų veiksnių efektyvumui padidinti, šių gaminių bendras nuostolis per nurodytą laikotarpį būtų 30207,50 Eur. Ši suma apskaičiuota naudojant naująjį operacijų valandinį įkainį – 16 Eur/h.

2.3.3. Analizės etapas

Šiame etape analizuojama dabartinė situacija, siekiant identifikuoti efektyvumo nuostolių priežastis. Iš ankstesniame etape pateiktų duomenų yra labai sudėtinga nustatyti operacijų problemas ir vertės nekuriančius veiksnys. Todėl, kaip ir nurodoma *Lean* metodikoje, tikslinga panaudoti *Gemba* įrankį, kuris nurodo atlikti operacijų stebėjimą jų vykdymo vietose. Paruošiamas šablonas (žr. Priedas 1), kuriame fiksuojama gaminio ciklo trukmė ir pažymimos pastabos. Paruoštame šablone taip pat registruojamas stebėtojas, produkto pavadinimas, operacija, partijos dydis, stebėjimo data, operatoriaus patirtis. Pastarasis veiksnys skirstomas į tris kategorijas: naujokas, patyręs ir labai patyręs. Naujoko kategorijai priskiriami darbuotojai, dirbantys mažiau nei tris mėnesius. Patyrusiųjų kategorijai priskiriami darbuotojai, dirbantys nuo trijų mėnesių iki metų, o labai patyrusiųjų – darbuotojai, dirbantys metus ir daugiau.

Pirmiausia, atliekant stebėjimą matuojama pasiruošimo trukmė. Ji skiriama visai partijai arba tam tikrai jos daliai, kuriai užteks pasiruoštų medžiagų ir komponentų. Fiksuojamas ir stebimai partijai reikalingas pasiruošimų skaičius. Norint įvertinti, kurią gaminio ciklo dalį sudaro pasiruošimo trukmė, šioje šablono skiltyje apskaičiuojama pasiruošimo trukmė vienam gaminiui. Tai atliekama bendrą pasiruošimo trukmę dalinant iš partijos dydžio. Atliekant trukmės matavimą, detaliai fiksuojami operatoriaus atliekami veiksmai.

Atlikus paruošiamuosius darbus pradedami tiesioginiai operacijos veiksmai. Gaminio ciklo trukmė matuojama nuo pabaigos iki pabaigos. Pavyzdžiui, nuo litavimo rėmo, su surinktu ruošiniu, padėjimo ant konvejerio iki kito litavimo rėmo padėjimo. Matavimo metu taip pat detaliam pažymimi operatoriaus atliekami veiksmai kiekvieno ciklo metu ir atskiro ciklo pastabos, kurios nurodo ciklo trukmės nuokrypio priežastis. Pagal užfiksuotas ciklo trukmės vertes nubraižomas grafikas, kuriame vizualiai matomas trukmės kitimas ir vidurkis, apie kurį pasiskirsto užfiksuotos reikšmės. A gaminio analizuojamų rankinių operacijų stebėjimo rezultatai pateikiami 2-6 prieduose. Analogiškai atliekamas ir kitų gaminių operacijų stebėjimas.

A gaminio rankinio surinkimo operacijoje montuojama dvylika skirtingų komponentų. Iš viso gaminyje montuojami dvidešimt penki komponentai. Naudojant maskavimo pastą gaminyje papildomai fiksuojami septyni komponentai. Rankinio litavimo operacijoje atliekama litavimo kokybės kontrolė, pašalinama maskavimo pasta ir užklijuojami du lipdukai. Išskyrimas iš ruošinio atliekamas naudojant kirpimo įrenginį, kuriuo pašalinami nukerpamieji tvirtinimo tilteliai. Ruošinyje suprojektuotos dvi plokštės, turinčios po penkiolika nukerpamųjų tiltelių. Ruošinio matmenys – 300×220 mm. Kokybės kontrolėje patikrinama, ar gaminys neturi mechaninių pažeidimų, ar nebuvo pažeista išskiriant iš ruošinio, ar užklijuoti lipdukai, ar teisinga informacija lipdukuose, ar nėra komponentų surinkimo ir litavimo defektų. Elektromechaninio surinkimo operacijoje atliekami veiksmai:

1. Patikrinti korpuso paviršiaus kokybę.
2. Prie metalinio korpuso keturiais varžtais prisukamas radiatorius.
3. Prie korpuso prisukami keturi įžeminimo varžtai ir du varžtai su veržle.
4. Prie radiatoriaus priklijuojamas šilumą išsklaidančios medžiagos juostelė.
5. Varžtų sriegiai sutepami klįjais.
6. Uždedama elektronikos plokštė.
7. Plokštė prisukama šešiais varžtais.

B gaminio rankinio surinkimo operacijoje montuojami penki skirtingi komponentai. Iš viso gaminyje montuojami aštuoni komponentai. Taip pat maskavimo juosta plokštėje užklijuojamos šešios metalizuotos kiaurymės. Rankinio litavimo operacijoje atliekama litavimo kokybės kontrolė, pašalinama maskavimo juosta, užklijuojamas vienas lipdukas ir prilituojamas vienas komponentas, turintis du išvadus. Išskyrimas iš ruošinio atliekamas naudojant diskinį pjaustiklį. Ruošinyje suprojektuotos keturios plokštės ir septynios *v-cut* įpjovos. Ruošinio matmenys – 250×170 mm. Kokybės kontrolėje patikrinama, ar gaminys neturi mechaninių pažeidimų, ar nebuvo pažeista išskiriant iš ruošinio, ar užklijuotas lipdukas, ar teisinga informacija lipduke, ar nėra komponentų surinkimo ir litavimo defektų. Tai pat patikrinamas rankiniu būdu prilituotas komponento pakilimas nuo plokštės. Elektromechaninio surinkimo operacijoje atliekamas gaminio ir detalių komplektavimas:

1. Sulankstoma dėžė.
2. Išpakuojamos ir į dėžę sudedamos trys detalės.
3. Elektronikos gaminys įdedamas į maišelį ir užklijuojamas lipdukas.
4. Gaminys maišelyje įdedamas į dėžę.
5. Į dėžę įdedama vartotojo instrukcija.
6. Patikrinama vienos detalės paviršiaus kokybė.
7. Patikrinta detalė įdedama į dėžę.
8. Dėžė uždaroma ir užklijuojamas lipdukas.

C gaminio rankinio surinkimo operacijoje montuojami trys skirtingi komponentai. Iš viso gaminyje montuojami septyni komponentai. Taip pat šioje operacijoje maskavimo pasta fiksuojami trys gaminio komponentai. Rankinio litavimo operacijoje atliekama litavimo kokybės kontrolė, pašalinama maskavimo pasta, ant kiekvienos plokštės užklijuojamas vienas lipdukas ir įstatomi trys jungčių kodavimo raktai. Išskyrimas iš ruošinio atliekamas nulaužiant gaminio technologines juosteles ir gaminius jungiančius tiltelius. Ruošinyje suprojektuotos šešios plokštės, turinčios po penkis nulaužiamuosius tiltelius. Ruošinio matmenys – 290×160 mm. Kokybės kontrolėje patikrinama, ar gaminys neturi mechaninių pažeidimų, ar nebuvo pažeista išskiriant iš ruošinio, ar užklijuotas lipdukas, ar teisinga informacija lipduke, ar nėra komponentų surinkimo ir litavimo defektų, ar teisingai sudėti visi jungčių kodavimo raktai. Elektromechaninio surinkimo operacijoje atliekami veiksmai:

1. Ant gaminio priekinio korpuso užklijuojamas lipdukas.
2. Sudedamos keturios guminės tarpinės.
3. Ant plokštės uždedamas terminalo blokas.
4. Į priekinį korpusą įstatomas metalinis dangtelis.
5. Elektronikos plokštė įstatoma į korpusą.
6. Nuskenuojami plokštės ir korpuso lipdukai.
7. Uždedamas, prispaudžiamas ir užfiksuojamas galinis korpusas.

D gaminio rankinio surinkimo operacijoje montuojama aštuoniolika skirtingų komponentų. Iš viso gaminyje montuojami dvidešimt penki komponentai. Jie surenkami iš ruošinio jau išskirtoje plokštėje, kuri lituojama įstatyta į specialiai jai pagamintą rėmelį. Rankinio litavimo operacijoje atliekama litavimo kokybės kontrolė, užklijuojamas vienas lipdukas ir įstatomi du saugikliai. Išskyrimas iš ruošinio atliekamas frezuojant jungiamuosius tiltelius. Ruošinyje suprojektuotos dvi plokštės, turinčios po keturiolika frezuojamųjų tiltelių. Ruošinio matmenys – 280×140 mm. Kokybės

kontrolėje patikrinama, ar gaminys neturi mechaninių pažeidimų, ar nebuvo pažeista išskiriant iš ruošinio, ar užklijuotas lipdukas, ar teisinga informacija lipduke, ar nėra komponentų surinkimo ir litavimo defektų, ar įstatyti saugikliai. Elektromechaninio surinkimo operacijoje atliekami veiksmai:

1. Patikrinama korpuso paviršiaus kokybė ir šilkografiniai užrašai.
2. Į korpusą įstatoma ir šešiais varžtais prisukama elektronikos plokštė.
3. Įstatomas ir dviem varžtais prisukamas ventiliatorius.
4. Prie plokštės prijungiamas ventiliatorius.
5. Prie korpuso šešiais varžtais prisukamos plokštės jungtys.
6. Ant korpuso užklijuojamas lipdukas.
7. Atliekamas plokštės ir korpuso lipdukų skenavimas.

E gaminio rankinio surinkimo operacijoje montuojami du skirtingi komponentai. Iš viso gaminyje montuojami keturi komponentai. Maskavimo juosta plokštėje užklijuojamos dvi metalizuotos kiaurymės. Maskavimo pasta plokštėje fiksuojami trys komponentai, turintys po du maskavimo taškus. Taip pat plokštėje įstatomi du fiksatoriai, kurie papildomai prikljuojami maskavimo pasta. Rankinio litavimo operacijoje atliekama litavimo kokybės kontrolė ir užklijuojamas vienas lipdukas. Išskyrimas iš ruošinio atliekamas naudojant kirpimo įrenginį, kuriuo pašalinami nukerpamieji tvirtinimo tilteliai. Ruošinyje suprojektuota dešimt plokščių. Kiekviena iš jų turi po šešis nukerpamuosius tiltelius. Ruošinio matmenys – 385×164 mm. Kokybės kontrolėje patikrinama, ar gaminys neturi mechaninių pažeidimų, ar nebuvo pažeista išskiriant iš ruošinio, ar užklijuotas lipdukas, ar teisinga informacija lipduke, ar nėra komponentų surinkimo ir litavimo defektų. Elektromechaninio surinkimo operacijoje atliekami veiksmai:

1. Patikrinama LCD ekrano paviršiaus kokybė.
2. Ant priekinio korpuso prikljuojama dvipusė izoliacinė juosta.
3. Įstatomas LCD ekranas.
4. Prie ekrano kabeliu prijungiama ir keturiais varžtais prisukama elektronikos plokštė.
5. Užklijuojami du lipdukai ir atliekamas jų skenavimas.
6. Uždedamas ir dvylika varžtų prisukamas galinis korpusas.

Atlikus kiekvieno tiriamo proceso stebėjimą ir analizę, buvo identifikuoti efektyvumo nuostolių veiksniai ir užfiksuotos tobulintinos vietos. 4 lentelėje pateikiami gaminių operacijose pastebėti vertės nekuriantys procesai ir efektyvumą mažinantys veiksniai, kurie nebuvo įvertinti skaičiuojant gamybos sąnaudas. Pagal *Lean* metodikoje pateikiamą *Ishikawa* diagramą, kiekvienai pastabai priskiriama pirminė priežastis.

4 lentelė. Operacijų metu užfiksuoti pastebėjimai

Nr.	Operacija	Nr.	Pastaba	Gaminys	Pirminė priežastis
1.	Rankinis surinkimas	1.	Karpoma maskavimo juosta	B, E	Medžiaga
		2.	Laukiama litavimo rėmo	D	Matavimas
		3.	Tiesinami užlinkę komponentų išvadai	B	Medžiaga
		4.	Vartoma surinkimo instrukcija	A	Metodas
		5.	Fiksuojama su maskavimo pasta	A, E	Metodas
		6.	Apsukamas litavimo rėmas su ruošiniu	C	Medžiaga
		7.	Montuojami komponentų fiksatoriai	E	Medžiaga

2.	Rankinis litavimas	1.	Registruojami/remontuojami defektai	A, B, C, D, E	Įranga/Žmogus/ Metodas/Medžiaga
		2.	Nepatogus komponento litavimas	B	Metodas
3.	Išskyrimas iš ruošinio	1.	Veiksmų eigos ir nurodymų stoka	A, E	Metodas
		2.	Frezavimo atramų sudėjimas	D	Metodas
		3.	Diskinio pjaustiklio laisvumas	B	Įranga
		4.	Nepatogu nulaužti ruošinio tiltelius	C	Metodas
4.	Kokybės kontrolė	1.	Defektų registravimas	A, B, C, D, E	Metodas
		2.	Skirtinga kokybės tikrinimo trukmė	A, B, C, D, E	Žmogus
		3.	Neaiškūs kokybės reikalavimai IPC-610 standarte neapibrėžtais atvejais	A, E	Metodas
5.	EM surinkimas	1.	Detalių išpakavimas	A	Medžiaga
		2.	Skirtingų sukimo momentų naudojimas	A, D	Metodas
		3.	Skirtingų suktuvo antgalių naudojimas	D	Medžiaga
		4.	Paviršiaus kokybės vertinimas	B, C	Medžiaga
		5.	Ekranų paviršiaus nuvalymas	E	Medžiaga

Rankinio surinkimo operacijoje identifikuoti septyni vertės nekuriantys veiksmi. Visų pirma, gaminių B ir E surinkimo operacijoje naudojama maskavimo juosta, kurią reikia susikarpyti pagal maskuojamų vietų plotą. Gaminio D surinkimo metu pastebėta, kad surinkęs vieną ruošinį ir uždėjęs litavimo rėmą ant konvejerio, operatorius laukia apie 4 minutes kol kitas rėmas bus grąžintas po litavimo. Surenkant gaminį B reikalinga ištiesinti komponentų išvadus, nes jie susilanksto komplektuojant komponentus prieš operaciją ir suberiant juos į dėžutę. Taip pat gaminio A surinkimo metu operatoriui nuolat reikėjo vartyti instrukcijos lapus, nes surinkimo brėžinys buvo pateiktas dviejuose puslapiuose. Gaminys C ruošinyje yra suprojektuotas skirtingomis kryptimis, todėl operatorius, stengdamasis nesumaišyti komponentų poliariškumo, surinkęs tris gaminius apsuka ruošinį. Surenkant E gaminį naudojami fiksatoriai, kurie neleidžia komponentams pasvirti ir pasisukti. Fiksatorių uždėjimas yra lėtas ir nepatogus procesas. Galiausiai užfiksuota, kad papildomas gaminių A ir E komponentų fiksavimas su maskavimo pasta yra lėtas ir kokybės neužtikrinantis procesas.

Rankinio litavimo operacijoje pastebėta, kad viena iš efektyvumo nuostolių priežasčių yra defektų registravimas ir remontas. Juos dažniausiai sukuria litavimo proceso nuokrypiai, žmogiškosios surinkimo klaidos arba gaminių ir komponentų dizainas. Taip pat gaminio B stebėjimo metu buvo užfiksuotas nepatogus komponento montavimas ir palaikymas lituojant.

Išskyrimo iš ruošinio operacijos metu pastebėti keturi efektyvumo nuostolių veiksniai. Pirmiausia, A ir E gaminiams, kuriuose išskyrimas atliekamas nukerpant jungiamuosius tiltelius, nebuvo paruošta tiksli proceso eigos instrukcija. Dėl gaminių technologinių ribojimų, tilteliai privalo būti nukerpami laikant tam tikra puse ir kryptimi. Priešingu atveju, komponentai ir plokštės dizainas trukdo atlikti šį procesą. Darbuotojas atlikdamas operaciją neturėjo tikslių nurodymų, todėl kirpimo įrankį įstatydavo netinkamai arba ruošinį laikydavo netinkama puse. Antrasis užfiksuotas efektyvumo nuostolių veiksnys yra laukimas. D gaminyje, kuriame išskyrimas atliekamas frezuojant tiltelius, buvo pastebėta, kad prieš frezavimą įranga turi sustatyti dvidešimt du laikiklius. Tuo metu frezavimas

nevyksta ir operatorius laukia, kol įranga pasiruoš. Šis pasiruošimas trunka apie 7 minutes. Stebint gaminio C išskyrimą iš ruošinio buvo užfiksuota, kad operatoriui nepatogu rankomis nulaūši prie gaminio likusius jungiamuosius tiltelius. Galiausiai, buvo pastebėta, kad atliekant B gaminio išskyrimą iš ruošinio su *v-cut* įpjova, pjovimo diskas kartais pasikreipia ir užstringa pjovimo kelyje, įsireždamas į pjovimo linijoje suprojektuotas įtempių mažinimo kiaurymės.

Kokybės kontrolės operacijoje pastebėta, kad operatorius pats nusprendžia, kiek laiko skirti kiekvieno gaminio tikrinimui. Darbuotojui pateikiama tik bendras gaminių kiekis ir trukmė, per kurią juos visus reikia patikrinti. Turint tik šią informaciją sudėtinga orientuotis, kiek laiko skirti vienam gaminiui. Todėl dažnai pirmiesiems gaminiams skiriama daugiausiai laiko, o paskutiniams – mažiausiai. Taip pat šioje operacijoje papildomai užtrunka užregistruoti defektus, jei tokių pastebima. Gaminių A ir E kontrolės metu pastebėta, kad operatoriams kyla neišskumų dėl THT jungčių pakilimo. IPC-610 standartas šio kriterijaus tiksliai neapibrėžia, o darbo instrukcijoje tai nenurodyta.

EM surinkimo operacijoje pastebėti penki pagrindiniai efektyvumo nuostolių veiksniai. Visų pirma, gaminio A detalės tiekiamos supakuotos į atskirus maišelius, kurie sudėti į atskiras dėžutes. Atliekant gaminio EM surinkimo trukmės skaičiavimą, detalių išpakavimas nebuvo įvertintas. Surinkimo metu, gaminiuose A ir D varžtams prisukti naudojami skirtingi sukimo momentai. Todėl proceso metu reikalinga pasirinkti reikiamą sukтуvą. Taip pat gaminio D surinkimo metu naudojami skirtingi sukтуvo antgaliai. Kadangi darbo vietoje yra tik vienas sukтуvas, operatoriui tenka nuolat keisti antgalį. Gaminių B ir C detalėms taikomi aukšti paviršiaus kokybės reikalavimai. Todėl prieš surinkimą patikrinama, ar detalės neturi mechaninių paviršiaus pažeidimų ir gamybos defektų. Šis procesas taip pat nebuvo vertinamas prieš gamybą, o kliento paviršiaus kokybės reikalavimai buvo paruošti jau pradėjus gamybą ir pastebėjus defektus. Gaminio E surinkimo metu buvo pastebėta, kad montuojamas ekranas privalo būti papildomai nuvalytas, nes vidinę jo pusę dengia klijų nuosėdos.

Atlikus stebėjimus buvo užfiksuota, kad gaminių operacijose buvo atliekami ne tik tiesioginiai ir numatyti veiksmai, tačiau ir papildomi, kurie nebuvo vertinti skaičiuojant operacijų trukmę. Tai yra viena iš pagrindinių efektyvumo nuostolių priežasčių. Todėl siekiant padidinti efektyvumą, reikalinga pašalinti vertės nekuriančius procesus arba sumažinti jų trukmę. Tai atliekama trečiajame DMAIC metodo etape.

2.3.4. Tobulinimo etapas

Pagal ankstesniuose DMAIC etapuose užfiksuotus efektyvumo duomenis ir išanalizuotas nuokrypių priežastis, tobulinimo etape planuojami veiksmai, kuriais siekiama šiuos nuostolius sumažinti arba visiškai eliminuoti. Kiekvienam tiriamam gaminiui ir jo operacijoms patobulinti sudaromas veiksmų planas, kuriame pateikiamas veiksmo aprašymas, priskiriami atsakingi asmenys ir nustatoma veiksmų atlikimo data. Operacijų tobulinimo planas pateiktas 5 lentelėje.

5 lentelė. Operacijų tobulinimo veiksmų planas

Nr.	Veiksmo aprašymas	Operacija	Gaminys	Atsakingas asmuo	Atlikimo terminas
1.	Dalį komponentų surinkimo perkelti į selektyviojo litavimo operaciją	Rankinis surinkimas	A	Produkto inžinierius	2020-09-01
2.	Išskaidyti komponentų surinkimo operaciją dviem operatoriams	Rankinis surinkimas	C	Produkto inžinierius	2020-08-15

3.	Maskavimo juosta ritinyje pakeisti į užklijuotą ant lapo (lipdukų tipo)	Rankinis surinkimas	B, E	Produkto inžinierius	2020-09-01
4.	Atnaujinti surinkimo instrukciją, pateikiant surinkimo brėžinius atskiruose lapuose	Rankinis surinkimas	A	Produkto inžinierius	2020-08-15
5.	Paruošti komponentų komplektavimo ir transportavimo instrukciją	Rankinis surinkimas	B	Produkto inžinierius	2020-08-15
6.	Fiksavimą su maskavimą pasta pakeisti į fiksavimą su svareliais arba šablonu	Rankinis surinkimas	A, E	Produkto inžinierius	2020-08-15
7.	Paruošti du papildomus litavimo bangoje rėmelius	Rankinis surinkimas	D	Proceso inžinierius	2020-09-01
8.	Komponentų fiksatorius pakeisti uždedamu šablonu	Rankinis surinkimas	E	Proceso inžinierius	2020-08-01
9.	Paruošti komponentų poliariškumo tikrinimo šabloną	Rankinis litavimas	A, D	Proceso inžinierius	2020-09-01
10.	Perkelti lipdukų klijavimą į testavimo operaciją	Rankinis litavimas	A	Produkto inžinierius	2020-08-01
11.	Pagaminti komponento litavimo laikiklį	Rankinis litavimas	B	Produkto inžinierius	2020-09-01
12.	Perkelti lipdukų klijavimą ir jungčių kodavimo raktų sudėjimą į testavimo operaciją	Rankinis litavimas	C	Produkto inžinierius	2020-08-01
13.	Sudaryti operacijos atlikimo veiksmų seką ir ją įtraukti į darbo instrukciją	Išskyrimas iš ruošinio	A, E	Produkto inžinierius	2020-08-15
14.	Pagaminti frezavimo laikiklį ruošiniui įstatyti	Išskyrimas iš ruošinio	D	Proceso inžinierius	2020-09-01
15.	Pašalinti diskinio pjaustiklio laisvumą ir paruošti reguliaraus patikrinimo grafiką	Išskyrimas iš ruošinio	B	Proceso inžinierius	2020-08-01
16.	Pagaminti įrankį jungiamiesiems tilteliams nulaužti	Išskyrimas iš ruošinio	C	Proceso inžinierius	2020-09-01
17.	MES sistemoje nustatyti laikmatį gaminių kontrolei	Kokybės kontrolė	A, B, C, D, E	Duomenų analitikas	2020-08-15
18.	Instrukcijoje aiškiai pateikti kokybės reikalavimus: komponentų pakilimas, pasisukimas ir pasvirimas	Kokybės kontrolė	A, E	Produkto inžinierius	2020-08-01
19.	Išskaidyti EM surinkimo operaciją dviem operatoriams	EM surinkimas	B	Produkto inžinierius	2020-08-15
20.	Patikrinti kliento reikalavimus ir įvertinti galimybę naudoti vienodą sukimo momentą	EM surinkimas	A	Produkto inžinierius	2020-08-01
21.	Darbo vietoje įrengti dar vieną suktuvą	EM surinkimas	D	Proceso inžinierius	2020-09-01
22.	Suderinti su tiekėju detalių pakavimo pakeitimą	EM surinkimas	A	Produkto inžinierius	2020-08-15
23.	Paruošti detalių paviršiaus tikrinimo kriterijus ir jų įvertinimo metodiką	EM surinkimas	B, C	Produkto inžinierius	2020-09-01
24.	Patikrinti ir atnaujinti darbo vietas pagal 5 S metodiką	EM surinkimas	A, D, E	Gamybos meistras	2020-09-01
25.	Informuoti tiekėją apie klijų nuosėdas ant ekrano ir nurodyti, kad tai nepriimtina	EM surinkimas	E	Produkto inžinierius	2020-09-01
26.	Perskirstyti operacijoje atliekamus veiksmus	EM surinkimas	A, D	Produkto inžinierius	2020-08-15

Sudarius veiksmų planą ir paskirsčius užduotis atitinkamiems asmenims, buvo pradėtas veiksmų įgyvendinimas. A gaminiui įgyvendinti veiksmai:

1. Dalis rankinio surinkimo operacijoje montuojamų komponentų perkelta į selektyviojo litavimo operaciją. Vieno ruošinio, t. y. dviejų plokščių, litavimo procesas trunka 6 min, todėl vieno ruošinio komponentai gali būti surenkami kito ruošinio litavimo metu. Perkeliamas dvylikos komponentų montavimas, kuris turėtų užtrukti apie 2 min. Tokiu būdu sumažinama ir defektų rizika, nes vienas operatorius surenka mažesnę komponentų kiekį.
2. Atnaujintas ir viename puslapyje paruoštas rankinio surinkimo operacijos komponentų montavimo brėžinys.
3. Rankinio surinkimo operacijoje septynių komponentų fiksavimas maskavimo pasta pakeistas svarelių uždėjimu. Maskavimo pasta ne visuomet užtikrindavo tinkamą rezultatą. Jos užtepimas gaminiui užtrukdavo 30 s, o svarelių uždėjimas – 10 s.
4. Rankinio litavimo operacijai pagamintas poliariškumą turinčių jungčių tikrinimo šablonas, paremtas *Poka-Yoke* principu. Jeigu jungtys įstatytos neteisingai, šablonas neužsideda ant gaminio.
5. Lipdukų klijavimas iš rankinio litavimo operacijos perkeltas į testavimo operaciją, kurioje operatorius testo programos veikimo metu turi 30 s laukimo laiko.
6. Išskyrimo iš ruošinio operacijai atlikti paruošta veiksmų atlikimo seka. Operacijos instrukcijoje aiškiai pateikiama, kuria puse ir kryptimi laikyti ruošinį. Taip pat nurodoma, kuriuos tiltelius nukirpti kiekviename etape.
7. Kokybės kontrolės operacijoje nustatytas laikmatis, kuris paleidžiamas operatoriui nuskenavus gaminį.
8. Atnaujintas kokybės kontrolės operacijos aprašymas, pateikiant trijų jungčių pakilimo nuo PCB leistiną maksimalią reikšmę. Nurodyta, kad dvi varžos gali būti pasvirusios, nes tai netrukdo tolimesniam surinkimui.
9. EM operacijos vykdymas buvo pertvarkytas taip, kad pirmiausia būtų atliekamas dalies partijos gaminių korpuso ir radiatorių mechaninis surinkimas, o po to jų surinkimas su elektronikos plokšte. Toks pakeitimas sumažino operatoriaus vienu metu atliekamų veiksmų skaičių. Taip pat buvo pakeistas užsakomų detalių pakavimas. Pakavimas į maišelius ir dėžutes pakeistas į pakavimą į dėžę su skirtukais. Nustatytas vienodas varžtams prisukti naudojamas sukimo momentas, nes klientas tikslių reikšmių nenurodęs, o pakeitimas neturės įtakos gaminio kokybei.
10. EM surinkimo darbo vieta pertvarkyta pagal veiksmų atlikimo eiliškumą ir 5 S metodo reikalavimus.

B gaminiui įgyvendinti veiksmai:

1. Pakeistas komponentų komplektavimo būdas. Į surinkimo operaciją komponentai atnešami originalioje pakuotėje, kuri apsaugo nuo išvadų sulankstymo.
2. Rankinio surinkimo operacijoje naudojama maskavimo juosta ritinyje pakeista į maskavimo lipdukus, suklijuotus ant lapo. Atlikus pakeitimą nebereikia karpyti juostos, o užtenka nuklijuoti reikiamo dydžio lipduką.
3. Rankinio litavimo operacijai pagamintas litavimo laikiklis komponentui įstatyti ir jo pozicijai fiksuoti.
4. Sukalibruotas diskinio pjaustiklio įrankis, o kartu ir sumažinta PCB pažeidimo rizika. Paruoštas įrankio periodinės patikros grafikas.

5. Kokybės kontrolės operacijoje nustatytas laikmatis, kuris paleidžiamas operatoriui nuskenavus gaminį.
6. EM surinkimo operacijoje detalių ir gaminio komplektavimas išskaidytas dviem operatoriams. Tokiu būdu sukurtas *One-Piece-Flow* principu paremtas veiksmų eiliškumas. Taip pat sumažinta klaidų rizika, nes kiekvienas operatorius atlieka mažesnę veiksmų kiekį.
7. EM surinkimo metu komplektuojamoms detalėms paruoštas paviršiaus kokybės tikrinimo standartas. Jame pateikiami vertinimo kriterijai, tikrinamos pusės, tikrinimo metodas ir defektų pavyzdžiai.

C gaminiui įgyvendinti veiksmai:

1. Rankinis surinkimas išskaidytas dviem operatoriams, todėl surinkus tris plokštes nebereikia apsukti litavimo rėmo su ruošiniu. Paruošti du atskiri komponentų montavimo brėžiniai.
2. Lipduko klijavimas ir jungčių kodavimo raktų montavimas perkeltas iš rankinio litavimo į gaminio testavimo operaciją, kurioje operatorius laukia 1,5 min testo programos veikimo metu.
3. Išskyrimo iš ruošinio operacijai pagamintas specialus įrankis likusiems prie gaminio tilteliams nulaužti.
4. Kokybės kontrolės operacijoje nustatytas laikmatis, kuris paleidžiamas operatoriui nuskenavus gaminį.
5. EM surinkimo operacijoje naudojamoms detalėms paruoštas kokybės tikrinimo standartas. Jame pateikiami vertinimo kriterijai, tikrinamos pusės, tikrinimo metodas ir defektų pavyzdžiai.

D gaminiui įgyvendinti veiksmai:

1. Pagaminti du papildomi rėmai rankinio surinkimo operacijai atlikti. Tokiu būdu pašalinamas laukimas, kuris trukdavo apie 4 min.
2. Rankinio litavimo operacijai pagamintas poliariškumą turinčių jungčių tikrinimo šablonas, paremtas *Poka-Yoke* principu. Jeigu jungtys įstatytos neteisingai, šablonas neužsideda ant gaminio.
3. Siekiant sumažinti išskyrimo iš ruošinio operacijos trukmę, pagamintas gaminio frezavimo rėmelis. Frezavimo įrangai nebereikia sustatyti magnetinių atramų.
4. Kokybės kontrolės operacijoje nustatytas laikmatis, kuris paleidžiamas nuskenavus gaminį.
5. Atnaujinta EM surinkimo operacijos veiksmų seka. Pirmiausia, visi plokštės varžtai įsukami ne iki galo, o tik tuomet priveržiami. Įrengtas papildomas automatinis sukтуvas su kitu reikalingu antgaliu.
6. EM surinkimo darbo vieta atnaujinta pagal 5 S metodo reikalavimus.

E gaminiui įgyvendinti veiksmai:

1. Rankinio surinkimo operacijoje naudojama maskavimo juosta ritinyje pakeista į maskavimo lipdukus suklijuotus ant lapo. Atlikus pakeitimą nebereikia karpyti juostos, o užtenka nuklijuoti reikiamo dydžio lipduką.
2. Rankinio surinkimo operacijoje komponentų fiksavimas maskavimo pasta ir fiksatoriais pakeistas vieno šablono uždėjimu ant visų komponentų.
3. Išskyrimo iš ruošinio operacijai atlikti paruošta veiksmų atlikimo seka. Operacijos instrukcijoje aiškiai pateikiama, kuria puse ir kryptimi laikyti ruošinį. Taip pat nurodoma, kuriuos tiltelius nukirpti kiekviename etape.

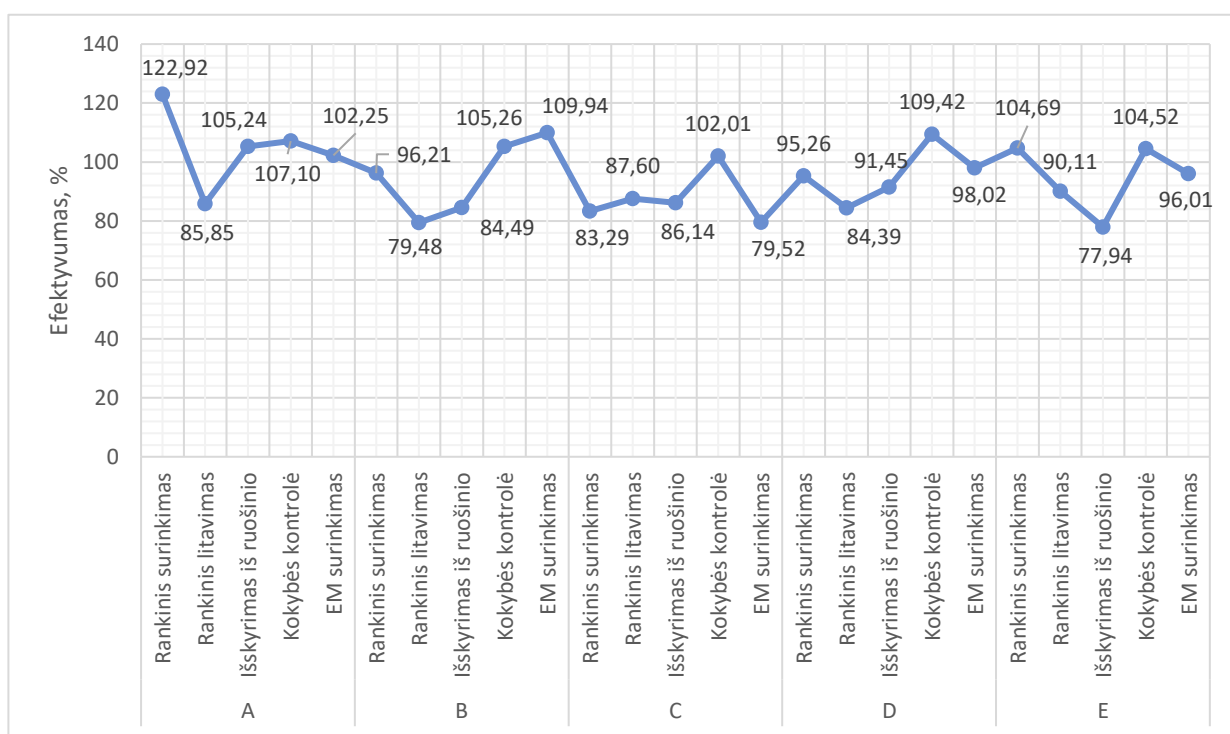
4. Kokybės kontrolės operacijoje nustatytas laikmatis, kuris paleidžiamas operatoriui nuskenavus gaminį.
5. Atnaujintas kokybės kontrolės operacijos aprašymas, pateikiant dviejų jungčių pakilimo nuo PCB leistiną maksimalią reikšmę. Nurodyta, kad jungtys gali būti pasisukę, nes tai netrukdo tolimesniam surinkimui.
6. EM surinkimo darbo vieta atnaujinta pagal 5 S metodo reikalavimus.
7. EM surinkimo operacijos metu montuojami ekranai buvo gauti be klijų nuosėdų. Ekranų gamintojas buvo informuotas ir atnaujino gamybos procesus.

2.3.5. Kontrolės etapas

Atlikus tobulinimo etape numatytus veiksmus, būtina užtikrinti jų kontrolę ir greitą reagavimą į jų nesilaikymą. Šiuo atveju neužtenka nustatyti naują operacijų tvarką ir atnaujinti gamybos instrukcijas, tačiau būtina patikrinti, kaip darbuotojai jų laikosi atlikdami operacijose nurodytus veiksmus. Todėl po pakeitimų kiekvienas procesas, kuriame buvo padaryti patobulinimai, privalo būti patikrintas operacijos atlikimo vietoje. Šis procesų stebėjimas ir tikrinimas buvo atliekamas pirmąsias dvi savaites. Nepastebėjus pažeidimų buvo nutarta kiekvieną savaitę patikrinti šių gaminių efektyvumo rezultatus ir pastebėjus neatitikimus ir nuokrypius nuo siekiamos reikšmės, informuoti atsakingus asmenis ir išsiaiškinti priežastis. Siekiant tiksliau jas identifikuoti, įmonės MES sistemoje buvo sukurta papildoma komentarų skiltis, kurioje operatorius gali palikti komentarus, paaiškinančius, kodėl reali gaminamos partijos trukmė viršijo nustatytą. Šioje skiltyje operatorius gali įvesti ir savo pastebėjimus apie operacijos eigą ir galimus patobulinimus.

3. Rezultatai

17 paveikslo grafike pateikiami efektyvumo duomenys po suplanuotų veiksmų įgyvendinimo. Matoma, kad visoms operacijoms pasiekti 100 % efektyvumo nepavyko. Pagrindinė to priežastis – neteisingai įvertinta operacijų trukmė gamybos sąnaudų skaičiavimo etape. Nepaisant to, pastebima, kad tam tikrų operacijų efektyvumas viršija 100 %, o tai iš dalies arba visiškai kompensuoja kitų neefektyvių operacijų nuostolius. Visų gaminių ir visų analizuotų operacijų efektyvumo vidurkis siekia 95,57 %. Tai yra 41,40 % daugiau nei buvo prieš įgyvendinant DMAIC projektą.



17 pav. Analizuojamų gaminių efektyvumo grafikas atlikus DMAIC projektą

Remiantis laikotarpio nuo 2020-09-01 iki 2020-11-01 operacijų trukmės duomenimis, apskaičiuojami planuojami dvylikos mėnesių laikotarpio finansiniai nuostoliai. Rezultatai pateikiami 6 lentelėje. Matoma, kad bendri planuojami nuostoliai sumažėjo iki 463,39 Eur.

6 lentelė. Operacijų efektyvumo nuokrypio finansiniai nuostoliai atlikus DMAIC projektą

Gaminys	Bendra reali trukmė, h/vnt.	Bendra planuota trukmė, h/vnt.	Skirtumas, h/vnt.	Planuojamas kiekis, vnt.	Nuostolis, Eur/vnt.	Laikotarpio nuostolis, Eur
A	0,14552	0,15446	-0,00894	4000	-0,13	-500,64
B	0,14495	0,14636	-0,00141	3600	-0,02	-71,23
C	0,07348	0,06225	0,01122	3000	0,16	471,44
D	0,19759	0,18941	0,00818	3000	0,11	343,56
E	0,14247	0,13755	0,00492	3200	0,07	220,27
Suma	0,70401	0,69004	0,01397	16800	0,20	463,39

4. Rekomendacijos

4.1. Naujos skaičiavimo metodikos sudarymas

Atlikus tyrimą pastebėta, kad pradiniam gamybos sąnaudų skaičiavimo etape buvo netiksliai įvertinta gamybos trukmė ir nepasiruošta efektyviai atlikti operacijas. Siekiant to išvengti ateityje, inicijuojamas naujo skaičiavimo šablono kūrimas *MS Excel* programos aplinkoje. Šiame šablone pateikiami ne tik gaminių parametrai, bet ir gamybos organizavimo veiksniai, kurie buvo pastebėti atliekant DMAIC projektą.

Pirmiausia įvedami pradiniai skaičiavimo duomenys: operacijų trukmės skaičiavimo data, skaičiuojantis asmuo, gaminio numeris ir partijos dydis. Žmogiškiesiems veiksniams įvertinti naudojamas darbo koeficientas, kuris parenkamas pagal metinį kiekį (žr. 18 pav.). Kaip nurodyta skaičiavimo formoje, pildomi tik žaliai pažymėti langeliai. Atlikus atitinkamus pasirinkimus, gali atsirasti raudoni langeliai, į kuriuos būtina įvesti informaciją.

	A	B	C	D	E	F
1						
2		Pildomi žaliai pažymėti langeliai				
3		Atsiradusius raudonus langelius būtina užpildyti				
4						
5		Skaičiavimo data	2020-12-03			
6		Atsakingas asmuo	Vardenis Pavardenis			
7		Gaminio numeris	XXXXX			
8						
9		Metinis kiekis	2000		Metinis kiekis	Darbo koeficientas
10		Partijos dydis	150		≤ 1000 vnt.	1,15
11		Darbo koeficientas	1,1		1000 - 5000 vnt.	1,1
12					≥ 5000 vnt.	1,05

18 pav. Pradinių duomenų įvestis

Užpildžius pradinis duomenis, antrojoje programos skiltyje įkeliamas gaminio komponentų sąrašas, kurį sudaro komponentų aprašymai, pozicijos ir kiekis (žr. 19 pav.).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		Komponento aprašymas	Pozicija	Kiekis	Priskyrimas	Komponento išvadų skaičius	Lankstūs išvadai	Poliariškumas	Dydis	Maskavimas	Komponento maskavimo taškų skaičius
3		CAP 100uF	C1	2	THDB	2	Ne	Ne	Standartinis	Taip	2
4		Connector p6	J1	2	THDR	6					
5		Resistor 2R20	R1	3	SMD						
6		Label 20x30	L1	1	Lipdukas						
7		PCB	P1	1	PCB					Taip	
8		Fuse 1 A	F1	2	Detalė						
9											
10											

19 pav. Komponentų sąrašo įvestis

Kiekvienas komponentas priskiriamas vienai iš šešių kategorijų:

- „THDB“ – THT komponentai, surenkami prieš litavimą banga arba selektyviaja banga.
- „THDR“ – THT komponentai, lituojami rankiniu būdu.
- „SMD“ – SMT komponentai.

- „Lipdukas“ – bet kokio tipo lipdukas.
- „PCB“ – spausdintinė plokštė.
- „Detalė“ – rankinio litavimo metu įstatomas komponentas, pavyzdžiui, saugiklis, kodavimo raktas.

Pasirinkus kategoriją, atitinkami langeliai tampa žali ir taip informuoja, kad juose reikia įvesti informaciją. Pasirinkus „THDB“ arba „THDR“ kategoriją, reikalinga įvesti komponento išvadų skaičių. Pasirinkus „THDB“, reikalinga nurodyti, ar komponento išvadai yra lankstūs. Pasirenkama, ar komponentas turi poliariškumą ir komponento dydis. Komponento dydis skirstomas į tris kategorijas: mažas, standartinis ir didelis. Mažiems priskiriami komponentai, mažesni nei 5×5×5 mm. Dideliems priskiriami komponentai, kurių matmenys didesni nei 100×100×100 mm. Visi kiti komponentai priskiriami standartiniams. Taip pat pasirenkama, ar komponentą reikės tvirtinti maskavimo juosta arba pasta. Jeigu pasirenkama, kad komponentą reikės maskuoti, atsiranda raudonas langelis, kuriame būtina įvesti maskavimo taškų skaičių. Pasirinkus kategoriją „PCB“, taip pat reikia nurodyti, ar PCB bus maskuojama ir kiek taškų reikės užmaskuoti.

4.1.1. Rankinio surinkimo trukmės skaičiavimas

Rankinio surinkimo trukmės skaičiavimo skiltyje (žr. 20 pav.) įvedamas tik plokščių skaičius ruošinyje, papildomų fiksatorių skaičius ir, jeigu reikalinga, pagalbinių priemonių naudojimo trukmė. Kitos reikšmės yra gaunamos sudedant komponentų sąrašo skiltyje įvestus parametrus ir jų vertes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
4										
5		Plokščių skaičius ruošinyje		4						
6										
7		Mažų komponentų skaičius plokštėje	Standartinių komponentų skaičius plokštėje	Didelių komponentų skaičius plokštėje	Komponentų su lankstiais išvadais skaičius	Poliariškumą turinčių komponentų skaičius	Maskavimo taškų skaičius plokštėje	Papildomų fiksatorių skaičius	Reikalingos pagalbinės priemonės	Pagalbinių priemonių naudojimo trukmė, s/vnt.
8		0	2	0	0	0	4		Taip	
9										

20 pav. Rankinio surinkimo duomenų įvestis

Rankinio surinkimo skiltyje taip pat pateikiamas darbo koeficientas, operacijos pasiruošimo trukmė, operacijos atlikimo trukmė ir reikalingas darbo pamainų skaičius (žr. 21 pav.). Operacijos pasiruošimo trukmė įvesta remiantis tyrimo ir stebėjimų rezultatais. Ji siekia 0,2 h. Operacijos atlikimo trukmė apskaičiuojama sudedant atskirų veiksmų trukmę ir sumą padauginant iš darbo koeficiento. Reikalingas pamainų skaičius apskaičiuojamas pagal formulę (1) ir gautą reikšmę padidinant iki sveikojo skaičiaus.

$$PS = \frac{(OAT \cdot PD + OPT)}{8}; \quad (1)$$

čia PS – pamainų skaičius;

OAT – operacijos atlikimo trukmė, h/vnt.;

PD – partijos dydis, vnt.;

OPT – operacijos pasiruošimo trukmė, h.

	A	B	C	D	E	F
1						
2		Operacijos pasiruošimo trukmė, h/partija	Operacijos atlikimo trukmė, h/vnt.	Reikalingas paminų skaičius		Darbo koeficientas
3		0,2	0,01482	1		1,1

21 pav. Rankinio surinkimo operacijos trukmės rezultatai

Rankinio surinkimo skiltyje pateiktoje veiksmų lentelėje automatiškai apskaičiuojama kiekvieno atskiro veiksmo trukmė (žr. 22 pav.). Ruošinio paėmimui ir padėjimui skiriama 10 s. Komponento poliariškumui įvertinti – 5 s. Vieno lankstaus išvado korekcijai skiriama 3 s. Mažo komponento montavimui skiriama 12 s, standartinio – 8 s, didelio – 12 s. Fiksatoriui uždėti skiriama 10 s. Į šią lentelę perkeliama ir anksčiau įvesta pagalbinių priemonių naudojimo trukmė. Instrukcijai perskaityti skiriama 10 s, o kiekvienam maskuojamam taškui – 5 s. Gauti rezultatai konvertuojami į valandas, skirtas vienam gaminiui.

	A	B	C	D	E	F
9						
10		Veiksmo aprašymas				Trukmė, h/vnt.
11		Ruošinio paėmimas ir padėjimas				0,00069
12		Poliariškumo įvertinimas				0,00000
13		Lankstų išvadų korekcija				0,00000
14		Mažų komponentų montavimas				0,00000
15		Standartinių komponentų montavimas				0,00444
16		Didelių komponentų montavimas				0,00000
17		Fiksatorių uždėjimas				0,00000
18		Pagalbinių priemonių naudojimas				0,00000
19		Instrukcijos skaitymas				0,00278
20		Maskavimo juostos/pastos uždėjimas				0,00556

22 pav. Rankinio surinkimo veiksmų trukmės skaičiavimo rezultatai

4.1.2. Rankinio litavimo trukmės skaičiavimas

Rankinio litavimo skiltyje (žr. 23 pav.) įvedamas plokščių skaičius ruošinyje, papildomai tikrinamų komponentų skaičius ir pagalbinių priemonių naudojimo trukmė, jeigu jos reikalingos operacijai atlikti. Kiti duomenys automatiškai perkeliama iš komponentų sąrašo skilties.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
4											
5		Plokščių skaičius ruošinyje		4							
6											
7		Banga lituojamų komponentų skaičius plokštėje	Rankiniu būdu lituojamų komponentų skaičius plokštėje	Rankiniu būdu lituojamų komponentų išvadų skaičius	Poliariškumą turinčių komponentų skaičius	Lipdukų skaičius	Maskavimo taškų skaičius plokštėje	Montuojamų detalių skaičius	Papildomai tikrinamų komponentų skaičius	Reikalingos pagalbines priemonės	Pagalbinių priemonių naudojimo trukmė, s/vnt.
8		2	2	12	0	1	4	2		Ne	
9											

23 pav. Rankinio litavimo duomenų įvestis

Rankinio litavimo skiltyje pateiktoje veiksmų lentelėje automatiškai apskaičiuojama kiekvieno atskiro veiksmo trukmė (žr. 24 pav.). Plokštės skenavimui skiriama 5 s, ruošinio paėmimui ir padėjimui – 10 s. Rankinio komponentų litavimo trukmė apskaičiuojama skiriant 10 s komponento paėmimui ir 5 s vieno išvado litavimui. Vieno taško maskavimo juostos arba pastos pašalinimui skiriama 3 s. Komponentui patikrinti skiriama 3 s ir papildomos 2 s, jeigu jis turi poliariškumą. Kiekvienam papildomai tikrinamam komponentui skiriama 10 s. Lipdukui užklijuoti skiriama 10 s. Apžvelgti darbo instrukcijai skiriama 10 s. Vienos papildomos detalės montavimui skiriama 5 s. Gauti rezultatai konvertuojami į valandas, skirtas vienam gaminiui.

	A	B	C	D	E	F
11						
12		Veiksmo aprašymas				Trukmė, h/vnt.
13		Plokštės skenavimas				0,00069
14		Ruošinio paėmimas ir padėjimas				0,00139
15		Rankinis komponentų litavimas				0,02222
16		Maskavimo juostos/pastos pašalinimas				0,00333
17		Tikrinamas komponentų montavimas, poliariškumas, litavimas				0,00167
18		Papildomas komponentų tikrinimas				0,00000
19		Pagalbinių priemonių naudojimas				0,00000
20		Lipdukų klijavimas				0,00278
21		Instrukcijos skaitymas				0,00278
22		Detalių montavimas				0,00278
23						

24 pav. Rankinio litavimo veiksmų trukmės skaičiavimo rezultatai

Galiausiai pateikiama bendra operacijos trukmė vienam gaminiui (žr. 25 pav.). Pasiruošti operacijai skiriama 0,1 h, o operacijos atlikimo trukmė apskaičiuojama sudedant atskirų veiksmų trukmę ir gautą rezultatą padauginant iš darbo koeficiento. Reikalingas pamainų skaičius apskaičiuojamas pagal (1) formulę.

	B	C	D	E	F	G
1						
2		Operacijos pasiruošimo trukmė, h/partija	Operacijos atlikimo trukmė, h/vnt.	Reikalingas pamainų skaičius		Darbo koeficientas
3		0,1	0,04255	1		1,1
4						

25 pav. Rankinio litavimo operacijos trukmės rezultatai

4.1.3. Plokštės išskyrimo iš ruošinio trukmės skaičiavimas

Išskyrimo iš ruošinio skiltyje įvedamas plokščių ruošinyje skaičius ir tiltelių arba įpjovų skaičius ruošinyje (žr. 26 pav.). Jeigu įvedamas frezuojamų tiltelių skaičius, reikalinga pasirinkti, ar frezuojamos atramos ir laikiklis. Pasirinkus „Taip“, būtina atitinkamai įvesti atramų skaičių arba laikiklio įstatymo trukmę. Taip pat reikalinga pasirinkti, ar operacijos metu ruošinį reikės apsukti arba atversti. Jeigu taip, būtina nurodyti, kiek kartų tai reikės atlikti. Bendra šių veiksmų trukmė apskaičiuojama skiriant 5 s kiekvienam apvertimui arba apsukimui.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
7									
8		Projektavimo ruošinyje metodas	Tiltelių/įpjovų skaičius ruošinyje	Frezuojant naudojamos atramos	Atramų skaičius	Frezuojant naudojamas laikiklis	Frezavimo laikiklio įstatymo trukmė, s	Pasiruošimo trukmė, h/partija	Operacijos atlikimo trukmė, h/vnt.
9		Frezuojami tilteliai	1	Taip		Taip		0,2	0,00035
10		Nulaužiami tilteliai	1					0,05	0,00035
11		Nukerpami tilteliai	1					0,1	0,00028
12		Įpjova v-cut	1					0,05	0,00069
13									
14									
15		Išskyrimo meto plokštė apskukama	Apsukimų skaičius	Išskyrimo meto plokštė apverčiama	Apvertimų skaičius	Bendra trukmė, h/vnt.			
16		Taip		Taip		0			
17									

26 pav. Išskyrimo iš ruošinio operacijos duomenų įvestis

Tiltelių frezavimo atveju, pasiruošimo trukmė apskaičiuojama pagal (2) formulę:

$$FPT = 0,2 + \frac{AS \cdot 4 + LT}{3600}; \quad (2)$$

čia FPT – frezavimo pasiruošimo trukmė, h;

AS – atramų skaičius, vnt.;

LT – laikiklio įstatymo trukmė, s.

Kitų projektavimo ruošinyje metodų atveju, pasiruošti skiriama: nulaužiami tilteliai – 0,05 h; nukerpami tilteliai – 0,1 h; įpjova v-cut – 0,05 h. Operacijos atlikimo trukmė priklauso nuo tiltelių arba įpjovų skaičiaus: frezuojamas tiltelis – 5 s; nulaužiamas tiltelis – 5 s; nukerpamas tiltelis – 4 s; įpjova v-cut – 10 s. Prie nukerpamų tiltelių trukmės taip pat pridedama bendra plokštės apskukimo ir apvertimo trukmė.

Galiausiai pateikiama bendra operacijos trukmė vienam gaminiui (žr. 27 pav.). Išskyrimo iš ruošinio operacijos pasiruošimo trukmė apskaičiuojama sudedant atskirų išskyrimo metodų pasiruošimo trukmę. Operacijos atlikimo trukmė apskaičiuojama sudedant atskirų išskyrimo metodų atlikimo trukmę ir padauginant iš darbo koeficiento. Reikalingas pamainų skaičius apskaičiuojamas pagal (1) formulę.

	A	B	C	D	E	F
1						
2		Operacijos pasiruošimo trukmė, h/partija	Operacijos atlikimo trukmė, h/vnt.	Reikalingas pamainų skaičius		Darbo koeficientas
3		0,4000	0,00183	1		1,1

27 pav. Išskyrimo iš ruošinio operacijos trukmės rezultatai

4.1.4. Kokybės kontrolės trukmės skaičiavimas

Kokybės kontrolės skiltyje įvedamas tik papildomai tikrinamų komponentų skaičius ir pagalbinių priemonių naudojimo trukmė, jeigu jos yra reikalingos (žr. 28 pav.).

	B	C	D	E	F	G	H
6							
7		THT komponentų skaičius plokštėje	Poliariškumą turinčių komponentų skaičius	Lipdukų skaičius	Papildomai tikrinamų komponentų skaičius	Reikalingos pagalbinės priemonės	Pagalbinių priemonių naudojimo trukmė, s/vnt.
8		4	0	1		Taip	
9							

28 pav. Kokybės kontrolės duomenų įvestis

Kokybės kontrolės skiltyje pateiktoje veiksmų lentelėje automatiškai apskaičiuojama kiekvieno atskiro veiksmo trukmė (žr. 29 pav.). Plokštės skenavimui skiriama 5 s, plokštės paėmimui ir padėjimui – 10 s, PCB mechaninių pažeidimų patikrinimui – 10 s, vieno komponento mechaniniams pažeidimams patikrinti – 2 s. Komponento montavimui, poliariškumui ir litavimo kokybei patikrinti skiriama 3 s ir papildomos 2 s, jeigu komponentas turi poliariškumą. Papildomai tikrinamam komponentui skiriama 10 s. Lipdukui patikrinti ir instrukcijai apžvelgti skiriama po 10 s. Gauti rezultatai konvertuojami į valandas, skirtas vienam gaminiui.

	A	B	C	D	E	F
11						
12		Kontrolės vykdymo veiksmas				Trukmė, h/vnt.
13		Plokštės skenavimas				0,00139
14		Plokštės paėmimas ir padėjimas				0,00278
15		Tikrinami PCB mechaniniai pažeidimai				0,00278
16		Tikrinami komponentų mechaniniai pažeidimai				0,00222
17		Tikrinamas komponentų montavimas, poliariškumas, litavimas				0,00333
18		Papildomas komponentų tikrinimas				0,00000
19		Pagalbinių priemonių naudojimas				0,00000
20		Lipdukų tikrinimas				0,00278
21		Instrukcijos skaitymas				0,00278
22						

29 pav. Kokybės kontrolės veiksmų trukmės skaičiavimo rezultatai

Galiausiai pateikiama bendra operacijos trukmė vienam gaminiui (žr. 30 pav.). Remiantis tyrimo duomenimis, kokybės kontrolės pasiruošimo trukmė – 0,1 h. Operacijos atlikimo trukmė apskaičiuojama sudedant atskirų kontrolės veiksmų atlikimo trukmę ir padauginant iš darbo koeficiento. Reikalingas pamainų skaičius apskaičiuojamas pagal (1) formulę.

	A	B	C	D	E	F
1						
2		Operacijos pasiruošimo trukmė, h/partija	Operacijos atlikimo trukmė, h/vnt.	Reikalingas pamainų skaičius		Darbo koeficientas
3		0,1	0,01986	1		1,1
4						

30 pav. Kokybės kontrolės operacijos trukmės rezultatai

4.1.5. EM surinkimo trukmės skaičiavimas

EM surinkimo skiltyje pirmiausia įrašomi operacijos pasiruošimo veiksmai, jų trukmė ir vienai partijai reikalingas veiksmų skaičius (žr. 31 pav.). Veiksmai, pateikti baltuose langeliuose, yra

laikomi numatytaisiais, nes jie būdingi visiems gaminiams. Kiekvieno veiksmo partijos pasiruošimo trukmė apskaičiuojama padauginat vieno pasiruošimo trukmę iš partijos pasiruošimų skaičiaus.

G	H	I	J	K	L	M
5						
6	Pasiruošimas elektromechaniniui surinkimui					
7	Veiksmo aprašymas	Vieno pasiruošimo trukmė			Partijos pasiruošimų skaičius	Partijos pasiruošimo trukmė, h/partija
8		Min	s	h		
9	Registruojama MES sistemoje		30	0,00833	1	0,008333
10	Nueinama pasiimti gaminių	2		0,03333	1	0,033333
11	Nueinama pasiimti komponentų	2	30	0,04167	1	0,041667
12	Prisegama ESD apyrankė		15	0,00417	1	0,004167
13	Perskaitoma operacijos instrukcija	2	30	0,04167	1	0,041667
14	Paruošiamas automatinis suktuvus		30	0,00833	1	0,008333
15					1	

31 pav. EM surinkimo pasiruošimo duomenų įvestis

Gretimoje lentelėje įrašomi operacijos atlikimo veiksmai ir jų trukmė (žr. 32 pav.). Taip pat pažymima, ar bus reikalingas išpakavimas, paviršiaus tikrinimas, papildomos priemonės. Jeigu pasirenkama „Taip“, būtina įrašyti šių veiksmų trukmę. Bendra operacijos atlikimo trukmė apskaičiuojama sudedant visų veiksmų atlikimo trukmę.

N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
5										
6	Elektromechaninio surinkimo vykdymas				Bendra trukmė		0,04722	h/vnt.		
7	Veiksmo aprašymas	Trukmė			Reikalingas išpakavimas	Išpakavimo trukmė, s	Paviršiaus tikrinimas	Tikrinimo trukmė, s	Naudojami papildomos priemonės	Priemonių paėmimo ir padėjimo trukmė, s
8		Min	s	h						
9	Prisukami 6 varžtai	1		0,01667	Ne		Ne		Taip	
10	Prikljuojamas lipdukas		10	0,00278	Ne		Ne		Ne	
11	Įsatomas korpusas	1		0,01667	Taip		10	Taip	20	Taip

32 pav. EM surinkimo vykdymo duomenų įvestis

Galiausiai pateikiama bendra operacijos trukmė vienam gaminiui (žr. 33 pav.). EM surinkimo operacijos pasiruošimo trukmė apskaičiuojama sudedant visų pasiruošimo veiksmų trukmę. Operacijos atlikimo trukmė apskaičiuojama bendrą vykdymo trukmę padauginant iš darbo koeficiento. Reikalingas pmainų skaičius apskaičiuojamas pagal (1) formulę.

A	B	C	D	E	F
1					
2	Operacijos pasiruošimo trukmė, h/vnt.	Operacijos atlikimo trukmė, h/vnt.	Reikalingas pmainų skaičius		Darbo koeficientas
3	0,1375	0,05194		1	1,1

33 pav. EM surinkimo operacijos trukmės rezultatai

4.1.6. Galutinių rezultatų pateikimas

Galutinė operacijų trukmė pateikiama rezultatų skiltyje (žr. 34 pav.). Kiekvienos operacijos pasiruošimo trukmė apskaičiuojama atitinkamos operacijos pasiruošimo trukmę padauginant iš pamainų skaičiaus. Atlikimo trukmės reikšmės perkeliamos iš atitinkamų operacijų skilčių. Bendra operacijos trukmė apskaičiuojama pasiruošimo trukmę padalinant iš partijos dydžio ir pridėdant atlikimo trukmę. Įrašomas kiekvienos operacijos valandinis įkainis. Paskutiniame lentelės stulpelyje apskaičiuojama kiekvienos operacijos kaina. Tai atliekama bendrąją trukmę padauginant iš valandinio įkainio.

	A	B	C	D	E	F	G
15							
16		Operacija	Pasiruošimo trukmė, h	Atlikimo trukmė, h/vnt.	Bendroji trukmė, h/vnt.	Valandinis įkainis, Eur/h	Operacijos kaina, Eur/vnt.
17		Rankinis surinkimas	0,2	0,01482	0,01615	16	0,26
18		Rankinis litavimas	0,1	0,04255	0,04322	16	0,69
19		Išskyrimas iš rušinio	0,4	0,00183	0,00450	16	0,07
20		Kokybės kontrolė	0,1	0,01986	0,02053	16	0,33
21		EM surinkimas	0,1375	0,05194	0,05286	16	0,85
22							

34 pav. Operacijų trukmės rezultatai

Išvados

1. Tyrimo metu buvo nustatyta, kad *Lean* metodikoje pateikiamos efektyvumo nuostolių rūšys, atsirandančios dėl netinkamo darbo organizavimo, gali pasitaikyti ir elektronikos gamyboje. Todėl siekiant sumažinti efektyvumo nuostolius, galima pritaikyti atitinkamus *Lean* įrankius: *Gemba*, *5 S*, *One-Piece Flow*, *Kaizen*, *Poka-Yoke*, *Yshikawa*.
2. Išanalizuoti pasirinktos rankinės operacijos ir identifikuoti jų efektyvumą lemiantys veiksniai: metinis gaminių kiekis, gaminamų partijų dydis, komponentų kiekis, gaminių ir komponentų dizainas, technologiniai reikalavimai, žmogiškieji veiksniai, pagalbinių priemonių naudojimas, darbo organizavimas. Atliktas DMAIC projektas, kurio metu įgyvendinti korekciniai veiksmai padidino analizuotų operacijų efektyvumą nuo 54,17 % iki 95,57 % ir sumažino planuotus dvylikos mėnesių finansinius nuostolius nuo 30207,50 Eur iki 463,39 Eur.
3. Sudaryta nauja analizuotų rankinių operacijų skaičiavimo metodika suteikia galimybę paprastai ir tiksliai apskaičiuoti elektronikos gaminių rankinių operacijų trukmę, įvertinant nustatytus ją lemiančius veiksniai: partijų dydį, procesų technologinius apribojimus, atliekamus būtinus papildomus veiksmus, komponentų ir PCB dizainą, kokybės vertinimą, žmogiškuosius veiksniai.

Literatūros sąrašas

1. CAHYO, W.N., KHAERUZZAMAN, W.A. ir HASIBUAN, F.W. Improving the Performance of an Assembly Line to Increase Production Capacity using Value Stream Mapping: A Study Case. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [interaktyvus]. 2019, 598 [žiūrėta 2020-11-07]. ISSN 1757-899X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/598/1/012053>.
2. SOSA-PEREZ, V., et al. Lean Manufacturing Production Management Model Focused on Worker Empowerment Aimed at Increasing Production Efficiency in the Textile Sector. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [interaktyvus]. 2020, 796 [žiūrėta 2020-11-07]. ISSN 1757-899X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/796/1/012024>.
3. HOEDT, S., CLAEYS, A., AGHEZZAF, E.-. ir COTTYN, J. Real Time Implementation of Learning-Forgetting Models for Cycle Time Predictions of Manual Assembly Tasks After a Break. *Sustainability (Switzerland)* [interaktyvus]. 2020, 12(14) [žiūrėta 2020-11-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/su12145543>.
4. SIMÕES, B., DE AMICIS, R., BARANDIARAN, I. ir POSADA, J. Cross Reality to Enhance Worker Cognition in Industrial Assembly Operations. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [interaktyvus]. 2019, 105(9), 3965-3978 [žiūrėta 2020-11-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03939-0>.
5. TAYAKSI, C., SAGNAK, M. ir KAZANÇOĞLU, Y. A New Holistic Conceptual Framework for Leanness Assessment. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences* [interaktyvus]. 2020, 5 567-590 [žiūrėta 2020-11-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2020.5.4.047>.
6. AKKARI, A. ir VALAMEDE, L. Lean 4.0: A New Holistic Approach for the Integration of Lean Manufacturing Tools and Digital Technologies. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences* [interaktyvus]. 2020, 5 851-868 [žiūrėta 2020-11-10]. Prieiga per: <https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2020.5.5.066>.
7. CHOWDHURY, M.S. ir AHMED, S. Increase the Efficiency and Productivity of Sewing Section through Low Performing Operators Improvement by using Eight Wastes of Lean Methodology [interaktyvus]. 2018, 18 [žiūrėta 2020-11-11]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/338689363_Increase_the_Efficiency_and_Productivity_of_Sewing_Section_through_Low_Performing_Operators_Improvement_by_using_Eight_Wastes_of_Lean_Methodology
8. ISHOLA, B. Handling Waste in Manufacturing: Encouraging Re-Manufacturing, Recycling and Re-using in United States of America. *Procedia Manufacturing* [interaktyvus]. 2019, 39, 721-726 [žiūrėta 2020-11-08]. ISSN 2351-9789. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.444>.
9. ALEFARI, M., SALONITIS, K. ir XU, Y. The Role of Leadership in Implementing Lean Manufacturing. *Procedia CIRP* [interaktyvus]. 2017, 63, 756-761 [žiūrėta 2020-11-09]. ISSN 2212-8271. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.169>.
10. CHE ANI, M.N. Solving Production Processes Disparity Issue through Implementation of Poka-Yoke Concept. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing* [interaktyvus]. 2017, 5 [žiūrėta 2020-11-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.18178/ijmmm.2017.5.4.333>.
11. *DB9 RS232 PCB Connector Male* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2020-11-07]. Prieiga per: <https://www.tinytronics.nl/shop/en/connectors/other/db9-rs232-pcb-connector-male>.

12. Molex, KK 254, 6410, 7 Way, 1 Row, Straight PCB Header / Molex [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2020-11-07]. Prieiga per: <https://ae.rsdelivers.com/product/molex/22-27-2071/molex-kk-254-6410-7-way-1-row-straight-pcb-header/4838512>.
13. DHOPTÉ, P., SAJJANWAR, S. ir PALATKAR, G.M. *Application of Performance Improvement by using Single Piece Flow* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2020-11-14]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/320202944_Application_of_Performance_Improvement_by_using_Single_piece_Flow.
14. *SMT Assembly Processing - AiPCBA* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-11-14]. Prieiga per: <https://www.aipcba.com/pcb/smt-assembly-processing.html>.
15. LILIANA, L. A New Model of Ishikawa Diagram for Quality Assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [interaktyvus]. 2016, 161 [žiūrėta 2020-11-14]. ISSN 1757-899X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012099>.
16. *Figure 1. A Generic Representation of the Ishikawa Diagram Aka Fishbone* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2020-11-15]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/figure/A-generic-representation-of-the-Ishikawa-diagram-aka-Fishbone-diagram_fig1_317196193.
17. MOSKVICHEVA, E.L., MUKHAMETSHINA, A.M., EROFEYEV, A.N. ir SAVELYEV, K.V. Lean Manufacturing - a Method of Managing a Manufacturing Enterprise. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [interaktyvus]. 2020, 862 [žiūrėta 2020-11-14]. ISSN 1757-899X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/4/042051>.
18. *5S - II: Selective Soldering Station* [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2020-11-14]. Prieiga per: <https://www.worthingtonassembly.com/blog/tag/5s>.
19. MAAROF, M.G. ir MAHMUD, F. A Review of Contributing Factors and Challenges in Implementing Kaizen in Small and Medium Enterprises. *Procedia Economics and Finance* [interaktyvus]. 2016, 35, 522-531 [žiūrėta 2020-11-15]. ISSN 2212-5671. Prieiga per: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)00065-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)00065-4).
20. SMĘTKOWSKA, M. ir MRUGALSKA, B. Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case Study. *Procedia, Social and Behavioral Sciences* [interaktyvus]. 2018, 238, 590-596 [žiūrėta 2020-11-15]. ISSN 1877-0428. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.039>.
21. VENKAT JAYANTH, B., et al. Implementation of Lean Manufacturing in Electronics Industry. *Materials Today : Proceedings* [interaktyvus]. 2020, 33, 23-28 [žiūrėta 2020-11-07]. ISSN 2214-7853. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.718>
22. GARG, A., RAINA, K. ir SHARMA, R. *Reducing Soldering Defects in Mobile Phone Manufacturing Company: A DMAIC Approach* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-11-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/748/1/012027>.
23. PEREIRA, J., et al. Application of the A3 Methodology for the Improvement of an Assembly Line. *Procedia Manufacturing* [interaktyvus]. 2019, 38, 745-754 [žiūrėta 2020-11-15]. ISSN 2351-9789. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.101>.
24. JANASEKARAN, S., VIJAYASREE, V.P. ir CHONG, M.K.H. Cycle Time Reduction for Coating Process in Manual Assembly Manufacturing Towards Economic Sustainability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [interaktyvus]. 2020, 834 [žiūrėta 2020-11-20]. ISSN 1757-899X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/834/1/012017>.
25. E. QUINTERO. *SMT VS through Hole. what Works Best in Mass Manufacturing?* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-11-01]. Prieiga per: <https://titoma.com/blog/smt-smd-bga-tht-meaning>.

26. Hommer. *Circuit Board Parts - the most Comprehensive Introduction is Here* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2020-11-01]. Prieiga per: <https://www.wellpcb.com/special/identifying-circuit-board-parts.html>.
27. *Definition of "semiconductor Diode"* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2020-11-15]. Prieiga per: <http://semiconductordevice.net/SemiconductorDiode/definition-of-semiconductor-diode>.
28. *How to Solder: A Complete Beginners Guide* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2020-11-01]. Prieiga per: <https://www.makerspaces.com/how-to-solder/>.
29. C. KANIMDAN. *PCB Panelization in Design for Manufacturing / Alpplas* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-11-09]. Prieiga per: <https://www.alpplas.com/en/media/articles/pcb-panelization-in-design-for-manufacturing>.
30. *What is PCB V-Scoring?* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-11-01]. Prieiga per: <https://www.pcbdirectory.com/community/what-is-pcb-v-scoring>.
31. *Mouse Bites PCB - Breakaway Tabs* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2020-11-01]. Prieiga per: https://www.allpcb.com/mouse_bites_pcb.html.
32. *PCB Panels* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-11-08]. Prieiga per: <http://www.sdy-pcb.com/news/company/pcb-panels.html>.
33. *How to Design Panels of Printed Circuit Boards » EMS-Guide* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2020-11-01]. Prieiga per: <https://www.kuttig.eu/en/ems-guide/electronics-development/pcb-panel-design.html>.
34. *Box Build / Leadsintec* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2020-11-01]. Prieiga per: <https://www.leadsintec.com/box-build-oem-service-from-leadsintec/>.

Priedai

1 priedas. Operacijų stebėjimo šablonas

Stebėtojas	
Produktas	
Operacija	
Partijos dydis	
Stebėjimo data	
Operatorius	

Pildomi tik žaliai pažymėti laukai

Pasiruošimo trukmė, h	Pasiruošimų skaičius	Pasiruošimo trukmė gaminiui, h/vnt.

Nr.	Operacijos pasiruošimo veiksmai
1	
2	
...	

Nr.	Operacijos atlikimo veiksmai
1	
2	
...	

Nr.	Trukmė		Komentarai	Bendra trukmė, h/vnt.	Vidutinė trukmė, h/vnt.	Planuota trukmė, h/vnt.
	Min	s				
1						
2						
...						

2 priedas. Gaminio A rankinio surinkimo operacijos stebėjimo rezultatai

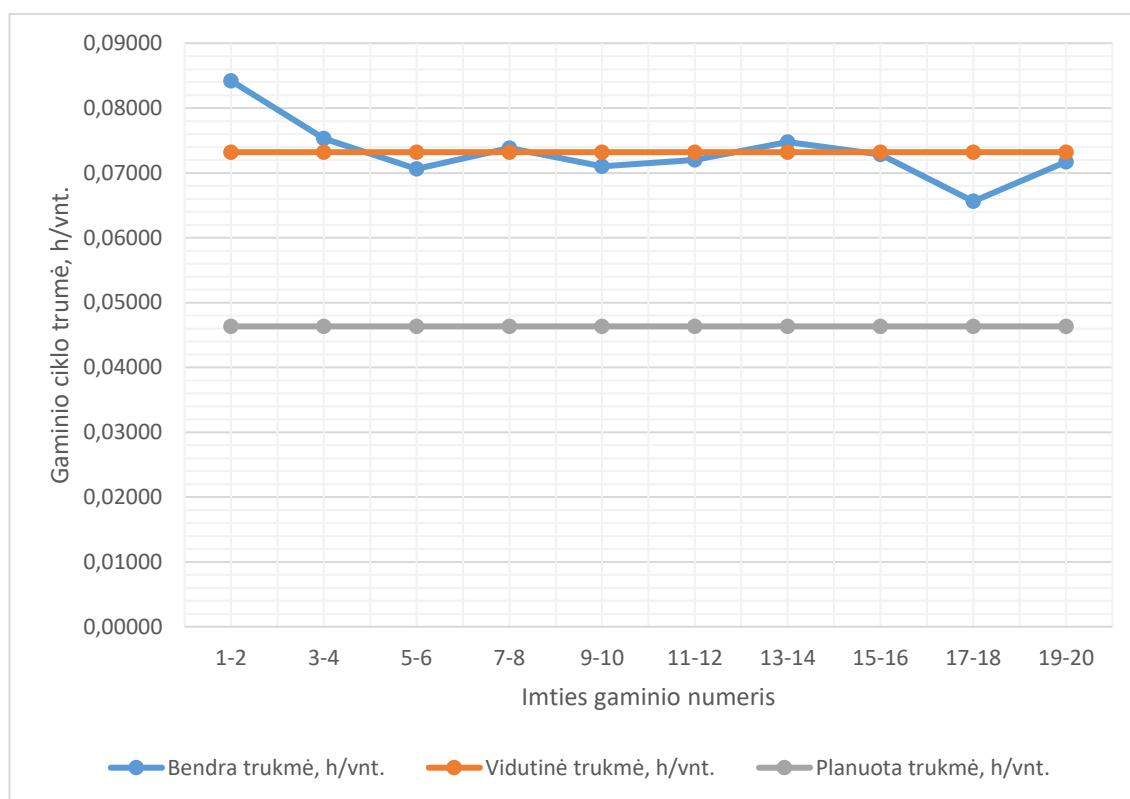
Stebėtojas	Donatas Kmieliauskas
Produktas	A
Operacija	Rankinis surinkimas
Partijos dydis	150
Stebėjimo data	2020-07-03
Operatorius	Labai patyręs

Pasiruošimo trukmė, h	Pasiruošimų skaičius	Pasiruošimo trukmė gaminiui, h/vnt.
0,15	2	0,002

Nr.	Operacijos pasiruošimo veiksmai
1	Registruojama MES sistemoje
2	Nueinama pasiimti sukomplektuotų komponentų
3	Nueinama pasiimti ruošinių
4	Skaitoma surinkimo instrukcija
5	Komponentų dėžutės išdėliojamos pagal surinkimo eiliškumą
6	Prisegama ESD apyrankė
7	Skaitoma surinkimo instrukcija

Nr.	Operacijos atlikimo veiksmai
1	Paimamas ir ant stalo padedamas surinkimo rėmas
2	Paimamas ir į rėmą įstatomas ruošinys
3	Skaitomas surinkimo brėžinys
4	Įstatomi komponentai
5	Verčiamas kitas instrukcijos puslapis
6	Įstatomi komponentai
7	Tikrinama, ar visi reikalingi komponentai įstatyti
8	Tikrinama, ar teisingas įstatytų komponentų poliariškumas
9	Septyni komponentai fiksuojami su maskavimo pasta
10	Surinktas ruošinys įstatomi į dėtuve
11	Verčiamas instrukcijos puslapis

Nr.	Trukmė		Komentariai	Bendra trukmė, h/vnt.	Vidutinė trukmė, h/vnt.	Planuota trukmė, h/vnt.
	Min	s				
1-2	9	52		0,08422	0,07319	0,04633
3-4	8	48	Taisoma vieno komponento pozicija	0,07533	0,07319	0,04633
5-6	8	14		0,07061	0,07319	0,04633
7-8	8	37		0,07381	0,07319	0,04633
9-10	8	17		0,07103	0,07319	0,04633
11-12	8	24	Perkeliant iškrito vieno komponentas	0,07200	0,07319	0,04633
13-14	8	44		0,07478	0,07319	0,04633
15-16	8	30	Taisoma du komponentų kryptis	0,07283	0,07319	0,04633
17-18	7	38		0,06561	0,07319	0,04633
19-20	8	22		0,07172	0,07319	0,04633



3 priedas. Gaminio A rankinio litavimo operacijos stebėjimo rezultatai

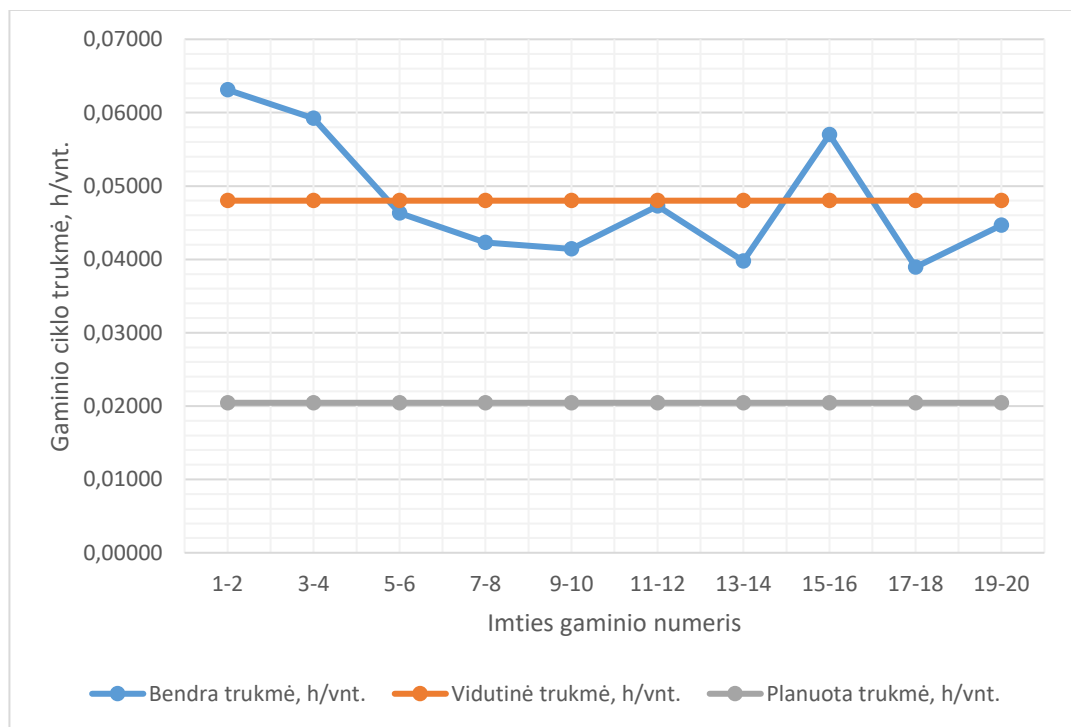
Stebėtojas	Donatas Kmieliauskas
Produktas	A
Operacija	Rankinis litavimas
Partijos dydis	150
Stebėjimo data	2020-07-07
Operatorius	Patyręs

Pasiruošimo trukmė, h	Pasiruošimų skaičius	Pasiruošimo trukmė gaminiui, h/vnt.
0,05	1	0,00033

Nr.	Operacijos pasiruošimo veiksmai
1	Registruojama MES sistemoje
2	Skaitoma operacijos instrukcija
3	Nueinama pasiimti lipdukų
4	Nueinama pasiimti sulituotų ruošinių
5	Prisegama ESD apyrankė
6	Perskaitoma operacijos instrukcija

Nr.	Operacijos atlikimo veiksmai
1	Paimamas ir ant stalo padedamas ruošinys
2	Nuskenuojamas plokštės lipdukas
3	Pašalinama maskavimo pasta
4	Tikrinama išvadų litavimo kokybė litavimo pusėje
5	Pašalinami litavimo defektai
6	Skaitoma operacijos instrukcija
7	Tikrinamas komponentų pakilimas, pasvirimas, poliariškumas
8	Registruojami ir taisomi defektai
9	Skaitoma operacijos instrukcija
10	Klijuojami du lipdukai
11	Padedamas ruošinys į vežimėlį

Nr.	Trukmė		Komentaras	Bendra trukmė, h/vnt.	Vidutinė trukmė, h/vnt.	Planuota trukmė, h/vnt.
	Min	s				
1-2	7	32	Netinkama dviejų komponentų kryptis	0,06311	0,04800	0,02045
3-4	7	4		0,05922	0,04800	0,02045
5-6	5	31	Pašalinamas trumpinimas	0,04631	0,04800	0,02045
7-8	5	2	Pašalinami lydmetalių burbulai	0,04228	0,04800	0,02045
9-10	4	56	Pašalinamas trumpinimas	0,04144	0,04800	0,02045
11-12	5	38	Registruojamas komponento pakilimas	0,04728	0,04800	0,02045
13-14	4	44		0,03978	0,04800	0,02045
15-16	6	48	Tikrinama su mikroskopu	0,05700	0,04800	0,02045
17-18	4	38		0,03894	0,04800	0,02045
19-20	5	19	Pašalinamas trumpinimas	0,04464	0,04800	0,02045



4 priedas. Gaminio A išskyrimo iš ruošinio operacijos stebėjimo rezultatai

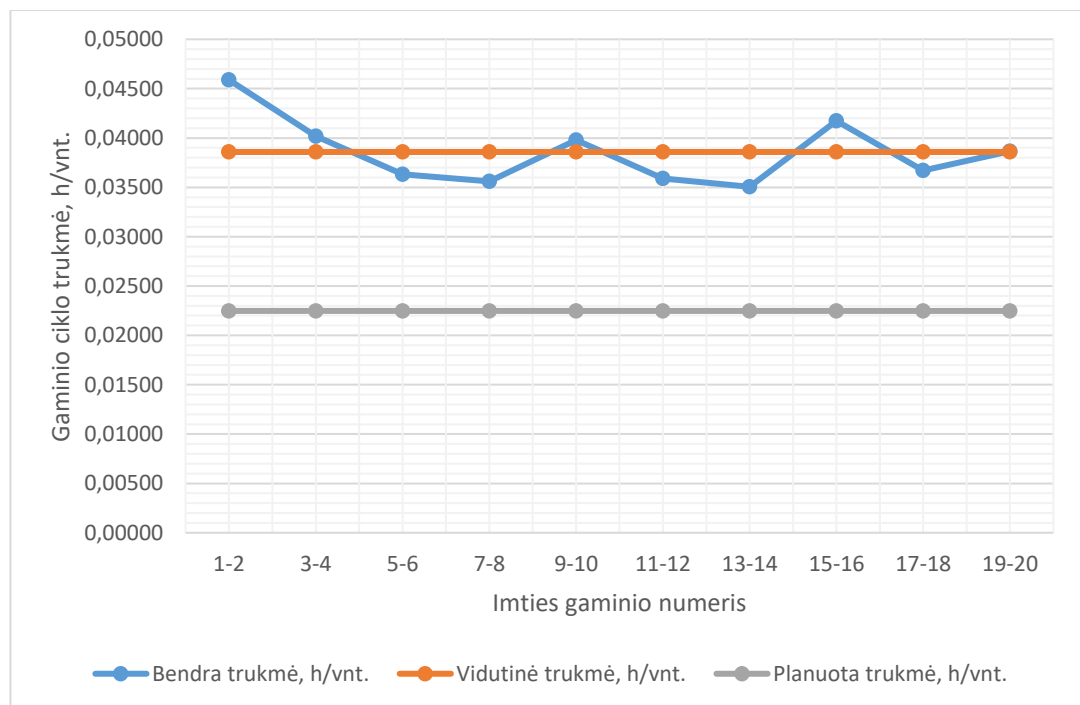
Stebėtojas	Donatas Kmieliauskas
Produktas	A
Operacija	Išskyrimas iš ruošinio
Partijos dydis	150
Stebėjimo data	2020-07-08
Operatorius	Naujokas

Pasiruošimo trukmė, h	Pasiruošimų skaičius	Pasiruošimo trukmė gaminiui, h/vnt.
0,05	1	0,00033

Nr.	Operacijos pasiruošimo veiksmai
1	Registruojama MES sistemoje
2	Nueinama pasiimti plokščių
3	Perskaitoma operacijos instrukcija
4	Paruošiamas kirpimo įrenginys
5	Prisegama ESD apyrankė

Nr.	Operacijos atlikimo veiksmai
1	Nuskenuojamas ruošinio lipdukas
2	Paimamas ir ant stalo padedamas ruošinys
3	Nukerpami penki tilteliai gaminio prie pirmosios PCB
4	Ruošinys apsukamas, nukerpami trys tilteliai
5	Ruošinys apsukamas, nukerpami du tilteliai
6	Ruošinys apsukamas, nukerpami du tilteliai
7	Ruošinys apsukamas, nukerpami trys tilteliai
8	Išskirta plokštė padedama ant vežimėlio
9	Kartojami 3–7 veiksmai su antrąja plokšte
10	Padedama antroji plokštė į vežimėlį

Nr.	Trukmė		Komentariai	Bendra trukmė, h/vnt.	Vidutinė trukmė, h/vnt.	Planuota trukmė, h/vnt.
	Min	s				
1-2	5	28	Įstatoma netinkama puse	0,04589	0,03858	0,02248
3-4	4	47	Įstatoma netinkama puse	0,04019	0,03858	0,02248
5-6	4	19	Įstatoma netinkama puse	0,03631	0,03858	0,02248
7-8	4	14	Įstatoma netinkama puse	0,03561	0,03858	0,02248
9-10	4	44	Užstringa ruošinys	0,03978	0,03858	0,02248
11-12	4	16	Įstatoma netinkama puse	0,03589	0,03858	0,02248
13-14	4	10	Įstatoma netinkama puse	0,03506	0,03858	0,02248
15-16	4	58	Įstatoma netinkama puse	0,04172	0,03858	0,02248
17-18	4	22	Įstatoma netinkama puse	0,03672	0,03858	0,02248
19-20	4	36	Įstatoma netinkama puse	0,03867	0,03858	0,02248



5 priedas. Gaminio A kokybės kontrolės operacijos stebėjimo rezultatai

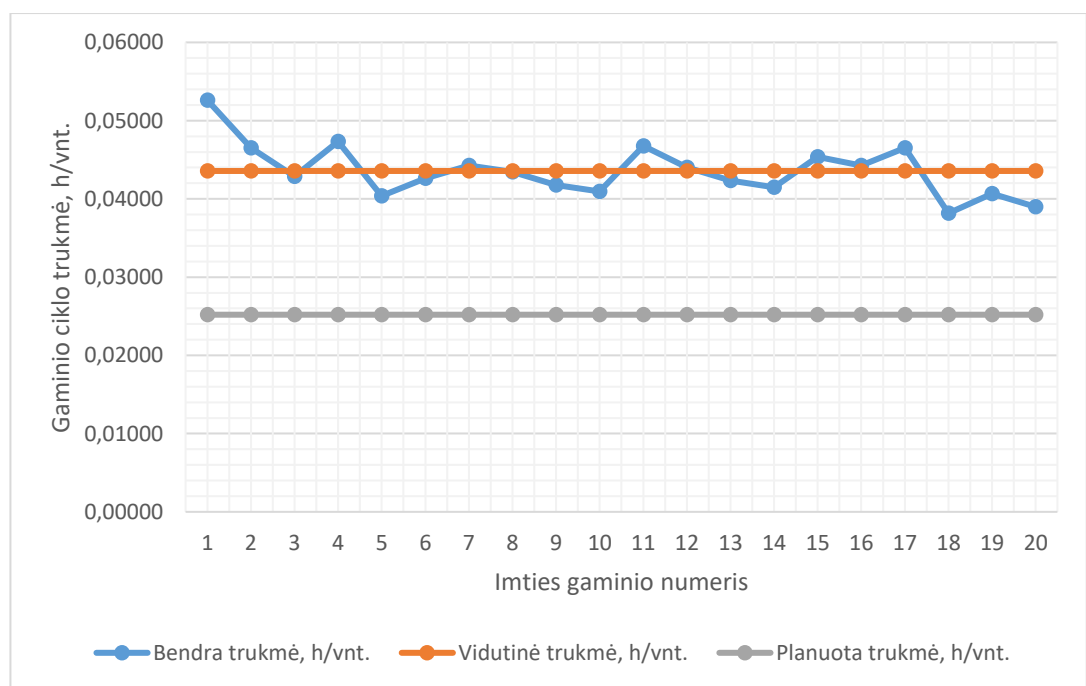
Stebėtojas	Donatas Kmieliauskas
Produktas	A
Operacija	Kokybės kontrolė
Partijos dydis	150
Stebėjimo data	2020-07-09
Operatorius	Labai patyręs

Pasiruošimo trukmė, h	Pasiruošimų skaičius	Pasiruošimo trukmė gaminiui, h/vnt.
0,1	1	0,00067

Nr.	Operacijos pasiruošimo veiksmai
1	Registruojama MES sistemoje
2	Nueinama pasiimti gaminių
3	Prisegama ESD apyrankė
4	Perskaitoma operacijos instrukcija

Nr.	Operacijos atlikimo veiksmai
1	Paimama ir ant stalo padedama panelė
2	Tikrinama, ar nėra mechaninių PCB ir komponentų pažeidimų
3	Tikrinama išvadų litavimo kokybė litavimo pusėje
4	Skaitoma operacijos instrukcija
5	Tikrinami komponentų pakilimas, pasvirimas, poliariškumas
6	Skaitoma operacijos instrukcija
7	Tikrinama lipdukų informacija
8	Padedamas gaminy s į vežimėlį

Nr.	Trukmė		Komentaras	Bendra trukmė, h/vnt.	Vidutinė trukmė, h/vnt.	Planuota trukmė, h/vnt.
	Min	s				
1	3	7		0,05261	0,04357	0,0252
2	2	45		0,04650	0,04357	0,0252
3	2	32		0,04289	0,04357	0,0252
4	2	48	Registruojamas defektas	0,04733	0,04357	0,0252
5	2	23		0,04039	0,04357	0,0252
6	2	31		0,04261	0,04357	0,0252
7	2	37		0,04428	0,04357	0,0252
8	2	34		0,04344	0,04357	0,0252
9	2	28		0,04178	0,04357	0,0252
10	2	25		0,04094	0,04357	0,0252
11	2	46	Registruojamas defektas	0,04678	0,04357	0,0252
12	2	36		0,04400	0,04357	0,0252
13	2	30		0,04233	0,04357	0,0252
14	2	27		0,04150	0,04357	0,0252
15	2	41		0,04539	0,04357	0,0252
16	2	37		0,04428	0,04357	0,0252
17	2	45		0,04650	0,04357	0,0252
18	2	15		0,03817	0,04357	0,0252
19	2	24		0,04067	0,04357	0,0252
20	2	18		0,03900	0,04357	0,0252



6 priedas. Gaminio A elektromechaninio surinkimo operacijos stebėjimo rezultatai

Stebėtojas	Donatas Kmieliauskas
Produktas	A
Operacija	EM surinkimas
Partijos dydis	150
Stebėjimo data	2020-07-10
Operatorius	Patyręs

Pasiruošimo trukmė, h	Pasiruošimų skaičius	Pasiruošimo trukmė gaminiui, h/vnt.
0,3	2	0,00400

Nr.	Operacijos pasiruošimo veiksmai
1	Registruojama MES sistemoje
2	Nueinama pasiimti gaminių
3	Nueinama pasiimti komponentų
4	Prisegama ESD apyrankė
5	Perskaitoma operacijos instrukcija
6	Pasiruošiamas automatinis suktuvus
7	Pasiruošiami klįjai

Nr.	Operacijos atlikimo veiksmai
1	Išpakuojamas radiatorius ir korpusas
2	Ant stalo padedamas radiatorius ir korpusas
3	Patikrinama korpuso paviršiaus kokybė
4	Prie metalinio korpuso keturi varžtais prisukamas radiatorius
5	Prie korpuso prisukami keturi varžtai
6	Prie korpuso prisukami du varžtai su veržle.
7	Prie radiatoriaus priklijuojamas šilumą išsklaidančios medžiagos juostelė
8	Varžtų sriegiai sutepami klįjais
9	Uždedama elektronikos plokštė
10	Plokštė prisukama šešiais varžtais
11	Padedamas gaminys į vežimėlį

Nr.	Trukmė		Komentariai	Bendra trukmė, h/vnt.	Vidutinė trukmė, h/vnt.	Planuota trukmė, h/vnt.
	Min	s				
1	4	45		0,08317	0,08007	0,04
2	4	36		0,08067	0,08007	0,04
3	4	31		0,07928	0,08007	0,04
4	4	24	Pastebėtas subraižytas korpusas	0,07733	0,08007	0,04
5	4	32		0,07956	0,08007	0,04
6	4	27		0,07817	0,08007	0,04
7	4	35		0,08039	0,08007	0,04
8	4	46	Pametamas varžtas	0,08344	0,08007	0,04
9	4	27		0,07817	0,08007	0,04
10	4	32		0,07956	0,08007	0,04
11	4	47	Atidaroma nauja radiatorių pakuotė	0,08372	0,08007	0,04
12	4	35		0,08039	0,08007	0,04
13	4	28		0,07844	0,08007	0,04
14	4	36		0,08067	0,08007	0,04
15	4	25		0,07761	0,08007	0,04
16	4	50	Atidaroma nauja korpusų pakuotė	0,08456	0,08007	0,04
17	4	27		0,07817	0,08007	0,04
18	4	22		0,07678	0,08007	0,04
19	4	39	Aptiktas brokuotas radiatorius	0,08150	0,08007	0,04
20	4	33		0,07983	0,08007	0,04

