



**VILNIAUS UNIVERSITETAS
ŠIAULIŲ AKADEMIJA**

IŠMANIOSIOS GAMYBOS INŽINERIJOS MAGISTRO STUDIJŲ PROGRAMA

KRISTINA VASILIŪTĖ

Magistro studijų baigiamasis darbas

**NEATITIKTINIO PRODUKTO ATSIKADIMO RIZIKOS MAŽINIMO
VEIKSMŲ TYRIMAS METALO APDIRBIMO ĮMONĖJE**

Darbo vadovas (-ė): doc. dr. Dalia, Čikotienė

Šiauliai, 2022

**Studijuojančiojo, teikiančio baigiamąjį darbą,
GARANTIJA**

WARRANTY of Final Thesis

Vardas, pavardė <i>Name, Surname</i>	Kristina Vasiliūtė
Padalinys <i>Faculty</i>	Šiaulių akademija <i>Šiauliai Academy</i>
Studijų programa <i>Study Programme</i>	Išmaniosios gamybos inžinerija <i>Smart Manufacturing Engineering</i>
Darbo pavadinimas <i>Thesis topic</i>	Neatitiktinio produkto atsiradimo rizikos mažinimo veiksmų tyrimas metalo apdirbimo įmonėje <i>Evaluation of risk reduction actions for non-conforming product in a metal processing company</i>
Darbo tipas <i>Thesis type</i>	Baigiamasis darbas <i>Final Thesis</i>

Garantuoju, kad mano baigiamasis darbas yra parengtas sąžiningai ir savarankiškai, kitų asmenų indėlio į parengtą darbą nėra. Jokių neteisėtų mokėjimų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

I guarantee that my thesis is prepared in good faith and independently, there is no contribution to this work from other individuals. I have not made any illegal payments related to this work.

Šiame darbe tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos yra pažymėtos literatūros nuorodose.

Quotes from other sources directly or indirectly used in this thesis, are indicated in literature references.

Aš, Kristina Vasiliūtė, pateikdamas (-a) šį darbą, patvirtinu (pažymėti)

I, Kristina Vasiliūtė, by submitting this paper confirm (check)



Embargo laikotarpis
Embargo Period

Prašau nustatyti šiam baigiamajam darbui toliau nurodytos trukmės embargo laikotarpį:
I am requesting an embargo of this thesis for the period indicated below:

- _____ mėnesių / months
(embargo laikotarpis negali viršyti 60 mėn. / *an embargo period shall not exceed 60 months*).
- Embargo laikotarpis nereikalingas / *no embargo requested*.

Embargo laikotarpio nustatymo priežastis / *Reason for embargo period:*

Vasiliūtė K. Evaluation of risk reduction actions for non-conforming product in a metal processing company: Master's work in Smart Manufacturing Engineering / supervisor doc. dr. D. Čikotienė; Vilnius University, Šiauliai Academy, 2022, 61 p.

SUMMARY

In order to increase a good image of the company against the clients, keep it competitive and uphold the most important customers - the quality of production must be ensured. To achieve this, the company must monitor non-conforming products, the cause of their occurrence and improve manufacturing processes and Quality Management System. Considering this, this master's thesis describes evaluation of risk reduction actions for non-conforming product in a metal processing company.

In company X analysis of non-conforming products was performed: quality indicators of the company analysed, scrap rate, repair costs and losses of each individual work centre evaluated. Data gained from those analysis allows to determine which work centers experience most losses related to deviations and non-confirming goods. Causes of these deviations, engineering solutions as well as production optimisations are evaluated in order to decrease non-confirming goods rate in production. In order to decrease that rate this thesis focuses on solutions like A3 methodology, OOBeya process as well as PFMEA process. Strength simulations were performed to check and ensure that offered solutions do not have a negative impact on product strength or durability. This thesis also analyzes benefits of automated robot welding and its impact on the quality and value of products.

Keywords: Non-conforming products, quality, Lean, „Oobeya“, PFMEA, reduction actions, preventive actions, corrective actions.

Vasiliūtė K. Neatitiktinio produkto atsiradimo rizikos mažinimo veikslių tyrimas metalo apdirbimo įmonėje: Išmaniosios gamybos inžinerijos magistro darbas / mokslinis vadovas doc. dr. D. Čikotienė; Vilniaus universitetas, Šiaulių akademija, 2022, 61 p.

SANTRAUKA

Siekiant pagerinti įmonės įvaizdį prieš klientus, išlikti konkurencingais ir išsaugoti didžiuosius įmonės klientus, reikia užtikrinti gaminamos produkcijos kokybę. Norint tai užtikrinti, reikia nuolat stebėti neatitiktinių produktų atsiradimą, nagrinėti jų atsiradimo priežastis ir tobulinti kokybės valdymo sistemą bei gamybos procesus. Atsižvelgiant į tai šiame magistro baigiamajame darbe aprašytas neatitiktinio produkto atsiradimo rizikos mažinimo veikslių tyrimas.

Atlikta neatitiktinių produktų X įmonėje analizė: išanalizuoti bendri įmonės kokybės rodikliai, atskirų darbo centrų neatitiktinių kiekių ir patirti remonto ar utilizavimo kaštai, kurie tyrimo metu padeda nustatyti, kuriuose darbo centruose dažniausiai daromos klaidos. Nagrinėjamos neatitiktinio produkto atsiradimo priežastys, inžineriniai bei gamybos optimizavimo sprendimai, siekiant minimalizuoti broko rodiklius. Tyrimo metu, siekiant sumažinti neatitiktinių skaičių, naudojami tokie problemų sprendimo būdai: A3 metodologija, „Oobeya“, PFMEA. Atliekami stipruminiai skaičiavimai, siekiant įvertinti, ar gamybos tobulinimo būdai neturi įtakos konstrukcijos stiprumui. Taip pat analizuojamas automatizuoto suvirinimo naudingumas, siekiant pagerinti produktų kokybę ir padidinti jų vertę.

Prasminiai žodžiai: Neatitiktinis produktas, kokybė, Lean, „Oobeya“, PFMEA, prevenciniai veiksmai, korekciniai veiksmai, automatizuotas suvirinimas.

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	6
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	7
IŽANGA.....	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	10
1.1. Kokybės apibrėžimas.....	10
1.2. Neatitiktinis produktas.....	11
1.3. ISO 9001 standartas.....	12
1.4. Lean sistema.....	15
1.5. Gamybos procesų automatizavimas ir robotizavimas	18
2. TYRIMO APŽVALGA.....	20
2.1. Gamybos metu nustatyto neatitiktinio produkto valdymo procedūra	20
2.2. Bendrų 2019-2020 m. duomenų palyginimas	22
2.3. Atskirų darbo centrų apžvalga	23
3. PRAKTINĖ DALIS	27
3.1. Neatitiktinio produkto prevencija inžinierių skyriuje.....	27
3.1.1. Prielaida	29
3.1.2. Esama situacija	29
3.1.3. Tikslai	30
3.1.4. Pagrindinės defektų atsiradimo priežastys	31
3.1.5. Atsakomosios priemonės	31
3.1.6. Efekto įrodymas.....	35
3.1.7. Tolimesni veiksmai.....	37
3.2. Neatitiktinio produkto prevencija rankinio suvirinimo darbo centre	38
3.2.1. PFMEA metodologija suvirinimo darbo centre	38
3.2.2. Produkto konstrukcijos tobulinimas	41
3.3. Proceso automatizavimo nauda mažinant neatitiktinius produktus	47
3.3.1. Automatizuota suvirinimo celė.....	47
3.3.2. Broko rodiklių ir produkto vertės analizavimas	49
IŠVADOS.....	52
LITERATŪRA	53

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1. lentelė. Vidinių neatitiktinių produktų kiekio ir kaštų palyginimas 2019-2020 m.....	22
3.1.1. lentelė. A3 ataskaita	28
3.1.2. lentelė. „Oobeya“ susirinkime aptariamose problemose.....	33
3.1.3. lentelė. Klaidų registras projektavimo metu 1-26 savaitėmis	34
3.1.4. lentelė. Klaidų registras projektavimo metu 27-52 savaitėmis	36
3.1.5. lentelė. Vidinių neatitiktinių produktų kiekio ir kaštų palyginimas 2020-2021 m.....	37
3.2.1. lentelė. Rizika	39
3.2.2. lentelė. Dažnumas.....	39
3.2.3. lentelė. Aptikimo tikimybė.....	40
3.2.4. lentelė. Gaminių kainos palyginimas	43
3.2.5. lentelė. Statinės analizės duomenys.....	45
3.2.6. lentelė. Rankinio suvirinimo D.C. broko rodikliai 2021 m.....	46
3.3.1. lentelė. Automatizuoto suvirinimo D.C. broko rodikliai 2021 m.....	47
3.3.2. lentelė. Nagrinėjamų gaminių rankinio suvirinimo D.C. broko rodikliai 2021 m.	49
3.3.3. lentelė. Nagrinėjamų gaminių savikaina ir gamybos atsiperkamumas	50
3.3.3. lentelės tęsinys	51

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Demingo ciklas (PDCA) [10]	13
1.2 pav. Lean įgyvendinimo trukdžiai [8].....	16
1.3 pav. Sėkmės veiksniai įgyvendinant Lean [8].....	16
1.4 pav. Gamybos tobulinimo ar optimizavimo būdai įmonėse.....	17
2.1 pav. Rizikos vertinimo matrica	23
2.2 pav. 2019 m. broko pasiskirstymas pagal D.C.	23
2.3 pav. 2020 m. broko pasiskirstymas pagal D.C.	24
2.4 pav. Inžinierių skyriaus broko rodikliai 2019-2020 m.	25
2.5 pav. Inžinierių skyriaus brokas pagal defektus	26
3.1.1 pav. Brėžinių ir gamybos aprašymų klaidos 1-26 savaitėmis	30
3.1.2 pav. Nuostolių priklausomybė nuo neatitikties aptikimo laiko	31
3.1.3 pav. Inžinierių skyriaus broko rodikliai 2021 m.....	35
3.1.4 pav. Brėžinių ir gamybos aprašymų klaidos 27-52 savaitėmis	35
3.1.5 pav. Apibendrinti tyrimo duomenys	36
3.2.1 pav. Mechaninių jungčių pavyzdžiai	41
3.2.2 pav. Analizuojamos konstrukcijos.....	42
3.2.3 pav. Konstrukcijų skirtumai	42
3.2.4 pav. Detalizuota kainų informacija.....	43
3.2.5 pav. Pilnos konstrukcijos statinės apkrovos analizė	44
3.2.6 pav. Trijų komponentų statinės apkrovos analizė	45
3.3.1 pav. ABB manipulatorius.....	48
3.3.2 pav. Automatizuota suvirinimo celė	48
3.3.3 pav. Darbo vieta.....	48
3.3.4 pav. Virinami gaminiai	49
3.3.5 pav. Virinamų gaminių šablonai.....	50

IŽANGA

Kiekvienos gamybinės įmonės tikslas yra aukštos kokybės gaminiai ir didžiausias galimas pelnas. Šie du rodikliai labai susiję tarpusavyje, kadangi gerinant produkto kokybę ir mažinant neatitiktinių produktų kiekį gamyboje, ne tik pagerinamas įmonės įvaizdis prieš klientus, bet ir sumažinamos remonto ar utilizavimo išlaidos. Norint užtikrinti aukštos kokybės gaminių pristatymą klientams ir kliento poreikių įgyvendinimą, reikia nuolat stebėti neatitiktinių produktų atsiradimą, nagrinėti jų atsiradimo priežastis ir tobulinti kokybės valdymo sistemą bei gamybos procesus. Atsižvelgiant į tai šiame magistro baigiamajame darbe aprašytas neatitiktinio produkto atsiradimo rizikos mažinimo veiksnių tyrimas.

Temos aktualumas. Atsižvelgiant į dabartinį konkurencingumą metalo apdirbimo įmonių rinkoje, reikia įdėti daug pastangų ne tik pritraukiant naujus klientus, bet ir norint išlaikyti didžiausius įmonės tiekėjus ir esamus klientus. Tam reikalingas ne tik greitas pristatymo laikas, bet ir aukšta produktų kokybė. Siekiant sumažinti neatitiktinių produktų kiekį gamyboje, ieškoma įvairių korekcinųjų ar prevencinių veiksnių, inovatyvių sprendimų ar modernizacijos galimybių.

Keliamų klausimų ištyrimo lygis. Gamybinėse įmonėse labiausiai paplitusi kokybės valdymo gerinimo priemonė – ISO 9001 kokybės standartas. Šis standartas, kaip modelis, suformuluoja reikalavimus, keliamus kokybės vadybos sistemai – jis skirtas kokybės vadybos sistemos (KVS) rezultatyvumui didinti, atsižvelgiant į vartotojo poreikius.[30] ISO 9001 standarto tema yra plačiai paplitusi. Jo naudingumas bei efektyvumas gamybinėms įmonėms buvo įrodytas įvairiais tyrimais. Kita plačiai paplitusi neatitiktinių produktų rizikos atsiradimo mažinimo priemonė – gamybos automatizavimas ar robotizavimas. Atliekama įvairių tyrimų, siekiant įrodyti automatizuotų darbo celių atsiperkamumą bei naudingumą. Tačiau sprendžiant broko atsiradimo gamyboje problemą, retai nagrinėjami inovatyvūs sprendimai, tokie kaip „Oobeya“, „Kaizen“, „PFMEA“ procesų įvedimas į produkto vystymo procesą. Šiuos inžinerinius sprendimus dažniau aprašo užsienio mokslininkai ar studentai, kadangi Lietuvoje šie problemos sprendimo būdai kol kas nėra labai paplitę.

Tyrimo objektas. Gamybos metu nustatyti neatitiktiniai produktai metalo apdirbimo įmonėje. Jų atsiradimo rizikos mažinimo prevenciniai ir korekciniai veiksmai.

Tyrimo tikslas. Išnagrinėti neatitiktinio produkto atsiradimo priežastis, nustatyti darbo centrus, kuriuose dažniausiai daromos klaidos, pateikti prevencinius ar korekcinius veiksmus tų klaidų atsiradimui bei įvertinti atliktų veiksnių naudą, siekiant minimalizuoti broko kiekį metalo apdirbimo įmonėje.

Tyrimo uždaviniai.

1. Atlikti dažniausiai naudojamų neatitiktinių produktų mažinimo veikslių literatūros analizę, nustatyti jų privalumus ir trūkumus.
2. Remiantis turimu neatitiktinių produktų duomenų registru, išanalizuoti esamą įmonės X situaciją.
3. Nustatyti darbo centrus, kuriuose fiksuojami didžiausi broko ir patirtų remonto ar utilizavimo išlaidų rodikliai.
4. Aprašyti galimus nestandartinius neatitiktinio produkto rizikos atsiradimo prevencinius veiksmus.
5. Įvertinti inžinerinių sprendimų naudą, siekiant išspręsti konstrukcines problemas.
6. Įvertinti automatizuotos gamybos naudą, siekiant pagerinti gaminamos produkcijos kokybę.

Teorinė darbo reikšmė. Magistro baigiamajame darbe naudojama 3D modeliavimo programa „Autodesk Inventor Professional 2022“. Nagrinėjamos neatitiktinio produkto atsiradimo priežastys, inžineriniai bei gamybos optimizavimo sprendimai, siekiant sumažinti broko rodiklius.

Praktinė darbo reikšmė. Tiriamoje X įmonėje buvo įvesti ilgalaikiai fiksuoti broko rodiklių mažinimo procesai, kurie buvo sukurti tyrimo metu. Siekiant užtikrinti naujų procesų naudingumą, broko rodikliai turi būti toliau stebimi, tačiau šio tyrimo duomenys gali būti naudingi kiekvienai pramoninei įmonei. Šiame magistro baigiamajame darbe pristatyti procesai bei metodologijos, gali būti panaudotos siekiant ne tik sumažinti neatitiktinių produktų atsiradimo riziką, bet ir siekiant padidinti produkto vystymo produktyvumą, jo vertę bei bendradarbiavimą tarp įmonėje esančių darbo centrų.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Dėl padidėjusios konkurencijos, nebeužtenka klientams pasiūlyti prekių ar paslaugų mažiausia kaina, nes visuomet atsiras konkurentas, galintis tai suteikti dar mažesne. Pagrindinis kriterijus, į ką klientai vis daugiau kreipia dėmesį, tampa prekės ar paslaugos kokybė [11]. Norint patenkinti kliento lūkesčius, tiekiant kokybišką produkciją ir didinti pelną, mažinant neatitiktinio produkto atsiradimo riziką metalo apdirbimo įmonėje, visų pirma reikia suprasti, kas yra kokybė ir kas yra neatitiktinis produktas.

1.1. Kokybės apibrėžimas

Nors su sąvoka kokybė susiduriama labai dažnai, literatūroje ji neturi tikslaus vieno apibrėžimo. Skirtinguose šaltiniuose žodis kokybė aiškinamas vis nauju apibrėžimu, tačiau šie apibrėžimai turi panašią reikšmę: kokybiškas produktas turi atitikti kliento reikalavimus ir tokias kokybės charakteristikas kaip patikimumas, tinkamumas naudojimui, minimali savikaina. Mokslinėje literatūroje galima aptikti ir tokių atvejų, kai kokybės apibrėžimai yra klasifikuojami pagal požiūrį į kokybę. David A. Garvin išskyrė 5 pagrindinius požiūrius į kokybę [25]:

- **Transcendentinis požiūris** – „Net jeigu kokybė negali būti apibrėžta, jūs žinote, kas tai yra. Tai sąlyga tobulumo, reiškianti puikią kokybę, skirtingai nuo blogos kokybės“ (Garvin, 1988).
- **Produkto kokybė** – tikslus ir objektyviai išmatuojamas dydis. Kokybę atspindi produkto savybių ir požymių kiekis.
- **Kokybė vartotojui** – tai vartotojo reikalavimų produktui atitikimo lygis. Šiuo aspektu produkto kokybė sunkiai nustatoma dėl skirtingo vartotojų skonio ir skirtingų poreikių.
- **Kokybė gamyboje** – tai kokybė, kuri iš anksto apibrėžiama reikalavimais, standartais ir kitais dokumentais, bet koks nukrypimas nuo jų laikomas defektu. Kokybė gamyboje pasiekama projektuojant proceso valdymą gamybos metu, prevenciškai pastebint nukrypimus nuo standartų ir tokiu būdu išvengiant defektų.
- **Vertės požiūris** – Šiuo požiūriu kokybė apibrėžiama kaštų ir kainos sąvokomis. Kokybiškas produktas – turintis geras charakteristikas arba efektyviai eksploatuojamas priimtinais kaštais ar kaina.

Profesorius David A. Garvin apibrėžia kokybę, kaip aiškiai suprantamą, objektyviai išmatuojamą dalyką. Kiekvienas vartotojas turi savo nuomonę apie įsigytą produktą ir gali išreikšti savo nuomonę apie jo kokybę. Kaip minėjo profesorius, tas pats produktas vienam vartotojui gali atrodyti kokybiškas, o kitam – ne. Gali pasitaikyti tokių atvejų, kai produkto vystymo metu neaptinkama jokių defektų, tačiau gaunamas skundas iš kliento dėl nekokybiško produkto. Taip gali

atsitikti dėl keleto priežasčių: produkto žemas patikimumo lygis, produktas neatitinka kliento reikalavimų: neatitinka matmenys, spalva ar medžiaga.

Remiantis moksline literatūra (Garvinas, 1988, Kanas, 1996, Čereška ir Pauža, 2005, Fosteris 2007 ir kt.) galima teigti, kad produkto kokybės įvertinimas yra sunki užduotis, kuri priklauso nuo kiekvienos įmonės tikslų ir jos pobūdžio. Siekiant gerinti ir išlaikyti aukštą produktų kokybę svarbu išsiskirti pačius svarbiausius vertinamuosius kriterijus. David A. Garvin pasiūlė aštuonis esminius kokybės aspektus arba kategorijas, kurios gali būti strateginės analizės pagrindas [6]:

- **Našumas/produkto galimybių rodikliai** – kaip gerai produktas veikia atsižvelgiant į pagrindines jo savybes? Ar šis produktas atliks numatytą darbą?
- **Funkcionalumas** – kokias papildomas charakteristikas produktas gali pasiūlyti vartotojui?
- **Patikimumas** – mašinos, sudedamųjų dalių arba įrangos gebėjimas tam tikromis sąlygomis nustatytą laikotarpį be gedimų atlikti reikiamą funkciją.
- **Standartų atitikimas** – ar gaminys atitinka visus standarto, specifikacijų reikalavimus?
- **Ilgamžiškumas** – produkto tarnavimo laikas.
- **Tinkamumas aptarnauti** – kaip lengvai galima suremontuoti produktą arba pakeisti jo komponentus?
- **Estetika** – tai jutiminės gaminio charakteristikos: išvaizda, garsas, skonis ir kvapas, atsižvelgiant į pagrindines produkto savybes.
- **Suvokiama kokybė** – kokia produkto reputacija, reitingas rinkoje?

Daugelis šių kokybės kategorijų apibūdina papildomas produkto savybes, kurios pakelia produkto vertę, tačiau viena svarbiausių kategorijų – standartų atitikimas. Metalų apdirbimo ar kitose įmonėse įvedami nacionaliniai, tarptautiniai ar vidiniai tos įmonės standartai. Atsižvelgiant į šiuos standartus yra kur kas lengviau identifikuoti neatitiktinius produktus gamyboje.

1.2. Neatitiktinis produktas

Neatitiktinis produktas – tai produktas, kurio parametrai turi nukrypimų nuo standartų. Kadangi standartai nuolat keičiasi, sensta ir yra sudaromi žmonių, kurie turi savo individualią nuomonę, neatitiktinio produkto rizika būtų sumažinta, jeigu, esant galimybei, su kiekvienu klientu standartai ir produktui keliami reikalavimai būtų išanalizuoti atskirai. Ne visada vienam produktui iškelti reikalavimai tinka ir kitam, turi būti atsižvelgta ir į tai, kur produktas bus naudojamas (viduje ar lauke), kurie paviršiai yra gerai matomi, kurie mažai matomi, o kurie išvis nesimatys (tarkime paviršius, kuris bus pritvirtintas prie sienos), kokia turi būti konstrukcija (išardoma ar ne) ir t.t.. Išsiaiškinus kliento poreikius ir produkto paskirtį yra kur kas lengviau užtikrinti procesą, kuriuo metu bus pagaminti aukštos kokybės gaminiai, taip pat bus sumažinta neatitiktinio produkto rizika gamyboje. Kitu atveju, būtina laikytis vieno iš pagrindinių kokybės standartų (ISO 9001, ISO 9002,

ISO 9003) arba nusistatyti savo įmonės vidinius kokybės standartus ir jų laikytis, kai nėra kliento pateiktų kokybės reikalavimų, ypač jeigu užsakymai nėra vienkartiniai ir įmonėje yra taikomas masinis gamybos tipas: produktai yra gaminami nuolatos, kadangi visuomet išlieka jų poreikis klientams. Tokiu atveju yra labai svarbus bendradarbiavimas įmonės viduje ir aiškiai sukurtos vidinės taisyklės, kurių turi laikytis visi įmonės darbuotojai. Sukurti reikalavimai produktams turi būti aiškiai suprantami, kad bet kuris darbuotojas galėtų ne tik prisidėti prie produkto vystymo, bet ir lengvai atpažinti nekokybišką produktą. Labai svarbu nuolat stebėti, gerinti gamybos procesą, tobulinti operacijas ir jų efektyvumą bei bendradarbiauti siekiant išvengti neatitikčių gaminant produktus.

1.3. ISO 9001 standartas

Nustatyti vidiniai įmonės kokybės standartai padeda įmonėms kelti produkto kokybę ir vertę, tačiau dažnu atveju tai būna pagalbinės priemonės. Vienas pagrindinių standartų, kurį įmonės naudoja siekiant tobulinti kokybės vadybos sistemą, yra ISO 9001 tarptautinis standartas. 2018 metų Lietuvos standartizacijos departamento duomenimis yra apie 600 įmonių Lietuvoje, kurios turi galiojantį ISO 9001 sertifikata. [24] Šis standartas yra vienas iš trijų tarptautinių standartų, susijusių su kokybės sistemomis, kurios gali būti naudojamos išorinio kokybės užtikrinimo tikslais. Standarto esmė – procesinio požiūrio taikymas visiems organizacijos teikiamiems darbams. Organizacija, remdamasi baziniu KVS modeliu, gali nustatyti projektavimo, gamybos, produkto ar paslaugos teikimo procesus. [16] Sėkmingai dirbanti įmonė turi sugebėti valdyti kokybę gamybos metu. Kokybės valdymo įrodymas yra pagrindas, suteikiantis klientams pasitikėjimą, kad jų užsakymai bus atlikti pagal visus keliamus reikalavimus. Įdiegta kokybės sistema padidina bendrą veiklos efektyvumą, pagerina ryšius su klientais. Šį sertifikatą turinčios įmonės yra laikomos patikimomis, solidžiomis partnerėmis, su kuriomis verta megzti ilgalaikį bendradarbiavimą. Vykdamas darbo procesus orientuojamasi į ilgalaikius tikslus ir kokybę. [1]

ISO 9001 standarto įvedimas įmonėje nėra atskiras vienkartinis veiksnys užtikrinantis kokybišką produkciją. Siekiant patenkinti kliento poreikius ir formuoti lojalių klientų ratą, reikia nuolatinio kokybės valdymo tobulinimo. Pats sertifikato įvedimas neduoda žaibiško efekto ar naudos. Jis yra efektyvus tik tada, kai įmonė laikosi pateiktų rekomendacijų ir iš tiesų siekia visapusiško tobulėjimo tiek klientų, tiek darbuotojų atžvilgiu. Kitu atveju, ISO 9001 aprašytos procedūros gali trukdyti, o ne padėti vystyti įmonės veiklą. Žinoma, reikia atsižvelgti ir į tai, kad produkto kokybė labai priklauso nuo pagrindinių kokybės vadybos principų, kurie aprašyti šiame standarte: dėmesys į kliento poreikius, lyderystė, darbuotojų įsitraukimas ir motyvavimas, nuolatinis procesų ir produktų tobulinimas, bendradarbiavimo ugdymas. [16] Padaryti taip, kad ISO 9001 taptų neatsiejama organizacijos gyvavimo dalimi, padedančia jai pirmauti rinkoje, gali tik žmonės susipažinę su šiuolaikine vadyba ir sugebantys ją lanksčiai pritaikyti realiame gyvenime. Siekiant ilgalaikės

naudos, įmonėje turi būti įvesti ir nuolat peržiūrimi inovatyvūs ir efektyvūs procesai, palengvinantys darbuotojų atliekamas užduotis ir didinantys produkto vertę. ISO 9001 padeda tai įgyvendinti, pateikdamas rekomendacijas į produkto vystymo procesą įtraukti tokias šiuolaikines priemones kaip PDCA (Plan-Do-Check-Act) metodologiją ar rizika grįstą mąstymą (angl. „Risk-based thinking“).

PDCA dar vadinamas „Demingo ciklu“ ar „Demingo ratu“. Šis ciklas padeda surasti problemos atsiradimo priežastį ir numatyti veiksmus šiai problemai pašalinti. PDCA padeda užtikrinti, kad įvairūs procesai įvesti įmonėje būtų valdomi, kad būtų pakankamai išteklių juos prižiūrėti ir nuolat tobulinti. Demingo ciklą (žr. 1.1 pav.) sudaro keturi žingsniai [10]:

1 žingsnis: Planuok

Stebint situaciją įmonėje, nustatoma ir tiksliai suformuluojama problema. Parenkami šios problemos sprendimo būdai, kurie pristatomi įmonės darbuotojams, kadangi PDCA metodas pabrėžia, kad idealiu atveju, kuo daugiau darbuotojų turi būti įtraukti į problemos sprendimo ir produkto ar proceso tobulinimo procesus.

2 žingsnis: Daryk/atlik

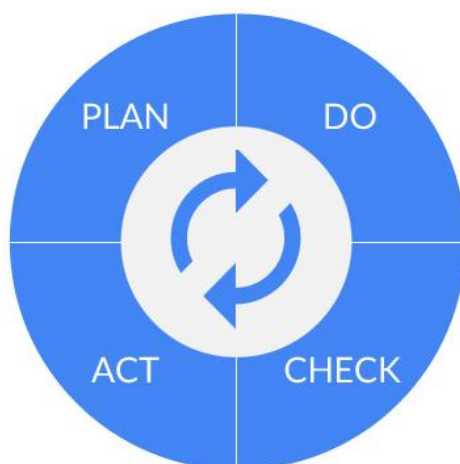
Šiame etape atliekamas eksperimentas, realiai pritaikomos problemos sprendimo priemonės. Įmonės darbuotojai imasi apčiuopiamų veiksmų, kurie buvo aptarti planavimo etape.

3 žingsnis: Patikrink

Norint įvertinti procesų, įdiegtų siekiant išspręsti problemą, naudingumą, turi būti atliktas patikrinimas. Šiame etape įvertinami veiksmų ir problemos sprendimo poveikiai. Nustatoma, ar eksperimentas ir įvesti veiksmai padeda priartėti prie tikslo.

4 žingsnis: Veik

Jeigu įvesti pakeitimai padeda išspręsti problemą, sukurtais problemos sprendimo veiksmais, šie veiksmai turi būti standartizuoti ir ilgalaikiai. Jeigu problemos šiais veiksmais nepavyko išspręsti, ciklą reikia kartoti iš pradžių.



1.1 pav. Demingo ciklas (PDCA) [10]

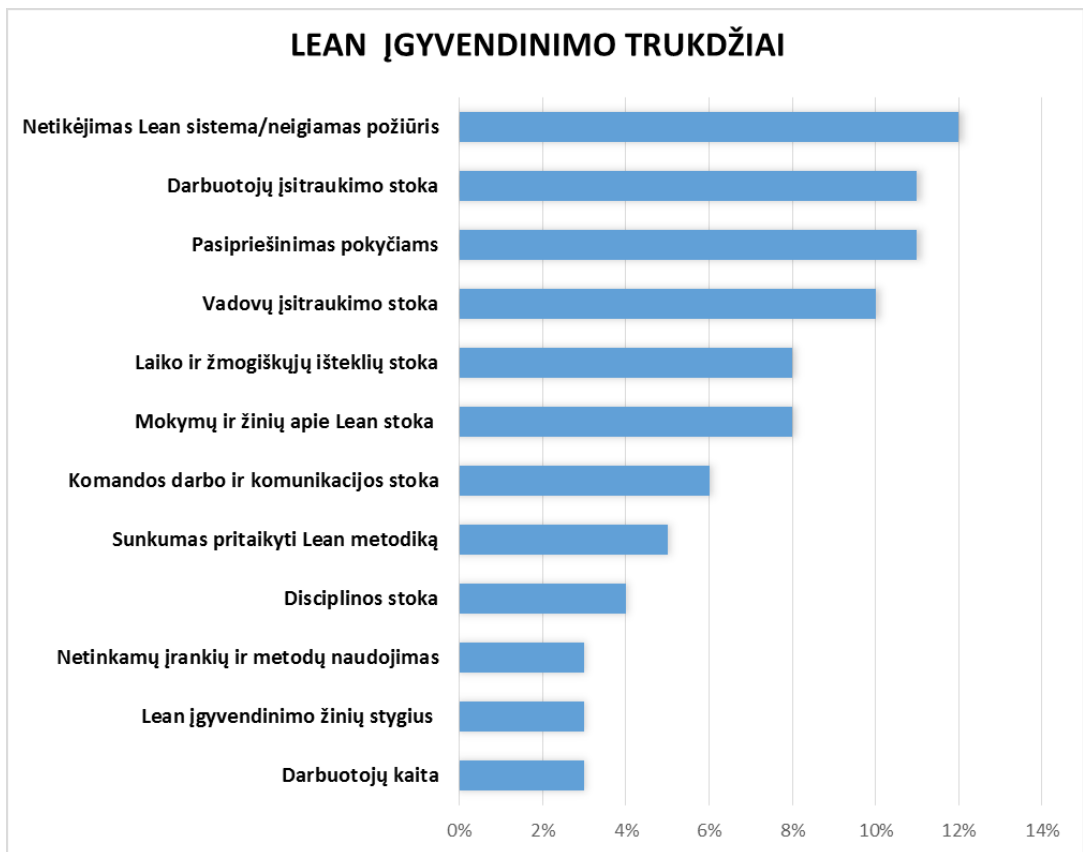
Rizika grįstas mąstymas ISO 9001 tarptautiniame standarte pristatomas kaip priemonė, leidžianti organizacijai nustatyti veiksnius, dėl kurių įmonėje įdiegti procesai ir kokybės vadybos sistema gali nukrypti nuo planuotų rezultatų. [16] Vadovaujantis šia metodologija, įmonė gali maksimaliai išnaudoti atsirandančias galimybes ir sumažinti neigiamą poveikį, diegiant prevencines kontrolės priemones. Rizika grįstas mąstymas yra būtinas norint sukurti veiksmingą kokybės valdymo sistemą. Ši sistema turi užtikrinti, kad visi pasitaikantys neatitikimai, produkto vystymo metu, būtų analizuojami ir fiksuojami. Vadovaujantis šia metodologija turi būti numatomi prevenciniai veiksmai, siekiant iš anksto pašalinti galimus neatitikimus. Prevenciniai veiksmai padeda užkirsti kelią neatitikčių pasikartojimui, tačiau norint sėkmingai sukurti šiuos veiksmus ir atitikti ISO 9001 standarto reikalavimus, visų pirma įmonė turi įvertinti rizikas ir galimybes. Taikant šią metodologiją gali atsirasti įvairių galimybių, kurios įmonei padeda pasiekti numatytus tikslus. Susiklosčius palankioms aplinkybėms ir laiku įvertinus galimybes, įmonė gali lengviau pradėti bendradarbiauti su naujais klientais, kurti vertingesnius produktus, sumažinti atliekų kiekį arba pagerinti našumą.

ISO 9001 tarptautinio standarto pateiktos rekomendacijos yra naudingos kiekvienai įmonei, kuri nori tobulinti produkto vystymo procesus ir kelti produkto vertę. Tačiau visi šio standarto privalumai atsiskleidžia tik tuomet, kai įmonėje vyrauja bendradarbiavimas tarp vadovybės, administracijos ir gamybos darbuotojų, siekiant įgyvendinti to standarto reikalavimus ar rekomendacijas. Kitu atveju, kai įmonėje nėra vieningumo, šis standartas gali pakenkti. Jeigu ISO 9001 įmonėje įdiegtas tik dėl to, kad klientai šia įmone labiau pasitikėtų, darbuotojams gali pasirodyti, kad šis sertifikatas yra nenaudingas. Tokiu atveju, darbuotojai nebus pakankamai motyvuoti ir nesistengs vadovautis jo rekomendacijomis. Siekiant to išvengti, įmonė turėtų įsivertinti visus ISO 9001 standarto privalumus ir trūkumus ir pačios įmonės ryžtą, tobulinti savo kokybės vadybos sistemą. Kartais įmonės vietoj šio standarto, arba kaip tik vadovaujantis jo rekomendacijomis, renkami ir kitas neatitiktinio produkto rizikos mažinimo priemonės, tokias kaip „Lean“: Six Sigma (6 Sigma), „Kaizen“ ir t.t.. Žinoma, reikia atkreipti dėmesį į tai, kad šios metodikos yra skirtos ne tik sumažinti broko rodiklius, bet taip pat – padidinti bendradarbiavimą tarp skyrių bei darbo centrų. Pasak Anando ir Kodalio, perėjimas prie „Lean“ gamybos sistemos toli gražu nėra paprastas procesas. Jis susideda iš dviejų etapų. Pirmasis etapas – tai produkcijos savikainos mažinimas ir darbo našumo didinimas. Antrasis – nuolatinio tobulėjimo procesas, kurio paskirtis, kad kiekvienas darbuotojas savo darbe turi naudoti naujas technologijas ir siekti tobulumo.[2] Iš „Lean“ sistemos etapų, galima pastebėti, kad tiek ši sistema, tiek ISO 9001 standartas įmonėms kelia panašius tikslus.

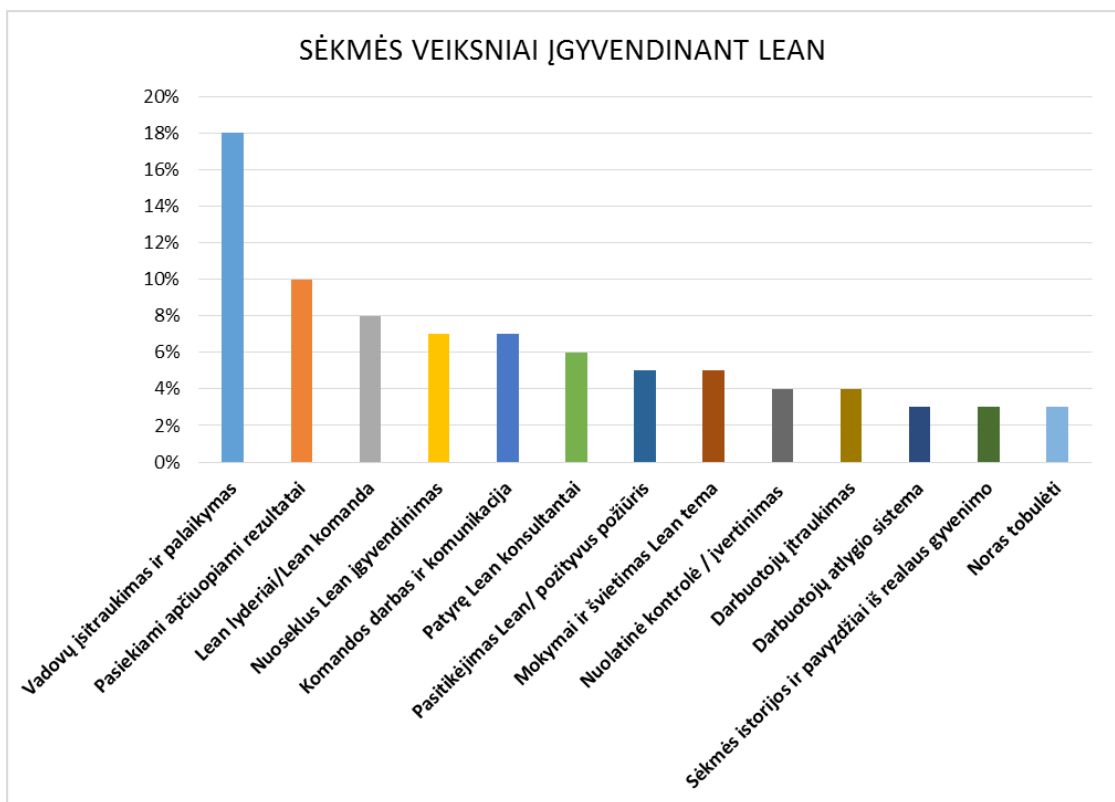
1.4. Lean sistema

Hitoshi Takeda teigimu, nors „Lean“ metodika ir gimė gamyboje – Toyotos kompanijoje – jos principai, logika ir sprendimai yra pakankamai universalūs ir yra sėkmingai taikomi įvairiose veiklos srityse – paslaugų, sveikatos priežiūros, IT, viešojo sektoriaus, statybų, karybos ir daugelyje kitų sričių – visur, kur organizacijas domina jų kuriamos pridėtinės vertės maksimizavimas. [12] Nors ši sistema universali ir plačiai paplitusi, tai nereiškia, kad ją lengva pritaikyti. Siekiant gauti naudos iš „Lean“ metodikos, reikia daug laiko ir patirties. Vien tik teorinių, sisteminių ir metodinių Lean žinių nepakanka. Būtina turėti realaus vadovavimo darbo patirties, būti geru komunikatoriumi, sugebėti daryti įtaką žmonėms, greitai perprasti analizuojamus procesus, gebėti dirbti sistemiškai bei kūrybiškai spręsti problemas. [14]

„Lean“ gamybos sistema metalo apdirbimo įmonėse taikoma, siekiant mažinti gamybos sąnaudas ir didinti produkcijos kokybę. Taikant šią sistemą, be galo svarbu įsivertinti ir suprasti kliento reikalavimus bei bendradarbiauti įmonės viduje. „Lean“ metodika pasiteisina tik tada, kai į produkto vystymo procesą būna įtraukti darbuotojai iš skirtingų skyrių ar darbo centrų. „Daugelyje gamybinių įmonių standartus ir naujus procesus apibrėžia gamybos inžinieriai, kurie yra supažindinti ir įgavę specifinių žinių kaip atlikti tam tikrą veiksmą, bet tik atskirų procesų šeimininkai turi pakankamai smulkmeniškos informacijos apie jų prižiūrimus procesus, ir tai leidžia greitis pasikartojančiais veiksmais užtikrinti gaminių kokybę. Todėl, kuriant darbo procedūras, labai svarbu įtraukti darbuotojus, kurie yra savo srities profesionalai: tuomet procesas bus sukurtas pasitelkiant geriausias žinias ir praktikas, o tai leis užtikrinti, kad darbuotojai matys proceso naudą ir griežtai laikysis procedūrų, užtikrinančių nenutrūkstamą gamybos veiklą.“[17] Gamybos darbuotojų, komandos lyderių ar technologų įsitraukimas į produkto vystymą, gali padėti ne tik išvengti neatitiktinių gaminant naują produktą, tačiau ir pakelti šio produkto vertę. Mariaus Gembuto 2019 m. atlikto tyrimo „Lean taikymo trukdžiai ir esminiai sėkmės faktoriai Lietuvos mažose ir vidutinėse įmonėse“ duomenimis, didžiausi Lean įgyvendinimo trukdžiai – netikėjimas Lean sistema, darbuotojų bei vadovų įsitraukimo stoka (žr. 1.2 pav.). [8] Šie duomenys atskleidžia, kad siekiant įgyvendinti Lean principus: surasti gamybos siaurąsias vietas, sukurti vertės kūrimo srautą, nustatyti trauką, nuolat tobulėti, būtinas visų darbuotojų bei vadovų įsitraukimas. Naudojami Lean metodai įtraukia darbuotojus į kasdienę tobulinimo veiklą, padeda ugdyti savarankiškumą, atsakomybę bei komandinį darbą. Darbuotojai matydami „apčiuopiamą“ savo pastangų rezultatą tampa labiau motyvuoti, todėl padidėja tikimybė, kad Lean metodologija sėkmingai prisidės prie produkto vertės didinimo ir neatitiktinių produktų minimalizavimo įmonėje (žr. 1.3 pav.).

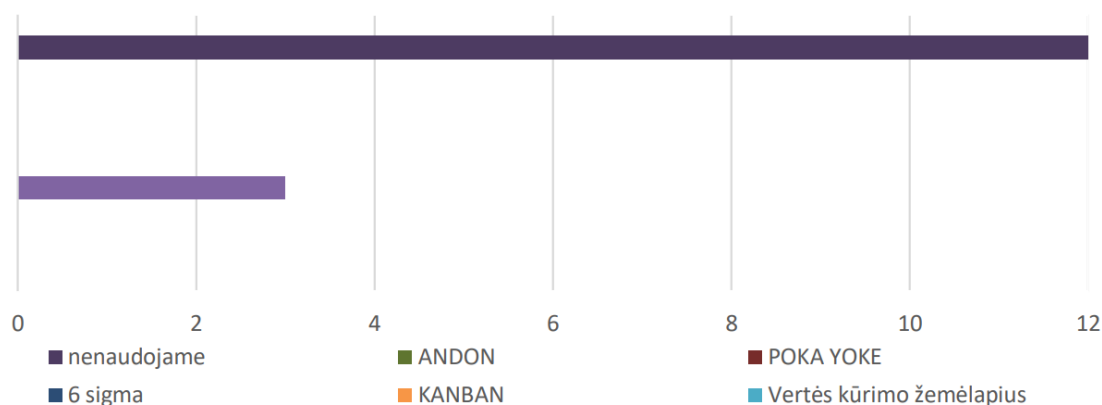


1.2 pav. Lean įgyvendinimo trukdžiai [8]



1.3 pav. Sėkmės veiksniai įgyvendinant Lean [8]

Lietuvos metalo apdirbimo įmonės dažniausiai naudoja tik vieną ar du Lean sistemos įrankius. Mantas Vancevičius atliko tyrimą apie gamybos tobulinimo ir optimizavimo būdus Lietuvos įmonėse. Tyrimo metu respondentai atsakė, kokius gamybos tobulinimo ir optimizavimo būdus naudoja įmonėje. Net 12 įmonių nenaudoja jokių Lean gamybos sistemos tobulinimo būdų, o tik 3 įmonės savo gamyboje naudoja JIT (angl. Just in Time) metodą, kuris padeda efektyviai valdyti žaliavų paskirstymą gamyboje (žr. 1.4 pav.). [27]



1.4 pav. Gamybos tobulinimo ar optimizavimo būdai įmonėse

Studento tyrimo apklausoje nurodyta 6 Sigma metodologija, nenaudojama nei vienoje apklaustoje Lietuvos įmonėje, tačiau ši metodologija yra plačiai paplitusi Japonijoje ir JAV. Tam tikrais atvejais 6 Sigma ir Lean metodikas galima sėkmingai derinti. Tačiau atsižvelgiant į 6 Sigma metodologijos keliamus aukštus reikalavimus, daugelyje Lietuvos įmonių šis gamybos ir kokybės optimizavimo būdas yra atmetamas. 6 Sigma metodas yra siejamas su Motorola kompanija, kuri XX a. 9 dešimtmetyje pirmoji pradėjo naudoti šį metodą. Jis buvo sukurtas siekiant nustatyti ir pašalinti klaidas ir defektus gamybos procesuose, juos optimizuoti ir pasiekti kaip įmanoma geresnių rezultatų. 6 Sigma pagrindinis tikslas yra pasiekti aukštą našumą, patikimumą ir naudą klientui, supratus ryšį tarp proceso ar produkto įvesčių ir davinių, kuriais galima pamatuoti proceso ar produkto kokybę. Šis metodas leidžia organizacijoms pasiekti labai mažą klaidų skaičių milijonui galimybių, ilgalaikėje perspektyvoje. [15] **Sigma** (graikų abėcėlės raidė) naudojama pažymėti standartiniam nukrypimui, kuris parodo stebimos charakteristikos variacijų dydį. Variacijos yra blogos kokybės sinonimas ir reiškia, kad matuojama charakteristika nukrypsta nuo reikiamos reikšmės arba kokybės specifikacijos. **Šešios sigma** (6σ) reiškia, kad tik 3,4 karto iš milijono atvejų arba galimybių (angl. Defects per Million Opportunities – DPMO) reali proceso charakteristika nepatenka į intervalą tarp vienos iš kokybės specifikacijos ribų. Tai yra labai aukštas proceso kokybės lygis. Absoliučios daugumos realių verslo procesų kokybė neviršija 3-4 sigma lygio. 6 Sigma gerai veikia tuose procesuose, kur yra gaminami dideli kiekiai produkcijos. Taip pat ten, kur kuriami ar gaminami

aukštos kokybės produktai. [15] Pavykus sėkmingai suderinti Lean ir 6 Sigma metodikas, įmonėje atsiskleidžia šios charakteristikos [28]:

- Didelis dėmesys projekto supratimui: kliento poreikių supratimas;
- Kruopštumas, tikrinant matavimo sistemą;
- Duomenų bazių bei statistinių įrankių naudojimas procesų vystyme, siekiant nustatyti pagrindines neatitikimų atsiradimo priežastis;
- Kūrybiškumas problemų sprendimo kūrime;
- Standartų, instrukcijų kūrimas, siekiant išlaikyti patobulinius gamybos procesuose;
- Nesibaigiančios pastangos, siekiant tobulinti procesus;
- Stiprus vadovybės palaikymas.

Šios charakteristikos motyvuoja daugumą įmonių, naudoti 6 Sigma metodiką, gamybos procesuose, tačiau visų pirma reikia įsivertinti gamybos apimtį, šios metodikos privalumus ir trūkumus. Galbūt įmonėje nėra keliami tokie aukšti kokybės reikalavimai ir siekiant patobulinti produkcijos kokybę bei gamybos procesus, užtektų naudoti mažesnius reikalavimus turinčius Lean įrankius. Lean sistema taip pat gali būti suderinama su kitu plačiai paplitusiu gamybos tobulinimo būdu – gamybos procesų automatizavimu ar robotizavimu.

1.5. Gamybos procesų automatizavimas ir robotizavimas

Padidėjęs naujų technologijų, tokių kaip dirbtinis intelektas, robotika ar gamybos procesų automatizavimas, naudojimas turi skirtingą poveikį įvairiose pramoninėse įmonėse. Šis gamybos tobulinimo būdas, tampa vis dažniau pastebimas ne tik užsienio šalyse, bet ir Lietuvoje. Apie šias modernias technologijas atsiranda vis daugiau mokslinių straipsnių, tyrimų ir knygų, kuriuose bandoma įrodyti tiek jų privalumus, tiek trūkumus, bandoma paaiškinti įvairias įmonių patiriamas transformacijas, kodėl ir kaip vyksta produktyvumo pokyčiai. Robotizuotos sistemos būna diegiamos įmonėse, kuriose siekiama tobulinti gamybos procesus ir produkcijos kokybę. Kai kurioms įmonėms tai pagrindinis gamybos optimizavimo šaltinis, kitoms tai papildomas veiksnys, derinant robotizuotas sistemas kartu su Lean metodologija. Diegiant modernizuotas sistemas įmonėje, kurioje veikia Lean principai, mažėja nesėkmingos integracijos rizika, kadangi tokioje gamykloje procesai yra standartizuoti ir efektyvesni.

Siekiant gauti naudos iš naujų technologijų, kiekviena įmonė turi įsivertinti, kokia yra gamybos apimtis, kokios investicijos naujiems įrenginiams ir žinoma, koks naujos įrangos atsiperkamumas. Įsivertinus šiuos ir kitus aspektus, lengviau pasirinkti optimaliausią gamybos modernizacijos būdą: pilnai robotizuoti procesai, kuriems reikalingos robotizuotos celės, žmogus-robotas operacijos, kurioms reikalingas darbuotojų bendradarbiavimas su pusiau robotizuota cele, automatizuoti procesai, kurių funkcija ne atlikti tam tikrą operaciją, o palengvinti darbuotojo

atliekamą operaciją. Bet kuriuo atveju, gamybos automatizavimas padidina našumą ir sumažina darbuotojo darbo krūvį. Atsižvelgiant į žmogiškąjį faktorių, galima pastebėti, kad neatitiktinių produktų kiekis gamyboje keičiasi nuo darbuotojo nuotaikos, nuovargio, išsiblaškymo. Produktų kokybės užtikrinimas ypatingai priklauso nuo darbuotojo kvalifikacijos laipsnio bei jo išprusimo lygio ir patirties gamybos sferoje. Darbuotojas, siekdamas įvykdyti numatytas gamybos normas, kartais kreipia mažiau dėmesio į kokybiško produkto užtikrinimą ir skubėdamas įvelia daug klaidų taip keldamas neatitiktinių produktų kiekį gamyboje. Daugumos žmonių veiksmus nulemia ne racionalūs argumentai, o jausmai ir socialinės normos. Siekiant maksimizuoti gamybos efektyvumą ir išvengti žmogiškojo faktoriaus klaidų, procesų automatizavimas yra vienas iš optimaliausių gamybos tobulinimo įrankių. Šis sprendimas padeda ne tik padidinti našumą, bet ir kokybiškos produkcijos rodiklius. Robotas atlieka kiekvieną ciklą lygiai taip pat, kaip ir praėjusį, todėl visi produktai, esant idealioms sąlygoms, yra identiški vienas kitam.

Kita vertus, gamybos automatizavimas dažniausiai yra taikomas, įmonėse, kuriuose vykdomas masinis gamybos tipas. Jeigu robotizuotame įrenginyje gamybos proceso metu, atsiranda gedimas arba programoje įsivelia klaida, gamyboje gali atsirasti masinis brokas, per kurį įmonė gali patirti didelius nuostolius. Taip pat galima pastebėti, kad našumo ir darbo sąnaudų padidėjimas nėra beribis ir pasiekia prisotinimo tašką net didelėse įmonėse, o tai rodo, kad norint išlaikyti konkurencinį pranašumą reikia išlaikyti investicijas į mokslinius tyrimus, plėtrą ir technologinį augimą. [3] Gamybos procesų automatizavimas, tampa kur kas efektyvesniu, kai įmonėje sertifikuojamas ISO 9001 standartas arba naudojama Lean sistema.

Kiekviena gamybinė įmonė, renkasi skirtingus bendradarbiavimo ir produkcijos gerinimo būdus: vadovaujasi ISO 9001 standartu, Lean sistemos įrankiais, automatizuoja ar robotizuoja gamybos procesus, tačiau visų įmonių pagrindinis tikslas gaminti aukštos kokybės gaminius ir didinti produktų vertę pelną. Siekiant užtikrinti pasirinktų gamybos optimizavimo būdų naudingumą, itin svarbu nuolat stebėti neatitiktinių kieki, aptiktą gamybos metu ar pas klientus, analizuoti jų atsiradimo priežastis ir nuolat tobulinti produktų konstrukcijas, gamybos procesus, bei bendradarbiavimą tiek įmonės viduje, tiek su klientais ir tiekėjais.

2. TYRIMO APŽVALGA

Tiriama įmonė yra metalo apdirbimo įmonė, kuri pagal kliento specifikacijas gamina komponentus, dalis ir galutinius gaminius. Ši įmonė yra originalios įrangos gamintojas (angl. OEM – original equipment manufacturer), kurios produkcija keliauja pasaulinio lygio įvairių pramonės šakų klientams. Analizuojamoje įmonėje vykdoma dviejų tipų gamyba: masinė gamyba, kuri atliekama robotizuotuose įmonės padaliniuose ir mažų kiekių gamyba pagal pavienius užsakymus, kuri gaminama nerobotizuotose arba pusiau robotizuotose darbo centruose. Tiek vienu, tiek kitu atveju, taikoma ta pati kokybės valdymo sistema ir vadovaujamosi ISO 9001 kokybės standartu. Atsižvelgiant į šį standartą, magistro baigiamojo darbo metu atliekamas neatitiktinio produkto tyrimas. Tyrimo metu analizuojami 2019-2021 m. neatitiktinio produkto kiekiai, kaštai, defekto atsiradimo priežastys bei darbo centrai, kuriuose dažniausiai aptinkami gaminio neatitikimai. Šie duomenys buvo surinkti atsižvelgiant į neatitiktinio produkto valdymo procedūrą.

2.1. Gamybos metu nustatyto neatitiktinio produkto valdymo procedūra

Gamybos darbuotojas privalo tikrinti gaminio kokybę gamybos metu, laikantis šių reikalavimų: Atlikti patikrinimą ne mažiau nei tris kartus per partiją (partija – tai vieno tipo gaminys, gaminamas vienoje pamainoje, vieno darbuotojo ar vienos darbuotojų grupės, prie vieno įrenginio) – visada patikrinti pirmą gaminį, gaminį partijos viduryje ir paskutinį gaminį (principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“). Darbuotojas turi atlikti dažnesnį gaminamos produkcijos patikrinimą (bet visada ne mažiau, negu „pirmas-vidurinis-paskutinis“), jeigu:

- To reikalauja pateikti kokybės patikros dokumentai – gamybos patikros instrukcija, kokybės kontrolės instrukcija ar gamybos instrukcijoje nurodyti patikros punktai.
- Buvo identifikuota, kad gamybos procesas yra nestabilus ir gaminiai gaminami ties tolerancijos riba arba gaunamas neatitikimas – tokiu atveju reikia stabdyti gamybą, perderinti ir sukilibuoti technologinę įrangą. Po technologinės įrangos suderinimo, darbuotojas privalo tikrinti gaminius vieną po kito, kol įsitikina, kad gaminiai atitinka reikalavimus ir procesas vyksta stabiliai. Nuo to momento partijos tikrinimas skaičiuojamas iš naujo ir turi būti atliekamas principu „pirmas-vidurinis-paskutinis“. Jeigu įrangos suderinti nepavyksta, arba procesas nestabilus, stabdyti gamybą ir informuoti komandos lyderį arba gamybos technologą.
- Jeigu perstatomi technologijos įrangos parametrai arba keičiami gamybos įrankiai. Tokiu atveju partijos tikrinimas skaičiuojamas iš naujo ir patikrinimas „pirmas-vidurinis-paskutinis“ turi būti atliktas nuo pakeitimų atlikimo.

Jeigu gamybos darbuotojas gamybinio kokybės patikros metu aptinka neatitiktinį produktą, jo atsakomybė yra atitinkamai paženklinėti neatitiktinį produktą, suteikiant visą informaciją apie defektą, atskirti jį nuo tinkamos produkcijos ir informuoti savo darbo centro gamybos technologą, kuris

patvirtinęs gaminio neatitiktį suorganizuoja gaminių pervežimą į kokybės skyriaus patikros vietą – neatitiktinių produktų zoną. Apie išbrokuotus gaminius turi būti informuotas kokybės skyriaus atstovas dėl skubių veiksmų, kuris peržiūri šiuos neatitiktinius produktus ir įvertina tolimesnius veiksmus. Atsižvelgiant į kokybės standartą, kliento poreikius ir defekto sudėtingumą, nusprendžiama, ar gaminį reikia remontuoti, ar jis tinkamas naudoti, ar brokuotą produktą reikia utilizuoti.

Visi į neatitiktinio produkto zoną atvežti gaminiai su defektais yra užregistruojami broko registre. Šiame dokumente įrašomi duomenys:

- Peržiūros data
- Produkto kodas
- Darbo centras (toliau D.C.), kuriame buvo aptikta neatitiktis
- Defekto aprašymas
- Defektą padaręs darbo centras
- Neatitiktinių produktų kiekis
- Patirtos remonto arba utilizavimo išlaidos

2.2. Bendrų 2019-2020 m. duomenų palyginimas

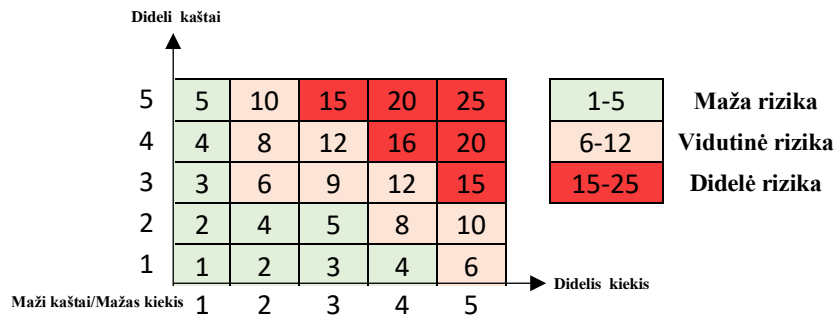
Analizuojant X įmonės 2019 m. ir 2020 m. duomenis matoma tendencija, kad bendras visų metų broko kiekis ir kaštai ženkliai padidėjo. Kaštai padidėjo 78,47 %, kiekis – 35,53 %, tačiau būtina atsižvelgti ir į tai, kad per tuos metus atitinkamai padidėjo ir gaminamos produkcijos kiekis (žr. 2.1. lentelė).

2.1. lentelė. Vidinių neatitiktinių produktų kiekio ir kaštų palyginimas 2019-2020 m.

2019			2020		
Mėnuo	Kiekis	Pirminiai kaštai	Mėnuo	Kiekis	Pirminiai kaštai
sausis	24748	16 376,46 €	Sausis	17775	17 586,00 €
vasaris	5531	7 167,50 €	vasaris	19167	25 318,56 €
kovas	15455	13 063,23 €	Kovas	26990	41 321,01 €
balandis	8686	14 758,97 €	balandis	14427	20 226,71 €
gegužė	20532	13 606,96 €	gegužė	21934	49 459,25 €
birželis	17736	10 004,77 €	birželis	15061	27 449,11 €
liepa	11561	18 551,65 €	Liepa	17033	16 908,55 €
rugpjūtis	34958	31 580,82 €	rugpjūtis	28827	32 581,16 €
rugsėjis	18508	9 686,76 €	rugsėjis	16587	21 805,79 €
spalis	14844	11 363,48 €	Spalis	59202	18 199,51 €
lapkritis	24756	11 196,35 €	lapkritis	19388	14 786,01 €
gruodis	13071	9 821,76 €	gruodis	28744	12 728,92 €
Bendras	210385	167 178,71 €	Bendras	285135	298 370,58 €
Padidėjo broko kaštai nuo 2019 iki 2020 m.:			78,47 %		
Padidėjo broko kiekis nuo 2019 iki 2020 m.:			35,53 %		

Norint imtis neatitiktinio produkto atsiradimo rizikos mažinimo veiksmų, visų pirma reikia išnagrinėti ne tik bendrus duomenis, bet ir atskirų darbo centrų duomenis, tuomet bus lengviau identifikuoti problemiškausias vietas, kurias pašalinus, bendras įmonės neatitiktinių produktų kiekis sumažėtų.

Siekiant išsiaiškinti, kur dažniausiai daromos klaidos, dėl kurių atsiranda neatitiktiniai produktai, labai svarbu yra atlikti rizikos analizę. Ji yra dalinai subjektyvus procesas, kurio metu vertinami ne tik kiekybiniai rodikliai, bet ir neformalizuojami rodikliai. Analizuojant neatitiktinius produktus ir jų atsiradimo priežastis, atsižvelgiama į daugelį aspektų: kiekį, patirtas išlaidas, sukeltą defekto rimtumą bei atsiradimo priežastį. Viso gamybinio proceso metu analizuoti neatitiktinius produktus yra labai sudėtinga, nes tam būtina surinkti daug informacijos. Norint sėkmingai nuspėti ir įvertinti, kurioje vietoje dažniausiai padaromos klaidos, reikia ilgai kaupti duomenis apie neatitiktinius produktus ir taip sukurti galimų rizikų duomenų bazę. Šiame darbe analizuojama duomenų bazė – broko registras. Dokumente svarbu atkreipti dėmesį ne tik į kiekį, bet ir į patirtas išlaidas, dėl dažnai pasitaikančių atvejų, kai vieno produkto ar komponento kaina gali būti kur kas didesnė už paprastesnės konstrukcijos visą gamybos partiją. Taigi, visų pirma reikia įvertinti rizikos dydžio priklausomybę nuo kiekio ir kaštų (žr. 2.1 pav.).

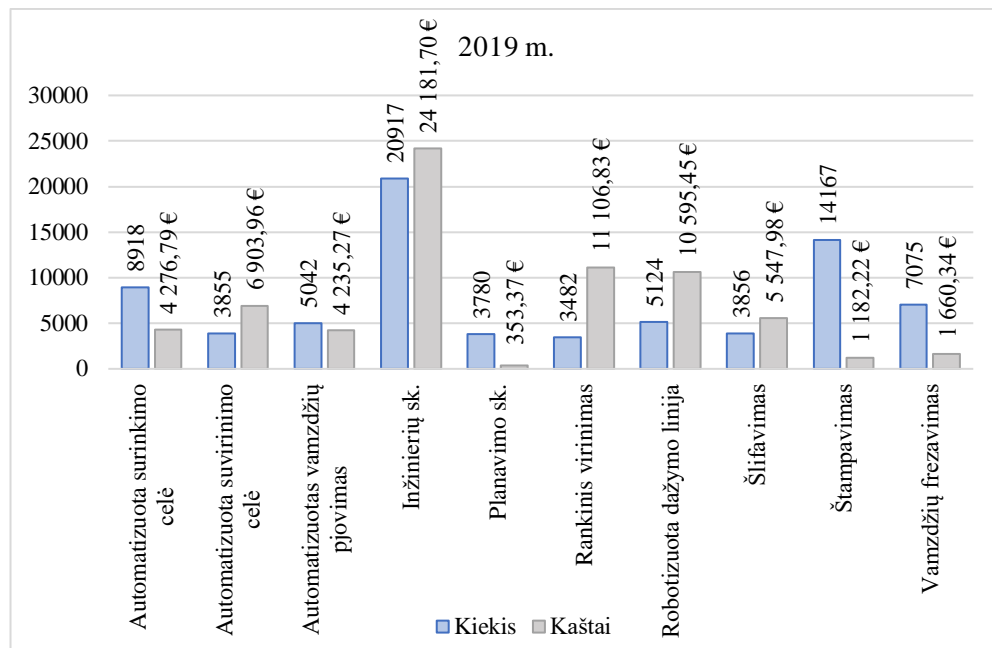


2.1 pav. Rizikos vertinimo matrica

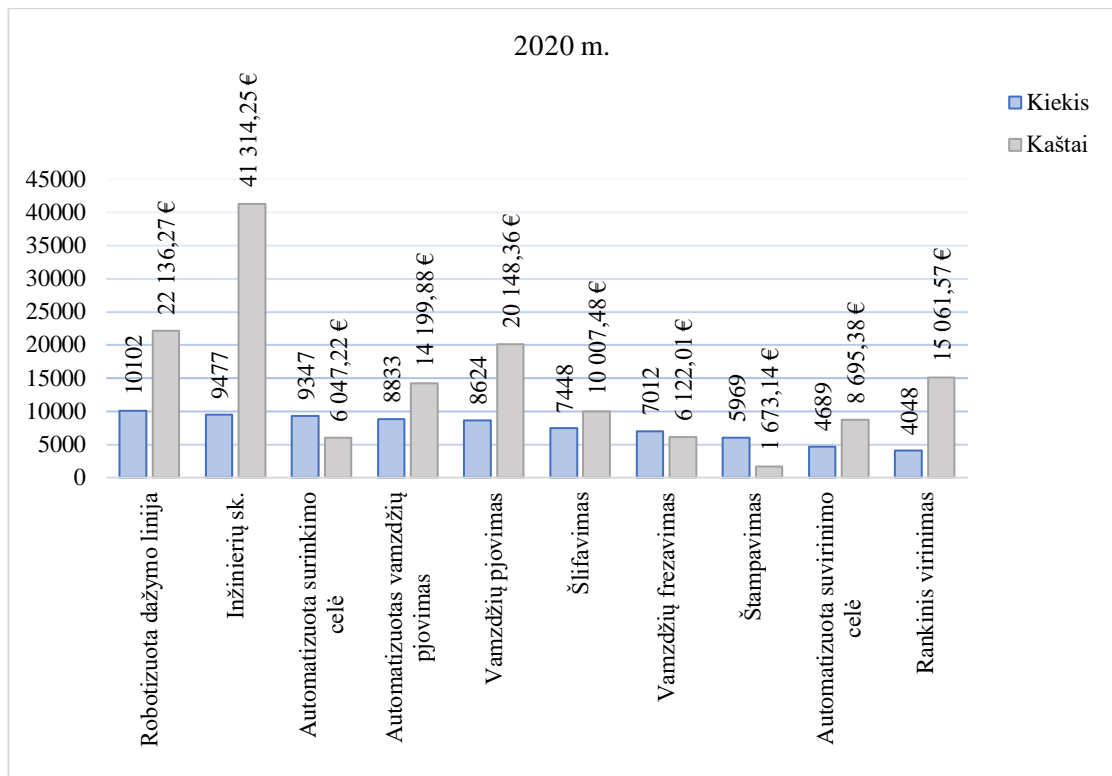
Toks rizikos vertinimas padeda nustatyti neatitiktinius produktus, kuriems reikia skirti daugiau dėmesio. Atlikus rizikos vertinimą ir suradus problemiščiausias vietas, kuriose pasitaiko didžiausių nuostolių, reikia išsiaiškinti, dėl kokių priežasčių yra daromos klaidos, turinčios įtakos broko atsiradimui. Norint sėkmingai tai atlikti, reikia ilgą laiką stebėti ne tik neatitiktinių produktų kiekį bei kaštus, bet ir informaciją apie kiekvieną darbo centrą. Analizuojant neatitiktinius produktus, svarbu žinoti, po kurios operacijos jie dažniausiai aptinkami, kuris darbo centras dažniausiai daro klaidų ir kodėl jas daro. Galbūt darbuotojams trūksta kompetencijos, galbūt neaiškiai pateikta informacija, klaidingai suformuluota užduotis ar tiesiog gaminio konstrukcija neatitinka techninių galimybių.

2.3. Atskirų darbo centrų apžvalga

Kadangi turint tik bendrus neatitiktinio produkto kiekius ir kaštus, negalima nustatyti defekto atsiradimo priežasties, reikia išnagrinėti broko pasiskirstymą pagal atskirus darbo centrus (žr. 2.2–2.3 pav.).



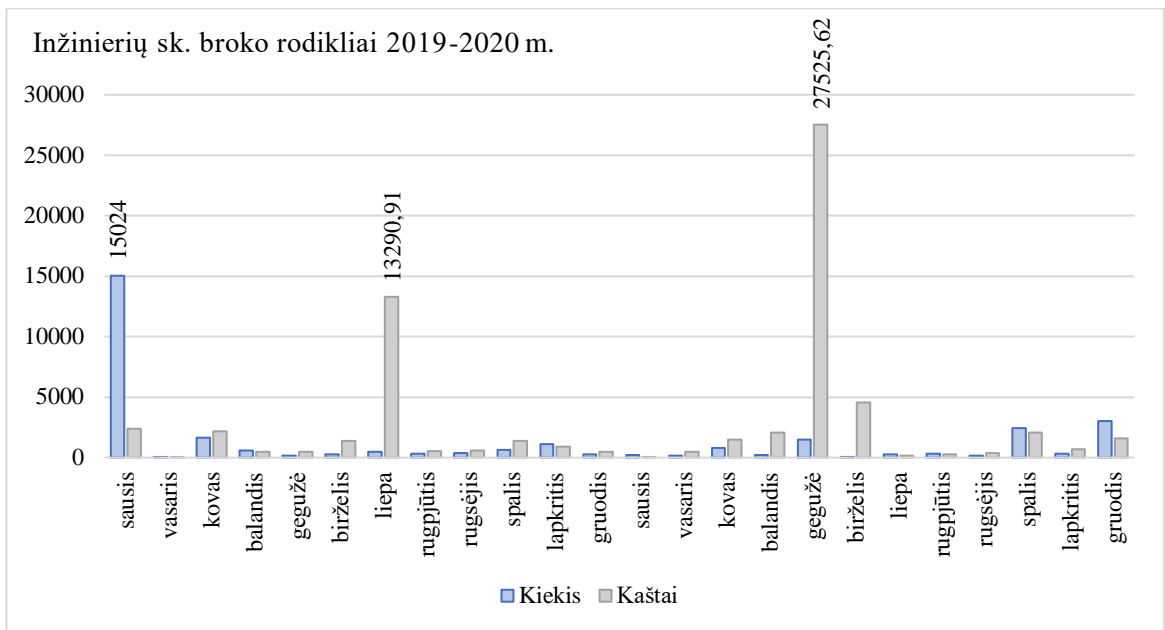
2.2 pav. 2019 m. broko pasiskirstymas pagal D.C.



2.3 pav. 2020 m. broko pasiskirstymas pagal D.C.

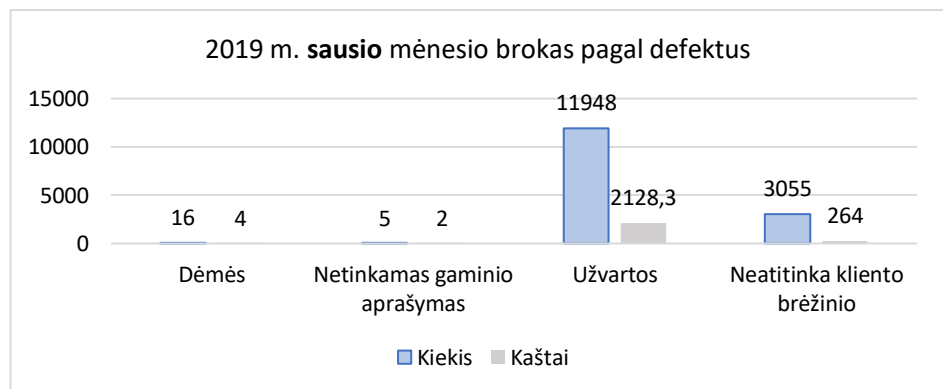
Lyginant darbo centrus tarpusavyje, galima identifikuoti, kuriame iš jų yra didžiausia rizika, kad gali atsirasti didesnis kiekis broko, ar didesnės neatitiktinių produktų išlaidos, o lyginant vieno darbo centro broko rodiklių kitimą laike, galima užfiksuoti, kada buvo patirti didžiausi nuostoliai. Atlikus duomenų analizę ir skaičiavimus, duomenys parodo, kuris darbo centras ir kada pagamino daugiausia neatitiktinių produktų, todėl tampa lengviau išsiaiškinti defektų atsiradimo priežastis. Tam tikro laikotarpio neatitiktinių produktų analizė taip pat padeda išsiaiškinti, kuriam darbo centrui reikia skirti daugiausia dėmesio, norint sumažinti visos įmonės brokuotų produktų atsiradimo riziką.

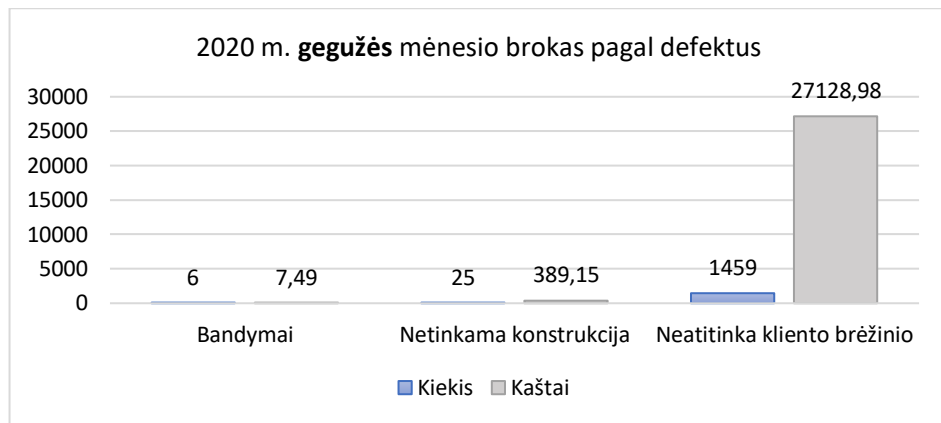
Analizuojant broko registro duomenis, buvo nustatyta, kad didžiausias neatitiktinių produktų kiekio ir nuostolių augimas fiksuojamas inžinierių skyriuje. Šis skyrius 2019 m. padarė broko už 24 181,70 EUR, o 2020 m. už 41 314,25 EUR. Vertinant problemos rimtumą, analizuojamas broko pasiskirstymas per 2019-2020 metus (žr. 2.4 pav.).



2.4 pav. Inžinierių skyriaus broko rodikliai 2019-2020 m.

Galima pastebėti, kad inžinierių skyriaus broko rodikliai pasiskirsto tolygiai didžiąją dalį viso analizuojamo laikotarpio, tačiau 2019 m. sausio mėnesį stipriai padidėja neatitiktinių produktų kiekis, o 2019 m. liepos ir 2020 m. gegužės mėnesiais – patirtos išlaidos. Peržiūrėjus šių mėnesių broko rodiklius pagal defektus, matosi, kad inžinierių skyriaus padarytas brokas dažniausiai būna masinis: brokuojami vieno tipo, tos pačios serijos gaminiai, kuriems nustatytas tas pats defektas (žr. 2.5 pav.).





2.5 pav. Inžinierių skyriaus brokas pagal defektus

Atlikus rizikos vertinimą, buvo nustatyta, kad norint sumažinti visos įmonės neatitiktinių produktų kiekį, bei patirtas išlaidas, reikia sukurti korekcinius ir prevencinius veiksmus inžinierių skyriaus daromam brokui. Žinoma, reikia atkreipti dėmesį ir į tai, kad inžinieriai turi būti atsakingi ne tik už savo skyriaus padarytas klaidas, tačiau taip pat turi aiškiai pateikti užduotis ir brėžinius gamybos darbuotojams, siekiant išvengti žmogiškojo faktoriaus klaidų.

3. PRAKTIŅĒ DALIS

3.1. Neatitiktinio produkto prevencija inžinierių skyriuje

Gamybos inžinieriai įmonėje, kuri tiriama šiame magistro baigiamajame darbe, atsakingi už klientų poreikių, užklausų bei brėžinių analizavimą, gamybos procesų nustatymą, produktų kainų skaičiavimą, bei brėžinių gamybai paruošimą, bendradarbiaujant su kitais padaliniais dėl gamybos proceso, kokybės klausimų ir techninių galimybių. Taip pat šio skyriaus atstovai, kaip ir visi kiti įmonės darbuotojai, atsakingi už neatitiktinių produktų prevenciją bei nuolatinį gaminių tobulinimą, siekiant efektyvumo ir aukštesnės vertės.

Siekiant aiškiai perteikti informaciją gamybos darbuotojams ir užkirsti kelią klaidoms, gamybos inžinieriai visų pirma turi įsigilinti į gamybos procesą. Knygoje „Toyota“ pagal „Toyota“ teigiama: „Siekdami į procesą įsigilinti ir jį suprasti, pirmiausia privalome į jį pažvelgti tą darbą dirbančių žmonių akimis.“. Taigi, inžinieriai praleidžia daug laiko gamybos patalpose, siekiant suprasti, koks technologinis parkas yra įmonėje ir su kokiomis problemomis dažniausiai susiduria darbuotojai, tačiau to neužtenka, norint išvengti neatitiktinių gamyboje, bei tų defektų už kuriuos atsakingi patys gamybos inžinieriai.

Neatitiktinio produkto atsiradimo inžinierių skyriuje rizikos mažinimui gali būti naudojama A3 metodologija, kadangi sprendžiant tokią problemą, labai naudinga įsitraukti į procesą, leidžiantį komandai rasti teisingą, geriausią sprendimą per trumpiausią įmanomą laiką. [22] A3 metodologija – tai A3 formato popieriaus lapas, kuriame pavaizduotas problemos sprendimo procesas – istorija. A3 naudojama problemos sprendimo pažangai komunikuoti. Tai geras įrankis problemų sprendimo gebėjimams ugdyti. Visas problemos sprendimo procesas turėtų sutilpti į vieną šio lapo pusę. Lapo dydžio ribotumas skatina apsvarstyti, kokia informacija yra svarbiausia ir koku būdu ją pateikti. [13] Vadovaujantis šia metodologija, užpildomas A3 formato lapas broko rodiklių gamyboje mažinti (žr. 3.1.1. lentelė). Šis formatas yra tinkamas problemos sprendimui, nes jame telpa visas valdymo proceso mąstymas [17]. Jis išdėstomas taip:

- Viršuje kairėje – padėtis ir bendras problemos apibūdinimas.
- Viduryje ir apačioje kairėje – aptarimo santrauka, priežasčių analizė ir išvaizda, pateikiama kaip hipotezė.
- Dešinėje pusėje – priemonės kaip planas.
- Dešinėje per vidurį – efekto įrodymas, kaip keitėsi duomenys po atliktų pakeitimų.
- Apačioje dešinėje – tolimesni veiksmai, ką reikia daryti, norint išsaugoti atliktų veiksmų naudą.

3.1.1. lentelė. A3 ataskaita

<p>A3 ataskaita: „Naujų produktų įvedimas į gamybą ir neatitiktinių produktų mažinimas“</p>	
<p>Prielaida:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inžinieriai daro klaidas, kurdami brėžinius; • Inžinieriai daro klaidas, kurdami gamybos aprašymus; • Inžinieriai kuria klaidingas gaminio konstrukcijas, kurios neatitinka klientų reikalavimų; • Gamybos darbuotojai nesupranta darbo instrukcijų; • Gamybos darbuotojams trūksta informacijos: .step arba .dxf failų, pastabų (angl. „Note“) arba darbo gairių (angl. „Work guideline“). 	<p>Atsakomosios priemonės:</p> <ul style="list-style-type: none"> • „Keturių akių principas“ – inžinieriai turi tikrinti kitų inžinierių brėžinius ir gamybos aprašymus; • Inžinieriai turi patikrinti paruoštą gamybai 3D modelį su kliento 3D modeliu; • Inžinieriai turi patikrinti ar sutampa parinktos medžiagos su kliento reikalavimais; • Įvesti „Oobeya“ į produkto vystymo ir įvedimo į gamybą procesą; • Sukurti brėžinio standartą.
<p>Esama situacija:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2019 m. inžinierių sk. brokas: 20 917 vnt., 24 181,70 EUR; • 2020 m. inžinierių sk. brokas: 9 477 vnt., 41 314,25 EUR; • 2021 m. pirmas 26 savaitėmis rastos klaidos naujo gaminio projektavimo metu: 158 klaidos. • 2021 m. pirmas 26 savaitėmis rastos klaidos gamybos metu: 342 klaidos. 	
<p>Tikslai:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2021 m. sumažinti inžinierių skyriaus broko kaštus 50 % lyginant su 2020 m.; • Sumažinti klaidų skaičių, projektavimo metu; • Sumažinti klaidų skaičių, rastų gamybos metu. 	<p>Efeko įrodymas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2021 m. inžinierių sk. brokas: 13 637 vnt., 11 572,48 EUR. Broko kaštai nuo 2020 m. sumažėjo 72 %. • 2021 m. 27-52 savaitėmis rastos klaidos naujo gaminio projektavimo metu: 16 klaidų. • 2021 m. 27-52 savaitėmis rastos klaidos gamybos metu: 269 klaidos.
<p>Pagrindinės defektų atsiradimo priežastys:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trumpas ir skubotas bei padrikas projektavimo laikotarpis; • Nėra brėžinių/gamybos aprašymų patikros; • Trūksta žinių apie techninio parko ypatumus; • Trūksta informacijos gamybos darbuotojams; • Nauji/neaiškūs žymėjimai brėžinyje; • Skiriasi inžinierių brėžiniai: skirtingi braižymo įgūdžiai, standarto nebuvimas ir panašūs veiksniai apsunkinantys darbo instrukcijų skaitymą. 	<p>Tolimesni veiksmai:</p> <p>Turi būti sukurti procesai/standartai, kuriuose turi būti nurodytos taisyklės, kurių inžinierių skyriaus atstovai turi laikytis, įvedant naują produktą į gamybą. Inžinierius turi laikytis tų taisyklių be išimčių ir nuolat siekti išvengti klaidų bei tobulinti jau gaminamą produkciją.</p>

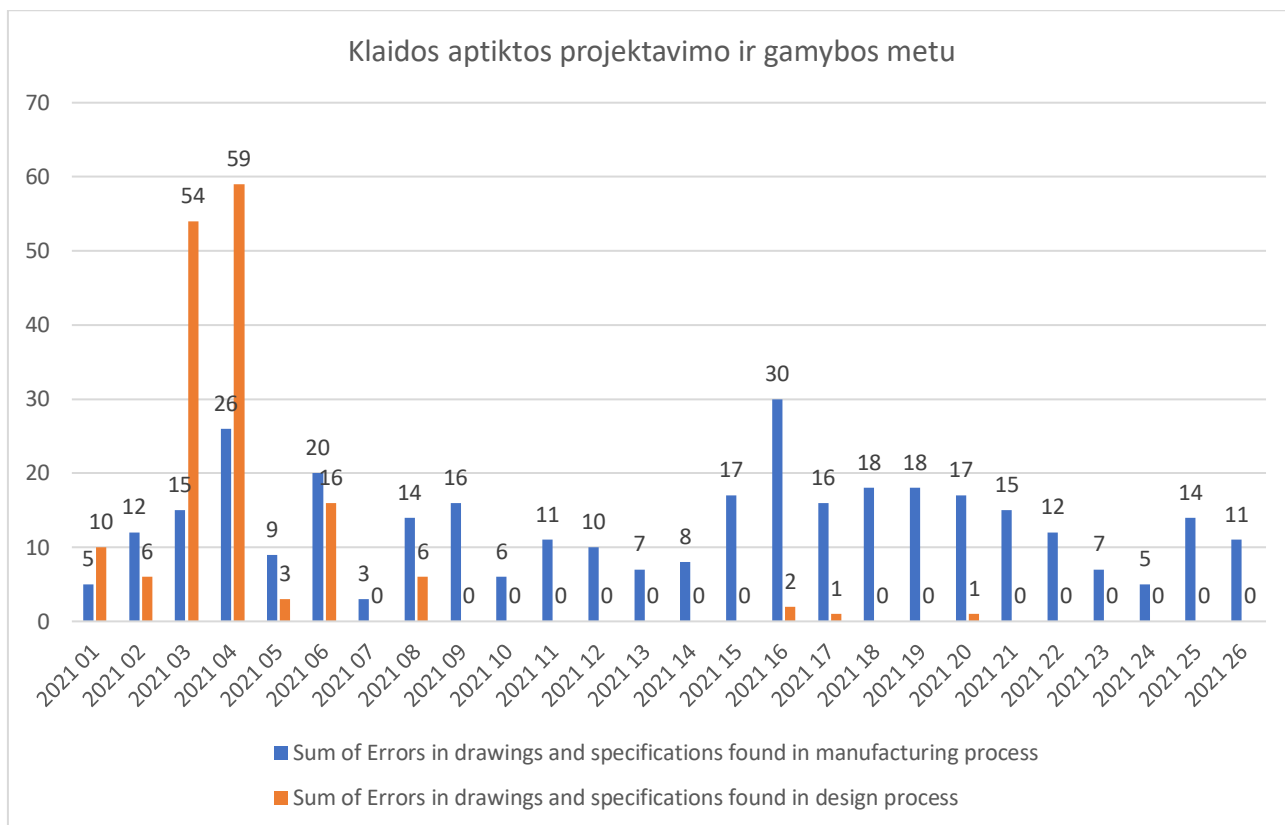
3.1.1. Prielaida

Gamyboje dažniausia defektų atsiradimo priežastis – žmogiškasis faktorius. Ne išimtis ir gamybos inžinierių skyriaus padaryto broko priežastys. Šiame skyriuje tai taip pat yra viena svarbiausia iš priežasčių. Dėl žmogiškojo faktoriaus inžinierių skyriuje įvyksta šios klaidos:

- Klaidos brėžinyje: trūksta matmenų, nėra nurodyta dažymo pakabinimo vieta, nėra svorio, blogai parinktos projekcijos, nėra nurodytos paviršių klasės, trūksta suvirinimo žymėjimo, nėra ašinių linijų, netinkama gaminio revizija, nėra 3D projekcijos, perkrautas brėžinys, nėra išklotinės lenkiamai detalei, nurodyta netinkama medžiaga ir t.t.
- Klaidos specifikuojant produkto gamybos procesą ir jo struktūrą sistemoje: neteisingas gaminio pavadinimas, neteisingai apskaičiuotos gamybos normos, parinktas blogas pasiruošimo laikas, neįtraukta reikiama operacija, parinkta netinkama medžiaga ar netinkami komponentai, įtrauktas per mažas kiekis medžiagų arba komponentų ir t.t.
- Klaidos parenkant gaminio konstrukciją: gaminio matmenys, medžiagos ar komponentai neatitinka kliento reikalavimų, gaminys nesusirenka dėl netinkamai įvertintų ar nepažymėtų inžinerijos tolerancijų.
- Blogai perteikiama informacija gamybos darbuotojams. Brėžiniai nėra pakankamai aiškūs, kad darbuotojas galėtų atlikti savo užduotis. „Pirmiausia stenkis suprasti pats, o tada – kad suprastų tave.“ [17] Brėžinių aiškumas ne tik palengvintų darbuotojų darbą, bet ir padėtų išvengti neatitiktųjų bei lengviau tobulinti gaminio konstrukciją ateityje.
- Klaidos pateikiant visus reikiamus duomenis gamybai: trūksta gamybinių (.dxf, .step) failų, be kurių darbuotojai negali atlikti savo užduočių. Trūksta pastabų ar darbo gairių, kurios padeda išvengti klaidų gaminant naują produkciją ar sudėtingesnės konstrukcijos gaminius.

3.1.2. Esama situacija

Analizuojant neatitiktinių produktų duomenis visos įmonės mastu, buvo pastebėta, kad inžinierių skyrius per metus padaro broko, dėl kurio įmonė patiria ganėtinai didelius nuostolius. (žr. 2.2–2.3 pav.). Siekiant įvertinti problemos rimtumą, 2021 m. tyrimo metu buvo pradėti kaupti duomenys: brėžinių ir gamybos aprašymų klaidos, aptiktos inžinierių skyriuje projektavimo metu, bei brėžinių ir gamybos aprašymų klaidos, aptiktos gamybos metu (žr. 3.1.1 pav.). Klaidas projektavimo metu aptinka patys inžinieriai, tikrindami vienas kito darbus, o klaidas gamybos metu aptinka gamybos darbuotojai, srautinės ar masinės gamybos metu. Baigiamojo tiriamojo darbo metu 2021 m. pirmas 26 savaites (pusę metų) buvo renkami duomenys prieš įvedant naujas taisykles į produkto vystymo procesą. Šie duomenys buvo renkami siekiant įvertinti ar atlikti pakeitimai padės užkirsti kelią neatitiktinių produktų atsiradimui ir ar šių prevencinių veikslių užteks, siekiant sumažinti bendrus inžinierių skyriaus broko rodiklius.

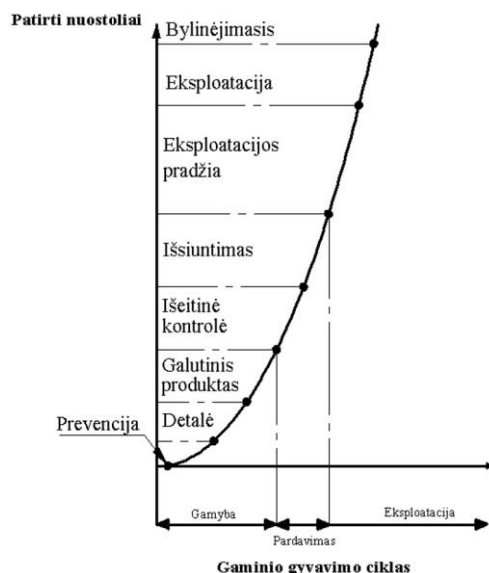


3.1.1 pav. Brėžinių ir gamybos aprašymų klaidos 1-26 savaitėmis

3.1.3. Tikslai

Tyrimo metu taikant A3 metodologiją buvo išskirti trys tikslai, atsižvelgiant į esamus broko rodiklius: bent 50 % sumažinti įmonės išlaidas, patirtas dėl neatitiktinių produktų, lyginant 2021 m. su 2020 m., sumažinti klaidų skaičių, rastų projektavimo arba gamybos metu.

Rastos klaidos, nuolat turi būti fiksuojamos registre, be jokių išimčių. Šių klaidų aptikimas pirmojoje gaminio vystymo stadijoje – projektavimo metu, padeda išvengti didesnių nuostolių, o klaidos aptiktos gamybos metu sumažina riziką išvežti neatitiktinį produktą pas klientą. Kuo anksčiau nustatytas defektas – tuo mažiau patirtų nuostolių (žr. 3.1.2 pav.). Norint sukaupti duomenis apie klaidas ir įgyvendinti visus išsikeltus tikslus, labai svarbus visų darbuotojų įsitraukimas ir bendradarbiavimas.



3.1.2 pav. Nuostolių priklausomybė nuo neatitikties aptikimo laiko

3.1.4. Pagrindinės defektų atsiradimo priežastys

Jau buvo paminėta, kad dažniausia defektų atsiradimo priežastis – žmogiškasis faktorius, tačiau yra ir daugiau priežasčių dėl kurių atsiranda neatitiktys. Dažnu atveju produkto vystymui nėra skiriamas papildomas laikas, ir dėl rinkoje vyraujančių normų ar kliento poreikių, projektavimo laikas yra įskaičiuotas į bendro užsakymo vykdymo laiką (angl. „Lead-time“). Neskiriant pakankamai laiko ir atsakomybę paliekant vienam projektuotojui smarkiai išauga tikimybė suklysti, kuriant brėžinius ir gamybos aprašymus. Tokios klaidos, kurios buvo padarytos dėl laiko resursų trūkumo, gali būti pastebėtos patikros metu, tačiau jeigu nėra įvestos taisyklės, inžinieriams tikrinti kitų inžinierių brėžinius ir aprašymus, tos klaidos gali būti praleistos ir nepastebėtos. Įvairūs defektai gali atsirasti gamybos proceso metu ir tokiu atveju, jei inžinieriai neįvertina įmonės techninio parko ypatumų ar neturi žinių apie įmonėje ir rinkoje naudojamas žaliavas.

Kita vertus, broko atsiradimui gamyboje turi įtakos ne tik inžinierių skyriaus atstovai, bet ir patys gamybos darbuotojai. Jie ne visada supranta brėžiniuose pateiktą informaciją ir imasi atlikti užduotis neturėdami pakankamai žinių. Kartais brėžiniuose atsiranda nauji suvirinimo, surinkimo ar kiti žymėjimai, kurie turi įtakos gaminio kokybei, jei darbuotojas šių žymėjimų nesupranta ir ignoruoja tokius informacijos perteikimo trūkumus, smarkiai padidėja rizika neatitiktinių atsiradimui.

3.1.5. Atsakomosios priemonės

Norint įgyvendinti iškeltus tikslus – sumažinti neatitiktinių produktų kiekį, patirtas išlaidas bei klaidų skaičių, reikia sugalvoti prevencinių veikslių planą. Atsižvelgiant į iškeltas problemas ir esamą situaciją įmonėje, prevenciniai veiksmai turi būti skiriami inžinierių skyriaus atstovams ir visų skyrių, gamybos darbuotojų tarpusavio bendradarbiavimui gerinti.

Atsižvelgiant į bendradarbiavimo naudą, tyrimo metu įmonėje buvo įvesta nauja produkto vystymo ir įvedimo į gamybą procedūra – „Oobeya“. Tai japonų produktų kūrimo proceso vizualizavimo koncepcija. Šis procesas yra valdomas sumaniai, ir leidžia integruoti problemas ir greitus jų sprendimus per labai trumpą laikotarpį ir struktūrizuotą formą. Patyręs projekto vadovas šio proceso valdymui yra labai naudingas, kadangi iš jo būtų galima gauti greitos informacijos, kuri turi būti perteikta vizualizacinėmis priemonėmis. „Oobeya“ nauda komandai – per trumpesnį laiką yra parodoma daug svarbios informacijos ir taip problemų aptikimas ir jų sprendimas pradeda spartėti bei susitikimo vertė didėja. [21] Kita vertus „Oobeya“ yra ne tik kambarys su vaizdiniais elementais, bet ir projektų valdymo metodas, pagrįstas „Lean“ principais:

- Visiškai patenkintas klientas, sutelkiant komandos energiją į aukščiausios kokybės produktų ir paslaugų teikimą, užtikrinant pristatymą laiku.
- Sumažintos išlaidos, mažinant neatitiktinių produktų atsiradimo riziką.
- Darbuotojų ugdymas, didinant jų savarankiškumą, sprendžiant problemas ir sistemizuojant bei gerinant darbo sąlygas ir reikalavimus.

Tyrimo metu į gamybą įvesta „Oobeya“ procedūra įtraukia darbuotojus iš įvairių skyrių ir darbo centrų. Kadangi projekto pradžioje neapibrėžtumo lygis yra aukščiausias ir rizika nepasiekti tikslų yra didžiausia, projekto vadovas visų pirma turi aptarti įvairias galimas gamybos proceso grėsmes su suinteresuotais asmenimis, pavyzdžiui, pirkimo, planavimo ar kokybės skyriaus atstovais, darbo centrų, ypač tų, kuriuose dažniausiai pasitaiko neatitiktiniai produktai, atstovais. Pirkimo skyriaus atstovas gali suteikti informacijos ar yra galimybė gauti produktui reikalingos žaliavos ir kiek laiko užtruks jos gavimas. Planavimo skyrius nustato gamybai reikalingą laikotarpį bei atsižvelgdamas į projektavimo ir tiekėjų paieškos terminus sukuria laiko planą, kad būtų užtektinai laiko produkto pagaminimui ir transportavimui pas klientą. Su kokybės skyriaus darbuotojais ir gamybos technologais aptariami panašūs produktai, kurie buvo gaminami anksčiau, ir kokios dažniausiai klaidos buvo daromos. Tai leidžia eliminuoti klaidas įvykusias praeityje ir jų nekartoti naujo projekto metu. Taip pat suderinama, kurios operacijos turi didžiausią riziką neatitikties atsiradimui, po jų bus atliekama kokybės patikra, bei iškeliamas klausimas ar reikalingi prototipiniai gaminiai ar ne. Gamybos technologai arba komandos lyderiai gali išsakyti savo nuomonę apie produktų brėžinius ir iš patirties pasakyti, kuriuose vietose gali būti daromos klaidos. Taip pat jie gali pasiūlyti konstrukcijos patobulinimų, kurie palengvintų darbuotojų darbą ir kurie sumažintų neatitiktinio produkto atsiradimo tikimybę. Šie ir kiti klausimai aptariami „Oobeya“ susirinkime, kai projekto vadovas-gamybos inžinierius paruošia brėžinius ir gamybos aprašymus (žr. 3.1.2. letelė).

3.1.2. lentelė. „Oobeya“ susirinkime aptariamoms problemoms

Projekto etapas	Klausimai
Projekto pristatymas	Gaminio (kolekcijos) pavadinimas
	Klientas
	Kam bus naudojamas (paskirtis)?
	Kur gaminys bus laikomas (aplinka)?
	Spalva standartinė/nestandardinė?
	Kokias detales (komponentus) reikės gaminti/užsakinėti pas subrangovus ar tiekėjus?
	Kada prototipas (-ai) turi būti pagaminti ir paruoštas (-i) išsiuntimui?
	Kiek gaminių prototipų bus gaminama?
	Kokiuose D.C. bus gaminamas: virinamas, šlifuojamas, dažomas, surinkinėjamas?
	Ar bus reikalingi nauji virinimo šablonai?
	Gaminio sudėtingumo kategorija: lengvas, vidutinio sudėtingumo, sudėtingas?
Potencialių ir realių rizikų vertinimas naudojant patikros lapą (checklist): atsakinėja visa Oobeya komanda	Žaliavų rizikos (vamzdžiai, profiliai, lakštai, dažai)
	Detalių paruošimo rizikos (lazeris, kirtimas, štampas, lenkimas, gręžimas, sriegimas, nuožulos formavimas ir pan.)
	Tiekiamų detalių rizikos
	Subrangos ir tarpinio transportavimo rizikos
	Detalių saugojimo, transportavimo ir komplektavimo rizikos įmonės viduje
	Detalių surinkimo prieš virinimą ir virinimo rizikos įskaitant naujų šablonų, kurie nebuvo naudojami, gamybą
	Šlifavimo ir poliravimo rizikos
	Dažyklos rizikos: kiaurymių apsaugojimas, užkabinimas, dažymo parametrai, rankinis pridažymas, linijos greitis, nukabinimas, pakavimas ir transportavimas
	Konstrukcijos ir funkcionalumo rizikos
	Surinkimo rizikos
	Pakavimo rizikos
	Transportavimo rizikos (paletizavimas, kiekis paletėje, nestandartiniai padėklai, apsauginiai skydai, kampai, bandažavimas)
	Surinkimo pas klientą rizikos (instrukcija, spec. įrankiai)
	Ilgalaikio plano sudarymas
Trumpalaikio plano sudarymas	Vizualizuota arba excel
Problemų lenta	Vizualizuota arba excel
Detalizacijos sritis	Brėžiniai ir eskizai vizualizuoti
	Gamybos aprašymas vizualizuotas
	Paviršių klasės
	Surinkimo schema vizualizuota
	Pakavimo schema vizualizuota
	Paletizavimo schema vizualizuota

Įvedus „Oobeya“ procedūrą į produkto vystymo etapą, gali būti pastebėtos klaidos, kurios ištaisomos dar projektavimo stadijoje. Taip pat brėžiniuose po susirinkimo ištaisomos klaidos ir papildoma informacija darbuotojams, siekiant išvengti žmogiškojo faktoriaus klaidų. Kadangi „Oobeya“ metu yra įtraukiami ir gamybos technologai bei kiti darbo centrų atstovai, jie gali ne tik išsakyti savo nuomonę ir pastebėjimus apie trūkstamą informaciją, bet tuo pačiu ir susipažinti su produktu iš anksto, o ne prasidėjus naujų produktų serijinei gamybai.

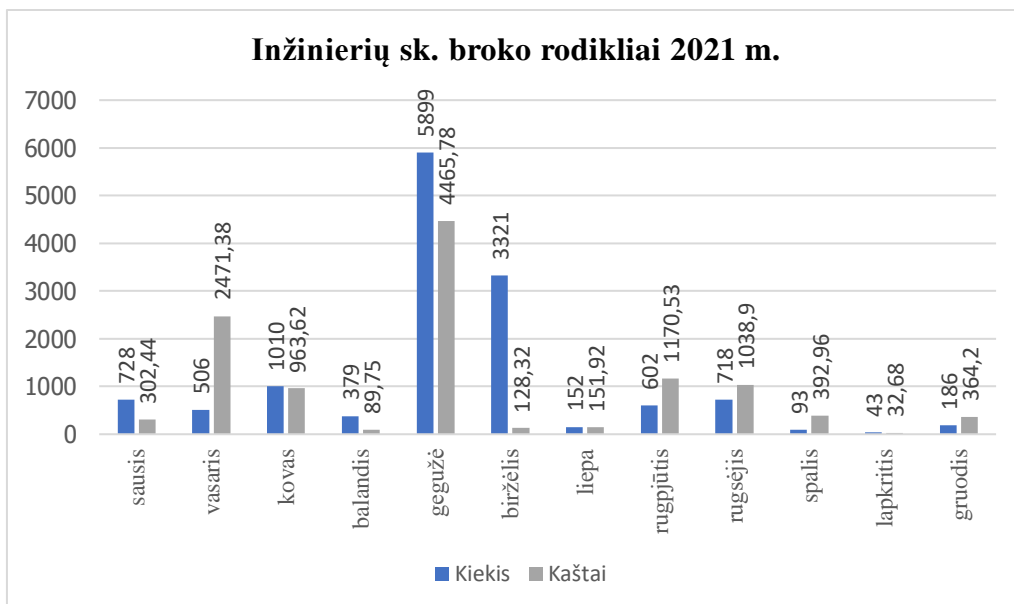
Kita vertus, ne visos klaidos gali būti pastebėtos naujojo „Oobeya“ proceso metu. Šiame susirinkime dalyvaujantys asmenys neturi informacijos apie kliento reikalavimus, nemato kliento brėžinių ar 3D modelių. Kartais gali pasitaikyti tokių situacijų, kad brėžiniai gali būti iš pažiūros teisingi ir susirinkimo metu gali būti nepastebėtos esminės klaidos, kurios ateityje gali sukelti ganėtinai didelių nuostolių. Tokios klaidos nepasitaiko dažnai, tačiau jų atsiradimo priežastis dažniausiai yra projektuotojo klaidos, skaitant kliento brėžinius ir reikalavimus. Kai naujas produktas ar produktų serija yra projektuojama vieno žmogaus, reikalinga jo brėžinių ir gamybos aprašymų patikra – sulyginimas su kliento pateiktais reikalavimais. Siekiant sumažinti neatitiktinių produktų kiekį gamyboje, kuris atsiranda dėl neteisingai perteiktų kliento reikalavimų, tyrimo metu buvo įvesta dar viena nauja taisyklė – „Keturių akių“ principas. Ši taisyklė skatina inžinierius bendradarbiauti tarpusavyje ir tikrinti vienas kito darbus. Prieš keliant brėžinius ir kitus gamybos dokumentus į duomenų bazę, jie privalo būti patikrinti kito inžinieriaus. Patikros metu turi būti patikrinta: ar sukurta konstrukcija atitinka kliento reikalavimus, t.y. turi būti sulyginami 3D modeliai tarpusavyje, jei klientas nesuteikė 3D modelio, turi būti atliktas detalus 2D brėžinių patikrinimas. Reikia atkreipti dėmesį ne tik į tai ar visi matmenys atitinka, tačiau ir į medžiagiškumą, parinktą galutinį paviršiaus padengimą. Įsitikinus, kad suprojektuotas gaminys atitinka kliento reikalavimus, įsitikinama, ar šiam gaminiui paruošti brėžiniai atitinka įmonėje priimtą brėžinių standartą. Brėžinių standartas yra sukurtas siekiant palengvinti gamybos darbuotojų darbą, kadangi standartizuotus brėžinius yra kur kas lengviau suprasti. Kiekviena klaida ar neatitikimas, rastas „Keturių akių“ principo metu, privalo būti fiksuojami registre, siekiant ateityje išvengti šių klaidų (žr. 3.1.3. lentelė).

3.1.3. lentelė. Klaidų registras projektavimo metu 1-26 savaitėmis

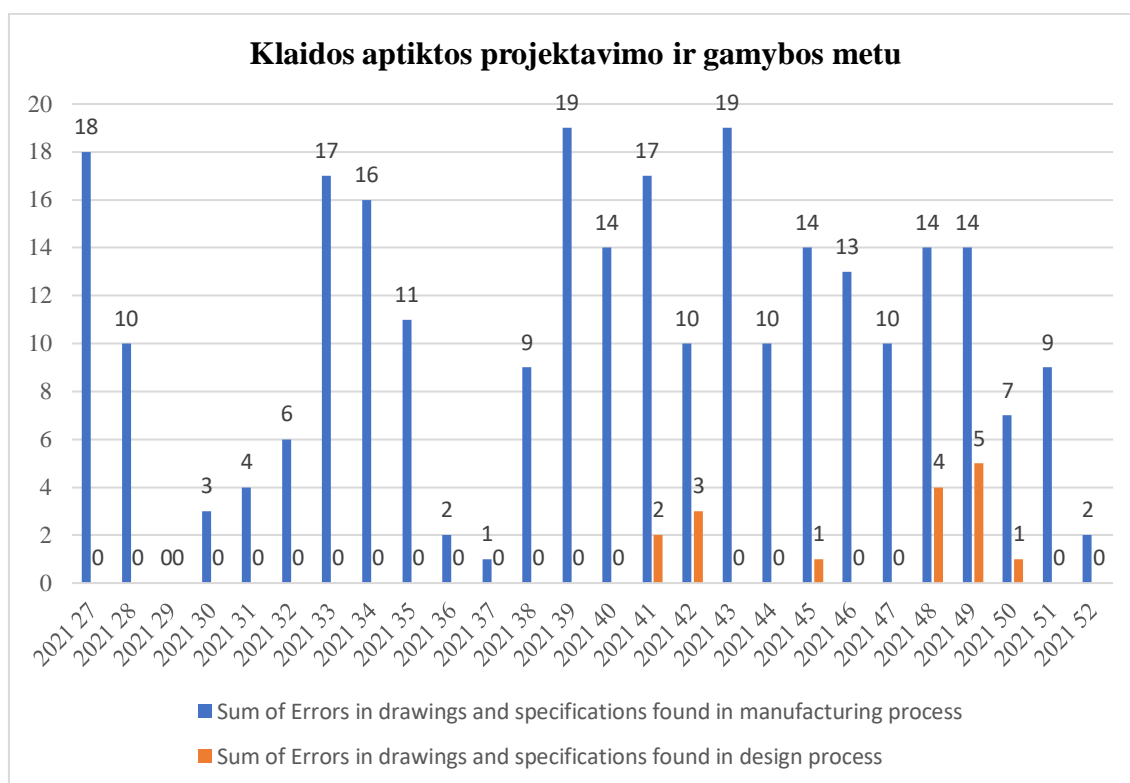
	Sausis	Vasaris	Balandis	Gegužė	Bendras kiekis
Neatitinka brėžinio standarto	54	14			68
Nėra matmens	24	2	1		27
Nėra nurodyta dažymo pak. vieta	4				4
Nėra svorio	7				7
Nesusirenka gaminys	1				1
Nesutampa žaliavos	1	1			2
Neteisingas gamybos aprašymas	38	8	2	1	49
Bendras kiekis	129	25	3	1	158

3.1.6. Efekto įrodymas

Siekiant įvertinti įvestų naujų procesų ir taisyklių naudingumą, tyrimo efektyvumą, naudojami broko registro, klaidų aptiktų gamyboje bei klaidų aptiktų projektavimo metu registro duomenys. (žr. 3.1.3–3.1.4 pav.).



3.1.3 pav. Inžinierių skyriaus broko rodikliai 2021 m.

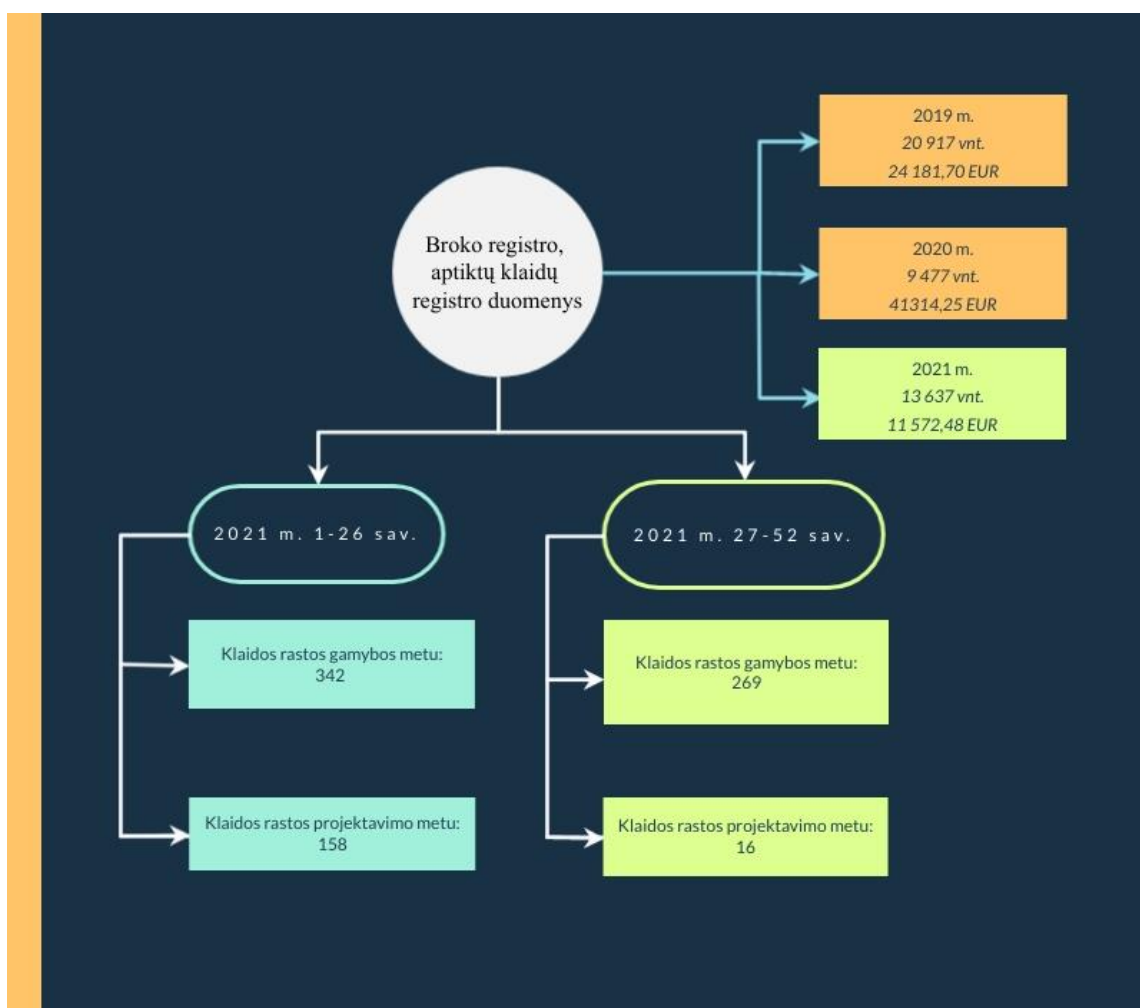


3.1.4 pav. Brėžinių ir gamybos aprašymų klaidos 27-52 savaitėmis

Tyrimo rezultatų analizė atskleidžia, kad nauji neatitiktinių produktų prevenciniai veiksmai, įvesti gamybos inžinierių skyriuje yra naudingi mažinant broko rodiklius. Prieš įvedant „Oobeya“ ir „Keturių akių“ principą, pirmąjį 2021 m. pusmetį fiksuojami duomenys atskleidė, kad inžinierių skyriuje šiuo laikotarpiu vis dar buvo masinių broko atvejų, tačiau įvedus naujas procedūras nuo 27-os tų metų savaitės, neatitiktinių produktų kiekis ir patirtos išlaidos ne tik sumažėjo, bet ir tapo stabilesnės. Taip pat sumažėjo klaidų, rastų gamyboje ir projektavimo metu skaičius (žr. 3.1.4. lentelė). Tyrimo duomenys apibendrinami 3.1.5 paveiksle.

3.1.4. lentelė. Klaidų registras projektavimo metu 27-52 savaitėmis

	Rugpjūtis	Spalis	Lapkritis	Gruodis	Bendras kiekis
Neteisingas gamybos aprašymas	2	1	1	6	10
Nėra svorio	1				1
Neatitinka brėžinio standarto		3	1	2	6
Nėra matmens		1			1
Bendras kiekis	3	5	2	8	18



3.1.5 pav. Apibendrinti tyrimo duomenys

3.1.7. Tolimesni veiksmai

Tyrimas įrodo, kad atlikti proceso tobulinimo veiksmai davė numatytus rezultatus ir sumažino išlaidas, patirtas dėl neatitiktinių produktų inžinierių skyriuje, todėl reikia užtikrinti, kad duomenys broko registre būtų nuolat stebimi, o klaidos aptiktos projektavimo ir gamybos metu – fiksuojamos, kadangi šių rodiklių reguliarius analizavimas ne tik skatina visų darbuotojų įsitraukimą bei pastangas atlikti savo užduotis teisingai, bet tuo pačiu ir padeda išvengti pasikartojančių klaidų. Stengiantis išlaikyti aukštesnius kokybės rodiklius, kurie buvo pasiekti įvedus taisykles tyrimo metu, ir išvengti masinio broko atsiradimo, šios taisyklės ir procesai turi būti įtraukti į gamybos inžinierių pareigybinius aprašymus. Tiek „Oobeya“ procesas, tiek „Keturių akių“ principas, turi turėti standartizuotas instrukcijas, kurios būtų aiškiai suprantamos ir perduotą informaciją inžinierių skyriaus atstovams, kokias jie funkcijas privalo atlikti, paleidžiant naujus produktus į gamybą ir siekiant sumažinti neatitiktinių skaičių gamybos metu.

Sumažinus neatitiktinių kieki, atsiradusių dėl gamybos inžinierių skyriaus klaidų, įmonės mastu, broko rodikliai smarkiai nesumažėjo (žr. 3.1.5. lentelė), todėl siekiant sumažinti neatitiktinių produktų atsiradimo riziką tiriamoje įmonėje, tęsiamas tyrimas, atsižvelgiant į kitus inžinerinius sprendimus ir į tai, kaip projektuotojai kuria gaminių konstrukcijas, siekiant sumažinti broko rodiklių skaičių kituose darbo centruose.

3.1.5. lentelė. Vidinių neatitiktinių produktų kiekio ir kaštų palyginimas 2020-2021 m.

2020			2021		
Mėnuo	Kiekis	Pirminiai kaštai	Mėnuo	Kiekis	Pirminiai kaštai
sausis	17775	17 586,00 €	sausis	17872	14 650,14 €
vasaris	19167	25 318,56 €	vasaris	15988	15 585,60 €
kovas	26990	41 321,01 €	kovas	15248	22 844,80 €
balandis	14427,05	20 226,71 €	balandis	11104	17 378,55 €
gegužė	21934	49 459,25 €	gegužė	27479	15 531,67 €
birželis	15061	27 449,11 €	birželis	14286	19 793,82 €
liepa	17032,6	16 908,55 €	liepa	18798	35 763,18 €
rugpjūtis	28827	32 581,16 €	rugpjūtis	23913	20 250,68 €
rugsėjis	16587	21 805,79 €	rugsėjis	36764	32 304,53 €
spalis	59202	18 199,51 €	spalis	1923	1 649,35 €
lapkritis	19388	14 786,01 €	lapkritis	21541	17 112,10 €
gruodis	28744	12 728,92 €	gruodis	9871	16 873,53 €
Bendras	285135	298 370,58 €	Bendras	214787	229 737,95 €
Sumažėjo broko kaštai nuo 2020 iki 2021 m.:			23,00%		
Sumažėjo broko kiekis nuo 2020 iki 2021 m.:			24,67%		

3.2. Neatitiktinio produkto prevencija rankinio suvirinimo darbo centre

Net tokiu atveju, kai gamybos inžinierius, nepalieka klaidų, atliekant savo užduotis, yra didelė tikimybė, kad serijinės gamybos metu bus padaryti defektai, kurie sukels nuostolių įmonei, ypač kai į gamybos procesą yra įtrauktos operacijos, kurias atlieka žmogus, o ne robotizuota celė. Kadangi neatitiktinių atsiradimui, didelę įtaką daro žmogiškojo faktoriaus klaidos, tai tęsiant tyrimą, analizuojami įmonės darbo centrai, kuriuose nėra automatizuotų ar robotizuotų darbo centrų. Norint išsirinkti darbo centrą, kuriame sumažinus broko rodiklius, pagerėtų ir visos įmonės kokybės rodikliai, naudojama PFMEA (Process Failure Mode and Effects Analysis) metodologija.

3.2.1. PFMEA metodologija suvirinimo darbo centre

PFMEA – proceso gedimo režimo efektų analizė. Ši metodika gali nustatyti galimus procesų gedimo režimus operacijų lygiu. PFMEA metodologijai dažniausiai vadovauja gamybos arba kokybės inžinieriai, pagrindinis šios analizės tikslas yra tinkamų duomenų apie gedimo priežastis rinkimas, siekiant ištaisyti arba sumažinti gedimo padarinius. Be to, PFMEA yra struktūrizuotas įrankis, naudojamas gamybinėse įmonėse. Tai padeda nustatyti gedimo poveikį ir teikia pirmenybę veiksams, reikalingiems rizikai sumažinti. PFMEA šiame tyrime pritaikoma jau esamuose procesuose, siekiant tobulinti kokybės vadybos sistemą.

Analizuojant broko registro duomenis, rankinio suvirinimo darbo centras yra tarp kitų daugiausiai neatitiktinių darančių darbo centrų (žr. 2.2–2.3 pav.). Atsižvelgiant į šiuos rodiklius ir PFMEA metodologijos naudą, tyrimo metu atliekama rankinio suvirinimo darbo centro analizė pagal šią metodologiją. (Rankinio suvirinimo darbo centro analizė pagal PFMEA metodologiją pateikta A priede). Analizuojant šį D.C., įvertinamos atskiros galimos nesėkmės, atliekant įvairius veiksmus, kurie atliekami MAG/TIG suvirinimo operacijos metu: paletės pasiruošimas pakavimui, suvirinimo įtaiso parametrų nustatymas, virinimas, galutinis pakavimas. Nustačius, kokie defektai gali būti padaryti atliekant šiuos veiksmus, nurodomos šių defektų pasekmės ir tų pasekmių rimtumas, išreikštas skaitine išraiška pagal 3.2.1. lentelėje nurodytus kriterijus. Turint šią informaciją yra labai svarbu nustatyti defekto atsiradimo priežastį ir skaitine išraiška įvertinti, kiek dažnai ji pasikartoja pagal 3.2.2. lentelėje nurodytus kriterijus. Galiausiai reikia nurodyti procedūrą, kurios metu galima aptikti neatitiktinius produktus. Dažniausiai naudojama vizuali gaminio patikra arba kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“. Nurodžius procedūrą, reikia skaitine išraiška įvertinti defekto aptikimo tikimybę procedūros metu pagal 3.2.3. lentelėje nurodytus kriterijus. Pasekmės rimtumą, daromų klaidų dažnumą bei defekto aptikimo tikimybę išreiškus skaitine išraiška ir sudauginus šiuos skaičius tarpusavyje nustatoma liekamoji rizika. Tyrimo metu nustatyta priimtina liekamoji rizika – 100, visi veiksmai, kuriems PFMEA metodologijos metu buvo nustatyta didesnė liekamoji rizika turi būti tobulinami, siekiant ją sumažinti.

3.2.1. lentelė. Rizika

Rizika	Sunkumo laipsnio kriterijai	Vertinimas
Pavojinga be įspėjimo	Gali sukelti pavojų operatoriui be jokio įspėjimo	10
Pavojinga su įspėjimu	Gali sukelti pavojų operatoriui su įspėjimu	9
Labai aukšta	100 % produktų iš pagamintos serijos turi būti utilizuojami arba jų remontas reikalauja daugiau nei 1 val.	8
Aukšta	<100 % produktų iš pagamintos serijos turi būti utilizuojami arba jų remontas reikalauja apie ½-1 val.	7
Vidutiniška	<100% produktų iš pagamintos serijos turi būti utilizuojami arba jų remontas reikalauja daugiausia ½ val.	6
Žema	100% produktų iš pagamintos serijos turi remontuojami	5
Labai žema	Produktus reikia perrūšiuoti ir dalį iš jų remontuoti	4
Nereikšminga	Produktai nėra stipriai pažeisti, kai kuriuos gali tekti remontuoti, tačiau dalį jų galima praleisti kaip gerus	3
Labai menka	Produktai nėra stipriai pažeisti, kai kuriuos gali tekti remontuoti, tačiau tokie smulkūs defektai retai būna pastebėti klientų	2
Nėra	Nedidelis operacijos sutrukdymas arba jokios rizikos	1

3.2.2. lentelė. Dažnumas

Neatitiktųjų atsiradimo tikimybė	Dažnumas	Vertinimas
Labai aukšta Nuolatinės neatitiktys	> 100 per 1000	10
	50 per 1000	9
Aukšta Dažnos neatitiktys	20 per 1000	8
	10 per 1000	7
Vidutinė Pavienės neatitiktys	5 per 1000	6
	2 per 1000	5
	1 per 1000	4
Žema Kelios neatitiktys	0,5 per 1000	3
	0,1 per 1000	2
Neatitiktys mažai tikėtinos	< 0,01 per 1000	1

3.2.3. lentelė. Aptikimo tikimybė

Aptikimas	Kriterijai	Automatinis neatitiktųjų aptikimas	Matavimai atliekami darbuotojo	Patikra atliekama darbuotojo	Vertinimas	Patikros procesų pavyzdžiai
Neįmanomas	Neatitiktis negali būti aptikta			X	10	Neatitiktis negali būti aptikta arba nėra patikros proceso
Beveik neįmanomas	Beveik nėra tikimybės, kad patikros metu bus aptikta neatitiktis			X	9	Patikros procesas vyksta netiesiogiai arba atsitiktine tvarka
Beveik neįmanomas	Beveik nėra tikimybės, kad patikros metu bus aptikta neatitiktis			X	8	Patikros procesas vyksta atliekant vizualinę patikrą
Labai žemas	Yra labai maža tikimybė, kad patikros metu bus aptikta neatitiktis			X	7	Patikros procesas vyksta atliekant dvigubą vizualinę patikrą
Žemas	Yra maža tikimybė, kad patikros metu bus aptikta neatitiktis		X	X	6	Kontrolė atliekama naudojant statistinius metodus, tokius kaip statistinio proceso valdymas
Vidutinis	Yra vidutinė tikimybė, kad patikros metu bus aptikta neatitiktis		X		5	Kontrolė paremta atliekant matavimus
Aukštas	Yra didelė tikimybė, kad patikros metu bus aptikta neatitiktis		X		4	Kontrolė paremta atliekant matavimus arba matavimai atliekami šablono dėka
Labai aukštas	Yra labai didelė tikimybė, kad patikros metu bus aptikta neatitiktis		X		3	Broko radimas darbo centre kuriame atliekama operacija arba sekančiame darbo centre vadovaujantis kelių lygių patikra. Neatitinkančio standarto detalės pripažįstamos netinkamomis.
Beveik užtikrintas	Beveik neįmanoma neaptikti neatitikties patikros metu	X			2	Automatinis matavimas įrenginyje, kuris aptikus neatitikimus, sustabdo procesą
Visiškai užtikrintas	Neįmanoma neaptikti neatitikties patikros metu	X			1	Dėl konstrukcijos ar įrangos nėra galimybės atsirasti neatitiktims

3.2.2. Produkto konstrukcijos tobulinimas

Įvertinus įvairių atliekamų veiksmų liekamąją riziką, galima pastebėti silpniausias analizuojamas darbo centro vietas, kurias reikia tobulinti. Vienas iš būdų sumažinti neatitiktinio produkto atsiradimo riziką, tobulinti virinamų gaminių konstrukciją, tačiau tam būtinas rankinio suvirinimo darbo centro ir gamybos inžinierių bendradarbiavimas. Suvirintojai ar juos atstovaujantis komandos lyderis turi nuolat stebėti gaminius, kuriuos virinti yra sudėtingiausia, kur dažniausiai pasikartoja brokas ar tiesiog atima daugiausia laiko. Apie šiuos gaminius jie turi informuoti inžinierius. Gamybos inžinieriai, atsižvelgdami į šio D.C. darbuotojų pateiktą informaciją ir patys stebėdami sudėtingesnių gaminių virinimą, turi keisti šių gaminių konstrukciją, atsižvelgti į iškylančias problemas ir jas pašalinti ne tik einamojoje gamyboje bet ir ateityje, projektuojant naujus, panašius gaminius.

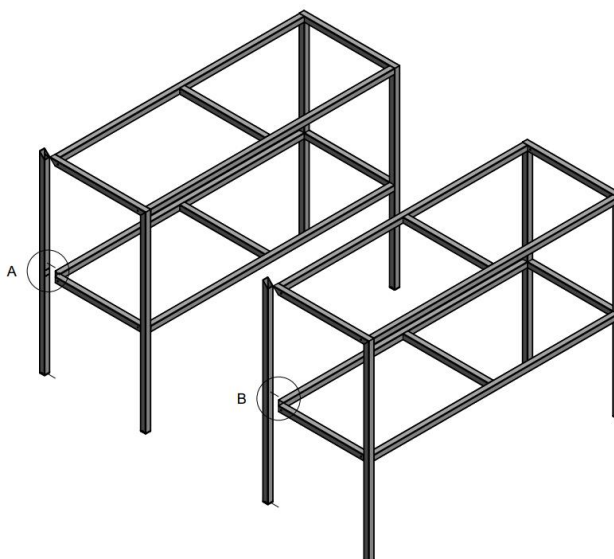
Vienas iš greičiausių ir patikimiausių konstrukcijos tobulinimo būdų – mechaninės jungtys (žr. 3.2.1 pav.). Naudojant tokį problemos sprendimo būdą yra didelė tikimybė sumažinti neatitiktinių produktų kiekį suvirinimo darbe, išvengiant žmogiškojo faktoriaus klaidų. Įvairios mechaninės jungtys, „užraktai“ ar kiti inžineriniai sprendimai, gali padėti ne tik sumažinti liekamąją riziką ir pagerinti kokybės rodiklius tiriamame D.C., bet tuo pačiu padidinti produkto vertę.



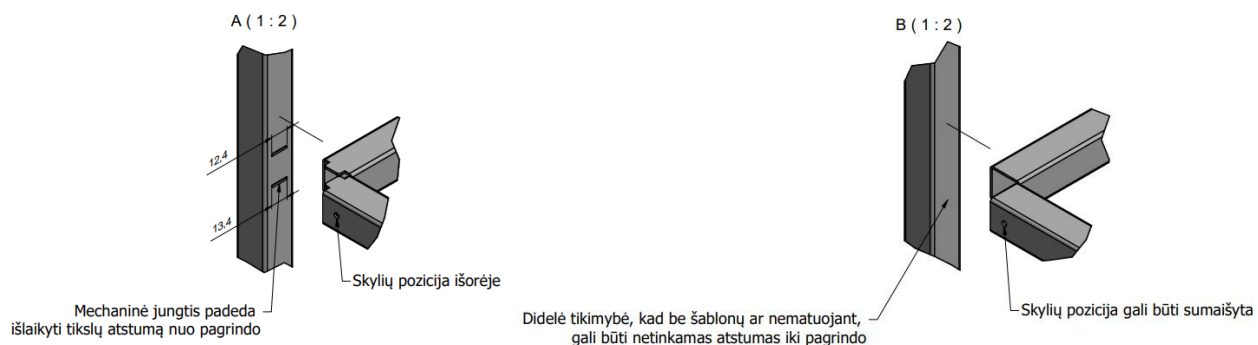
3.2.1 pav. Mechaninių jungčių pavyzdžiai

Analizuojant mechaninių jungčių naudingumą buvo atliktas dviejų gaminių savikainos skaičiavimas. Gaminiai suvirintoje stadijoje vizualiai yra vienodi (žr. 3.2.2 pav.), tačiau vieno konstrukcija yra su mechaninėmis jungtimis, kito be (žr. 3.2.3 pav.). Konstrukciją be mechaninių jungčių sudaro šeši skirtingi komponentai, kurie gali pasikartoti, o konstrukciją su mechaninėmis jungtimis – aštuoni skirtingi komponentai, kadangi dėl atsiradusių kiaurymių vamzdžiuose, gaminyje atsiranda nesimetriškų detalių. Patobulinus produkto konstrukciją, padidėja skirtingų komponentų kiekis, tačiau sumažėja neatitiktinių atsiradimo rizika bei operacijų skaičius, kadangi lazeriuojant

vamzdžius su „užraktais“ iš anksto išlazeriuojamos ir apvalios kiaurymės, kurios, naudojantis įprastais gamybos būdais, reikalautų brangesnės ir daugiau laiko užimančios rankinio gręžimo operacijos.



3.2.2 pav. Analizuojamos konstrukcijos

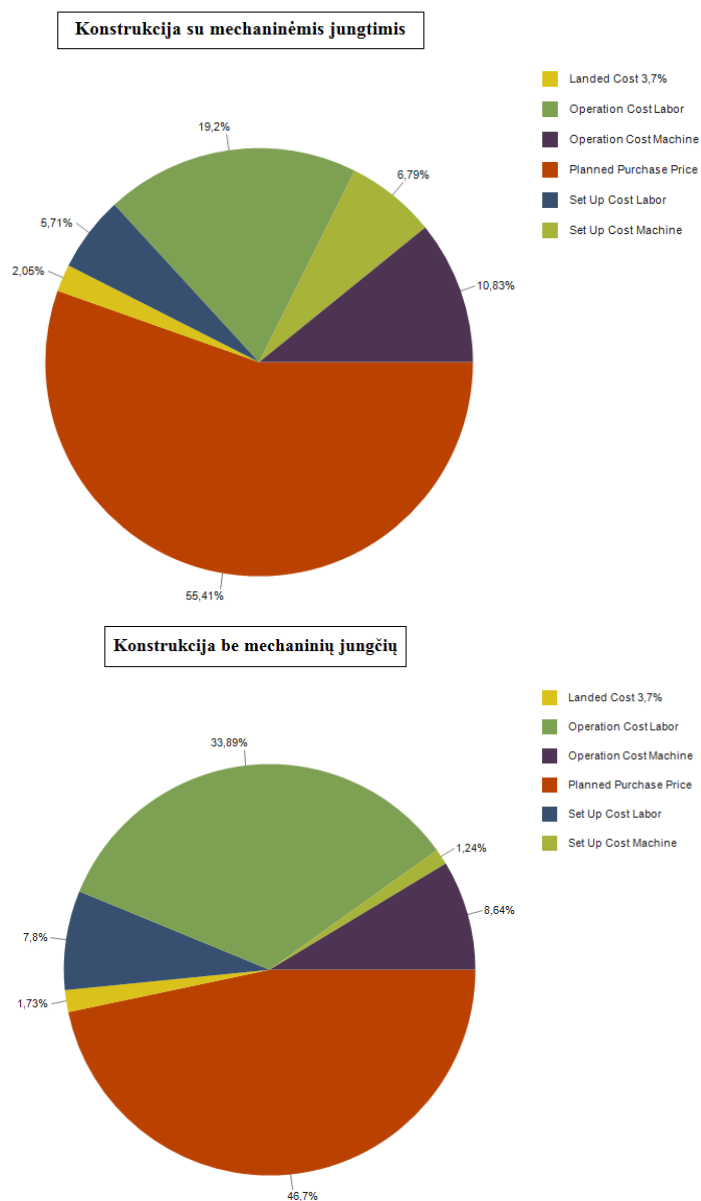


3.2.3 pav. Konstrukcijų skirtumai

Analizuojant atskirus atvejus buvo nustatyta, kad gaminy su mechaninėmis jungtimis yra pigesnis nei gaminy be jų (žr. 3.2.4. lentelė). Suvirintų gaminių kainos apskaičiuotos įmonėje naudojamomis kainų skaičiuoklėmis bei pagrindine įmonėje naudojama sistema. Savikainą sudaro: medžiaga, pasiruošimo laikas, įranga, darbuotojų užmokestis (žr. 3.2.4 pav.).

3.2.4. lentelė. Gaminių kainos palyginimas

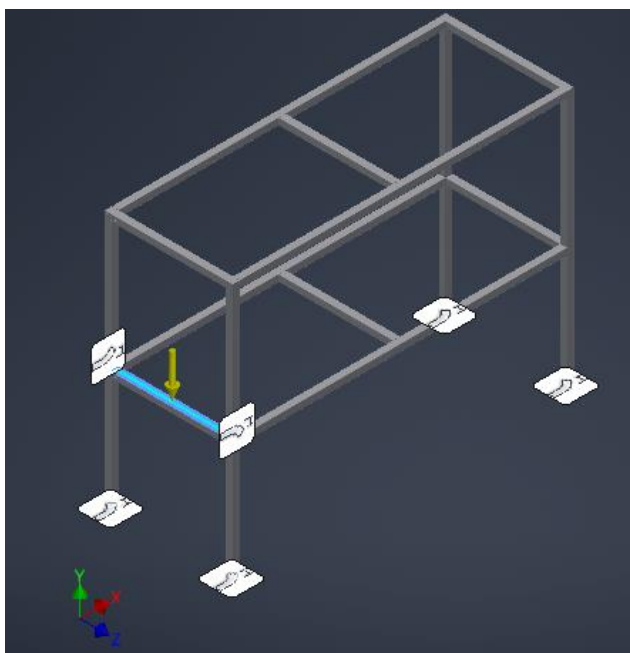
Gaminys su mechaninėmis jungtimis		Gaminys be mechaninių jungčių	
Komponento/gaminio pavadinimas	Kaina	Komponento/gaminio pavadinimas	Kaina
Tube 25x25x1.5/900 LH	2,58 €	Tube 25x25x1.5/900	3,06 €
Tube 25x25x1.5/900 RH	2,58 €	Tube 25x25x1.5/450 w holes	1,72 €
Tube 25x25x1.5/450	1,48 €	Tube 25x25x1.5/400 w holes	1,68 €
Tube 25x25x1.5/1156 Top	2,94 €	Tube 25x25x1.5/400	1,49 €
Tube 25x25x1.5/1156 Bottom	2,94 €	Tube 25x25x1.5/1146	3,06 €
Tube 25x25x1.5/410 wo holes	1,28 €	End plate 25x25x3 M8	0,43 €
Tube 25x25x1.5/410	1,33 €		
End plate 25x25x3 M8	0,43 €		
Table 450x1196x903 welded	38,83 €	Table 450x1196x903	46,08 €



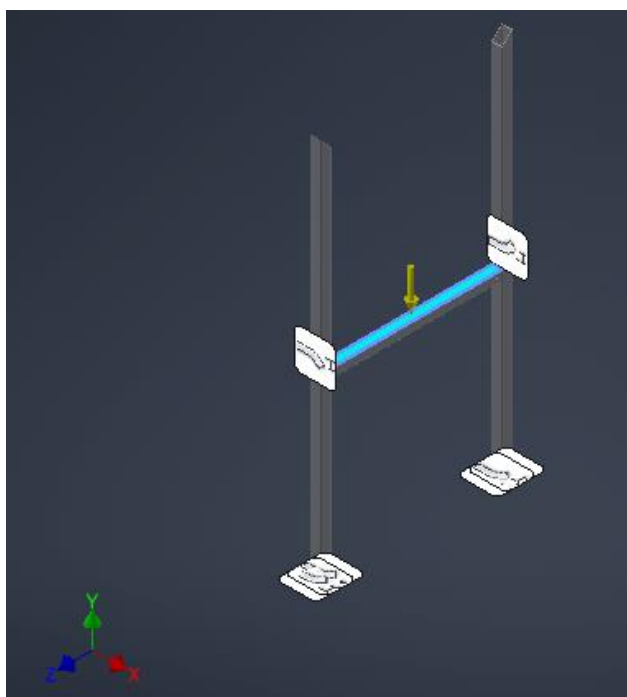
3.2.4 pav. Detalizuota kainų informacija

Pateiktos skritulinės diagramos rodo, kaip pasiskirsto kainos sudedamosios dalys. Iš šių duomenų galima pastebėti, kad patobulintoje konstrukcijoje medžiagų kaina sudaro didesnę procentinę dalį bendros savikainos nei konstrukcijoje be mechaninių jungčių. Tam įtakos turi lazeriavimo operacija, kadangi šiai operacijai reikalinga didesnė medžiagos išėiga, tačiau sutaupoma atsisakant rankinio darbo operacijų. Duomenys įrodo, kad konstrukcijoje su mechaninėmis jungtimis patirta mažiau išlaidų dėl darbuotojų užmokesčio, kadangi konstrukcija be mechaninių jungčių reikalauja daugiau darbuotojo pasiruošimo bei virinimo laiko.

Atsižvelgiant į skaičiavimus, galima teigti, kad konstrukcijos tobulinimas mechaninėmis jungtimis padeda ne tik išvengti žmogiškojo faktoriaus klaidų bet ir sumažina produkto kainą. Kita vertus, atlikus konstrukcijos pakeitimus, atsiranda rizika susilpninti patobulintą konstrukciją. Vertinant šią riziką tiriamojo darbo metu buvo atlikti stipruminiai konstrukcijos skaičiavimai, naudojant „Autodesk Inventor Professional 2022“ programą. Statinė analizė leidžia greitai nustatyti įtempius, poslinkius bei atsargos koeficientą prie nurodytų apkrovų. Ši analizė buvo atlikta pilnai konstrukcijai (žr. 3.2.5 pav.) bei supaprastinus konstrukciją iki trijų komponentų (žr. 3.2.6 pav.). (Stipruminiai analizuojamų konstrukcijų skaičiavimai pateikiami B priede).



3.2.5 pav. Pilnos konstrukcijos statinės apkrovos analizė



3.2.6 pav. Trijų komponentų statinės apkrovos analizė

Atlikus statinę analizę konstrukcijai su mechaninėmis jungtimis ir be jų, programoje naudojant tas pačias koncentruotas jėgas ir įtvirtinimus, gauti rezultatai atskleidė, kad rizikos susilpninti konstrukciją, atlikus pakeitimus, nėra. Iš duomenų galima pastebėti, kad konstrukcijoje su mechaninėmis jungtimis yra mažesni maksimalūs įtempiai nei konstrukcijoje be jų, o deformacijos ir atsargos koeficientai tiek vienu, tiek kitu atveju išlieka labai panašūs (žr. 3.2.5. lentelė).

3.2.5. lentelė. Statinės analizės duomenys

	Konstrukcija su jungtimis		Konstrukcija be jungčių		3-jų elementų konstrukcija su jungtimis		3-jų elementų konstrukcija be jungčių	
	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
Įtempiai	0,2 Pa	49,41 Mpa	0,2 Pa	54,74Mpa	0 Pa	8,72 Mpa	0 Pa	10,16 Mpa
Poslinkiai	0 mm	0,013 mm	0 mm	0,012 mm	0 mm	0,006 mm	0 mm	0,006 mm
Atsargos koeficientas	4,45 ul	15 ul	4,02 ul	15 ul	15 ul	15 ul	15 ul	15 ul

Kadangi gaminių konstrukcijos tobulinimas mechaninėmis jungtimis neturi neigiamos įtakos konstrukcijos stiprumui, galima teigti, kad šis neatitiktinių produktų mažinimo būdas yra naudingas dėl to, kad sumažėja broko atsiradimo rizika bei padidėja produkto vertė.

Rankinio suvirinimo D.C. 2021 m. buvo užfiksuota 1817 vnt. neatitiktinių, o patirtos išlaidos – 9840,01 EUR. Tokių defektų kiekis, kaip „neatitinka brėžinio“ ar „netinkamai suvirintos detalės“ sudaro 55,26 % viso neatitiktinių kiekio (žr. 3.2.6. lentelė). Tobulinant konstrukciją galima eliminuoti neatitiktinius produktus, kurie neatitinka brėžinio dėl to, kad operatorius arba suvirintojas sumaišė

komponentus ar jų poziciją gaminyje. Sumažinus tokio tipo defektus, rankinio suvirinimo D.C. broko rodikliai sumažėtų beveik per pusę. Ši prielaida sustiprina konstrukcijų tobulinimą mechaninėmis jungtimis naudą, tačiau siekiant įvertinti praktinį šio prevencinio veiksmo naudingumą, reikia ir toliau stebėti rankinio suvirinimo D.C. broko rodiklius, juos analizuoti ir padaryti išvadas.

3.2.6. lentelė. Rankinio suvirinimo D.C. broko rodikliai 2021 m.

Defekto aprašymas	Kiekis	Pirminiai kaštai
Mechaninio poveikio deformacijos	108	1 257,45 €
Neatitinka brėžinio	868	4 901,26 €
Neatlikta/nepilnai atlikta operacija	47	333,93 €
Nepilnas privirinimas	110	531,18 €
Netinkama siūlės geometrija	24	314,93 €
Netinkamai suvirintos detalės	136	409,99 €
Pradeginimas	66	512,32 €
Privirinta prie brokuotos detalės	12	104,57 €
Virinimo pusrslai	446	1 474,38 €
Bendras	1817	9 840,01 €

3.3. Proceso automatizavimo nauda mažinant neatitiktinius produktus

Norint sumažinti kitus defektus, tokius kaip „pradeginimas“, „neatlikta/nepilnai atlikta operacija“ ar „nepilnas privirinimas“ reikia apsvarstyti alternatyvą perkelti suvirinimo operaciją į automatizuotą suvirinimo D.C.. Šiame darbo centre 2021 m. buvo užfiksuota 559 vnt. neatitiktinių, o patirtos išlaidos – 1234,39 EUR (žr. 3.3.1. lentelėje). Iš pateiktų duomenų galima pastebėti, kad automatizuoto suvirinimo darbo centre broko rodikliai yra ženkliai geresni lyginant su rankinio suvirinimo D.C..

3.3.1. lentelė. Automatizuoto suvirinimo D.C. broko rodikliai 2021 m.

Defekto aprašymas	Kiekis	Pirminiai kaštai
Mechaninio poveikio deformacijos	36	116,43 €
Neatitinka brėžinio	189	409,69 €
Nepilnas privirinimas	9	74,92 €
Netinkamai suvirintos detalės	12	21,99 €
Pašalinės dalelės po dažų sluoksniu	11	18,45 €
Paviršių nelygumai	2	3,06 €
Pradeginimas	22	72,54 €
Suputojusi virinimo siūlė	2	5,94 €
Užvartos	1	1,42 €
Virinimo purslai	275	509,95 €
Bendras	559	1 234,39 €

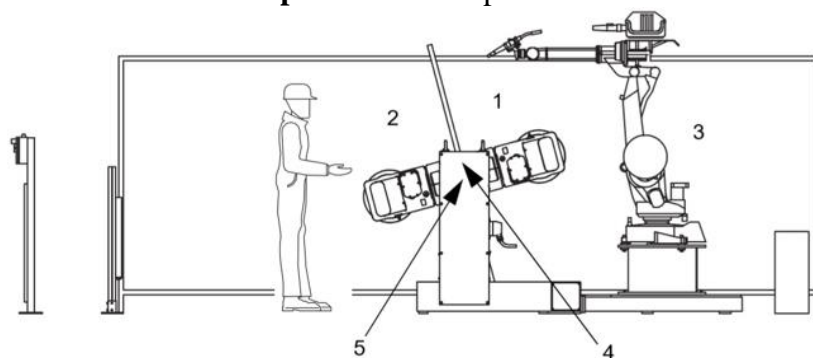
Žinoma, keičiant gamybos būdą, reikia įsivertinti gaminamos produkcijos kiekį, kadangi esant vienetinei gamybai, optimaliausias variantas – pasirinkti rankinio suvirinimo darbo centrą. Atsižvelgiant į tai tiriamojo darbo metu buvo atrinkti keli gaminiai, kurių numatoma gamybos apimtis nuo 4 000 iki 10 000 vnt., analizuojant šiuos gaminius buvo įvertintas broko rodiklių pasikeitimas bei išlaidų sumažėjimas, pakeitus suvirinimo operaciją iš rankinio suvirinimo į automatizuotą.

3.3.1. Automatizuota suvirinimo celė

Tyrimo metu analizuojamas suvirinimo procesas nėra pilnai robotizuotas. Šiame procese neišvengiamas žmogaus įsitraukimas į suvirinimo operaciją, kadangi analizuojama tik pusiau robotizuota suvirinimo operacija, kurios metu vienoje virinimo pusėje operatorius uždeda komponentus, nuima suvirintus gaminius ir atlieka jų kokybės patikrą, o antroje virinimo pusėje ABB manipulatorius atlieka suvirinimo funkciją (žr. 3.3.1–3.3.2 pav.). Automatizuota suvirinimo celė pritaikyta žmogaus ir roboto bendradarbiavimui, laikantis visų saugumo reikalavimų (žr. 3.3.3 pav.), todėl vienu metu gali būti atliekami keli veiksmai ir tai padeda padidinti produkto vertę bei sumažinti ne tik broko rodiklius, bet ir bendro užsakymo vykdymo laiką.

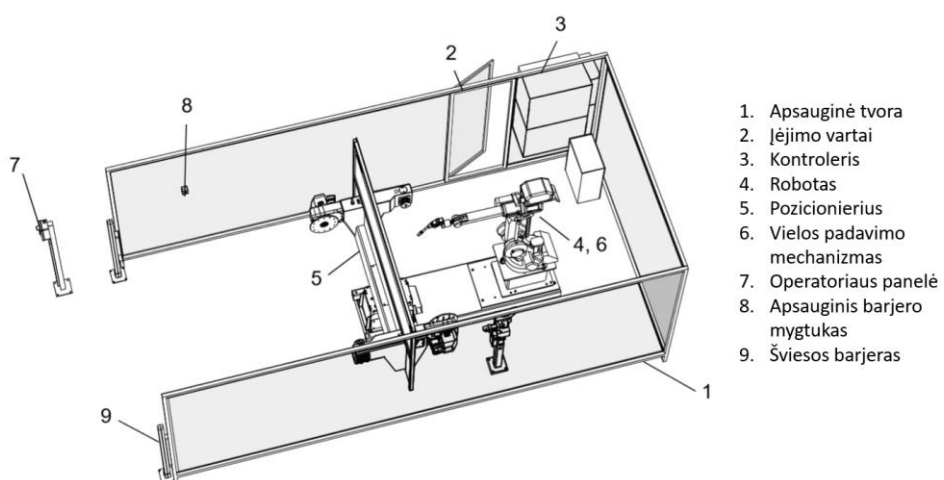


3.3.1 pav. ABB manipulatorius



1. Pirma virinimo pusė 2. Antra virinimo pusė 3. Robotas 4. Apsauginė pertvara 5. Pozicionierius

3.3.2 pav. Automatizuota suvirinimo celė

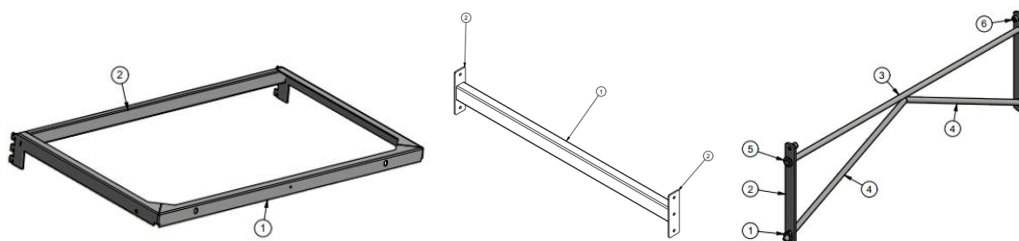


1. Apsauginė tvora
 2. Jėjimo vartai
 3. Kontroleris
 4. Robotas
 5. Pozicionierius
 6. Vielos padavimo mechanizmas
 7. Operatoriaus panelė
 8. Apsauginis barjero mygtukas
 9. Šviesos barjeras

3.3.3 pav. Darbo vieta

3.3.2. Broko rodiklių ir produkto vertės analizavimas

Atsižvelgiant į 2021–2022 m. gaminamą produkciją ir numatomus gamybos kiekius nagrinėjamoje įmonėje, buvo atrinkti keli nesudėtingos konstrukcijos gaminiai (žr. 3.3.4 pav.), kurie tyrimo metu buvo perkelti iš rankinio suvirinimo darbo centro į automatizuotą suvirinimo celą. Atlikus šiuos veiksmus buvo daroma prielaida, kad neatitikčių gaminant šiuos produktus sumažės, o gaminio vertė padidės.



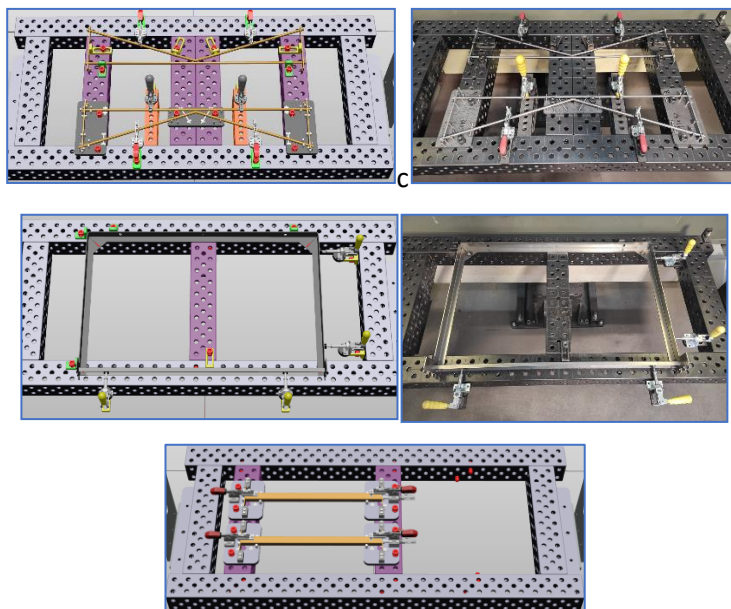
3.3.4 pav. Virinami gaminiai

Gaminiai, kurių gamybos procesas buvo pakeistas, 2021 m. nebuvo dažnai brokuojami. Rankinio suvirinimo darbo centre virinant šiuos gaminius buvo užfiksuotos kelios neatitiktys: neatlikta/nepilnai atlikta operacija, nepilnas suvirinimas, virinimo purslai ir pradeginimas (žr. 3.3.2. lentelėje). Perkėlus šių gaminių virinimą į automatizuotą suvirinimo celą, neatitikčių atsiradimo buvo visiškai išvengta. Buvo utilizuoti tik keli gaminiai, kurių defekto atsiradimo priežastis – įrangos derinimas. Žinoma, siekiant įvertinti tikslią kokybės rodiklių gerinimo naudą, reikia ir toliau stebėti duomenis, kadangi automatizuoto suvirinimo D.C. sąlyginai dažnai gali pasitaikyti suvirinimo purslų ar įbrėžimų nuo šablonų. Tačiau šie defektai gali būti remontuojami, įtraukiant papildomą šlifavimo operaciją, priešingai nei defektai aptikti rankinio suvirinimo darbo centre, kai gaminiai turi būti utilizuojami ar smarkiai koreguojami. Dažniausiai neatitiktiniai produktai su tokiais defektais, kaip nepilnas suvirinimas ar pradeginimas turi būti utilizuojami.

3.3.2. lentelė. Nagrinėjamų gaminių rankinio suvirinimo D.C. broko rodikliai 2021 m.

2021 m. Rankinis suvirinimo D.C.		
Gaminio numeris/defekto pavadinimas	Kiekis, vnt.	Kaštai, EUR
1000	20	57,33
Neatlikta/nepilnai atlikta operacija	16	12,48
Virinimo purslai	4	44,85
1001	10	77,25
Nepilnas privirinimas	6	32,4
Virinimo purslai	4	44,85
1002	44	268,51
Pradeginimas	44	268,51

Pakeitus gamybos procesą ir įvertinus neatitikčių sumažėjimą, buvo atlikti kainos skaičiavimai abiejuose suvirinimo darbo centruose, siekiant įvertinti produkto vertės padidėjimą. Norint gaminius virinti automatizuotoje suvirinimo celėje, visų pirma buvo sukurti šablonai (žr. 3.3.5 pav.), jų projektavimo laikas ir patirtos išlaidos nebuvo įtrauktos į gaminio savikainą. Pakeitus suvirinimo D.C., gaminio savikainai didžiausią įtaką daro gamybos norma. Gaminio savikaina ir operacijos pakeitimo atsiperkamumas pateiktas 3.3.3. lentelėje.



3.3.5 pav. Virinamų gaminių šablonai

3.3.3. lentelė. Nagrinėjamų gaminių savikaina ir gamybos atsiperkamumas

Detalės numeris 1000			
	Rankinis suvirinimas	Robotinis suvirinimas	
Virinimo Norma	6	30	
Vieneto kaina	8,22 €	6,01 €	
Pagaminta iki 2021-08	0		
Pagaminto kiekio kaina	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Planuojamas gaminti kiekis nuo 2021-08 iki 2022 m.	4120		9 105,20 €
Planuojamo gaminti kiekio kaina	33 866,40 €	24 761,20 €	9 105,20 €
Detalės numeris 1001			
	Rankinis suvirinimas	Robotinis suvirinimas	
Virinimo Norma	18	40	
Vieneto kaina	15,81 €	15,38 €	
Pagaminta iki 2021-11	1131		
Pagaminto kiekio kaina	17 881,11 €	17 394,78 €	486,33 €
Planuojamas gaminti kiekis iki 2022 m.	10000		4 786,33 €
Planuojamo gaminti kiekio kaina	158 100,00 €	153 800,00 €	4 300,00 €

3.3.3. lentelės tęsinys

Detalės numeris 1002			
	Rankinis suvirinimas	Robotinis suvirinimas	
Virinimo Norma	30	150	
Vieneto kaina	2,61 €	2,16 €	
Pagaminta iki 2021-10	4136		
Pagaminto kiekio kaina	10 794,96 €	8 933,76 €	1 861,20 €
Planuojamas gaminti kiekis iki 2022	6080		4 597,20 €
Planuojamo gaminti kiekio kaina	15 868,80 €	13 132,80 €	2 736,00 €

Tyrimo metu gauti rezultatai rodo, kad pakeitus rankinio suvirinimo operaciją į automatizuotą suvirinimo operaciją, padidėja ne tik kokybės rodikliai, tačiau ir įmonės pelnas. Vadinasi, galima teigti, kad iškelta prielaida apie neatitiktinių produktų mažėjimą ir produkto vertės padidėjimą yra teisinga ir šis prevencinis veiksmas, skirtas broko atsiradimo rizikos mažinimui, gali būti taikomas kitiems produktams, gaminamiems įmonėje.

IŠVADOS

1. Siekiant pagerinti gaminių kokybę bei užkirsti kelią broko atsiradimui, atlikta analizė bei nustatyta, kad gamybos inžinierių skyriuje fiksuojami didžiausi broko bei patirtų išlaidų rodikliai. Didesni broko kiekiai taip pat fiksuojami rankinio suvirinimo padalinyje.
2. Įvedus neatitiktinių produktų prevencinius veiksmus gamybos inžinierių skyriuje broko kaštai įmonėje sumažėjo 23 %, broko kiekis sumažėjo 24,7 %. Siekiant įrodyti šių veiksmų naudingumą, taip pat buvo fiksuojamos klaidos gamybos metu, kurios po pakeitimų sumažėjo 21,35 % ir klaidos projektavimo metu, kurios sumažėjo – 89,87 %.
3. Vadovaujantis PFMEA metodologija buvo nustatyti defektai, kuriuos panaikinus, sumažėtų neatitiktinio produkto rizika. Siekiant išvengti šių defektų, buvo analizuojamas konstrukcijos pakeitimas. Patobulinus produkto konstrukciją naudojant mechanines jungtis, sumažėjo suvirinto gaminio kaina 15,73 % bei žmogiškojo veiksnio įtaka kokybei, kadangi sumažėjo rankinio darbo.
4. Paskaičiuota, kad rankinio suvirinimo procesą pakeitus dalinai robotizuotu, sumažėja gamybos kaštai, per kelis mėnesius sutaupoma 18 488,73 EUR. Taip pat pagerėja kokybiniai rodikliai, kadangi išvengiama žmogiškųjų klaidų.

LITERATŪRA

- 1 Akilus. *Vadybos sistemos ISO standartai*. Prieiga per internetą:
<https://akilus.lt/vadybos-sistemos-iso-standartai/>
- 2 Anand G., Kodali R. (2010). Development of a framework for implementation of lean manufacturing systems. *International Journal of Management Practice*, Number 1, p. 95-116.
- 3 Ballestar, M., T., Díaz-Chao, A., Sainz, J., Torrent-Sellens, J. (2020). Impact of robotics on manufacturing: A longitudinal machine learning perspective. *Technological Forecasting and Social Change*. Prieiga per internetą:
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120348>
- 4 Foster, JR. S. Th., Ogden, J. (2008) On differences in how operations and supply chain managers approach quality management. *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 24, 6945–6961. Prieiga per internetą:
<https://doi.org/10.1080/00207540802010815>
- 5 Fuentes, JM., Diaz, SM. (2012). Learning on lean: a review of thinking and research. *International journal of operations & production management*: 32(5):551–583
- 6 Garvin, D., A. (1987). Competing on the Eight Dimensions of Quality. *Harvard Business Review*. Prieiga per internetą:
<https://hbr.org/1987/11/competing-on-the-eight-dimensions-of-quality>
- 7 Gembutas M. (2019). *Lean Implementation Barriers and Critical Success Factors in Lithuanian SMEs: magistro baigiamasis darbas*. Taylor University.
- 8 Gembutas M. (2020). Kiek Lietuvoje turime Lean'o? *Lean Lietuva*. Prieiga per internetą:
<https://www.leanlietuva.lt/kiek-lietuvoje-turime-leano/>
- 9 Jurkauskas, A. (2006). *Visuotinė kokybės vadyba: mokomoji knyga*. KTU: Technologija.
- 10 Kanban tool. (2009-2022). *Recognize Improvement Opportunities*. Prieiga per internetą:
<https://kanbantool.com/kanban-guide/kanban-fundamentals/improve-continuously>
- 11 Kontautaitė D., Zinkevičiūtė V. (2013). Ekspedicinių įmonių veiklos kokybės gerinimo poreikis ir galimybės. *Mokslas – lietuvos ateitis*. 5(1): 22-28. DOI 10.3846/mla.2013.04. Prieiga per internetą:
<https://etalpykla.lituanistikadb.lt/object/LT-LDB-0001:J.04~2013~1368625134193/>
- 12 Kučinskas I. (2020). Apie Hitoshi Takeda. *Lean mokymo centras*. Prieiga per internetą:
<https://www.leanmokymocentras.lt/2020/04/29/igno-kucinsko-pokalbis-su-hubertas-petruziu-apie-hitoshi-takeda/>
- 13 Lean Academy Lithuania. *Žodynas A3*. Prieiga per internetą:
<https://leanacademy.lt/zodynas/a3/>

- 14 Lean mokymo centras. (2018). *Lean sistema / Lean metodika*. Prieiga per internetą: <https://www.leanmokymocentras.lt/2018/04/10/lean-sistema-lean-metodika/>
- 15 Lean projektai. (2022). *Lean Six Sigma*. Prieiga per internetą: <https://www.leanprojektai.lt/lean-sistema/lean-six-sigma/>
- 16 LTS EN ISO 9001:2015 *Quality management systems – Requirements*. (2015), 29 psl.
- 17 Obara, S., Wilburn D. (2015). „Toyota” pagal „Toyota”. Vilnius
- 18 Oosterwal, Dantar P. (2010). *Lean Machine : How Harley-Davidson Drove Top-line Growth and Profitability With Revolutionary Lean Product Development*. American Management Association.
- 19 Sabaitytė L. (2013). *Procesų tobulinimas ir kokybės vadyba organizacijoje X: magistro baigiamasis darbas*. Mykolo Romerio universitetas.
- 20 Scotchmer, A. (2007). *5s Kaizen in 90 Minutes (Ninety Minutes)*. Copyrighted Material
- 21 Strolaitė J. (2012). *Produkto inovacijų kūrimo proceso tobulinimas. Improvement of product innovation creating process: magistro baigiamasis darbas*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas.
- 22 Taiichi, O. *A3 Problem Solving*. Prieiga per internetą: <https://kanbantool.com/kanban-guide/a3-problem-solving>
- 23 Tohidi, H. (2012). Six sigma methodology and its relationship with lean manufacturing system. *Adv Environ Biol* 6:895–906
- 24 Urbanavičius, D. (2005). ISO 9001 – mitai ir realybė. Prieiga per internetą: <https://www.diena.lt/naujienos/verslas/ekonomika/iso-9001-mitai-ir-realybe-593408>
- 25 Vanagas P. (2004). *Visuotinės kokybės vadyba*. KTU leidykla "Technologija". DOI 10.5755/e01.9786090200940.
- 26 Vancevičius, M. (2019). *Metalo apdirbimo įmonių gamybos procesų tobulinimas ir optimizavimas. Mokslas – Lietuvos ateitis*
- 27 Vancevičius, M. (2019). *Metalo apdirbimo įmonių gamybos procesų tobulinimas ir optimizavimas. Improvement and optimization of manufacturing processes in metal processing companies: magistro baigiamasis darbas*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas.
- 28 Zhan, W., Ding, X. (2016). *Lean Six Sigma and Statistical Tools for Engineers and Engineering Managers*. Momentum Press.
- 29 Åstrand, E. (2015). *A new innovative toolbox for lean welding of fatigue loaded structures*. Int J Adv Manuf Technol.
- 30 Serafinas, D. (2011). *Kokybės vadybos teorijos praktinis taikymas*. Vilnius

PRIEDAI

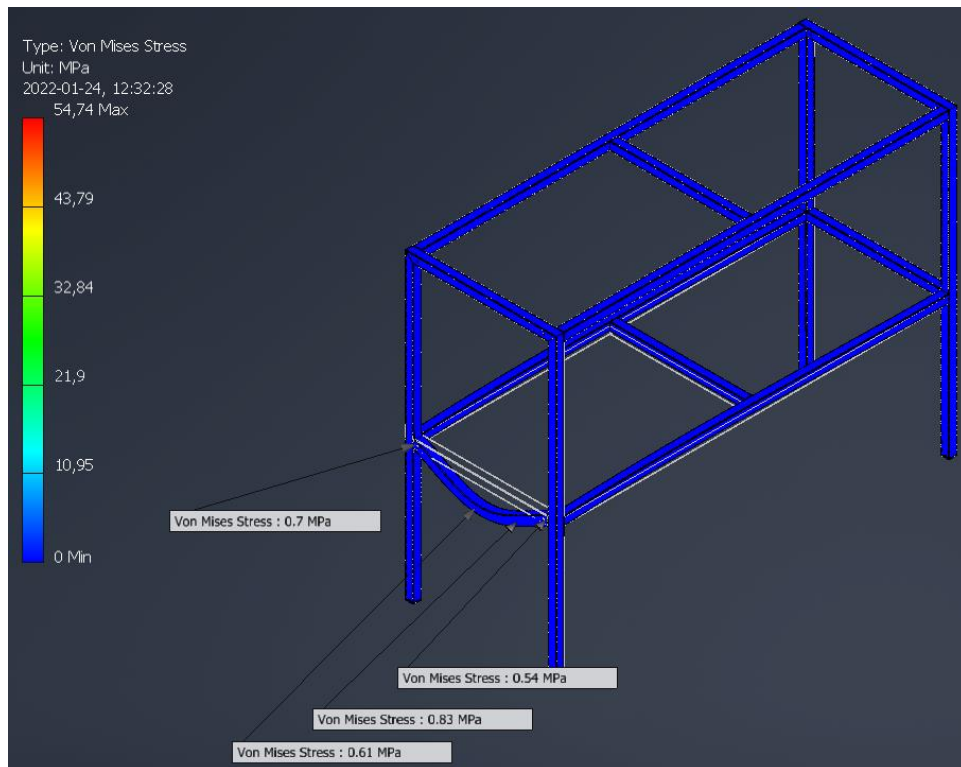
A lentelė. Rankinio suvirinimo darbo centro analizė pagal PFMEA metodologiją

Numravimas	Atliekamos operacijos pavadinimas/proceso atliekamo operacijos metu pavadinimas	Atliekamas veiksmas proceso metu	Galimos klaidos neatlikus veiksmo	Galimos klaidų pasekmės	Pasekmės rimtumai	Potenciali pasekmės priežastis	Atsiradimo dažnumas	Dabartinis projektavimo/proceso valdymas	Dabartinė neatitikčių aptikimo procedūra	Neatitikčių aptikimas	Liekamoji rizika
1	MAG/TIG Suvirinimas										
1.1	Pasiruošimas pakavimui	Paletės apačia padengiama antikorozine plėvele	Paletė nepadengta antikorozine plėvele. Atsiranda korozija ant detalių paviršių.	Dėl korozijos lupasi dažai, todėl detalė turi būti šlifuojama ir perdažoma	7	Operatoriaus kaltė, kadangi nėra antikorozinės plėvelės ant paletės	2		Vizuali patikra pagal pakavimo instrukcijos reikalavimus	5	70
1.2		Paletės apačia padengiama kartonu	Neuždėjus kartono, apdega antikorozinė plėvelė ir prilimpa prie detalės paviršiaus.	Po virinimo operacijos prie gaminio gali būti prilipusi plėvelė, todėl gaminys turi būti remontuojamas.	7	Operatoriaus kaltė, kadangi paletė nepadengta kartonu.	2		Vizuali patikra pagal pakavimo instrukcijos reikalavimus	5	70
1.3			Neuždėjus kartono, apdega antikorozinė plėvelė ir prilimpa prie detalės paviršiaus.	Po virinimo operacijos prie gaminio gali būti prilipusi plėvelė, todėl gaminys turi būti remontuojamas.	7	Sumaišyta-apeista plėvelės ir kartono padėtis. Kartonas paletės apačioje, plėvelė ant kartono.	2		Vizuali patikra pagal pakavimo instrukcijos reikalavimus	5	70
1.4			Detalės pažeistos transportavimo metu.	Smulkios detalės gali iškristi pro paletės tarpus	7	Operatoriaus kaltė, kadangi paletė nepadengta kartonu.	2		Vizuali patikra pagal pakavimo instrukcijos reikalavimus	5	70
1.5	Suvirinimo įtaiso parametrų nustatymas	Pirmo arba antro lygio šablono surinkimas	Gaminys neatitinka brėžinio	Gaminys turi būti remontuojamas arba utilizuojamas	7	Neteisingai surinktas šablonas	3	Šablono patikra	Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	5	105
1.6		Trečio lygio šablono surinkimas	Gaminys neatitinka brėžinio	Gaminys turi būti remontuojamas arba utilizuojamas	7	Pažeistas/išderintas trečio šablonas	2	Šablono patikra	Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	4	56
1.7	Suvirinimo įtaiso parametrų nustatymas	Parinktas neteisingas galios nustatymas	Pradegimai	Detalė turi būti remontuojama arba utilizuojama	5	Per aukšta virinimo temperatūra gali pradeginti metalą	5		Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	5	125
1.8		Parinktas neteisingas galios nustatymas	Nepilnas privirinimas	Suvirinimo siūlė gali neatlaikyti apkrovų ir sužeisti šalia gaminio esantį žmogų.	9	Per žema virinimo temperatūra	2		Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	7	126
1.9	Virinimas	Detalės yra suvirintos ne pagal darbo instrukcijas ir brėžinius	Metalas pradega kiaurai	Detalė turi būti utilizuojama	5	Operatorius per lėtai virino	2		Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	5	50

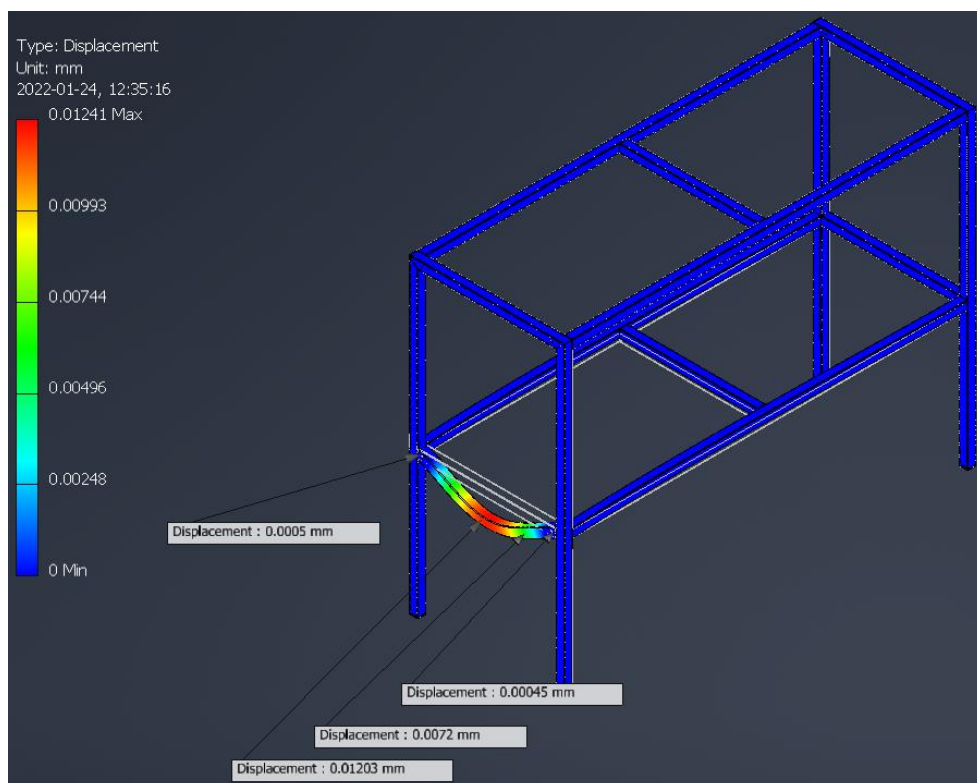
A lentelės tęsinys

Numeravimas	Atliekamos operacijos pavadinimas/proceso atliekamo operacijos metu pavadinimas	Atliekamas veiksmas proceso metu	Galimos klaidos neatlikus veiksmo	Galimos klaidų pasekmės	Pasekmės rimtumas	Potenciali pasekmės priežastis	Atsiradimo dažnumas	Dabartinis projektavimo/proceso valdymas	Dabartinė neatitikčių aptikimo procedūra	Neatitikčių aptikimas	Liekamoji rizika
1.10			Nepilnas privirinimas	Darų įtaką saugiam gaminio vartojimui	9	Operatorius per greitai virino	2		Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	7	126
1.11			Gaminys neatitinka brėžinio	Gaminys turi būti utilizuojamas	7	Operatorius sumaišė detales	4	Atliekami gaminio matavimai po virinimo	Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	5	140
1.12			Gaminys neatitinka brėžinio	Gaminys turi būti utilizuojamas	7	Išlinkęs suvirinimo stalias	2		Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	4	56
1.13			Įlenkimai/įbrėžimai ant detalės paviršiaus	Detalė turi būti remontuojama arba utilizuojama	5	Įbrėžimai atsirado dėl suvirinimo prietaiso ar šablono	4		Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	5	100
1.14			Neatitinka brėžinio dėl blogo kampo tarp suvirintų komponentų	Gaminys gali nesusirinkti, todėl klientas lieka nepatenkintas	7	Perkaitęs metalas ant suvirinimo taško	5		Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	5	175
1.15			Metalas išdegė kiaurai	Detalė turi būti utilizuojama	5	Per plonas metalas	4		Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	5	100
1.16			Suvirinimo purlas ant sriegio	Gaminys gali nesusirinkti, todėl klientas lieka nepatenkintas	7	Sriegis nebuvo apsaugotas prieš virinimo operaciją	2		Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	5	70
1.17			Deformuotas vamzdžio vidus po suvirinimo	Gaminys gali nesusirinkti, todėl klientas lieka nepatenkintas	7	Operatorius panaudojo per didelę virinimo galią	4		Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	5	140
1.18		Matavimas	Gaminys neatitinka brėžinio	Gaminys neatitinka brėžinio ir negali būti naudojamas kitose operacijose	7	Blogai išmatuoti komponentai arba netinkamos matavimo priemonės	3		Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	5	105
1.19		Vizuali patikra	Įlenkimai/įbrėžimai ant detalės paviršiaus		5	Operatorius nepastebėjo įbrėžimų/įlenkimų ant nesuvirintos detalės	5		Kokybės patikros principas „pirmas-vidurinis-paskutinis“	7	175
1.20	Galutinis pakavimas	Gaminių sukrovimas į paletę	Gaminiai pažeisti transportavimo metu	Gaminys turi būti remontuojamas arba utilizuojamas	5	Gaminiai išlenda iš už paletės ribų	5		Vizuali patikra pagal pakavimo instrukcijos reikalavimus	5	125
1.21			Gaminiai pažeisti transportavimo metu	Gaminys turi būti remontuojamas arba utilizuojamas	5	Gaminiai yra per aukšti parinktai paletei	5		Vizuali patikra pagal pakavimo instrukcijos reikalavimus	5	125

B priedas. Stipruminiai konstrukcijų su mechaninėmis jungtimis ir be jų skaičiavimai



B1 pav. Konstrukcija be mechaninių jungčių. Maksimalūs įtempiai



B2 pav. Konstrukcija be mechaninių jungčių. Poslinkiai

Stress Analysis Report

Analyzed File:	Table cut.iam
Autodesk Inventor Version:	2022.1 (Build 261234020, 234B)
Creation Date:	2022-01-24, 12:38
Study Author:	krivas
Summary:	

B3 pav. Konstrukcija be mechaninių jungčių

Material(s)

Name	Steel Tube Square, Cold Rolled Welded (EN 10305-5, E220)	
General	Mass Density	7,86 g/cm ³
	Yield Strength	220 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	220 GPa
	Poisson's Ratio	0,275 ul
	Shear Modulus	86,2745 GPa
Part Name(s)	degree tube.ipt horizontal tube.ipt horizontal tube w holes.ipt Tube side.ipt horizontal tube small.ipt	
Name	Steel Sheet, Cold Rolled DC01 (EN 10130)	
General	Mass Density	7,86 g/cm ³
	Yield Strength	200 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	220 GPa
	Poisson's Ratio	0,275 ul
	Shear Modulus	86,2745 GPa
Part Name(s)	70002292.ipt	

B4 pav. Konstrukcija be mechaninių jungčių. Komponentai ir jų medžiaga

Operating conditions

Force:1

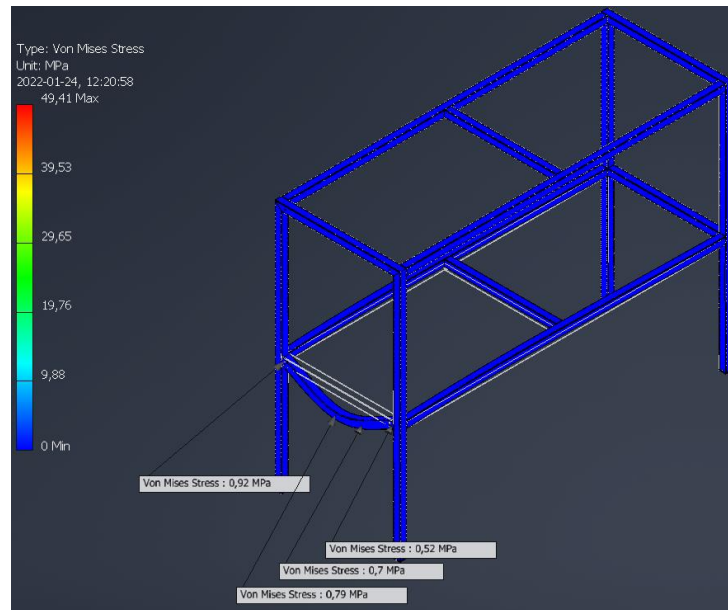
Load Type	Force
Magnitude	100,000 N
Vector X	-0,000 N
Vector Y	-100,000 N
Vector Z	0,000 N

B5 pav. Konstrukcija be mechaninių jungčių. Simuliacijos sąlygos

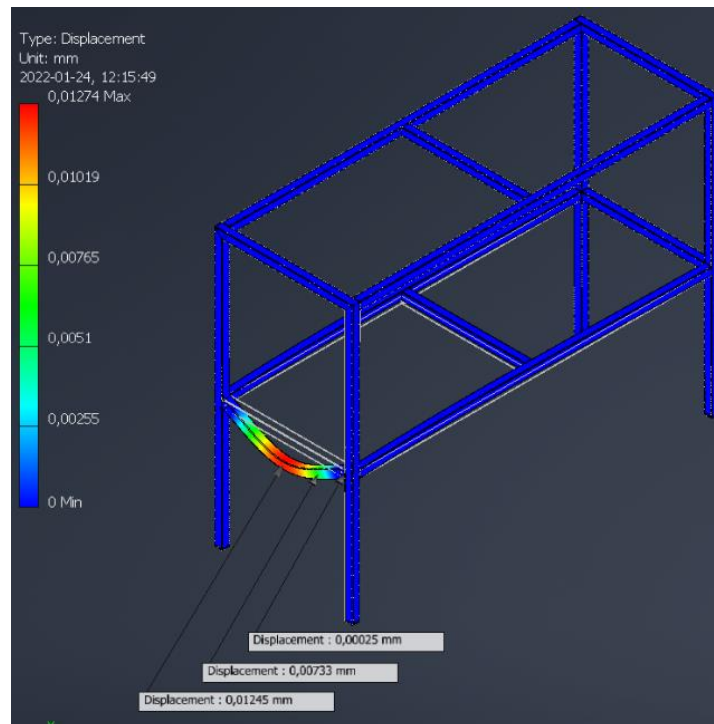
Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	1464550 mm ³	
Mass	11,5113 kg	
Von Mises Stress	0,000000200964 MPa	54,7414 MPa
1st Principal Stress	-4,40292 MPa	53,609 MPa
3rd Principal Stress	-31,0973 MPa	3,73822 MPa
Displacement	0 mm	0,012407 mm
Safety Factor	4,01889 ul	15 ul

B6 pav. Konstrukcija be mechaninių jungčių. Rezultatų apibendrinimas



B7 pav. Konstrukcija su mechaninėmis jungtimis. Maksimalūs įtempiai



B8 pav. Konstrukcija su mechaninėmis jungtimis. Poslinkiai

Stress Analysis Report

Analyzed File:	Table Las.iam
Autodesk Inventor Version:	2022.1 (Build 261234020, 234B)
Creation Date:	2022-01-24, 12:42
Study Author:	krivas
Summary:	

B9 pav. Konstrukcija su mechaninėmis jungtimis

Material(s)

Name	Steel Tube Square, Cold Rolled Welded (EN 10305-5, E220)	
General	Mass Density	7,86 g/cm ³
	Yield Strength	220 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	220 GPa
	Poisson's Ratio	0,275 ul
	Shear Modulus	86,2745 GPa
Part Name(s)	35020018.ipt 35020017.ipt 35020017_MIR2.ipt 35020025.ipt 35020017_MIR.ipt 35020018_MIR.ipt 35020017_MIR2_MIR.ipt 35020021.ipt 35020019.ipt 35020024.ipt	
Name	Steel Sheet, Cold Rolled DC01 (EN 10130)	
General	Mass Density	7,86 g/cm ³
	Yield Strength	200 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	220 GPa
	Poisson's Ratio	0,275 ul
	Shear Modulus	86,2745 GPa

B10 pav. Konstrukcija su mechaninėmis jungtimis. Komponentai ir jų medžiaga

Operating conditions

Force:1

Load Type	Force
Magnitude	100,000 N
Vector X	-0,000 N
Vector Y	-100,000 N
Vector Z	-0,000 N

B11 pav. Konstrukcija su mechaninėmis jungtimis. Simuliacijos sąlygos

Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	1466340 mm ³	
Mass	11,5254 kg	
Von Mises Stress	0,000000255681 MPa	49,4116 MPa
1st Principal Stress	-8,81797 MPa	46,0751 MPa
3rd Principal Stress	-45,9826 MPa	8,4464 MPa
Displacement	0 mm	0,0127436 mm
Safety Factor	4,4524 ul	15 ul
Stress XX	-12,5373 MPa	12,7563 MPa
Stress XY	-4,447 MPa	14,3361 MPa
Stress XZ	-8,55307 MPa	8,58156 MPa
Stress YY	-16,2208 MPa	21,6963 MPa
Stress YZ	-10,5416 MPa	10,5851 MPa
Stress ZZ	-45,8351 MPa	45,6184 MPa
X Displacement	-0,000420762 mm	0,000412284 mm
Y Displacement	-0,0127435 mm	0,00174563 mm
Z Displacement	-0,00102755 mm	0,00102125 mm

B12 pav. Konstrukcija su mechaninėmis jungtimis. Rezultatų apibendrinimas