



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
VERSLO VADYBOS FAKULTETAS
VERSLO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLININKYSTĖS KATEDRA

Greta Petraitytė

**PROCESŲ TOBULINIMO SPRENDINIAI INŽINERINĖS GAMYBOS
PAGAL UŽSAKYMĄ APLINKOJE
PROCESS IMPROVEMENT SOLUTIONS IN ENGINEERING – TO –
ORDER MANUFACTURING ENVIROMENT**

Baigiamasis magistro darbas

Inžinerinės ekonomikos ir vadybos studijų programa, valstybinis kodas 6211LX086

Gamybos vadybos specializacija

Vadybos studijų kryptis

Vilnius, 2024

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
VERSLO VADYBOS FAKULTETAS
VERSLO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLININKYSTĖS KATEDRA

Greta Petraitytė

**PROCESŲ TOBULINIMO SPRENDINIAI INŽINERINĖS GAMYBOS
PAGAL UŽSAKYMĄ APLINKOJE
PROCESS IMPROVEMENT SOLUTIONS IN ENGINEERING – TO –
ORDER MANUFACTURING ENVIROMENT**

Baigiamasis magistro darbas

Inžinerinės ekonomikos ir vadybos studijų programa, valstybinis kodas 6211LX086

Gamybos vadybos specializacija

Vadybos studijų kryptis

Vadovė

prof. dr. Vida Davidavičienė _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantė

dr. Vitalija Karaciejūtė _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2024

<table border="1"> <tr><td>Vilniaus Gedimino technikos universitetas</td></tr> <tr><td>Verslo vadybos fakultetas</td></tr> <tr><td>Verslo technologijų ir verslininkystės katedra</td></tr> </table>		Vilniaus Gedimino technikos universitetas	Verslo vadybos fakultetas	Verslo technologijų ir verslininkystės katedra	<table border="1"> <tr><td>ISBN</td><td>ISSN</td></tr> <tr><td>Egz. sk.</td><td></td></tr> <tr><td>Data-.....-.....</td><td></td></tr> </table>		ISBN	ISSN	Egz. sk.		Data-.....-.....	
Vilniaus Gedimino technikos universitetas												
Verslo vadybos fakultetas												
Verslo technologijų ir verslininkystės katedra												
ISBN	ISSN											
Egz. sk.												
Data-.....-.....												
Antrosios pakopos studijų Inžinerinės ekonomikos ir vadybos programos magistro baigiamasis darbas <table border="1"> <tr> <td>Pavadinimas</td> <td>Procesų tobulinimo sprendiniai inžinerinės gamybos pagal užsakymą aplinkoje</td> </tr> <tr> <td>Autorė</td> <td>Greta Petraitytė</td> </tr> <tr> <td>Vadovė</td> <td>Vida Davidavičienė</td> </tr> </table>				Pavadinimas	Procesų tobulinimo sprendiniai inžinerinės gamybos pagal užsakymą aplinkoje	Autorė	Greta Petraitytė	Vadovė	Vida Davidavičienė			
Pavadinimas	Procesų tobulinimo sprendiniai inžinerinės gamybos pagal užsakymą aplinkoje											
Autorė	Greta Petraitytė											
Vadovė	Vida Davidavičienė											
		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Kalba: lietuvių</td> </tr> </table>			Kalba: lietuvių							
	Kalba: lietuvių											
Anotacija Baigiamajame magistro darbe siekiama ištirti inžinerinės gamybos pagal užsakymą procesų tobulinimo galimybes bei parengti inžinerinės gamybos pagal užsakymą procesų tobulinimo modelį. Literatūros analizės dalyje aptariami projektinės gamybos tipai ir procesai, analizuojama inžinerinės gamybos pagal užsakymą aplinka, gamybos tobulinimo metodologijos. Antroje dalyje aptariami naudojami stebėjimo ir ekspertinės apklausos tyrimo metodai. Trečiojoje dalyje aprašomi gamybos ir surinkimo stebėjimo, ekspertinės apklausos tyrimų rezultatai bei remiantis jais, įvertinamos projektinės gamybos pagal užsakymą tobulinimo galimybės ir vyraujančios problemos. Taip pat, remiantis pažangiausiomis gamybos gerinimo teorijomis, pasiūlomas inžinerinės gamybos pagal užsakymą procesų tobulinimo modelis. Išvados aptariamas parengtas modelis, įvardijami galimi tyrimo ribotumai ir tolimesnė tyrimų kryptis. Darbą sudaro 7 dalys: įvadas, literatūros analizė, metodologija, tyrimo rezultatai, išvados, literatūros sąrašas, priedai. Darbo apimtis – 79 p. teksto be priedų, 26 iliustr., 14 lent., 113 bibliografiniai šaltiniai. Atskirai pridedami darbo priedai.												
Prasminiai žodžiai: „Lean“, „Agile“, greito atsako gamyba, „Kanban“, gamybai ir surinkimui pritaikytas projektavimas, „Kaizen“, kritinės grandinės projektų valdymas, projektinė gamyba, inžinerinė gamyba pagal užsakymą, projektinės gamybos iššūkiai, gamybos tobulinimo metodikos, QRM, CCPM, QRM, ETO, inžinerinės gamybos pagal užsakymą procesų tobulinimo modelis.												

<table border="1"> <tr> <td>Vilnius Gediminas Technical University</td> </tr> <tr> <td>Faculty of Business Management</td> </tr> <tr> <td>Department of Business Technologies and Entrepreneurship</td> </tr> </table>		Vilnius Gediminas Technical University	Faculty of Business Management	Department of Business Technologies and Entrepreneurship	<table border="1"> <tr> <td>ISBN</td> <td>ISSN</td> </tr> <tr> <td>Copies No.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Date-.....-.....</td> <td></td> </tr> </table>		ISBN	ISSN	Copies No.		Date-.....-.....								
Vilnius Gediminas Technical University																			
Faculty of Business Management																			
Department of Business Technologies and Entrepreneurship																			
ISBN	ISSN																		
Copies No.																			
Date-.....-.....																			
<table border="1"> <tr> <td colspan="4">Master Degree Studies Engineering Economics and Management study programme Master Final Thesis</td> </tr> <tr> <td>Title</td> <td colspan="3">Process Improvement Solutions in Engineering-To-Order Manufacturing Environment</td> </tr> <tr> <td>Author</td> <td colspan="3">Greta Petraitytė</td> </tr> <tr> <td>Academic supervisor</td> <td colspan="3">Vida Davidavičienė</td> </tr> </table>				Master Degree Studies Engineering Economics and Management study programme Master Final Thesis				Title	Process Improvement Solutions in Engineering-To-Order Manufacturing Environment			Author	Greta Petraitytė			Academic supervisor	Vida Davidavičienė		
Master Degree Studies Engineering Economics and Management study programme Master Final Thesis																			
Title	Process Improvement Solutions in Engineering-To-Order Manufacturing Environment																		
Author	Greta Petraitytė																		
Academic supervisor	Vida Davidavičienė																		
			<table border="1"> <tr> <td>Thesis language: Lithuanian</td> </tr> </table>	Thesis language: Lithuanian															
Thesis language: Lithuanian																			
<table border="1"> <tr> <td> Annotation In the Master's thesis, the aim is to explore the possibilities for improving engineer-to-order manufacturing processes. The literature review section discusses types and processes of project manufacturing, analyzes the engineer-to-order manufacturing environment, and explores manufacturing improvement methodologies. The second section discusses the methods of observation and expert surveys used in the research. The third section describes the results of manufacturing and assembly observation, expert survey research, and based on them, evaluates the possibilities for improving engineer-to-order manufacturing and the prevailing problems. Additionally, based on advanced manufacturing improvement theories, a model for improving engineer-to-order manufacturing processes is proposed. The conclusions discuss the developed model, identify possible limitations of the study, and suggest further research directions. The thesis consists of 7 parts: introduction, literature review, methodology, research results, conclusions, bibliography, appendices. The scope of the work is 79 pages of text excluding appendices, 26 illustrations, 14 tables, and 113 bibliographic sources. Additionally, appendices are provided separately. </td> </tr> </table>				Annotation In the Master's thesis, the aim is to explore the possibilities for improving engineer-to-order manufacturing processes. The literature review section discusses types and processes of project manufacturing, analyzes the engineer-to-order manufacturing environment, and explores manufacturing improvement methodologies. The second section discusses the methods of observation and expert surveys used in the research. The third section describes the results of manufacturing and assembly observation, expert survey research, and based on them, evaluates the possibilities for improving engineer-to-order manufacturing and the prevailing problems. Additionally, based on advanced manufacturing improvement theories, a model for improving engineer-to-order manufacturing processes is proposed. The conclusions discuss the developed model, identify possible limitations of the study, and suggest further research directions. The thesis consists of 7 parts: introduction, literature review, methodology, research results, conclusions, bibliography, appendices. The scope of the work is 79 pages of text excluding appendices, 26 illustrations, 14 tables, and 113 bibliographic sources. Additionally, appendices are provided separately.															
Annotation In the Master's thesis, the aim is to explore the possibilities for improving engineer-to-order manufacturing processes. The literature review section discusses types and processes of project manufacturing, analyzes the engineer-to-order manufacturing environment, and explores manufacturing improvement methodologies. The second section discusses the methods of observation and expert surveys used in the research. The third section describes the results of manufacturing and assembly observation, expert survey research, and based on them, evaluates the possibilities for improving engineer-to-order manufacturing and the prevailing problems. Additionally, based on advanced manufacturing improvement theories, a model for improving engineer-to-order manufacturing processes is proposed. The conclusions discuss the developed model, identify possible limitations of the study, and suggest further research directions. The thesis consists of 7 parts: introduction, literature review, methodology, research results, conclusions, bibliography, appendices. The scope of the work is 79 pages of text excluding appendices, 26 illustrations, 14 tables, and 113 bibliographic sources. Additionally, appendices are provided separately.																			
<table border="1"> <tr> <td> Keywords: "Lean", "Agile", Quick response manufacturing, "Kanban", Design adapted to production and assembly, "Kaizen", Critical chain project management, Project-based manufacturing, engineering-to-order manufacturing, Project-based manufacturing challenges, production improvement methodologies, QRM, CCPM, QRM, ETO, A model for improving engineer-to-order manufacturing processes. </td> </tr> </table>				Keywords: "Lean", "Agile", Quick response manufacturing, "Kanban", Design adapted to production and assembly, "Kaizen", Critical chain project management, Project-based manufacturing, engineering-to-order manufacturing, Project-based manufacturing challenges, production improvement methodologies, QRM, CCPM, QRM, ETO, A model for improving engineer-to-order manufacturing processes.															
Keywords: "Lean", "Agile", Quick response manufacturing, "Kanban", Design adapted to production and assembly, "Kaizen", Critical chain project management, Project-based manufacturing, engineering-to-order manufacturing, Project-based manufacturing challenges, production improvement methodologies, QRM, CCPM, QRM, ETO, A model for improving engineer-to-order manufacturing processes.																			

TURINYS

ĮVADAS	12
1.PROJEKTINĖS GAMYBOS CHARAKTERISTIKA IR GAMYBOS TOBULINIMO METODOLOGIJOS BEI PROBLEMATIKA PROJEKTINĖS GAMYBOS KONTEKSTE.	14
1.1. Projektinės gamybos tipai ir procesai	14
1.2. Inžinerinės gamybos pagal užsakymą aplinkos dinamika	17
1.3. Gamybos tobulinimo metodologijos inžinerinės gamybos pagal užsakymą kontekste	20
1.3.1. „Agile“ gamyba	20
1.3.2. „Lean“ gamyba	25
1.3.3. Greito atsako gamyba	27
1.3.4. „Kanban“	29
1.3.5. Gamybai ir surinkimui pritaikytas projektavimas	31
1.3.6. „Kaizen“	33
1.3.7. Kritinės grandinės projektų valdymas	37
1.4. Projektinės gamybos problemos literatūroje	40
2.INŽINERINĖS GAMYBOS PAGAL UŽSAKYMĄ PROCESŲ TOBULINIMO TYRIMO METODOLOGIJA	49
3.INŽINERINĖS GAMYBOS PAGAL UŽSAKYMĄ PROCESŲ TOBULINIMO TYRIMO REZULTATAI	54
3.1. Gamybos ir surinkimo procesų stebėjimo rezultatai	54
3.2. Projektinės gamybos problematikos ekspertinės apklausos rezultatai	56
3.3. Siūlomas projektinės gamybos procesų tobulinimo modelis	64
IŠVADOS	69
LITERATŪROS SĄRAŠAS	72
PRIEDAI	83

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. „Lean“ įrankių pritaikymas projektinės gamybos aplinkoje	27
2 lentelė. Standartinės projektavimo gairės ir suteikiama nauda.....	33
3 lentelė. Inžinerinės kategorijos problemos	40
4 lentelė. Darbo jėgos kategorijos problemos	41
5 lentelė. Gamybinių patalpų ir infrastruktūros problemos	42
6 lentelė. Gamybos vadybos problemos	43
7 lentelė. Tiekimo problemos	45
8 lentelė. Atsargų valdymo problemos	46
9 lentelė. Sudėtingumo problemos	46
10 lentelė. Laukimo problemos	47
11 lentelė. Projektinės gamybos problemos ir jų priežastys.....	54
12 lentelė. Pagal sudėtingumą ekspertų išreitinguoti projektinės gamybos procesai.....	57
13 lentelė. Stebėjimo metu užfiksuotų problemų aktualumo projektinėje gamyboje ekspertinis vertinimas	62
14 lentelė. Didžiausią neigiamą įtaką turinčių projektinių gamybos kategorijų ekspertinis vertinimas	63

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Gamybos pagal užsakymą vertės grandinė.....	15
2 pav. Inžinerinės gamybos pagal užsakymą vertės grandinė	15
3 pav. Barneso geležinis trikampis.....	18
4 pav. „Agile“ manifesto iliustracija	20
5 pav. „Agile“ gamybos schema	22
6 pav. „Scrum“ procesas	23
7 pav. „Agile“ ir „Kanban“ „Lean“ filosofijos sudedamųjų dalių atvaizdavimas.....	30
8 pav. Paprastojo tipo „Kanban“ lenta	30
9 pav. Tipinis projektavimo gamybai ir surinkimui procesas	32
10 pav. „PDCA“ ciklas.....	34
11 pav. „5S“ principai	35
12 pav. Penki apribojimų teorijos žingsniai	37
13 pav. Penki CCPM žingsniai.....	38
14 pav. Tyrimo loginė seka	49
15 pav. Stebėjimo metodo struktūra.....	50
16 pav. Ekspertų skaičiaus ir tyrimo patikimumo priklausomybės grafikas.....	51
17 pav. Projektinės gamybos, inžinerinės kategorijos problemų, ekspertinis vertinimas	58
18 pav. Projektinės gamybos, darbo jėgos kategorijos problemų, ekspertinis vertinimas	58
19 pav. Projektinės gamybos, gamybinių patalpų ir infrastruktūros problemų, ekspertinis vertinimas	59
20 pav. Projektinės gamybos, vadybos problemų, ekspertinis vertinimas	59
21 pav. Projektinės gamybos, tiekimo ir atsargų valdymo problemų, ekspertinis vertinimas	60
22 pav. Projektinės gamybos, sudėtingumo problemų, ekspertinis vertinimas.....	60
23 pav. Projektinės gamybos, laukimo problemų, ekspertinis vertinimas	61
24 pav. Problemų, darančių neigiamą įtaką produktyvumui, vertinimas	63
25 pav. Projektinės gamybos procesų tobulinimo modelis, I dalis	64
26 pav. Projektinės gamybos procesų tobulinimo modelis, II dalis	67

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

ETO (angl. *Engineering to order*) – projektinės gamybos tipas, kuriam būdinga tam tikro produkto suprojektavimas ir gamyba, pagal kliento išskeltus reikalavimus.

MTO (angl. *Make to order*) – projektinės gamybos tipas, kuris apima produkto gamybą, atsižvelgiant į konkretaus kliento poreikius, naudojant tam tikrą įmonės sukurtą standartinį dizainą.

„Scrum“ – „Agile“ iteracinė projektų valdymo metodika, skirta kontroliuoti riziką ir optimizuoti projekto nuspėjamumą.

JIT (angl. *Just in time*) – „tiksliai laiku“ metodas, tai tiekimo grandinės valdymo strategija, kurios tikslas yra sumažinti atsargas ir optimizuoti gamybos procesus. Pagrindinė JIT idėja yra tiekti reikalingus išteklius tik tada, kai jie būtini, ir tik tiek, kiek reikia.

TQM (angl. *Total Quality Maintenance*) – visapusiška valdymo filosofija, įtraukianti visus organizacijos lygius į nuolatinio tobulinimo procesą, siekiant pagerinti produktus, procesus ir klientų pasitenkinimą, pabrėžiant tokius principus kaip dėmesys klientui, procesų tobulinimas ir duomenimis pagrįstų sprendimų priėmimas.

CCPM (angl. *Critical Chain Project Management*) – projektų valdymo metodika, skirta optimizuoti darbo laiką ir padidinti projekto veiksmingumą. Pagrindinis principas – koncentracija į projektų kritinę grandinę ir jos efektyvų valdymą, siekiant sumažinti projekto laiką ir resursų trūkumą.

QRM (angl. *Quick Response Manufacturing*) – tai gamybos strategija, skirta sumažinti laiką nuo užsakymo iki pristatymo, padidinti gamybos efektyvumą ir prisitaikyti prie klientų poreikių greitai ir efektyviai.

POLCA (angl. *Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization*) yra gamybos planavimo ir valdymo sistema, kuri naudojama QRM metodikoje. Tai yra antrosios kartos „Kanban“ sistema, kuri leidžia reguliuoti gamybos srautą tarp įvairių gamybos procesų, o taip pat kontroliuoti darbo eigos autorizavimą. Pagrindinis tikslas – sumažinti laiką, kurį prekė praleidžia gamybos procese, ir padidinti gamybos efektyvumą.

VSM (angl. *Value Stream Mapping*) tai yra technika, kuri yra naudojama „Lean“ filosofijoje optimizuoti verslo procesus ir pašalinti nereikalingą švaistymą. VSM yra schematinis būdas pavaizduoti visą srautą nuo pradinės užsakymo / produkcijos pradžios iki pristatymo klientui.

„5S“ – tai darbo vietos tvarkos sistema. Šis metodas siekia organizuoti darbo aplinką taip, kad būtų sumažintas švaistymas ir pagerintas darbo efektyvumas.

IVADAS

Tyrimo aktualumas – Šiuolaikinėje visuomenėje dominuoja noras išsiskirti iš minios, o tai lemia žmonių dažnai vartojamų daiktų keitimą. Pastebima aiški tendencija, kuriai įtaką turi padidėjęs susidomėjimas projektinės ir vienetinės gamybos gaminiais (Banelienė ir kt., 2020). Ši tendencija atskleidžia visuomenės nuostatas ir vartotojų poreikius, kurie akcentuoja individualumo ar unikalumo svarbą šiandieninėje rinkoje. Gamybos įmonės, supratusios vartotojų norus ir poreikius, vis dažniau renkasi užsiimti vienetine ar projektine gamyba. Tai leidžia joms pasiūlyti unikalius ir pritaikytus sprendimus klientams, tenkinančius jų konkrečius reikalavimus. Projektinė gamyba dažnai apima individualaus dizaino sprendimus, kurie atitinka kliento poreikius dėl funkcionalumo ir išvaizdos. Analizuojant projektinės gamybos aktualumą moksliniuose straipsniuose, „Web of Science“ duomenų bazėje, randami 869 straipsniai apie projektinę gamybą. Tačiau pastebėta, kad trūksta naujų mokslinių tyrimų, sprendžiančių projektinės gamybos problemas.

Projektinė gamyba yra subtilus ir unikalus pramonės sektorius, kuriam būdinga sudėtinga aplinka. Anot Zennaro ir kt. (2019), ji išsiskiria dėl keleto ryškių bruožų. Pirmiausia, ši pramonė reikalauja unikalių inžinerinių sprendimų, kurie dažnai yra labai sudėtingi dėl specifinių projektų poreikių. Antra, ji susiduria su ribota gaminių paklausa, tai reiškia, kad gamybos apimtis gali būti nepastovi ir kintanti. Be to, projektinė gamyba priklauso nuo aukštos kvalifikacijos darbuotojų, nes projektuose dalyvaujantys žmonės turi turėti specializuotas žinias ir gebėjimus, kad užtikrintų kokybišką gamybą.

Projektinėje gamyboje vyksta įvairūs procesai, kurie gali būti labai dinamiški ir nepastovūs, ir tai tiesiogiai veikia įmonės veiklos rodiklius (Vidal ir Hernández, 2021). Šie procesai apima ne tik gamybos operacijas, bet ir projektų valdymo veiklas, kurios turi būti koordinuojamos ir valdomos efektyviai.

Dėl šių specifinių iššūkių projektinės gamybos sektoriuje yra labai svarbu tobulinti procesus, kadangi tai gali tapti lemiamu veiksniu, siekiant padidinti įmonės produktyvumą ir konkurencinį pranašumą šiame dinamiškame sektoriuje.

Tyrimo problema – tyrimų stoka projektinės gamybos procesų tobulinimo sferoje, kelia didžiulius iššūkius, kadangi be analizės, sunku įvertinti galimas efektyvias strategijas ir geriausius praktinius gamybos procesų tobulinimo sprendimus. Tai gali virsti kliūtimi siekiant efektyviau naudoti išteklius bei pagerinti produkcijos kokybę.

Tyrimo objektas – projektinės gamybos procesai.

Tyrimo tikslas – ištirti inžinerinės gamybos pagal užsakymą procesų tobulinimo galimybes, siekiant pagerinti gamybos projektų valdymą.

Uždaviniai:

1. Išnagrinėti mokslinę literatūrą projektinės gamybos procesų, problematikos ir jos tobulinimo srityse.
2. Atlikti stebėjimą ir ekspertinę apklausą, siekiant nustatyti projektinės gamybos procesų tobulinimo galimybes.
3. Pasiūlyti projektinės gamybos procesų tobulinimo modelį, remiantis mokslinės literatūros analize bei atliktais tyrimais.

Tyrimo metodai. mokslinės literatūros analizė bei sintezė, informacijos šaltinių analizė, stebėjimo metodas, ekspertinis vertinimas, kritinis vertinimas.

1. PROJEKTINĖS GAMYBOS CHARAKTERISTIKA IR GAMYBOS TOBULINIMO METODOLOGIJOS BEI PROBLEMATIKA

PROJEKTINĖS GAMYBOS KONTEKSTE

1.1. Projektinės gamybos tipai ir procesai

Projektinė gamyba yra sudėtinga disciplina, kuri pasižymi dideliu dėmesiu detalėms. Ji apima projektavimą, kruopščius gamybos brėžinius, užsakomų žaliavų ir komponentų specifikacijas, būtinas produkto sukūrimui. Svarbu pažymėti, kad projektinė gamyba skirstoma į dvi pagrindines kategorijas: inžinerinę gamybą pagal užsakymą (angl. *Engineering to order – ETO*) ir gamybą pagal užsakymą (angl. *Make to order – MTO*). Šios kategorijos atspindi skirtingus gamybos procesus, kurie iš esmės yra pritaikyti kliento poreikiams patenkinti (White ir Koster, 2015).

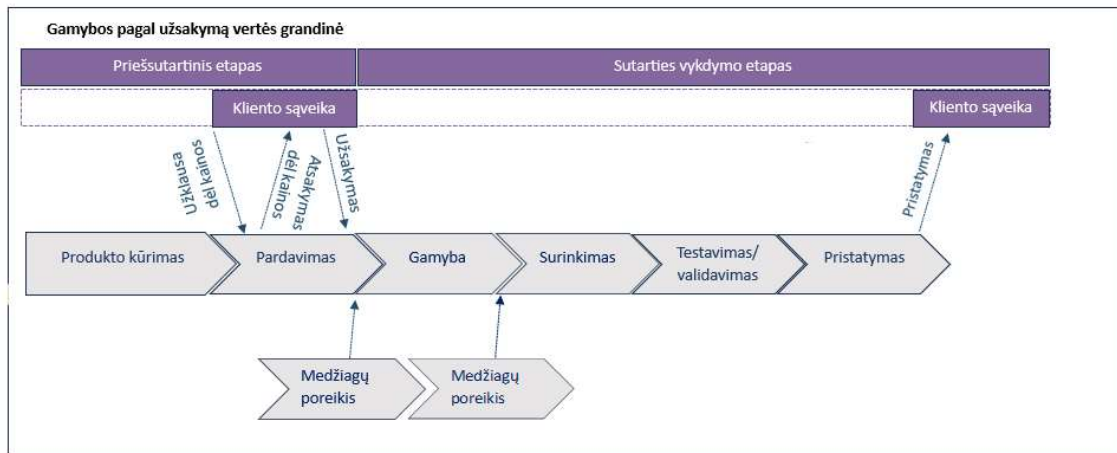
Remiantis Goslingu (2011), inžinerinė gamyba pagal užsakymą – tai gamybos būdas, kuriam būdinga tam tikro produkto suprojektavimas, pagal kliento iškeltus reikalavimus. Šis gamybos metodas reikalauja išsamaus plano sudarymo ir detalaus produkto projektavimo iki smulkmenų. Tačiau svarbu pažymėti, kad ETO gamyba turi aukštą rizikingumo lygį (Bataglin ir kt., 2019). Tai susiję su būtinybe iš anksto nustatyti produkto pristatymo datą, net jei pats produktas dar nėra visiškai apibrėžtas. Be to, neapibrėžtumą galima pastebėti tarpusavyje susijusiuose procesuose, tokiuose kaip projektavimas ir gamybos procesai.

MTO gamyba nuo ETO gamybos skiriasi tuo, kad ji yra labiau apibrėžta. Ši gamybos strategija apima produkto gamybą, atsižvelgiant į konkretaus kliento poreikius, naudojant tam tikrą įmonės sukurtą standartinį dizainą. Tai reiškia, kad gamybos procesas yra geriau apibrėžtas ir suplanuotas. Apskritai, vienas iš projektinės gamybos bruožų yra tai, kad gaminiai turi sunkiai nuspėjamą ir nepastovią paklausą (Saniuk ir Waszkowski, 2016). Tai reikalauja nuolatinio prisitaikymo prie besikeičiančių klientų pageidavimų ir užsakymų. Tačiau standartinis dizainas leidžia įmonėms efektyviau valdyti gamybos procesus ir užtikrinti, kad produktai būtų pristatyti klientams laiku ir atitiktų jų lūkesčius.

MTO projektinės gamybos procesai apima produktų kūrimą, pardavimą, medžiagų užsakymą ir gavimą, gamybą, surinkimą, testavimą bei pristatymą (Cheng Siong ir Kuan Eng, 2018; Hammerstrøm ir Botterli, 2020; Willner ir kt., 2014) (žr. 1 pav.).

Produktų kūrimo fazėje vyksta naujų gaminių, komponentų ir mazgų kūrimas. Pardavimų procesas MTO vertės grandinės kontekste dažnai prasideda nuo kliento užklauso dėl kainos.

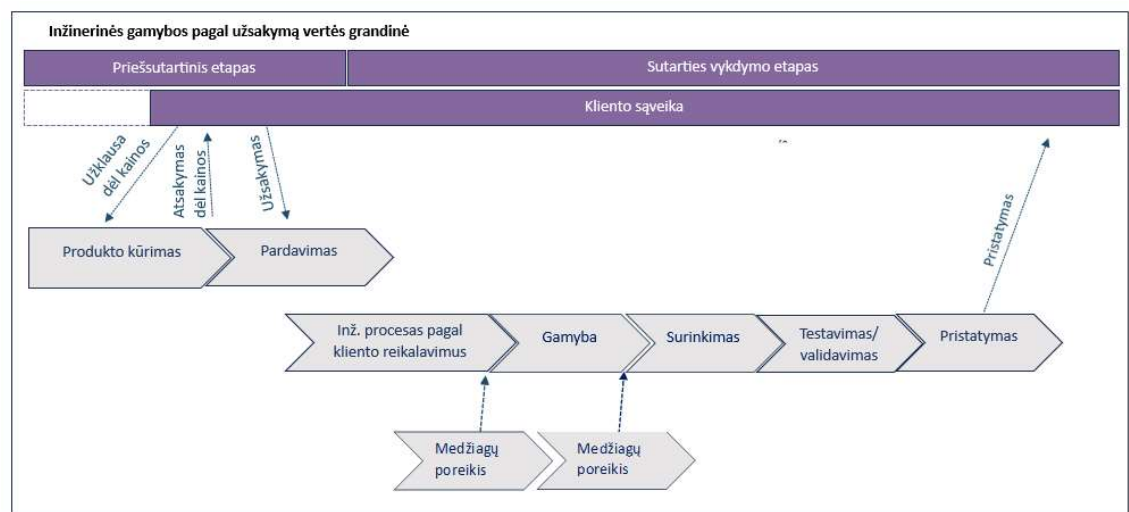
Gaminys yra pritaikomas pagal kliento specifikacijas, dažnai naudojant specialią konfigūracijos programinę įrangą. Šią konfigūraciją gali atlikti pardavimų skyrius arba pats klientas.



1 pav. Gamybos pagal užsakymą vertės grandinė

Šaltinis: sudaryta remiantis Cheng Siong ir Kuan Eng (2018); Hammerstrøm ir Botterli (2020); Willner ir kt. (2014)

Palyginant ETO ir MTO procesus, inžinerinės gamybos pagal užsakymą vertės grandinė apima papildomą inžinerijos procesą, atsižvelgiant į kliento išskeltus reikalavimus (žr. 2 pav.).



2 pav. Inžinerinės gamybos pagal užsakymą vertės grandinė

Šaltinis: sudaryta remiantis Cheng Siong ir Kuan Eng (2018); Hammerstrøm ir Botterli (2020); Willner ir kt. (2014)

Šioje stadijoje vykdomi projektavimo darbai, atsižvelgiant į kliento išskeltus reikalavimus. Tai gali apimti smulkius, jau suprojektuoto gaminio pakeitimus arba visiškai

naujo gaminio dizainą. Šio tipo gamyboje, produktai turi aukštą pritaikymo lygį. Atsižvelgiant į inžinerijos darbų kompleksiskumą, siekiant atitikti kliento išskeltus reikalavimus, būtinas glaudus bendradarbiavimas tarp suinteresuotų šalių. Kliento specifikacijos turi būti diskutuojamos ir analizuojamos tarp pardavimų ir inžinerijos skyrių atstovų bei klientų (Willner ir kt., 2014).

Plačiau nagrinėjant gamybos procesą, pagrindinis jo tikslas yra sukurti produkto vertę ir nuolatinėmis pastangomis sumažinti išlaidas, padidinti efektyvumą bei gerinti kokybę (Zhou ir kt., 2019). Remiantis Dingu ir kt. (2023), gamybos veikla yra išskaidyta į dvi pagrindines dalis: dalių gamybą ir surinkimą. Ši struktūra leidžia geriau suprasti visą gamybos grandinę bei analizuoti ir optimizuoti kiekvieną proceso dalį, o tai atveria galimybes efektyviai valdyti bei tobulinti kiekvieną etapą.

Detalių gamybos procesas yra nukreiptas į efektyvią ir aukštos kokybės komponentų gamybą. Šis etapas yra esminis, nes jame pagamintos dalys tampa statiniais gamybos blokais, kurie bus naudojami galutinio produkto kūrimui. Projektinėje gamyboje surinkimo procesas atlieka išskirtinį vaidmenį, nes jis veikia kaip jungiamasis elementas tarp įvairių gamybos grandžių, tokių kaip projektavimas, detalių gamyba ir logistika (Alfieri ir kt., 2012a; Whitney, 2004). Šis konkretus procesas sudaro apie pusę viso gamybos laiko ir užima apie 20 % bendrųjų gamybos sąnaudų bei nuo 30 % iki 50 % darbo sąnaudų (De Lit ir kt., 2001).

Projektinės gamybos surinkimo sudėtingumą lemia tai, kad kiekvienas gaminys – turi aiškias, konkrečias laiko, skirto atlikimui, ribas (Alfieri ir kt., 2012b), nors ETO gamybos kontekste, produktas surenkamas pirmą kartą ir tikslių duomenų, kiek jis gali užtrukti, nėra. Vadinasi, surinkimo procese dalyvaujantiems asmenims tenka didelė atsakomybė, kadangi šis procesas yra vienas iš pagrindinių veiksnių nustatant viso projekto efektyvumą bei galutinę kainą.

Medžiagų užsakymo etapas dažnai prasideda nuo poreikių nustatymo, pagal projektuotojų pateiktus medžiagų sąrašus. Pagal šį sąrašą yra identifikuojami reikiami žaliavų ir komponentų kiekiai. Projektinėje gamyboje medžiagos dažniausiai nėra kaupiamos sandėlyje, jos yra užsakomos tik tada, kai jų reikia konkrečiam projektui, kadangi iš anksto nėra žinoma, kokie bus naujų klientų poreikiai gaminiui (Dahl, 2019).

Testavimo procesas projektinėje gamyboje yra esminis žingsnis, siekiant užtikrinti, kad pagamintas produktas atitinka numatytus techninius ir funkcinius veiklos reikalavimus. Tai apima įvairius bandymus ir vertinimus, kurių metu tikrinama, ar produktas veikia taip, kaip turėtų, ar atitinka numatytus standartus.

Pristatymas tai yra gaminio atvežimas pas klientą ir sumontavimas. Tai apima ne tik fizinių produktų pristatymą, bet ir bet kokią reikiamą dokumentaciją, instrukcijas, kurios gali

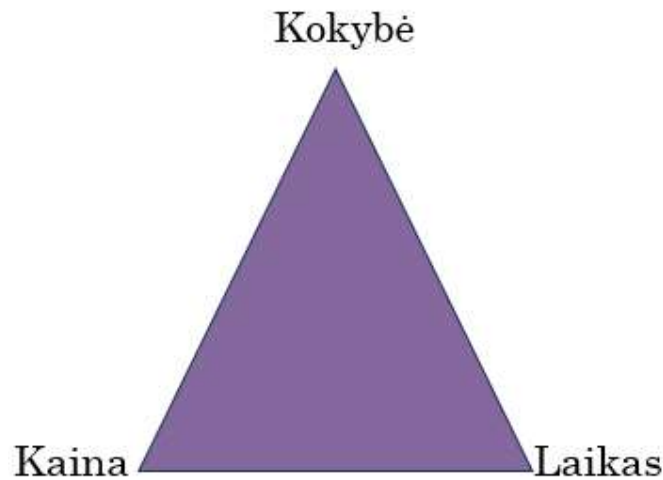
būti būtinos produkto įdiegimui ir naudojimui. Tai taip pat apima bet kokius būtinus mokymus klientams, jei tai yra reikalinga.

Apibendrinimas. Projektinė gamyba yra sudėtingas gamybos būdas, kuris yra skirstomas į inžinerinę gamybą pagal užsakymą (angl. *Engineering to order – ETO*) ir gamybą pagal užsakymą (angl. *Make to order – MTO*). Pagrindinis skirtumas tarp šių tipų yra tas, kad ETO gamyba apima papildomą inžinerijos procesą, kuriame vykdomi projektavimo darbai, siekiant įgyvendinti kliento reikalavimus. Tai gali apimti smulkius pakeitimus esamame produkte arba visiškai naujo gaminio dizaino sukūrimą. MTO gamybos produktai yra pagaminti naudojant įmonės sukurtą standartinį dizainą ir specifikacijas. Pagrindiniai projektinės gamybos procesai yra: produkto kūrimas, pardavimas, inžinerinis procesas pagal kliento reikalavimus (tik ETO atveju), medžiagų užsakymas ir gavimas, gamyba, surinkimas, testavimas ir validavimas bei pristatymas.

1.2. Inžinerinės gamybos pagal užsakymą aplinkos dinamika

Projektinė gamyba yra sudėtingas gamybos būdas, kai produktai yra gaminami pagal individualius užsakymus (Rahman ir kt., 2022). Šio tipo gamyboje sunku optimizuoti procesus, todėl gaminių savikaina yra ženkliai didesnė palyginti su masine ar serijine gamyba (Banelienė ir kt., 2020). Projektinei gamybai būdinga dinamiška, neapibrėžta ir sudėtinga aplinka (Strandhagen ir kt., 2019), kurioje produktai turi išpildyti naujas ir dažnai dviprasmiškas užduotis, kurioms reikia kūrybiškumo bei naujovių. Vadinasi, projekto rezultatas ne visada yra nuspėjamas, o kelias į norimą rezultatą gali būti sudėtingas. Šio tipo projektai taip pat susiduria su daugybe išorinių ir vidinių neaiškumų, kurie turi neigiamą įtaką siekiant organizuoti efektyvią įmonės veiklą. Besikeičiantys klientų reikalavimai, technologinio proceso sutrikimai, išteklių apribojimai ir komandos dinamika gali turėti įtakos projekto sėkmei. Dėl šios priežasties, suburta projekto komanda turi gebėti prisitaikyti prie kintančių aplinkybių ir rasti kūrybiškų sprendimų iššūkiams įveikti. Remiantis Oztemeliu ir Selam (2017), projektinė gamyba gali būti valdoma įgyvendinant projektų valdymo taisykles, dėl projektinės gamybos panašumų siekiant suvaldyti laiko, kainos, kokybės aspektus dinamiškoje aplinkoje bei įgyvendinti klientų unikalius poreikius.

Albertas ir kt. (2017) teigia, kad pagrindiniai projektų valdymo sėkmes kriterijai yra pagrįsti Barneso geležiniu trikampiu (žr. 3 pav.). Tai buvo vienas pirmųjų bandymų įvertinti projekto sėkmę pagal laiką, sąnaudas ir kokybę, kurie buvo vaizduojami kaip tarpusavyje susiję aspektai. Šią trikampio teorinę koncepciją pirmą kartą apibrėžė dr. M. Barnes 1969 metais (Friedrich, 2023).



3 pav. Barneso geležinis trikampis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Friedrich (2023).

Projektinėje gamyboje kaina tampa lemiamu projekto vykdymo veiksmu, nustatančiu jo sėkmę, ir yra pagrindinis kriterijus, kuris apibrėžia projekto biudžetą (Naeni ir Salehipour, 2021). Remiantis Davidavičiene ir kt. (2020), biudžetas atspindi numatytas išlaidas, kurios skirtos konkrečiam projektui vykdyti per tam tikrą laikotarpį, siekiant pasiekti numatytus tikslus bei rezultatus. Biudžeto valdymas apima išlaidų planavimą, vertinimą ir kontrolę viso projekto vykdymo metu. Analizuojant projektinės gamybos aplinką, šio projekto valdymo sėkmės kriterijaus išankstinis apibrėžimas kelia riziką. Pagrindinis neapibrėžtumo šaltinis apskaičiuojant projekto išlaidas yra trūkumas tikslios ir išsamios informacijos apie parduodamą produktą. Šio tipo gaminiai yra nauji ir sudėtingi, jiems keliami reikalavimai dažnai būna pilnai neapibrėžti arba linkę būti keičiami. Todėl projektų vadovai negali pasikliauti vien istoriniais duomenimis ar ankstesne patirtimi, kad įvertintų produkto sąnaudas ir pasiūlymo kainas (Hooshmand ir kt., 2016). Projektinėje gamyboje numatyti tikslų biudžetą ir jį suvaldyti yra pakankamai sudėtinga, kadangi didelis iššūkis pastebimas faktinių išlaidų kontrolėje projekto vykdymo metu (Adrodegari ir kt., 2015). Projektinė gamyba apima kelis darbo etapus. Kiekvienas iš jų turi savo nustatytą tvarkaraštį bei biudžetą, kuris gali nukrypti nuo pradinio plano dėl įvairių veiksnių, tokių kaip rinkos kainų svyravimai ar netikėtos problemos gamybos grandinėje.

Projektinės gamybos kontekste kokybė yra vienas iš sėkmės kriterijų, kurio pagrindinis tikslas yra užtikrinti, kad projektas atitiktų ne tik numatytus techninius standartus, bet ir klientų specifinius reikalavimus bei lūkesčius. Šioje aplinkoje svarbu suprasti, kad kokybės apibrėžimas neapsiriboja vien tik gaminiais ar paslaugomis. Jis apima visą projekto gyvavimo ciklą, pradedant nuo planavimo stadijos ir baigiant projekto įgyvendinimu bei palaikymu.

Rocha ir kt. (2023), pažymi, kad aiškūs, tikslūs kokybės reikalavimai yra esminiai projekto sėkmės faktoriai. Jei reikalavimai nėra tiksliai apibrėžti, tuomet bus sudėtinga įvertinti projekto apimtį bei siektinus rezultatus. Projekto reikalavimų neapibrėžtumui būdinga tai, kad gaminys ar paslauga gali atitikti techninius kokybės standartus, tačiau neatspindi galutinių vartotojų poreikių ir lūkesčių (Greene ir Stellman, 2013). Šis aspektas rodo, kad kokybė turi būti vertinama ne tik remiantis objektyviais kriterijais, bet ir atsižvelgiant į subjektyvius vartotojų vertinimus bei rinkos poreikius.

Trečiasis sėkmės kriterijus, remiantis Barneso geležiniu trikampiu, yra laikas. Laiko ir biudžeto valdymas projekto įgyvendinime yra labai glaudžiai susiję. Efektyvus laiko valdymas gali padėti užtikrinti, kad projektai būtų užbaigti neviršijant nustatytų terminų ir biudžeto (Williams ir kt., 2019). Tačiau tyrimai parodė, kad terminai gali būti vienas iš labiausiai darbo vietoje keliančių streso aspektų, ypač kai jie yra nerealiūs (Perlow, 1999). Nustatyta, kad terminų sukeltas spaudimas daro didelę neigiamą įtaką kūrybiškumui, efektyvumui ir bendram darbui (Giurge ir kt., 2020), o tai gali sukelti projekto kokybės problemas. Laiko valdymas yra ypač sudėtingas projektinės gamybos kontekste, kadangi iš anksto būtina nustatyti produkto pristatymo datas, nors jo koncepcija dar tik kuriama ir nėra iki galo apibrėžta (White ir Koster, 2015). Vadinasi, gaminių sudedamosios dalys, savybės ir funkcijos projekto gyvavimo ciklo metu gali keistis, o tai turi įtakos projektavimo, gamybos ir surinkimo procesams. Dėl šios priežasties sunku planuoti padalinių veiklas, nes užduočių atlikimo laikas gali skirtis priklausomai nuo gaminio koncepcijos pokyčių. Pakeitus suprojektuoto gaminio dizainą, gali tekti pakeisti gamybos procesą arba surinkimo seką. Be to, sunku numatyti reikiamus išteklius, atsižvelgiant į kintamą užduočių atlikimo laiką (Cannas ir kt., 2018). Didelis iššūkis vykdant gamybos projektus yra pajėgumų, apkrovų ir komponentų pirkimo laiko neapibrėžtumas. Dėl šios priežasties gali kilti tiekimo problemų, ypač kai produktas yra novatoriškas ir reikalauja naujų ar retų komponentų (Hooshmand ir kt., 2016). Prekės gali turėti ilgą pristatymo laiką arba didelę kainą, o tai sukelia grėsmę peržengti nustatytą projekto gamybos terminą arba padidinti nustatytą biudžetą.

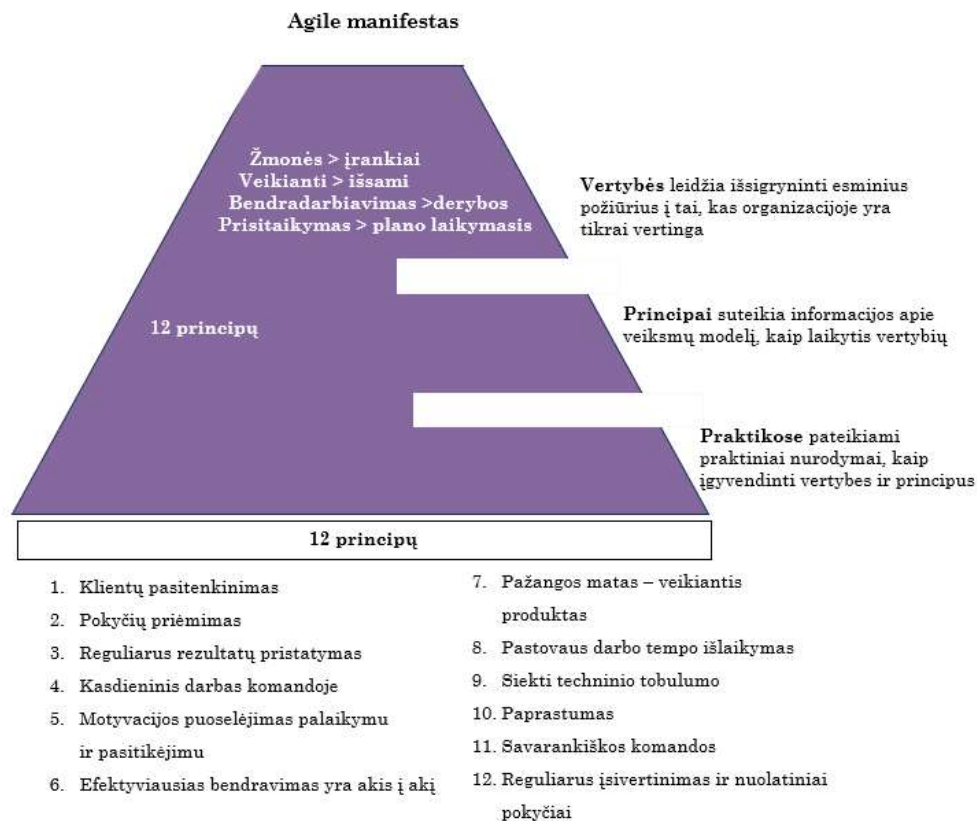
Apibendrinimas. Projekcinė gamyba yra sudėtingas gamybos būdas, kuriame produktai yra gaminami pagal kliento iškeltus reikalavimus. Tai atsispindi aukštesnėje savikainoje, sudėtingoje gamybos aplinkoje ir neapibrėžtose užduotyse, reikalaujančiose kūrybiškumo. Kaina yra lemiamas veiksnys, nustatantis projekto sėkmę, o išankstinis biudžeto apibrėžimas kelia riziką, ypač dėl trūkstančios informacijos apie produktą. Projekcinė gamyba taip pat susiduria su laiko valdymo iššūkiais, nes būtina numatyti pristatymo datas, net nežinant visų produkto parametrų. Tai lemia nestabilumą projektavimo, gamybos ir surinkimo procesuose, o tai turi neigiamą įtaką kokybės parametrams. Be to, sunkiai prognozuojamas kai kurių

komponentų pristatymo laikas sukelia vėlavimo problemas. Visi šie faktoriai, priklausomai nuo kintančių sąlygų, sudaro sudėtingą projektinės gamybos aplinką, kurioje sėkmingai veikti reikia nuoseklumo, prisitaikymo ir glaudaus bendradarbiavimo.

1.3. Gamybos tobulinimo metodologijos inžinerinės gamybos pagal užsakymą kontekste

1.3.1. „Agile“ gamyba

Dallasega ir kt. (2019) teigia, kad „Agile“ taikymas projektinėje gamyboje gali sumažinti darbų atlikimo laiką. Terminas „Agile“ gamyba pirmą kartą buvo pavartotas 1991 m. Iacocca institute, Lehighto universitete, JAV paskelbtame pranešime „21-ojo amžiaus gamybos įmonės strategija“. Ataskaitoje ši frazė buvo apibrėžiama kaip unikali pramoninės konkurencijos forma JAV įmonėms, skirta efektyviai reaguoti į rinkos galimybes ir atitikti individualius klientų poreikius (Vázquez-Bustelo ir Avella, 2006). Judrumas (angl. *Agility*), kaip apibrėžiama Kembridžo žodyne, yra „gebėjimas greitai ir lengvai judėti“. „Agile“ metodologija yra pagrįsta principais, vertybėmis ir praktikomis (žr. 4 pav.).



4 pav. „Agile“ manifesto iliustracija

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Brandl ir kt. 2021b)

Hormozi, (2001) pažymi, kad „Agile“ gamyba yra kilusi iš daugybės esamų valdymo sistemų ir technologijų. Tai apima tokias valdymo sistemas kaip „Lean“ gamyba (Robertson ir Jones, 1999) bei lanksti gamyba (Thilak ir kt., 2017). Įdomu tai, kad mokslininkai pabrėžia glaudžią „Agile“ gamybos sąsają su įvairiomis „Lean“ sistemomis, tokiose kaip „TQM“ ir „JIT“ (Iqbal ir kt., 2018). Tai atskleidžia, kaip šios skirtingos gamybos paradigos tarpusavyje sąveikauja ir gali papildyti viena kitą, prisidedant prie efektyvesnio gamybos proceso organizavimo.

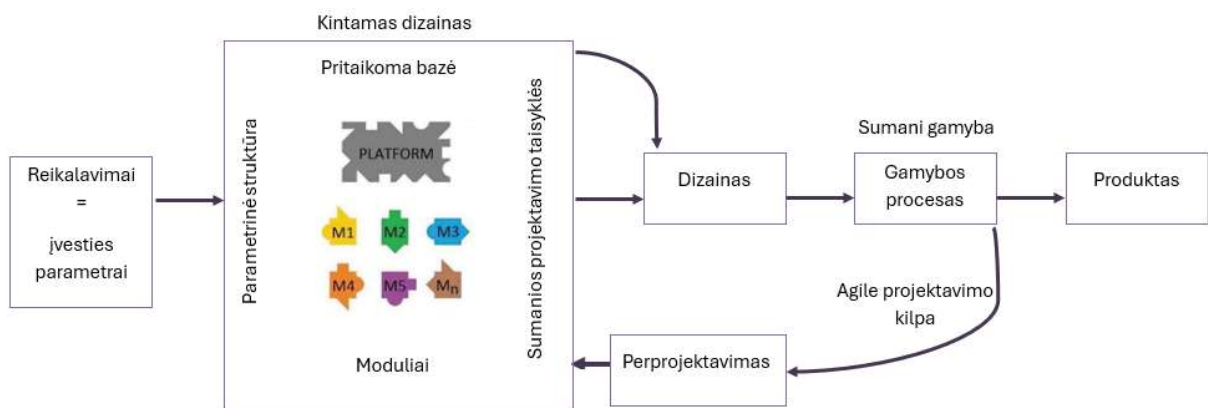
Mokslininkai savo darbuose pabrėžia būtinybę suprasti „Agile“ gamybos ir įvairių veiklos rodiklių sąsają sudėtingumą (Ghobakhloo ir Azar, 2018; Leite ir Braz, 2016; Potdar ir Routroy, 2017). Tai atspindi didelias mokslinės bendruomenės pastangas siekiant paaiškinti, kaip „Agile“ gamyba integruojasi į įvairius verslo procesus ir kaip ji gali turėti įtaką jų efektyvumui.

Geresnis bendravimas su klientais ir vartotojų stebėseną gali suteikti naudos gamybos įmonėms. Siekdami padidinti verslo efektyvumą, gamintojai stengiasi pritaikyti „Agile“ praktikas, tačiau jų įgyvendinimo nauda gali skirtis tarp skirtingų įmonių (Ghobakhloo ir Azar, 2018). Gamybos sektorius aktyviai siekia įgyti įgūdžių ir kompetencijų, kad galėtų atitikti klientų lūkesčius ir efektyviai reaguoti į jų poreikius. Tai rodo, kad pramonės sektorius deda pastangas užtikrinti nuolatinį klientų pasitenkinimą ir prisitaikymą prie kintančių rinkos sąlygų (Kadar ir kt., 2019).

Mokslininkai teigia, jog „Agile“ ir „Lean“ metodikų taikymas sukelia teigiamą poveikį veiklos rezultatams ir didina įmonės konkurencingumą, atsižvelgiant tiek į vidinius, tiek į išorinius veiksnius (Hallgren ir Olhager, 2009). Mokslininkai nustatė, kad „Agile“ metodai suteikia didelį teigiamą poveikį sąnaudų, pristatymo laiko ir nuostolių mažinimui (Kumar ir kt., 2022). Zimmermannas ir kt. (2020) atlikdami tyrimą pristatė empirinius įrodymus, kurie rodo, kad gamybos pramonės šakos, kurios turi lanksčias tiekimo grandines, pasižymi geresnėmis produkto charakteristikomis, verslo ir inovacijų savybėmis, ir gali pranokti savo konkurentus dinamiškoje verslo aplinkoje. Tai parodo, kad lankstūs ir adaptuojami gamybos metodai gali suteikti privalumų įmonėms, veikiančioms sparčiai kintančioje rinkoje.

Skirtingai nuo laipsniško tobulinimo, „Agile“ gamyba iš esmės reiškia verslo operacijų pokytį, kuris akcentuoja greitį, kokybę ir judrumą kaip pagrindinį konkurencinį pranašumą, skirtingai nuo laipsniško tobulinimo. Pagrindinės funkcijos apima greitą ir ekonomišką gamybą, lanksčius procesus bei prisitaikančios organizacijos kultūros puoselėjimą. „Agile“ principai apima greitą išteklių perskirstymą, tvirtus santykius su darbuotojais bei klientais, siekiant konkurencingumo, akcentuojant inovacijas, pasitikėjimu paremtą žinių dalijimąsi (Kumar ir kt., 2020). Remiantis Varl ir kt. (2020), „Agile“ gamyboje vyrauja moduliškumas,

lankstumas ir pritaikomumas sujungiantis nuolat kintamą produkto dizainą su parametriškumu bei sumania gamyba. Parametrinė struktūra tai 3D modelių naudojimas, kurie leidžia efektyviai modifikuoti esamus projektus, o ne pradėti projektavimo procesą nuo nulio, kai susiduriama su naujomis projektavimo problemomis. Anot Varl ir kt. (2020), sumanioji gamyba pagal Pramonę 4.0 orientuota į pažangių produktų ir procesų kūrimą, daugiausia dėmesio skiriant lanksčioms ir perkonfigūruojamoms išmaniosioms gamykloms. Tai apima vertikalią integraciją, kurią skatina didieji duomenys, pramoniniai tinklai. Mokslininkas pastebi tradicinės gamybos aplinkos transformaciją į „Agile“ gamybą, pramonės aplinkoje, kurioje vyrauja techniškai pažangūs ir labai individualizuoti produktai. 5 paveiksle (žr. 5 pav.) pateikiama „Agile“ gamybos schema.



5 pav. „Agile“ gamybos schema

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Varl ir kt. (2020)

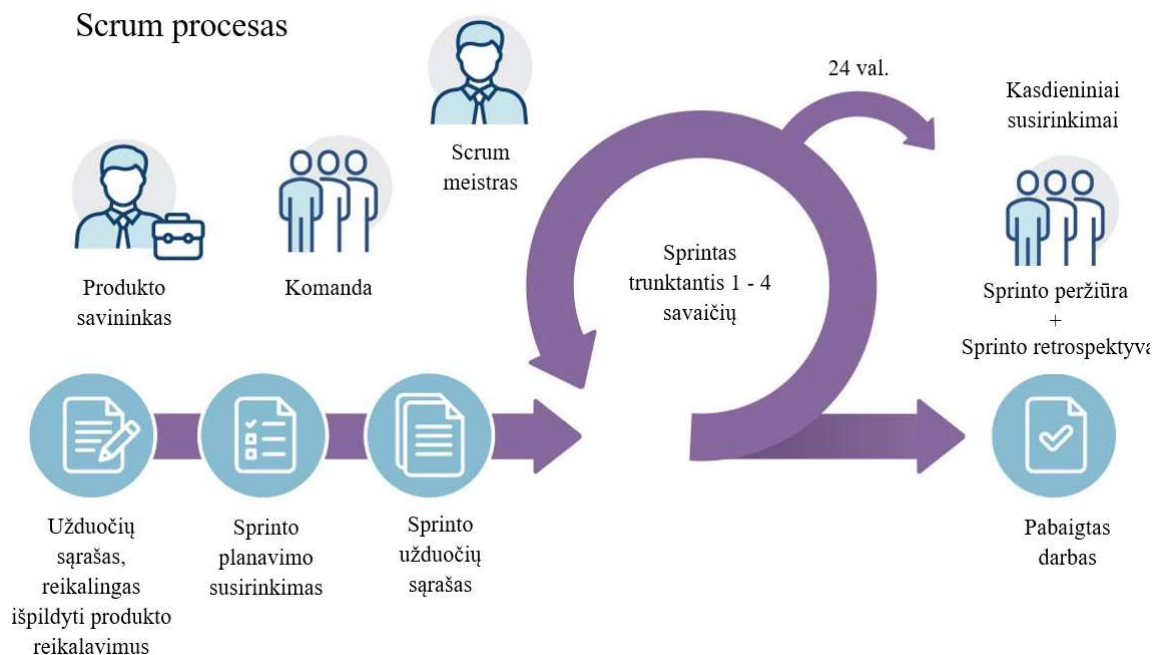
„Agile“ metodai integruoja įvairias praktikas ir siūlo gaires, kaip prisitaikyti prie dinamiškos aplinkos, tačiau šios praktikos paprastai yra pritaikytos konkrečioms sritims, dažniausiai IT sektoriui. Tokias sistemas kaip „Scrum“ dažnai naudojama programinės įrangos kūrimo srityje. Kai kurie autoriai „Agile“ metodikas pritaikė kitose srityse, tokiose kaip verslo procesų planavimas arba mechanikos inžinerija (Brandl ir kt., 2021b).

Chahalo (2023) teigia, kad „Scrum“ yra sistema, orientuota į dinamišką nuolatinio tobulinimo filosofiją, kurios pagrindinė prielaida yra tai, kad komanda turėtų nuolat tobulinti savo įgūdžius bei įsitraukti į produkto kūrimą laiku. Ji yra iteracinė projektų valdymo metodika, skirta kontroliuoti riziką ir optimizuoti projekto nuspėjamumą. „Scrum“ pasižymi trimis kartinėmis savybėmis (Schwaber ir Sutherland, 2017):

1. Skaidrumas. Procesas turi būti matomas visiems, kurie dalyvauja projekte.
2. Patikra. Nuolatinė patikra siekiant aptikti problemas ankstyvose stadijose.

3. Korekcijos. Greitos korekcijos yra būtinos, kai procese atsiranda nukrypimų arba kai produktas neatitinka numatytų standartų, ypač savarankiškai dirbančioje „Scrum“ komandoje.

Remiantis Kadenic ir kt. (2023) siekdami sėkmingai įgyvendinti „Scrum“ praktiką, asmenys ir komandos turi laikytis pagrindinių jos vertybių – įsipareigojimo, susitelkimo, atvirumo, pagarbos ir drąsos. „Scrum“ centre yra nedidelė, įvairiomis funkcijomis veikianti, savarankiškai organizuota darbo grupė, kurią sudaro produkto savininkas, „Scrum“ meistras ir inžinierių komanda (Kadenic ir kt., 2023b) (žr. 6 pav.).



6 pav. „Scrum“ procesas

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis PM Partners, (2021)

Produkto savininkas atlieka pagrindinį ir daugialypį vaidmenį „Scrum“ sistemoje. Jo tikslas maksimaliai padidinti produkto vertę, atsirandančią dėl „Scrum“ komandos pastangų. Produkto savininko pagrindinė atsakomybė yra tiksliai įvardinti kuriamo produkto techninę užduotį komandai, apibrėžiant produkto viziją, tikslą bei užtikrinti proceso skaidrumą. Produkto savininkas veikia kaip pagrindinis tarpininkas tarp inžinierių komandos ir įvairių suinteresuotųjų šalių, atstovaudamas jų poreikiams produkto kūrimo procese ir priimdamas sprendimus dėl produkto savybių. Be to, produkto savininkas yra atsakingas už klientų atsiliepimų rinkimą. Nors kai kurios pareigos gali būti perduotos kitiems komandos nariams, galutinė atsakomybė už šias užduotis ir suteiktą vertę tenka produkto savininkui (Oomen ir kt., 2017).

„Scrum“ meistras yra pagrindinė sąsaja tarp produkto savininko ir produkto kūrimo (inžinierių) komandos. Asmuo, kuris eina šias pareigas, pagrindinės atsakomybės apima produkto kūrimo proceso palengvinimą, užtikrinant, kad komanda laikytųsi „Agile“ vertybių, praktikos ir taisyklių. „Scrum“ meistras taip pat veda kasdieninius koordinacinius susitikimus su komandos nariais, siekiant pašalinti visas kliūtis, kurios gali trukdyti produkto kūrimo pažangai. Skirtingai nuo tradicinių projektų vadovų, „Scrum“ meistras taiko instruktavimo ir lyderiavimo metodą, o ne paliepiamą ir kontrolės stilių. Jis nedarba kaip tiesioginis vadovas ir neskiria užduočių komandos nariams, nes, „Scrum“ komandos organizuojasi savo veiklą savarankiškai. „Scrum“ meistras taip pat yra atsakingas už sprintų planavimo koordinavimą, teikia pagalbą produkto savininkui techniniais klausimais bei atlieka esminį vaidmenį supaprastinant įvairių elementų derinimą, valdant procesų integravimą ir sprendžiant konfliktus, kurie gali kilti konkrečiuose padaliniuose arba tarp komandų (Bass, 2014).

„Scrum“ komandos yra atsakingos už užduočių pasirinkimą ir įsipareigojimą jas įvykdyti sprinto metu. Inžinierių komanda turi kasdieninius susirinkimus, kuriuose aptariama vykdoma pažanga, iškilusios problemos, bei tikrinama, ar laikomasi nustatytų sprinto terminų. Komanda savarankiškai išsiskirsto užduotis pagal gebėjimus ir įgūdžius, skatindama projekto vykdymo dinamiškumą bei reaguoja į besikeičiančius klientų poreikius. Jos vaidmuo iš esmės apima kokybės standartų laikymąsi, nuolatinį tobulėjimą ir glaudų bendradarbiavimą su „Scrum“ meistru bei produkto savininku.

Projekto vykdymo procesas yra vykdomas iteracijomis – sprintais. Kiekvieną sprintą galima laikyti kaip 1–4 savaitių trukmės projektą, kuriame yra suplanuota, kokie darbai turi būti atlikti. Sprinto planas bei tikslai neturėtų būti keičiami sprinto eigoje, tačiau produkto savininkas ir inžinierių komanda prireikus gali keisti ir iš naujo apsibrėžti sprinto apimtį bei numatomus darbus (Lei ir kt., 2017). Kiekvieną sprintą apima pagrindiniai sprinto įvykiai – sprinto planavimas, kasdienis sprinto eigos aptarimas, sprinto peržiūra, sprinto retrospektyva. Šie įvykiai yra skirti skaidrumui užtikrinti ir projekto būklei tikrinti. Jei kuris nors etapas yra neįvykdomas, sumažėja projekto eigos skaidrumas ir yra prarandama galimybė tikrinti projekto būklę bei identifikuoti numatomas rizikas.

Pasak Schwaberio ir Sutherlando (2017), „Scrum“ tai iteracinis metodas, kuriuo siekiama optimizuoti rizikos kontrolę. Autoriai teigia, kad sprintų naudojimas padeda valdyti riziką, nes riboja ją iki vieno kalendorinio mėnesio sąnaudų. Tačiau yra teigiančių, jog nors ir ši metodika padeda lengviau identifikuoti rizikas, jų neeliminuoja. Pagrindiniai „Scrum“ rizikų valdymo būdai yra šie (Lei ir kt., 2017):

1. Nuolatinis grįžimas prie projektų komponentų bei galimų rizikų kiekvieno sprinto metu.

2. Žinių apie rizikas bei išminktų pamokų kartotinis naudojimas. Išmuktos pamokos paprastai naudojamos „Scrum“ gyvavimo cikluose ir dažniausiai nustatomos bei aptariamose retrospektyvų susitikimuose.

3. Pripažinimas, kad rizikos valdymas yra pagrįstas bendradarbiavimu ir yra daugiau nei metodologinis procesas. „Scrum“ filosofija teigia, kad ši metodika labiau susijusi su žmonėmis, elgesiu ir kultūra nei su procesais.

Schneideris pasiūlė „Agile“ procesų planavimo koncepciją verslo procesų projektavimui gamybos kontekste, remiantis trumpo ciklo planavimo iteracijomis, analogiškomis „Scrum“ sistemai. Jis išskiria automobilių gamintojų planavimo proceso metodo elementus, kurie gali keistis, ir tuos, kurie yra nekeičiami, daugiausia dėmesio skirdamas kintamų komponentų pertvarkymui. „Agile“ procesų planavimo sistema apima judrius principus, vaidmenis, artefaktus, taisykles, praktiką ir fazės modelį, suderintą su projekto struktūra bei „Scrum“ sistema. Nors „Scrum“ buvo sėkmingai pritaikytas automobilių pramonės procesų planavimo procedūroms, tai kainavo visišką buvusio darbo modelio restruktūrizavimą (Brandl ir kt., 2021b).

Apibendrinimas: „Agile“ gamyba gali būti sėkmingai pritaikyta projektinės gamybos aplinkoje dėl gebėjimo reaguoti į rinkos galimybes ir atitikti individualius klientų poreikius. „Agile“ gamybos metodika, pradėta naudoti 1991 m., pasižymi išskirtiniu pritaikomumu gamybos sektoriuje. Šis lankstumas leidžia efektyviai reaguoti į rinkos galimybes, atitikti individualius klientų poreikius ir optimizuoti veiklos procesus. „Agile“ praktikos, kaip moduliškumas ar „Scrum“, skatina projektinės gamybos procesų skaidrumą, nuolatinę patikrą bei greitas korekcijas. Ši metodika suteikia gamybos įmonėms galimybę dinamiškai prisitaikyti prie kintančių sąlygų, o naudojant nuolatinį grįžtamąjį ryšį efektyviau suvaldyti rizikas.

1.3.2. „Lean“ gamyba

Tyrimai rodo, kad „Lean“ metodika yra siūloma kaip gamybos strategija projektinės gamybos sektoriuje (Schulze ir Dallasega, 2023b). Ši metodika yra orientuota į visų formų atliekų ir pridėtinės vertės nekuriančios veiklos pašalinimą (Chavez ir kt., 2015). „Lean“ procesai ir principai iš pradžių buvo sukurti automobilių pramonėje, kuriai būdingos serijinės gamybos sąlygos, (Jünge ir kt., 2023a). Taichi Ohno, šios sistemos kūrėjas, išskirstė nuostolius į septynias grupes: perprodukcija, laukimas, transportavimas, perteklinės atsargos, pertekliniai procesai, brokas (defektai) ir nereikalingi judesiai (Kumar ir kt., 2022). Šios grupės tapo „Lean“ metodologijos centru, nes jos pažymi sritis, kuriose galima sumažinti atliekas ir optimizuoti gamybos procesus. Ši sistema buvo sukurta išspręsti masinės gamybos iššūkius, tačiau puikiai pritaikoma ir projektinėje gamyboje bei suteikia struktūrizuotą požiūrį į gamybos efektyvumą.

„Lean“ metodologija neapsiriboja tik techniniais procesais, ji taip pat akcentuoja žmones ir organizacinę kultūrą. Tai reiškia, kad organizacijos privalo investuoti į darbuotojų mokymą, siekiant užtikrinti, kad jie aktyviai dalyvautų tobulinant procesus ir kurtų vertę organizacijai (Lai ir kt., 2022). Tai ilgalaikis procesas, kuris skatina inovacijas ir organizacijos lankstumą. Dėl šių priežasčių „Lean“ metodologija išlieka itin aktualiu ir svarbiu gamybos valdymo įrankiu, padedančiu organizacijoms būti konkurencingomis rinkoje (Deshmukh ir kt., 2022).

Organizacija, kuri vadovaujasi „Lean“ metodologija turi taikyti šešis principus (Bevilacqua ir kt., 2015a):

1. Vertė. Viskas, už ką klientas nori mokėti, yra laikoma verte. Tikslas yra nustatyti ir sutelkti dėmesį į veiklą, kuri tiesiogiai prisideda prie vertės teikimo klientui, pašalinant arba sumažinant veiklą, kuri to nedaro.

2. Vertės srautas. Tai visų veiklų ir procesų, kuriais klientui pristatomas produktas ar paslauga, visuma. Ji apima visus žingsnius nuo produkto ar paslaugos sukūrimo iki jo pristatymo ir pabrėžia viso vertės srauto supratimą ir optimizavimą, o ne tik atskirus procesus.

3. Srautas. Šis principas reiškia sklandų ir nenutrūkstamą produktų, paslaugų ar informacijos judėjimą visame vertės sraute. Tikslas yra pašalinti proceso vėlavimus, kliūtis ir trukdžius, kad būtų užtikrintas nuolatinis ir efektyvus vertės srautas.

4. Traukimo Sistema. Traukimo sistemoje darbai atliekami tik tada, kai to reikia, sumažinant atsargų perteklių ir sumažinant atliekas. Tai padeda sinchronizuoti gamybą su faktine paklausa.

5. Nuolatinis tobulėjimas. Tai nuolatinės pastangos laipsniškai tobulinti produktus, paslaugas ar procesus. „Lean“ metodikoje ši sąvoka žinoma kaip „Kaizen“ ir ji įtraukia visus organizacijos narius nuolat ieškoti būdų, kaip pagerinti efektyvumą, našumą ir kokybę.

6. Pagarba žmonėms. Šis principas pabrėžia oraus elgesio su asmenimis, jų indėlio pripažinimo ir įgalinimo aktyviai dalyvauti tobulėjimo procese svarbą.

Literatūroje aprašomi atskiri atvejai, kai „Lean“ įrankiai, iš pradžių sukurti mažos įvairovės ir didelės apimties gamybai, yra sėkmingai taikomi projektinės gamybos kontekste (žr. 1 lentelę).

1 lentelė. „Lean“ įrankių pritaikymas projektinės gamybos aplinkoje

„Lean“ praktika	Pritaikymo tikslas
Vertės srauto žemėlapis (angl. <i>Value stream map</i>)	Naudojant Vertės srauto žemėlapį projektinės gamybos aplinkoje, buvo sutrumpintas gaminio pristatymo laikas (Lamas ir kt., 2019).
Traukimo sistema	Decentralizuota traukimu pagrįsta valdymo kilpa padėjo sinchronizuoti išorėje ir vietoje vykdomą ETO komponentų gamybą ir sutrumpinti pristatymo laiką (Dallasega ir kt., 2016)
„Poka-Yoke“	„Poka-Yoke“ įrankis skirtas klaidų prevencijai, yra puikiai pritaikomas įmonėse, kurioms būdinga gamybos aplinka, kurioje daug įvairių produktų gaminama palyginti mažais kiekiais ir unikaliosiomis sąlygomis (Irani, 2011).
JIT (angl. <i>Just in time</i>)	Dallasega ir kt. (2015) pastebėjo statybos įmonės veikloje, kuri yra pagrįsta ETO gamybos principais, padidėjo produktyvumas ir sumažėjo sandėliavimo plotas, įdiegus „Just-in-Time“.

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Lamas ir kt. (2019); Dallasega ir kt. (2016); Irani, (2011); Dallasega ir kt.(2015).

Apibendrinimas. „Lean“ metodika sėkmingai pritaikyta projektinės gamybos sektoriuje, gali sumažinti atliekas ir optimizuoti procesus vadovaujantis pagrindiniais principais. Ji neapsiriboja techniniais aspektais, bet taip pat akcentuoja žmones ir organizacinę kultūrą, reikalaujant investicijų į darbuotojų mokymą ir įgalinimą. „Lean“ principai, tokie kaip „Poka-Yoke“, VSM ir JIT, buvo sėkmingai taikomi projektinės gamybos įmonėse. Šie įrankiai padėjo sutrumpinti pristatymo laiką ir optimizuoti procesus. Tai rodo, kad „Lean“ principai gali būti pritaikyti sėkmingai įvairiose gamybos srityse.

1.3.3. Greito atsako gamyba

Remiantis Wangu ir kt. (2021), greito atsako gamybos sistema yra tinkamiausia projektinės gamybos įmonėms. Šios sistemos tikslas yra įgyti konkurencinį pranašumą pagreitinant produkto pristatymo laiką (Suri, 2010). QRM yra įmonės strategija, skirta didinti pralaidumą, mažinant visų operacijų vykdymo laiką, apimančią gamybą, projektavimą, planavimą, kontrolę ir tiekimo valdymą. Taigi, naudojant QRM metodą, įmonė gali tapti visiškai integruota ląstelės ryšio organizacija. Per pastaruosius kelerius metus keletas įmonių

įgyvendino QRM strategijas ir pasiekė puikių rezultatų (Bevilacqua ir kt., 2015b), kurie apima pristatymo laiko sutrumpinimą, gaminių kainos mažėjimą (15–50 %), efektyvesnį pristatymo procesą (nuo 40 % iki 98 %) ir sumažintą nuostolių kiekį, kuris apėmė produktų perdarimą ir susidariusių atliekų kiekį (daugiau nei 80 %) (Wang ir kt., 2021). QRM strategija yra pagrįsta keturiomis koncepcijomis (Godinho Filho ir kt., 2017) :

1. Laiko svarba. Vietoje tradicinio dėmesio efektyvumui, dėmesys sutelkiamas į QRM laiku pagrįstus tikslus, skirtus nuosekliai mažinti pristatymo laiką. Šiame kontekste yra išskiriami du šio požiūrio elementai. Skirtingai nuo Lean gamybos, kurios tikslas yra sumažinti išlaidas, pašalinant visas atliekas per visą įmonės gamybos procesą, pagrindinis QRM tikslas yra sutrumpinti pristatymo laiką visais veiklos aspektais. Kaip kitas išskirtinis QRM metodo aspektas – pagrindinis jo našumo rodiklis yra pristatymo laiko efektyvumas. Skirtingai nuo kitų metodų, kuriuose pagrindinis dėmesys skiriamas tokiai metrikai kaip atsargų mažinimas, mažesnės gamybos sąnaudos, didesnis produktyvumas ir geresnė kokybė, QRM išsiskiria tuo, kad pagrindinis tikslas yra sutrumpinti pristatymo laiką. Tai prieštarauja alternatyviems metodams, kai sutrumpėjęs pristatymo laikas yra šalutinis rezultatas kitos našumo metrikos

2. Organizacijos restruktūrizavimas. Pagrindinis pakeitimas apima perėjimą nuo į procesą orientuoto išdėstymo, prie labiau supaprastinto QRM ląstelių išdėstymo baruose, siekiant sumažinti pristatymo laiką.

3. Sistemos dinamikos suvokimas ir panaudojimas. Analizuojama, kaip įvairūs veiksniai veikia pristatymo laiką. Ši įžvalga nukreipia į pastangas, kuriomis siekiama pagerinti šiuos veiksnius, kad pristatymo laikas būtų maksimaliai sumažintas. „Lean“ gamyba dažniausiai laiko kintamumą atliekų šaltiniu. Tačiau Suris (2010) pristato teigiamą kintamumo aspektą, kurį galima panaudoti kaip strateginį pranašumą.

Išskiriami trys kintamumo poveikio mažinimo būdai: tuščiosios eigos (laisvo laiko) palaikymas, atsargų laikymas ir darbas su ilgesniu pristatymo laiku. Priešingai nei paplitęs įsitikinimas, kad mašinų ir žmonių nuolatinis užimtumas pagreitina darbą ir sutrumpina pristatymo laiką, Suris (2010) teigia, kad 100 % pajėgumų išnaudojimas lemia ilgesnį pristatymo laiką. QRM siūlo teikti pirmenybę lankstumui ir judrumui, o ne maksimaliam įrangos ir personalo naudojimui (Cheng Siong ir Kuan Eng, 2018). Kritiniams ištekliams rekomenduojama suplanuoti tik 70–80 % pajėgumo. Tai pagerina planavimo procesą, padeda išvengti pailgėjusio pristatymo laiko, eilių augimo ir darbo centrų prastovų dėl laukiančių išteklių (Godinho Filho ir kt., 2017).

Planavime ir gamybos kontrolėje QRM ląstelėse, rekomenduojama naudoti POLCA (persidengėnčias korteles). „POLCA“ yra hibridinė sistema, kuri sujungia medžiagų poreikio planavimo sistemų (stumimo sistema) ir kortelėmis pagrįstų sistemų (traukimo sistema)

stipriąsias puses (Fernandes ir do Carmo-Silva, 2006; Krishnamurthy ir Suri, 2009; Riezebos, 2010; Vandaele ir kt., 2008).

4. Sutrumpintas pristatymo laikas visoje įmonėje. QRM principų taikymas visoje organizacijoje, įskaitant tiekimo grandinę, administracijos ir pardavimo operacijas, taip pat inžineriją ir produktų kūrimą padeda sumažinti pristatymo laiką. Daugumos gamybinių organizacijų valdymo metodai vis dar sukasi apie masto ekonomiką ir į sąnaudų mažinimą orientuotą požiūrį, o tai sukelia aibę disfunkcinių pasekmių, vadinamų atsako laiko spirale (Suri, 2010).

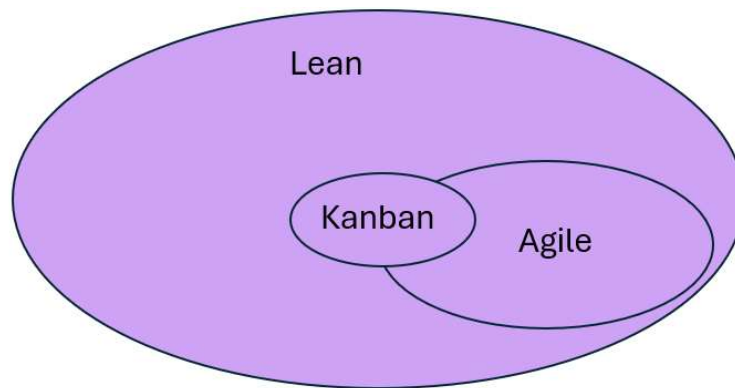
Įprasta pirkimų praktika apima prekių, kurių pristatymo laikas yra ilgas, užsakymą dideliais kiekiais, kad būtų galima derėtis dėl nuolaidų. Tačiau ši įsitikinimų sistema sukuria atsako laiko spiralę perkant iš tiekėjų, kuri išsiskleidžia taip – įmonė perka iš tiekėjo su pailgintais pristatymo terminais, todėl reikia apsisaugoti nuo galimo trūkumo, jei nenumatyta paklausa padidėtų. Todėl įmonė įsigyja dideles partijas, įskaitant saugos atsargas. Esant tokiam dideliame užsakymų kiekiui, įmonė su tiekėju derasi dėl nuolaidų. Tuo pačiu metu tiekėjas, bendradarbiaujantis su daugeliu klientų, laikydamasis panašaus požiūrio, sulaukia daugybės užsakymų didelėms partijoms. Siekdamas masto ekonomikos ir sąnaudų mažinimo, tiekėjas valdo dideles partijas. Tačiau, kadangi visi šie prašymai dėl didelių partijų kaupiasi, tiekėjo gamykloje pailgėja gamybos ciklo laikas. Tai savo ruožtu verčia tiekėją planuoti ilgesnį gamybos laiką. Todėl tiekėjo pardavimo organizacija klientams siūlo pailgintus pristatymo terminus, kurie laikui bėgant pablogėja ir sukuria grįžamojo ryšio kilpą – tiekėjo atsako laiko spiralę (Godinho Filho ir kt., 2017). Pagal QRM filosofiją labai svarbu, kad įmonės bendradarbiautų su tiekėjais, kurie pripažįsta laiko reikšmę ir aktyviai siekia trumpinti savo veiklos vykdymo laiką (Suri, 2010).

Apibendrinimas: QRM filosofija yra esminis konkurencinio pranašumo veiksnys projektinėms gamybos įmonėse. Įgyvendinus QRM strategijas, pasiekiamas žymus pristatymo laiko, kainos ir efektyvumo pagerinimas. QRM metodas skiriasi nuo tradicinių gamybos valdymo sistemų, akcentuojant pristatymo laiko mažinimą visuose veiklos lygiuose. Tai lemia įmonės transformaciją į lanksčią organizaciją.

1.3.4. „Kanban“

Remiantis Ellisu (2020), „Kanban“ yra vaizdinė priemonė, skirta įgyvendinti „Just-In-Time“ principą. Ši priemonė padeda susidoroti su netolygiomis užduotimis komandoje ir padidina skaidrumą, kad suinteresuotosios šalys, įmonės viduje, galėtų nuolat stebėti komandos darbą. Terminas „Kanban“ kilęs iš japoniškų rašmenų, reiškiančių „įdėmiai pažvelgti į medinę lentą“, pabrėžiant vizualinio valdymo svarbą. Ši koncepcija plačiai naudojama programinės

įrangos kūrimo, projektų valdyme, gamyboje ir kitose srityse. „Agile“ ir „Kanban“ laikomi „Lean“ filosofijos elementais (žr. 7 pav.), kurie pasižymi tokiais principais kaip dėmesys vertei, maži partijų dydžiai ir atliekų pašalinimas (Powell, 2018).



7 pav. „Agile“ ir „Kanban“ „Lean“ filosofijos sudedamųjų dalių atvaizdavimas

Šaltinis: sudaryta remiantis Powell, (2018)

Paprastai „Kanban“ lentoje skirtingi stulpeliai reprezentuoja įvairius darbo etapus. Užduotys simbolizuojamos kortelėmis. „Kanban“ lentoje kortelės perkeliamos iš kairės į dešinę, atsižvelgiant į užduoties būsenos pokyčius. „Kanban“ lentos yra dviejų tipų – paprastosios ir detaliosios. Paprastojo tipo lentose yra vaizduojami 3 etapai: reikalinga atlikti, atliekama ir atlikta (žr. 8 pav.). Detaliojoje „Kanban“ lentoje yra vaizduojami daugiau nei 3 etapai, atsižvelgiant į kelis kriterijus: užduočių skaičius, komandos narių skaičius, vykdomo darbo ar projekto sudėtingumas (Alaidaros ir kt., 2021).

Užduočių sąrašas	Atliekama	Atlikta
 Užduotis A  Užduotis C	 Užduotis B	 Užduotis D

8 pav. Paprastojo tipo „Kanban“ lenta

Šaltinis: sudaryta remiantis Alaidaros ir kt. (2021)

Alaidaros ir kt. (2021) pabrėžia, kad „Kanban“ metodas pagerina procesų matomumą ir supratimą bei efektyviai kontroliuoja darbo eigą. Kiti mokslininkai teigia, kad ši sistema

padedą greitai reaguoti į mažus paklausos pokyčius, pasižymi lankstumu, greitu reagavimu ir patikimumu (Khaled Yacoub ir kt., 2016; B. Zhou ir Zhao, 2022). Be to, „Kanban“ metodas prisideda prie geresnio bendravimo, darbo skaidrumo, klientų pasitenkinimo ir komandos koordinavimo tarp įvairių suinteresuotųjų šalių (Sameen Mirza ir Datta, 2019). Naudojant „Kanban“, dėmesys sutelkiamas į procesų tobulinimą įvairiose srityse bei pabrėžiamas komandos gebėjimas gerinti kasdienės veiklos efektyvumą (Damij ir Damij, 2022).

Apibendrinimas. „Kanban“ yra metodologija, kuri akcentuoja procesų optimizavimą ir komandos gebėjimą nuolat tobulinti kasdieninę veiklą. Šis metodas taiko vizualinį valdymą, kai darbas yra atvaizduotas lentoje, ir skatina atkreipti dėmesį į efektyvumo didinimą visuose veiklos etapuose. Svarbiausia, "Kanban" skatina nuolatinį pažangos stebėjimą, problemų identifikavimą ir sprendimą, skatinant komandą nuosekliai gerinti savo darbo būdus. Tai ne tik optimizuoja procesus, bet ir skatina nuolatinį tobulėjimą bei adaptaciją pokyčiams.

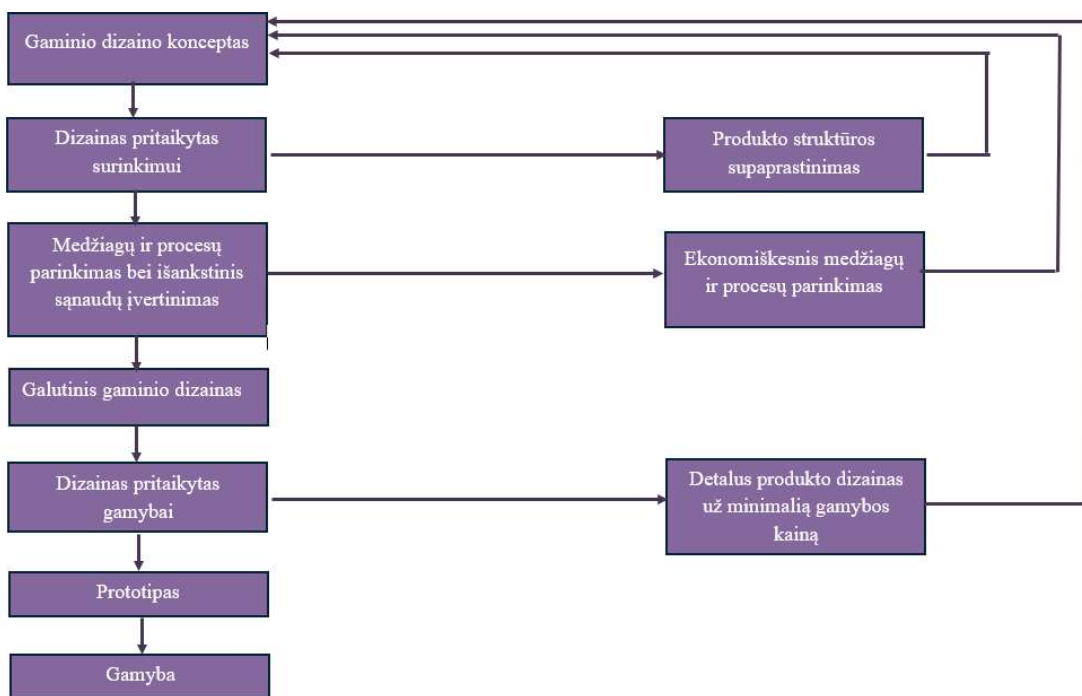
1.3.5. Gamybai ir surinkimui pritaikytas projektavimas

Norint palengvinti ir užtikrinti tvarų gamybos procesą, reikia pritaikyti žinias ir patirtį apie įvairias gamybos koncepcijas bei technologijas į produkto kūrimą (Gebisa ir Lemu, 2017). Šis tikslas yra įgyvendinamas, taikant projektavimo, pritaikyto gamybai ir surinkimui, metodiką. Šios metodikos vaidmuo, kuriant produktus, yra didžiulis dėl keleto priežasčių:

1. Produktų sudėtingumas.
2. Didelė konkurencija rinkoje.
3. Paklausa dideliu prekių kiekiui.
4. Aukštos kokybės reikalavimai.

Projektavimo, pritaikyto gamybai ir surinkimui, praktinis aspektas apima pastangas sumažinti medžiagų švaistymą, pasirinkti optimaliausias produkto žaliavas ir komponentus, projektuoti produktus taip, kad jie būtų lengvai surenkami ir išardomi, skatinti pakartotinį gaminio naudojimą bei mažinti energijos suvartojimą (Sharma ir kt., 2020).

Tipinis projektavimo gamybai ir surinkimui procesas gali būti suskirstytas į tam tikrus etapus (žr. 9 pav.).



9 pav. Tipinis projektavimo gamybai ir surinkimui procesas

Šaltinis: sudaryta remiantis Gao ir kt. (2020)

Gaminio dizaino koncepcijos sukūrimo metu, konstruktoriams ir inžinieriams yra pateikiamos standartinės projekto tobulinimo gairės arba taisyklės bei standartinės dizaino vertinimo metrikos skirtos įvertinti surinkimo paprastumą. Jei gaminio dizainas yra sudėtingas, jį siekiama supaprastinti ir yra grįžtama į pirmąjį žingsnį – gaminio dizaino koncepcijos kūrimą. Jei koncepcija yra tinkamai pritaikyta surinkimui, tuomet vykdomas išankstinis sąnaudų įvertinimas, kuris apima reikalingų medžiagų bei procesų įvertinimą ekonominiu požiūriu. Jei koncepcija yra per brangus, grįžtama į pirmąjį proceso žingsnį. Jei kaina yra tinkama, patvirtinama, kad gaminio dizainas yra tinkamas ir galima jį laikyti galutiniu. Jei gaminyje yra nepagaminamas, grįžtama į pirmąjį žingsnį ir tuomet vyksta jo modifikacijos. Tik tinkamai pritaikius gaminio dizainą gamybai, jis laikomas galutiniu dizainu. Kitu žingsniu sukuriamas prototipas. Prototipui atitikus keliamus kokybės ir efektyvumo reikalavimus, gaminyje paleidžiamas į gamybą.

Anot Gao ir kt. (2020b), pagrindinės projektavimo pritaikyto gamybai ir surinkimui charakteristikos apima standartizavimą ir supaprastintą modulinį dizainą. Tai atitinka gamybos srauto koncepcijos principus, kurie pabrėžia gamybos supaprastinimą, mažinant reikalingų operacijų kiekį bei dalių ir jungčių skaičių, didinant lankstumą ir skaidrumą. Supaprastinimas apima nepridėtinės vertės veiklos pašalinimą iš gamybos proceso bei vertę kuriančių etapų pertvarkymą. Projektavimo pritaikyto gamybai ir surinkimui kontekste šis principas reiškia, kad

konstruktoriai turėtų pritaikyti savo kuriamą dizainą taip, kad būtų išvengiama perteklinių procesų. Standartinės projektavimo gairės ir suteikiama nauda pateikiama 2 lentelėje (žr.2 lentelę).

2 lentelė. Standartinės projektavimo gairės ir suteikiama nauda

Tobulinimo gairė	Suteikiama nauda
Naudoti standartines dalis, o ne vienetinius komponentus.	Sumažėjusios išlaidos, trumpesnis pirkimo laikas, didesnis patikimumas.
Optimizuoti ir standartizuoti sujungiamus mazgus bei tvirtinimo dalis.	Sumažėjusios sąnaudos, supaprastintas surinkimas, didesnis patikimumas, supaprastintas remontas ir priežiūra.
Naudoti kuo mažiau skirtingų gamintojų komponentų.	Supaprastintas sujungimas, mažiau gamybos procesų.
Vengti aukštų paviršiaus tolerancijų.	Paprastesnė gamyba ir mažesnės gamybos sąnaudos.
Dizainas pritaikytas supaprastintai gamybai.	Išlaidų sumažinimas pašalinus sudėtingus įrenginius ir įrankius.
Modulinis dizainas.	Sumažėjusios išlaidos dėl supaprastinto surinkimo ir testavimo procesų.
Atsižvelgti į iš anksto nustatytas surinkimo technologijas.	Išlaidų sumažinimas dėl pridėtinės vertės nesukuriančių rankinių surinkimo pastangų.
Dizainas pritaikytas automatiniam robotiniam surinkimui.	Sąnaudų sumažinimas lyginat su rankiniu surinkimo procesu.

Šaltinis: sudaryta remiantis Gao ir kt. (2020b)

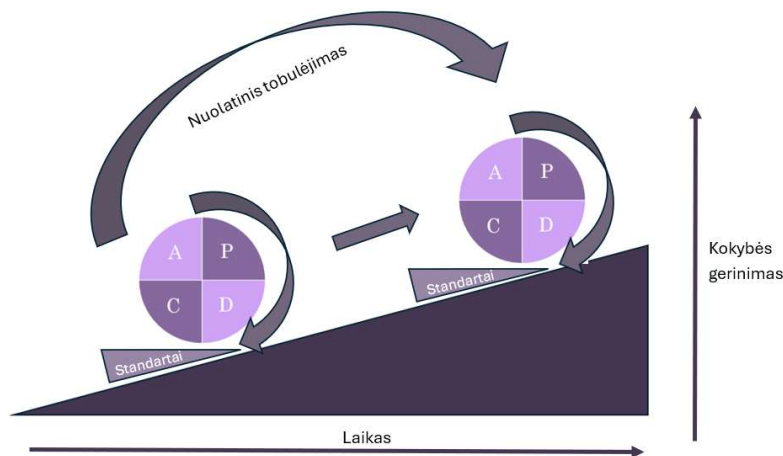
Apibendrinimas: Tvarus gamybos procesas pasiekiamas taikant projektavimo, pritaikyto gamybai ir surinkimui, metodiką. Šios metodikos taikymas leidžia konkuruoti šiuolaikinėje rinkoje, kurioje vyrauja didelė konkurencija, sudėtingi produktai bei aukšti kokybės reikalavimai. Projektavimo gairės, tokios kaip standartinių dalių naudojimas, modulinis dizainas, yra esminės, tvariam ir efektyviam gamybos procesui. Tai prisideda prie mažesnių išlaidų, didesnio patikimumo bei supaprastinto gamybos proceso.

1.3.6. „Kaizen“

„Kaizen“, japonų filosofijoje, yra transformuojantis požiūris, nukreipiantis išradinę mąstymą į nuolatinį procesų tobulinimą įvairiose srityse, tokiose kaip gamyba, inžinerija, paslaugos ir kiti verslo veiklos aspektai (Kiran, 2022). Ši filosofija pabrėžia nuolatinio

tobulėjimo kultūros puoselėjimą, kurioje laipsniška pažanga yra ne tik skatinama, bet ir laikoma neatskiriama bendros organizacijos sėkmės dalimi. Nesvarbu ar „Kaizen“ audiojamas siekiant supaprastinti gamybos operacijas, optimizuoti inžinerinius procesus, pagerinti paslaugų teikimą ar tobulinti verslo strategijas, „Kaizen“ ikūnija išipareigojimą sukurti nuolat tobulėjančią aplinką. Ši filosofija yra naudojama kartu su „Lean“, „Agile“ ar QRM gamybos metodikomis.

Kartu su „Kaizen“ taip pat naudamas „PDCA“ ciklas (žr. 10 pav.). Tai valdymo metodas, taip pat vadinamas Demingo ratu ar Shewhart ciklu, kuris leidžia nulat kontroliuoti ir tobulinti procesus (Andrijauskaitė, 2023).



10 pav. „PDCA“ ciklas

Šaltinis: sudaryta remiantis Zohuri ir Patrick, (2021)

„PDCA“ ciklą sudaro keturi žingsniai (Zohuri ir Patrick, 2021):

1. Planavimas. Planavimo fazė orientuota į esamų ar naujų procesų įvertinimą ir tobulinimą. Norint sukurti efektyvų planą, labai svarbu nustatyti išmatuojamus tikslus. Siekiant pasiekti norimus rezultatus, patartina įgyvendinti mažesnius, lengvai pasiekiamus tikslus.

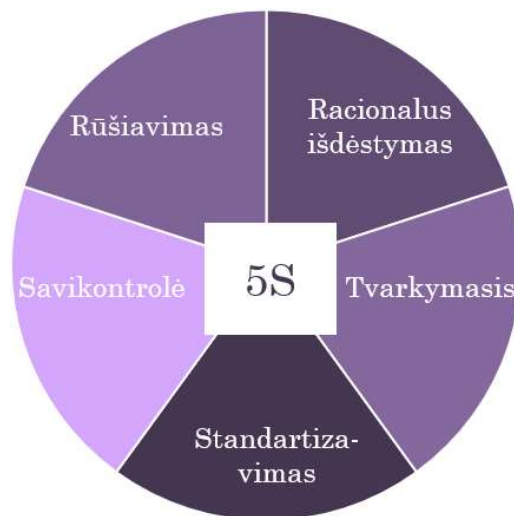
2. Darymas. Antrasis etapas apima suplanuotų pakeitimų įgyvendinimą, paprastai realizuojant nedidelius pakeitimus ir renkant duomenis, siekiant įvertinti jų efektyvumą. „Daryti“ „PDCA“ reiškia aktyvų politikos, procedūrų ir formų naudojimą, kad būtų pasiekti nurodyti tikslai, įskaitant duomenų rinkimą ir nustatytų protokolų laikymąsi. Nors įgyvendinimas gali pasirodyti paprastas, didžiausias iššūkis yra nuolat laikytis išipareigojimų vykdyti planą, periodiškai jį peržiūrėti ir, esant poreikiui, koreguoti. Vadovybės įsitraukimas yra gyvybiškai svarbus „PDCA“ aspektas, reikalaujantis nuolatinio atsidavimo ir nusistovėjusios įmonės filosofijos laikymosi.

3. Tikrinimas. „PDCA“ tikrinimo fazėje įvertinami duomenys ir rezultatai, gauti iš darymo etapo. Tai apima duomenų palyginimą su prognozuojamais rezultatais, visų galimų variantų vertinimą ir tyrimą, kur analizuojami pokyčiai darymo procese, palyginti su

pradinėmis planavimo gairėmis. Diagramų naudojimas palengvina tendencijų nustatymą keliuose „PDCA“ cikluose, suteikia įžvalgų apie įvairių pakeitimų efektyvumą bei tobulinimo galimybes.

4. Veikimas „PDCA“ cikle, kitaip vadinama pritaikymo faze, leidžia nuolat stebėti po darymo atliktus patobulinimus ir užtikrinti nuolatinį proceso gerinimą. Tai užtikrina „PDCA“ ciklo įsipareigojimą nuolat tobulinti, o ne grįžti prie neefektyvių procesų. Išorinės jėgos, tokios kaip konkurencija, technologijos lemia aplinkos sudėtingumą, tačiau kai pirmosios trys fazės vykdomos efektyviai, veikimo fazė tampa lengviau valdoma.

Įrankis, kuris taip pat gali padėti įgyvendinti „Kaizen“ filosofiją yra „5S“ metodika. Ją galime apibūdinti kaip sistemingą požiūrį į švarą ir gamybos efektyvumą. Ji neapsiriboja vien tik gamybos zonos tvarkos gerinimu, bet taip pat supaprastina visą gamybos procesą, nes sumažina išteklių švaistymą. Kruopštus gamybos procesų planavimas, valdymas ir reguliavimas naudojant „5S“ metodiką padaro operacijas lengvesnes, sumažina išlaidas, laiką bei brokuotos produkcijos skaičių gamyboje. Šis metodas, kaip pabrėžė Shahriaras ir kt. (2022), sukuria disciplinuotą, švarią ir gerai organizuotą darbo aplinką. „5S“ metodika yra pagrįsta 5 principais, kurie pateikti 11 paveiksle (žr. 11 pav.).



11 pav. „5S“ principai

Šaltinis: sudaryta remiantis Senthil Kumar ir kt. (2022)

Tyrėjai pabrėžia daugybę privalumų, susijusių su „5S“ pritaikymu, įskaitant (Hama Kareem ir Talib, 2015):

1. Nereikalingų veiklų mažėjimas. „5S“ sistema skatina efektyvumo didinimą per nereikalingų veiklų eliminavimą. Tai leidžia darbuotojams daugiau laiko skirti esminėms užduotims.

2. Žmogiškųjų klaidų ir nelaimingų atsitikimų mažėjimas. Tvarkingos, gerai organizuotos darbo vietos sumažina klaidų tikimybę ir padeda užtikrinti saugią darbo aplinką, taip sumažinant nelaimingų atsitikimų riziką.

3. Trumpesni darbuotojų mokymai. Standartizuotos darbo aplinkos leidžia darbuotojams greičiau suprasti ir integruoti darbo procesus, todėl reikalingi mokymai tampa trumpesni ir efektyvesni.

4. Trumpesnis įrankių paieškos laikas. Atsakingai sutvarkytos darbo vietos padeda darbuotojams greičiau rasti reikiamus įrankius ar medžiagas, taip sumažinant laiko švaistymą.

5. Mažesnis atsarginių dalių poreikis. „5S“ principai prisideda prie optimalaus atsargų lygio ir sumažina perteklinių atsargų kaupimą. Dėl šios priežasties sumažinamos atsargų sandėliavimo išlaidos.

6. Mažesnis turimų išteklių švaistymas. Tvarkinga darbo aplinka ir organizuoti procesai sumažina turimų išteklių švaistymą.

7. Mažesnis darbuotojų nereikalingų judesių naudojimas darbo vietoje. „5S“ padeda sumažinti nereikalingus darbuotojų judesius, taip padidinant darbo efektyvumą.

8. Darbo erdvės išnaudojimo gerinimas. Švari, organizuota darbo aplinka leidžia efektyviau panaudoti darbo erdvę.

9. Didesnis saugos lygis ir darbuotojų sąmoningumas. „5S“ padeda sukurti saugią darbo aplinką ir didina darbuotojų sąmoningumą saugos klausimais.

10. Efektyvesnis darbuotojų koordinavimas. Gerai organizuotos darbo vietos ir procesai padeda gerinti darbuotojų bendradarbiavimą ir koordinavimą.

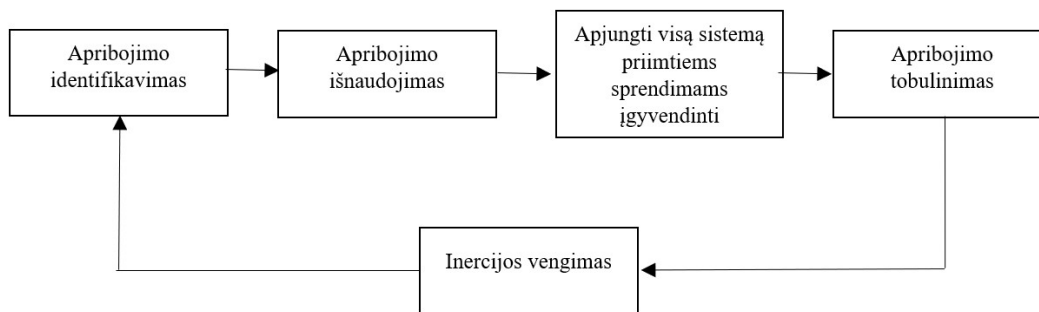
11. Aukštesnė produkto kokybė. Tvarkinga darbo aplinka turi tiesioginę įtaką produkto kokybei, padeda sumažinti defektų ir klaidų atsiradimo tikimybę.

12. Darbuotojų savidisciplinos ugdymas. „5S“ skatina darbuotojų asmeninę atsakomybę ir sąmoningumą, skatinant juos laikytis tvarkos ir organizacijos principų.

Apibendrinimas: „Kaizen“ skatina nuolatinį procesų tobulinimą, o „PDCA“ ciklas ir „5S“ yra veiksmingos priemonės šiam tikslui pasiekti. Kartu šios metodikos sudaro stiprią sąjungą, kurios pagrindu organizacijos siekia nuolatinės pažangos. „PDCA“ ciklo keturi žingsniai – planavimas, darymas, tikrinimas ir veikimas – sukuria sistemą, leidžiančią ne tik keisti, bet ir nuolat tobulinti procesus. Tai užtikrina, kad organizacija išlieka inovatyvi ir efektyvi, netgi esant įvairiems iššūkiams. „5S“ metodika yra efektyvus įrankis, leidžiantis įgyvendinti „Kaizen“ principus organizacijos darbo aplinkoje. Ji prisideda prie tvarkos ir efektyvumo didinimo, kokybės bei saugos lygio kėlimo. Taigi, naudojant šias metodikas kartu, organizacija gali sukurti nuolat tobulėjančią aplinką, efektyviai valdyti procesus ir skatinti darbuotojų atsakomybę bei sąmoningumą.

1.3.7. Kritinės grandinės projektų valdymas

CCPM (angl. *Critical Chain Project management*), kitaip kritinės grandinės projektų valdymas, yra projektų valdymo metodika, kurią 1990-aisiais sukūrė dr. E. Goldrattas. CCPM pabrėžia efektyvų užduočių atlikimą ir išteklių valdymą, kad projektai būtų įvykdyti laiku ir yra paremta apribojimų teorija (angl. *Theory of Constraints*) (Ghaffari ir Emsley, 2015). Apribojimų teorija pagrįsta penkiais žingsniais (Remeikienė, 2017) (žr. 12 pav.):



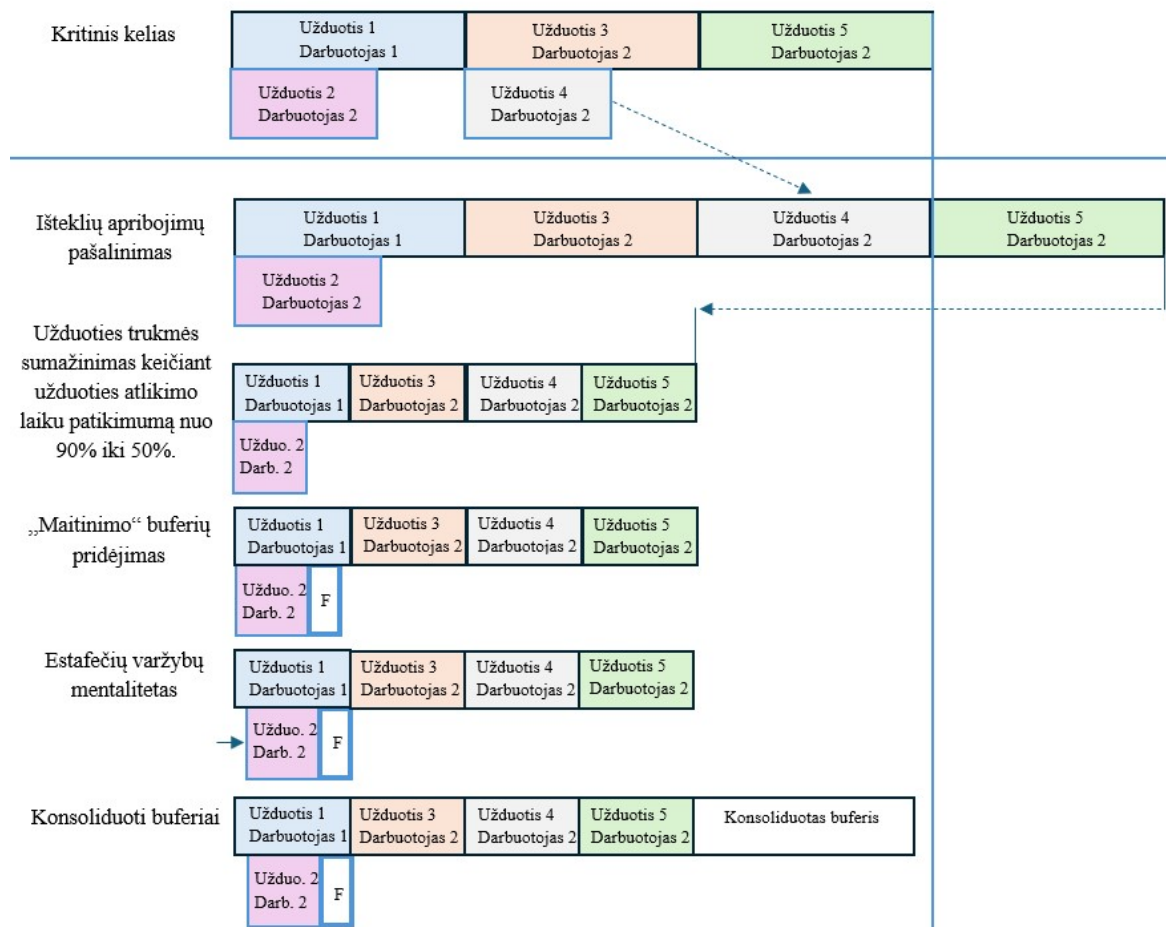
12 pav. Penki apribojimų teorijos žingsniai

Šaltinis: sudaryta remiantis Ellis (2016b); Remeikienė (2017)

1. Apribojimo identifikavimas. Šie apribojimai gali būti fiziniai (tokie kaip žaliavos, įrengimai, žmonės ir kt.) arba susiję su valdymu ir strategija. Labai svarbu atpažinti visas organizacijos ar sistemos ribas ir nustatyti joms prioritetus, atsižvelgiant į jų įtaką organizacijos tikslams.
2. Apribojimo išnaudojimas. Tikslas yra padaryti apribojimus kuo veiksmingesnius ir gauti didžiausią naudą iš jų.
3. Apjungti visą sistemą priimtiems sprendimams įgyvendinti. Kiekvienas sistemos elementas turi efektyviai išnaudoti sistemos apribojimus. Sinchronizuojant resursus su šiais apribojimais, pasiekama didžiausia sistemos išnaudojimo galimybė, nes apribojimai lemia jos pralaidumą.
4. Plėsti sistemos apribojimus. Jei pastangos nepriveda prie norimų rezultatų, būtina tobulinti sistemą.
5. Jei pavyksta įveikti apribojimą ir pasiekti tikslą, grįžtama prie pirmojo žingsnio ir ieškoma kito apribojimo. Neleidžiama inercijai tapti apribojimu.

Skirtingai nuo tradicinių metodų, CCPM pagrindinis dėmesys skiriamas projekto suvaržymų nustatymui ir išnaudojimui, pabrėžiant kritinį veiklos kelią ir priklausomybę nuo išteklių (Ghaffari ir Emsley, 2015). Kritinis kelias yra seka veiklų, kurios lemia projekto laiko trukmę, ir kiekviena veikla šioje sekoje yra esminė projekto sėkmei, nes jos trukdžiai tiesiogiai veikia viso projekto progresą. Nors CCPM yra reikšminga projektų planavimo naujovė, ji visų

pirma apima su kritiniu keliu susijusius aspektus ir nuolatinį tobulinimą. Ši metodika nepaiso platesnių projektų valdymo aspektų, tokių kaip vadovavimas, integracija ir valdymas, kurie gali būti sprendžiami taikant papildomus metodus, tokius kaip „Lean“ ar kiti principai. Ellisas, (2016b) pabrėžia, kad CCPM projekto planavimo logika yra paremta 5 pagrindiniais žingsniais (žr. 13 pav.).



13 pav. Penki CCPM žingsniai

Šaltinis: sudaryta remiantis Ellis (2016b)

1. Išteklių apribojimų pašalinimas. Užduotys turi būti perskirstomos taip, kad būtų išvengta situacijų, kai kelios užduotys reikalauja tų pačių išteklių tuo pačiu metu. Tai užtikrina efektyvesnę išteklių panaudojimą.

2. Užduoties trukmės sumažinimas keičiant užduoties atlikimo laiku patikimumą nuo 90 % iki 50 %. CCPM metodika teigia, kad žmonės dažnai linkę pateikti pernelyg konservatyvius įvertinimus. CCPM terminologijoje ši mąstysena vadinama „90 % tikrumu“. Pagrindinė idėja yra ta, kad žmogus, įvertindamas laikotarpį, per kiek atliks užduotį, prie

kiekvienos užduoties prideda didelius buferius, kurie yra pertekliniai, siekiant apsidrausti, kad užduotis bus atlikta laiku. Tačiau jei kiekviena užduotis įvertinama naudojant didelį buferį, tai lemia pervertintą ir per ilgai trunkantį bendrą projekto vykdymą. CCPM metodikoje teigiama, kad kiekviena užduotis turi vienodą galimybę būti atlikta laiku arba pavėluotai. Šiuo metodu siekiama pusiausvyros tarp ankstyvų ir vėlyvų užduočių, taip sušvelninant pernelyg pervertintą pirminių užduočių atlikimo poveikį.

3. „Maitinimo“ buferių pridėjimas. Tikslas yra kompensuoti nekritinių užduočių neapibrėžtumą buferiu, kurie siejasi su kritine užduotimi. Pavyzdžiui, 13 paveiksle (žr. 13 pav.) užduotis 2 yra nekritinė užduotis, tačiau siejasi su kritine. Ją užbaigus reikia pridėti maitinimo buferį (pažymėtą „F“). Paprastai šis buferis yra lygus pusei užduoties trukmės. Nors maitinimo buferiai yra įprastas CCPM bruožas, kai kurie šalininkai teigia, kad jie nereikalingi.

4. Estafėčių varžybų mentalitetas. Planuojant nekritines užduotis, jos sąmoningai atidedamos pradėti paskutinę įmanomą akimirką, įvertinant užduoties trukmę ir jos maitinimo buferį. Galima tai palyginti su estafetės bėgimu, kai kiekvienas bėgikas pradeda bėgti tik gavęs estafetę iš ankstesnio bėgiko. Šis metodas užtikrina, kad komandos nariai būtų visiškai įtraukti į užduoties atlikimą. Projektų valdymo srityje užduotys yra arba aktyviai vykdomos, arba visiškai neaktyvios, nėra jokio tarpinio būvio. 13 pav. užduotis perkeliama į dešinę, kad jos tiekimo buferio pabaiga sutaptų su 3 užduoties pradžia. Toks „estafetės bėgiko mentalitetas“ padeda išlaikyti dėmesį esamai užduočiai, sumažina nebaigtą darbą (angl. *Work in progress*) projekte ir galiausiai, padidina produktyvumą.

5. Konsoliduoti buferiai. Taikant kritinės grandinės projektų valdymo metodą, prie kritinės grandinės pabaigos pridedamas konsoliduotas buferis. Jis sudaro dalį kritinės grandinės ilgio. Dažniausiai naudojamas dydis yra 50 %, nors kai kurie siūlo tik 30 % visos užduoties ilgio. Svarbu pažymėti, kad 50 % kritinės grandinės laiko panaudojimas konsoliduotam buferiui, paisant kartu 4 žingsnio, reiškia trečdalį projekto laiko priskyrimo buferiui (žr. 1 formulę), o tai gali prieštarauti tradiciniams suvokimui. CCPM buferis nėra papildomas laikas kritinėms situacijoms, bet yra įtrauktas į projekto planą, kad būtų galima atsižvelgti į tai, kad kai kurios užduotys užtruks ilgiau nei tikėtasi. Konsoliduoto buferio dydžiui nustatyti naudojami įvairūs metodai, tačiau daugeliui specialistų tikslus matematinis buferio apskaičiavimas nėra toks svarbus, kaip užtikrinti, kad jis būtų pakankamai didelis, kad būtų galima absorbuoti užduočių svyravimus ir išlaikyti pirminį projekto tvarkaraštį.

$$\frac{\text{Pirminis planas}}{2} \cdot 1,5 = 0,75 \text{ pirminio plano} \quad (1)$$

Apibendrinimas. CCPM, arba kritinės grandinės projektų valdymas, yra metodika, kurios pagrindinis tikslas yra užtikrinti, kad projektai būtų įvykdyti laiku, efektyviai išnaudojant išteklius ir laiku atliekant paskirtas užduotis. CCPM pagrįsta kritinio kelio identifikavimu ir penkiais pagrindiniais žingsniais, siekiančiais efektyvaus projektų vykdymo: išteklių apribojimų pašalinimu, užduočių trukmės sumažinimu, maitinimo buferių pridėjimu, estafečių varžybų mentalitetu ir konsoliduotų buferių taikymu. Naudojant šią metodiką, siekiama sumažinti nebaigtą darbą ir padidinti produktyvumą projekte.

1.4. Projektinės gamybos problemos literatūroje

Projektinė gamyba šiuolaikinėje verslo aplinkoje susiduria su įvairiais iššūkiais ir problemomis. Sparčiai besikeičianti rinka, technologijų plėtra ir didėjantis konkurencinis spaudimas yra tik keli veiksniai, kurie gali turėti įtaką projektinės gamybos efektyvumui. Dahlo (2019) tyrime teigiama, kad pagrindinės problemos projektinėje gamyboje yra 8 kategorijų: inžinerinės (žr. 3 lentelę), darbo jėgos (žr. 4 lentelę), darbo aplinkos (žr. 5 lentelę), gamybos vadybos (žr. 6 lentelę), tiekėjų (žr. 7 lentelę), atsargų valdymo (žr. 8 lentelę), sudėtingumo (žr. 9 lentelę) bei laukimo (žr. 10 lentelę).

Inžinerinės problemos susijusios su inžinerinėmis užduotimis, ypač pabrėžiant sunkumus, susijusius su inžineriniais pakeitimais, kylančiais dėl įvairaus pobūdžio klaidų, specifikacijų koregavimų ar nesusipratimų dėl kliento iškeltų reikalavimų (Dahl, 2019).

3 lentelė. Inžinerinės kategorijos problemos

Problema	Paaškinimas
Kliento reikalavimų keitimas (Jünge ir kt., 2023b)	Produkto reikalavimai plačiai apibrėžiami projekto pradžioje ir nuolat keičiasi projekto eigoje, o tai kelia didžiulius iššūkius kokybei, išteklių panaudojimui, pristatymo laikui ir klientų pasitenkinimui.
Projektavimo klaidos (Kjersem, 2020; Mello ir kt., 2015)	Klaidos ar nesusipratimai projektavimo etape gali lemti inžinerinio ir (arba) gamybos proceso etapų perdarymą, dėl ko gali vėluoti dalių, mazgų ar gatavų gaminių pristatymas klientui.
Neaiškūs klientų reikalavimai (Ljagatšov, 2015)	Neaiškūs klientų reikalavimai gali sukelti įvairias problemas, pvz., vėlavimą, klaidingas interpretacijas ir galimas gamybos proceso

Problema	Paaiškinimas
	klaidas. Nesusipratimai kliento specifikacijose gali paskatinti perdarymą, o tai sąlygoja ilgesnį gamybos laiką.

Darbo jėgos problemos gali būti apibūdinamos kaip veiksniai susiję su darbo jėga, kurie turi neigiamą įtaką sklandžiam gamybos procesui.

4 lentelė. Darbo jėgos kategorijos problemos

Problema	Paaiškinimas
Darbuotojų įgūdžiai (Li ir kt., 2017; Mello ir kt., 2015)	Nepakankamas darbuotojų mokymas, sertifikavimas ar įgūdžiai gali sukelti vėlavimą ir pabloginti operacijų kokybę. Tai gali pailginti užduočių trukmę, viršijančią pradinį planą, o dėl prastos kokybės gali prireikti pergaminti produkciją.
Darbuotojų prieinamumas (Jiang ir kt., 2019; Kjersem, 2020; Li ir kt., 2017)	Darbo jėgos prieinamumo problema projektinėje gamyboje reiškia, kvalifikuotų darbuotojų nebuvimą ir nepasirengimą atlikti užduotis nustatytu laiku.
Žmogiškosios klaidos (Adaku ir kt., 2018; Stefansson ir kt., 2009)	Klaidos yra natūrali bet kurios darbo vietos dalis, ir jos gali atsitikti bet kam, bet kada. Gamyboje šios klaidos gali atsirasti dėl nepakankamo mokymo ar patirties, arba jos gali būti nelaimingų atsitikimų pasekmė. Klaidų aptikimas ir numatymas gali būti sudėtingas, o jų poveikis projektinės gamybos vykdymui gali būti įvairus.

Gamybinių patalpų ir infrastruktūros problemos gali apimti tinkamų gamybinių patalpų trūkumą, nepakankamą įrangos našumą ar jos gedimus. Tinkamai pritaikytos gamybos patalpos ir infrastruktūra yra labai svarbus aspektas projektinėje gamyboje, kadangi tai gali turėti įtaką projekto vykdymo greičiui.

5 lentelė. Gamybinių patalpų ir infrastruktūros problemos

Problema	Paaiškinimas
Darbo vietos fizinis apribojimas (Jiang ir kt., 2019)	Tam tikriems gaminiams dėl įvairių priežasčių reikia daug vietos. Projektinėje gamyboje gaminiai dažnai yra dideli ir susideda iš daugybės dalių. Vadinasi, reikalingos didelės sandėliavimo bei surinkimo zonos. Tai kelia sunkumus vykdant kelis gamybinius projektus vienu metu.
Našumas (Adaku ir kt., 2018; Li ir kt., 2017)	Našumo problema gamyboje pasireiškia, kai gamybinė įranga ar mašina negali patenkinti visų gamybos poreikių arba pagaminti pakankamo kiekio produktų per tam tikrą laikotarpį.
Darbo vietų tarpusavio sąsaja (Li ir kt., 2017; Mello ir kt., 2015)	Medžiagų judėjimo ir ryšio tarp darbo vietų efektyvumas daro didelę įtaką gamybinio projekto vykdymo laikui. Netinkamai išplanuotos darbo vietos sąlygoja ilgą žaliavų ir komponentų judėjimą tarp darbo centrų. Taip pat, efektyvus informacijos dalijimasis turi įtaką kiekvienos darbo vietos prioritetams. Laikas, sugaištas šiems aspektams, kaupiasi ir gali prisidėti prie viso proceso vilkinimo.
Įrangos gedimas (Stefansson ir kt., 2009)	Įrangos gedimai gali atsirasti dėl įvairių priežasčių, pvz., techninės priežiūros problemų, susidėvėjusių dalių, netinkamo įrangos naudojimo užduotims atlikti arba gamybos klaidų. Šių gedimų poveikis gali svyruoti nuo nedidelių nepatogumų, jei įranga lengvai pakeičiama, iki didelių vėlavimų, jei remontas ar įrangos keitimas užtrunka daug laiko. Nepriklausomai nuo masto, bet koks įrangos gedimas gali sutrikdyti gamybos procesą.

Gamybos vadyba yra verslo veiklos sritis, skirta efektyviai valdyti gamybos procesus ir išteklius siekiant pasiekti nustatytus tikslus. Tai apima planavimą, organizavimą, valdymą ir kontrolę gamybos veiklą, siekiant optimaliai panaudoti žmogiškuosius, finansinius,

materialinius ir technologinius išteklius gamybos procesui, taip pat užtikrinti, kad gaminiai būtų pagaminti laiku, kokybiškai ir efektyviai.

6 lentelė. Gamybos vadybos problemos

Problema	Paaškinimas
Gamybos planavimas (Fortes ir kt., 2023)	Projektinėje gamyboje dėl didelio neapibrėžtumo sudėtinga parengti tikslus planus. Dažni inžinerinio projektavimo pakeitimai gali turėti neigiamą įtaką gamybos planavimo veiklai.
Neaiškus prioritetų nustatymas (Bergström ir Persson, 2019)	Ši problema atsiranda tuomet, kai įmonė nepakankamai aiškiai identifikuoja ir nustato, kurioms užduotims, projektams ar užsakymams skiriama prioritetinė svarba. Tai gali sukelti problemų, tokias kaip resursų paskirstymo netikslumai, darbų atlikimo tvarkaraščių nesuderinamumas ir bendro efektyvumo stoka. Neaiškus prioriteto nustatymas gali lemti pernelyg didelį darbo krūvį tam tikroms funkcijoms, o kitos gali likti efektyviai neįdarbintos. Tai gali sukelti vėlavimus, didinti sąnaudas ir sumažinti bendrą gamybos efektyvumą bei produktyvumą
Klaidingi įvertinimai (Anwar ir Colliander, 2023)	Klaidingi projekto įvertinimai sąlygoja nustatyto biudžeto viršijimą, kurie gali būti skirstomi į techninius, psichologinius ir politinius – ekonominius faktorius. Techninis faktorius dažnai atsiranda dėl netinkamų projekto duomenų, projekto specifikacijų pakeitimų, blogų apimties apibrėžimų, nepatikimų prognozavimo metodų, klaidų ir nepakankamų techninių žinių. Psichologinės klaidingų įvertinimų priežastis yra optimizmo šališkumas, daugumos žmonių kognityvinis polinkis žiūrėti į ateities įvykius optimistiškiau nei tai, ką patvirtina praeities patirtis. Politiniai – ekonominiai neteisingi įvertinimai sąlygoja

6 lentelės tęsinys

Problema	Paaiškinimas
	strateginį klaidingą projekto skaičiavimų pateikimą. Pagrindinė problema slypi tame, kad dažnai sąmoningai sumažinamos išlaidos, siekiant padidinti tikimybę laimėti projektą, ypač konkurencinių konkursų atveju ir kai yra labai svarbu generuoti naujas pajamas. Tai reiškia, kad sąmoningai manipuluojama sąmatomis, todėl pranašumai atrodo didesni, o išlaidos mažesnės. Dažnai pranešama, kad projektai viršija savo biudžetą, nes vertintojai linkę būti pernelyg optimistiški, kad užtikrintų nustatytą projekto biudžetą.
Vienu metu vykstančių projektų trukdymas vienas kitam (Dahl, 2019; Kjersem, 2020)	Valdant keletą gamybos projektų vienu metu, kuriuose naudojama ta pati darbo jėga ir įrenginiai, dažnai kyla situacijų, kai veiklos sutampa. Tokiu atveju gali prireikti atlikti veiksmus tuo pačiu metu vienoje darbo vietoje arba naudojant bendrą įrangą.
Silpnas tarpfunkcinis supratimas ir koordinavimas (Bergström ir Persson, 2019)	Silpnas tarpfunkcinis supratimas ir koordinavimas reiškia iššūkius, kylančius dėl netinkamo bendravimo ir bendradarbiavimo tarp skirtingų organizacijos funkcinų sričių. Daugiafunkcinėje aplinkoje įvairūs padaliniai ar komandos, turinčios skirtingas pareigas ir patirtį, turi sklandžiai dirbti kartu, kad pasiektų bendrus tikslus. Silpnas tarpfunkcinis supratimas yra tai, kai vieno skyriaus asmenys aiškiai nesupranta kitų padalinių kolegų vaidmenų, iššūkių ir poreikių. Tai sąlygoja neigiamas pasekmes, kurios apima pailgėjusį pristatymo laiką,

6 lentelės pabaiga

Problema	Paiškinimas
	padidėjusias išlaidas, inžinerines problemas, perdarymą, neefektyvią gamybą, žemą kokybę ir vėluojančius užsakymus (Bergström ir Persson, 2019).
Komunikacijos trūkumas (Bergström ir Persson, 2019; Kjersem, 2020)	Efektyvi komunikacija tarp skirtingų funkcijų yra labai svarbi sklandžiam produktų srauto veikimui. Nepakankamas bendravimas lemia žemą pasitikėjimo lygį tarp projekto komandos narių ir suinteresuotųjų šalių.

Komponentų ir medžiagų tiekimas vaidina lemiamą vaidmenį projektinėje gamyboje. Tiekėjų patikimumas, kokybė ir jų galimybės tiesiogiai veikia gamybos projektų efektyvumą ir sėkmę. Efektyvus bendradarbiavimas su tiekėjais prisideda prie sklandžios gamybos ir bendros projekto sėkmės, o bet kokie tiekimo grandinės trūkumai gali lemti vėlavimą, padidėjusias išlaidas ir galimus projektinės gamybos proceso sutrikimus.

7 lentelė. Tiekimo problemos

Problema	Paiškinimas
Tiekėjų galimybės (Li ir kt., 2017)	Iššūkis kyla dėl didelės projektinės gamybos produktų įvairovės. O tai dažnai reikalauja unikalių dalių, kurių negali pagaminti dabartiniai tiekėjai. Daugelis projektinės gamybos atstovų panašias dalis ar medžiagas linkę įsigyti iš to paties tiekėjo. Tačiau kai reikalinga specifinė, nestandartinė dalis ar medžiaga, o ne vienas iš esamų tiekėjų negali įvykdyti reikalavimo, naujų tiekėjų identifikavimo ir įtraukimo procesas gali užtrukti daug laiko. Nesvarbu, ar tai būtų visiškai naujo tiekėjo paieška, ar darbas su esamu, siekiant patenkinti unikalią paklausą, dėl to galimas gamybos proceso vėlavimas. Laikas, praleistas tiekėjo paieškai ir pritaikymui, prisideda prie bendro produkto pristatymo laiko.

Problema	Paaiškinimas
Tiekėjų patikimumas (Dahl, 2019)	Planuojant gamybos procesą, itin svarbu tiksliai žinoti, kada bus pristatyti komponentai bei medžiagos. Ne laiku atvežti elementai gali sukelti projekto vėlavimus.

Projektinėje gamyboje nesilaikoma tradicijos kaupti didelius atsargų kiekius, tad perteklinių atsargų kaupimas nėra reikšminga problema atsargų valdymo kategorijoje (Dahl, 2019). Tačiau komponentų trūkumo ir komponentų prieinamumo problemos yra aktualios.

8 lentelė. Atsargų valdymo problemos

Problema	Paaiškinimas
Komponentų trūkumas (Burggraf ir kt., 2021)	Dažnai atskirų komponentų trūkumas lemia vėlesnį nei planuotą surinkimo procesą, o tai sąlygoja projekto vėlavimą. Projektinėje gamyboje svarbu užtikrinti, kad būtų laikomasi komponentų ir žaliavų pristatymo datų, tinkamo atsargų valdymo.
Komponentų prieinamumas (Dahl, 2019)	Tam tikrų medžiagų ar komponentų prieinamumas gali būti ribotas, o tai gali būti dėl tokių veiksnių kaip mažas tiekėjų skaičius arba gamtos išteklių trūkumas. Dėl šios priežasties projektas gali vėluoti.

Projektinėje gamyboje, kiekvienas kliento užsakymas yra unikalus ir reikalauja individualaus projektavimo bei gamybos per tam tikrą nustatytą laikotarpį ir už sutartą kainą. Projekto sudėtingumo lygis tampa kritiniu veiksniu, kadangi padidėjęs projekto sudėtingumas gali pakenkti bendram projekto pelningumui (Kaufmann ir Kock, 2022).

9 lentelė. Sudėtingumo problemos

Problema	Paaiškinimas
Gaminio sudėtingumas (Yu ir kt., 2016)	Projektinė gamyba yra strategija, orientuota į unikalų, sudėtingų, pagal klientų specifikacijas pritaikytų produktų kūrimą. Esminis iššūkis yra veiksmingas inžinerinių pokyčių valdymas. Šiai gamybos strategijai reikalingas vis sudėtingesni

Problema	Paaiškinimas
	gamybos procesai bei projektavimas. Nepaisant to, kad projektinės gamybos produktai gaminami ribotais arba nedideliais kiekiais, jie dažnai apima įvairius komponentus.
Naujas detalių/mazgų dizainas (Dahl, 2019)	Visiškai naujų dalių projektavimas ir gamyba paprastai reikalauja daugiau laiko, palyginti su jau sukurtų dalių gamyba. Gamybos aplinkoje darbuotojas paprastai yra efektyvesnis ir mažiau linkęs daryti klaidas dirbdamas su jau pažįstamu dizainu.
Naujos medžiagos (Dahl, 2019)	Numatyti, kaip nauja medžiaga elgsis įvairiuose procesuose, yra daug sudėtingiau nei suprasti anksčiau naudotos medžiagos elgesį.

Kai tam tikri procesai, kurie priklauso vienas nuo kito nėra tinkamai suvaldomi, gali sąlygoti laukimo problemas (Dahl, 2019; Iakymenko ir kt., 2022). Laukimo problema tai situacija, kai žmonės arba resursai turi laukti, kol bus prieinami reikalingi ištekliai arba bus įvykdytos būtinos sąlygos, kad galėtų tęsti savo veiklą.

10 lentelė. Laukimo problemos

Problema	Paaiškinimas
Gamybos ir inžinierių tarpusavio priklausomybė (Iakymenko ir kt., 2022)	Gamyba priversta laukti, kai inžinierių komanda vėluoja parengti brėžinius, dėl atsiradusių pakeitimų projekte ar kitų priežasčių.
Patvirtinimas iš klientų (Jünge ir kt., 2023b)	Laiko švaistymas pastebimas laukiant klientų patvirtinimo. Informacija daugybę kartų perduodama iš vienos pusės į kitą, kol galiausiai gaunamas galutinis patvirtinimas. Dėl šios priežasties sugaištama daug inžinerinio projektavimo valandų, kurios sudaro reikšmingą viso projekto valandų dalį.

Apibendrinimas. Projektinė gamyba šiuolaikinėje verslo aplinkoje susiduria su įvairiais iššūkiais, apimančiais inžinerinės, darbo jėgos, darbo aplinkos, gamybos vadybos, tiekėjų,

atsargų valdymo, sudėtingumo bei laukimo problemų kategorijas. Visos šios problemos turi neigiamą įtaką projektinės gamybos sėkmei, tad būtina ieškoti efektyviausių būdų joms išspręsti.

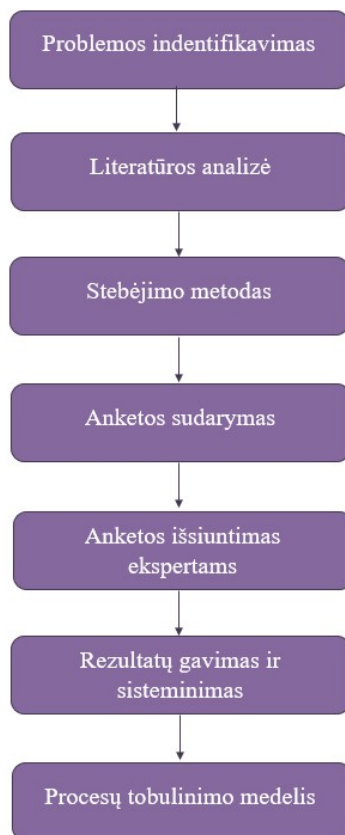
2. INŽINERINĖS GAMYBOS PAGAL UŽSAKYMĄ PROCESŲ TOBULINIMO TYRIMO METODOLOGIJA

Antroje šio baigiamojo darbo dalyje apžvelgti stebėjimo bei ekspertinės apklausos metodai, kuriais remiantis pasiūlytas projektinės gamybos procesų tobulinimo modelis. Kadangi inžinerinė gamyba pagal užsakymą yra specifinė šaka, šiame tyrime nagrinėjama mašinų ir įrengimų pramonės įmonė. Tyrimo loginė schema pateikta 14 paveiksle (žr. 14 pav.).

Tyrimo problema – tyrimų trūkumas inžinerinės gamybos pagal užsakymą procesų tobulinimo srityje yra didelis iššūkis, nes be analizės sunku nustatyti veiksmingas strategijas ir optimalius sprendimus gamybos procesų gerinimui. Tai gali tapti barjeru siekiant efektyviau naudoti išteklius ir pagerinti gaminių kokybę.

Tyrimo objektas – projektinės gamybos procesai.

Tyrimo tikslas – įvertinti projektinės gamybos tobulinimo galimybes, nustatyti inžinerinėje gamyboje pagal užsakymą vyraujančias problemas bei ištyrus pažangiausias gamybos gerinimo teorijas, pasiūlyti inžinerinės gamybos pagal užsakymą procesų tobulinimo modelį.

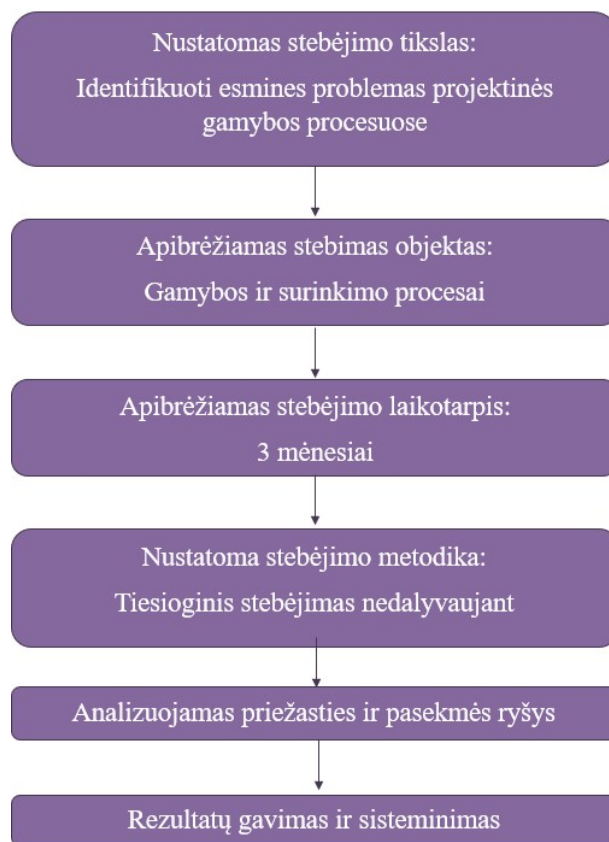


14 pav. Tyrimo loginė seka

Šaltinis: sudaryta autorės

Stebėjimo metodas. Remiantis Krausu (2023), stebėjimas yra pagrindinis mokslinio tyrimo metodas, leidžiantis geriau suprasti tiriamus objektus. Tad siekiant identifikuoti esmines problemas inžinerinės gamybos pagal užsakymą procesuose, buvo pasirinktas tiesioginis stebėjimas nedalyvaujant. Tai yra toks stebėjimo metodas, kai tyrėjas nedalyvauja procesuose, jis tik stebi vykstančius įvykius iš šalies, siekdamas suprasti juos neįsitraukdamas tiesiogiai (Ciesielska ir kt., 2018).

Stebėjimas buvo vykdomas projektinėje gamybos įmonėje, kuri siekia išlaikyti konfidencialumą. Ši įmonė užsiima metalo konstrukcijų bei pramonei skirtų įrengimų projektavimu ir gamyba. Stebėjimo metu buvo keliamas klausimas: kokios pagrindinės problemos vyrauja inžinerinėje gamyboje pagal užsakymą? Pradedant stebėjimą, buvo renkama ir sisteminta informacija apie faktorius, kurie lemia trukdžius bei ilgą proceso vykdymo laiką. Stebėjimo metodo struktūra apėmė 6 pagrindinius žingsnius, kurie pavaizduoti žemiau esančioje schemoje (žr. 15 pav.).



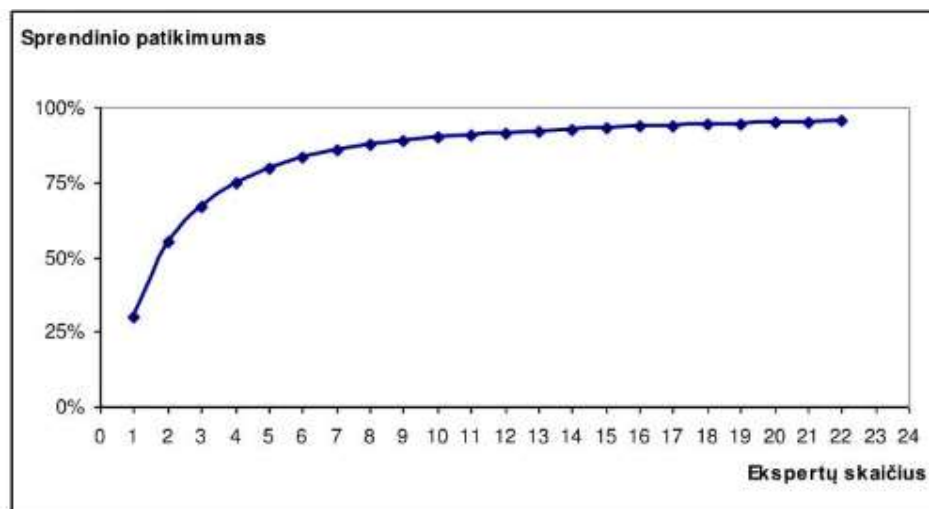
15 pav. Stebėjimo metodo struktūra

Šio stebėjimo tyrimo tikslas yra nustatyti pagrindines projektinės gamybos procesų problemas ir išanalizuoti jų priežastis. Tyrimo metu buvo pasirinkta stebėti gamybos bei surinkimo procesus. Stebėjimas vyko 3 mėnesius (2024 sausio-kovo mėnesiais). Stebėjimo

metodika apėmė gamybos ir surinkimo procesų stebėjimą po 1 valandą per dieną bei dalyvavimą kasdieniauose gamybos susirinkimuose. Pastebėtos bei susirinkimuose aptartos problemos buvo dokumentuojamos raštu. Toliau nustačius labiausiai pasikartojančias problemas buvo analizuojami ir identifikuojami jų priežastiniai ryšiai.

Ekspertų apklausa. Kitas metodas, naudotas magistro darbe – tai specialiai atrinktų žmonių grupės, išmanančių tam tikrą sritį, specifinės rūšies apklausa. Ekspertai, turintys svarbių žinių apie vertinamą objektą, prisideda prie mokslinio objektyvumo užtikrinimo.

Ekspertų skaičiaus nustatymas ir atranka. Įprastai tokią ekspertų grupę sudaro 5–7 nariai. Nustatant tinkamą ekspertų skaičių, vadovaujamas metodologinėmis prielaidomis, grindžiamomis įsitikinimu, kad egzistuoja netiesinis ryšys tarp ekspertų skaičiaus ir tikslumo (žr. 16 pav.). Nedidelės ekspertų grupės sprendimų ir vertinimų tikslumas nesiskiria nuo didelės ekspertų grupės rezultatų tikslumo (Tamulienė ir Vaičiuvienė, 2020). Sudarant ekspertų grupę, pagrindiniu kriterijumi laikyta ekspertų savybė – kompetencija, kuri leistų tinkamai analizuoti pasirinktą objektą (Vveinhardt ir Gulbovaitė, 2016).



16 pav. Ekspertų skaičiaus ir tyrimo patikimumo priklausomybės grafikas

Šaltinis: Tamulienė ir Vaičiuvienė, (2020)

Šiame tyrime ekspertas tai magistro laipsnį turintis mašinų ir įrengimų pramonės atstovas, projektinėje gamyboje dirbantis ne mažiau nei 3 metus ir užimantis vadovaujamas pareigas. Eksperimentinę apklausą, apie projektinės gamybos procesų tobulinimą, sudarė 11 klausimų (1 priedas).

Pirmuoju klausimu buvo siekiama sužinoti, kuris procesas, inžinerinėje gamyboje pagal užsakymą, mašinų ir įrengimų pramonėje yra sudėtingiausias. Sudėtingas procesas – tai

toks, kuris užtrunka daugiausia laiko ir patiriama daugiausia nuostolių. Visi gamybos procesai, pateikiami atsakymų variantuose, yra nagrinėjamos įmonės procesai.

Nuo 2 iki 8 klausimo buvo siekiama išsiaiškinti vieną iš tyrimo tikslų – kokios problemos vyrauja projektinėje mašinų ir įrengimų pramonėje. Atsakymų variantai buvo pasirinkti vadovaujantis Dahlo (2019) išskirtomis projektinės gamybos problemų kategorijomis bei atlikta literatūros analize. 9 – tuoju klausimu, siekiama įsitikinti ar stebėjimo metu užfiksuotos problemos, ekspertų nuomone, lemia projektinės gamybos sudėtingumą. 10 klausimu norima išgryninti, kuri projektinės gamybos problemų kategorija daro didžiausią neigiamą įtaką mašinų ir įrengimų pramonėje. Kadangi šio ekspertinio vertinimo tikslas taip pat yra įvertinti projektinės gamybos tobulinimo galimybes, paskutiniuoju klausimu, ekspertai buvo paklausti, ar jie sutinka su teiginiu, kad projektinės gamybos sudėtingumą lemiantys veiksniai ir problemos daro įtaką jos produktyvumui (produktyvumas parodo santykį tarp gamybos rezultato ir patirtų sąnaudų tam rezultatui pasiekti).

Dalis klausimų yra pateikiami naudojant Likerto bei pastovios sumos skales. Likerto skalėje, respondento prašoma nustatyti teiginio teisingumą, įvertinant jį nuo 1 iki 5, kai 1 – visiškai nesutinku, 2 – nelabai sutinku, 3 – vidutiniškai sutinku, 4 – sutinku, 5 – labai sutinku. Remiantis Dikčiumi (2011), naudojant pastovios sumos vertinimo skalę respondentui pateikiamas tam tikras balų kiekis, kurį pastarasis turi padalinti ir nurodyti kokį balų skaičių skiria vienam ar kitam objektui.

Ekspertinis tyrimas laikomas patikimu tik tada, kai ekspertų atsakymai yra suderinti. Suderinamumo lygis vertinamas pagal konkordacijos koeficientus. Dažniausiai pasitelkiamas Kendall'o konkordacijos koeficientas W . Šis koeficientas kinta nuo 0 iki 1. Jei ekspertų nuomonės yra panašios, tai jis siekia 1. Priešingai, jei ekspertų vertinimai yra priešaringi, Kendall'o konkordacijos koeficientas būna lygus 0 (Riazanova ir Žilinskienė, 2019).

Norint apskaičiuoti šį koeficientą, pirmiausia reikia atsakymus suranguoti, t. y. įvertinti balais. Tuomet skaičiuojamas rangų sumų vidurkis a pasinaudojant 1 formule:

$$a = 0,5m(k + 1) \quad (1)$$

čia: m – ekspertų skaičius, k – pateiktų alternatyvų skaičius.

Toliau skaičiuojama nuokrypių nuo įverčių sumos vidurkio kvadratų suma S^2 pagal 2 formulę:

$$S^2 = \sum_{j=1}^k (\sum_{i=1}^m x_{ij} - a)^2 \quad (2)$$

čia: a – įverčių sumų vidurkis, x_{ij} – i -tojo eksperto j -tosios alternatyvos vertinimas (rangas), kai $i = 1, 2, \dots, m$ ir $j = 1, 2, \dots, k$.

Žinant šias reikšmes, pagal 3 formulę, apskaičiuojamas konkordacijos koeficientas W :

$$W = \frac{12S^2}{m^2(k^3-k)} \quad (3)$$

čia: m – ekspertų skaičius, k – pateiktų alternatyvų skaičius.

Pasinaudojus tyrime surinkta informacija, nustatytos pagrindinės inžinerinės gamybos pagal užsakymą problemos ir sudėtingiausi procesai mašinų ir įrengimų pramonėje, bei sudarytas inžinerinės gamybos pagal užsakymą procesų tobulinimo modelis.

3. INŽINERINĖS GAMYBOS PAGAL UŽSAKYMĄ PROCESŲ TOBULINIMO TYRIMO REZULTATAI

3.1. Gamybos ir surinkimo procesų stebėjimo rezultatai

Gamybos ir surinkimo procesų stebėjimo metu bei dalyvaujant gamybiniuose susirinkimuose, buvo nustatyta keletas opių problemų, kurios turėjo įtakos veiklos efektyvumui ir rezultatams. Stebėjimo laikotarpyje buvo vykdomi 35 skirtingų apimčių projektai, iš kurių 10 buvo inžinerinės gamybos pagal užsakymą tipo. Lentelėje pateiktos pastebėtos problemos ir jų priežastiniai ryšiai. (žr. 11 lentelę).

11 lentelė. Projektinės gamybos problemos ir jų priežastys

Pasekmė	Priežastis
Komponentų vėlavimas	Sudėtinga paslaugų ir prekių pirkimo procedūra
Projekto vėlavimas	Sutartyje nurodomas nerealus gamybos terminas
Biudžeto viršijimas	
Brokas	Darbuotojų įgūdžių stoka
Projekto vėlavimas	
Biudžeto viršijimas	
Brokas	Projektavimo klaidos
Biudžeto viršijimas	
Vienu metu vykstančių projektų trukdymas vienas kitam (blaškomasi tarp naujo ir seno projekto)	
Projekto vėlavimas	Klientų noras keisti techninę užduotį po sutarties pasirašymo
Vienu metu vykstančių projektų trukdymas vienas kitam (blaškomasi tarp naujo ir seno projekto)	
Projektavimo klaidos	Komunikacijos trūkumas
Komponentų vėlavimas	
Biudžeto viršijimas	
Projekto vėlavimas	

11 lentelės tęsinys

Pasekmė	Priežastis
Projekto vėlavimas	Neaiškus prioritetų nustatymas gamyboje
Biudžeto viršijimas	
Brokas	Nekokybiškos subrangos paslaugos
Projekto vėlavimas	
Projekto vėlavimas	Nepakankamas personalo kiekis
Vienu metu vykstančių projektų trukdymas vienas kitam	

Šaltinis: sudaryta autorės

Pastebėta, kad projektinėje gamyboje vyrauja vėlavimo, biudžeto viršijimo, broko, komponentų vėlavimo, projektavimo klaidų bei vienu metu vykstančių projektų trukdymo vienas kitam problemos. Visos šios problemos turi tam tikrus, priežastinius ryšius.

Įmonė, kurioje buvo atliekamas stebėjimas, priklauso įmonių grupei, kurioje vyrauja sudėtingas pirkimų valdymo procesas. Dėl šios priežasties buvo susiduriama su komponentų ir žaliavų vėlavimu. Pastebėta, kad sudarant sutartis su klientais būna nurodomas nerealus gamybos terminas, siekiant laimėti paskelbtą pirkimų konkursą. Tačiau nepakankamai vertinamas projekto sudėtingumas, kuris sąlygoja ilgą projektavimo procesą. Tai sukelia projekto vėlavimą bei biudžeto viršijimą dėl susikaupusių viršvalandžių, siekiant įvykdyti projektą laiku.

Kitas iššūkis, su kuriuo susidūrė projektinės gamybos įmonė, yra darbuotojų įgūdžių trūkumas atliekant darbus. Dėl šios priežasties buvo susiduriama su kokybinėmis problemomis, ženkliai viršijamas projekto biudžetas ir jam skirtas laiko terminas. Dažniausiai šios problemos vyravo dažymo, pjovimo plazma, lankstymo bei valcavimo procesuose dėl darbuotojų įgūdžių stokos naudojantis nauja įranga.

Trečioji problema, kuri buvo pastebėta, yra susijusi su projektavimo klaidomis. Dėl šių klaidų, įgyvendinant įrangos dizainą, gamyboje susiduriama su didesniu broko procentu, biudžeto viršijimu ir sunkumais koordinuojant vienu metu vykstančius projektus. Šios klaidos trukdo vienu metu vykstantiems projektams, nes projektavimo klaidos pasirodo tik gamybos procese, o projektuotojai, atsakingi už sukurtą dizainą, jau yra užsiėmę kito projekto veiklomis. Šios klaidos buvo susijusios su netinkamu medžiagos parinkimu pjūklo rėmui, netinkamu juostos įtempimo mechanizmu, kuris lėmė blogą juostos padėtį, ir nestandžiu kameros stovo dizainu.

Projektų vykdymo metu buvo susiduriama su klientų noru keisti techninę užduotį po sutarties pasirašymo. Tai sukėlė didelį nestabilumą projektų eigai, o tai turėjo įtaką ne tik

terminams, bet ir resursų paskirstymui. Be to, buvo pastebėta komunikacijos bei bendradarbiavimo stoka tarp darbuotojų. Tai nulėmė klaidingus sprendimus bei neefektyvų darbo eigos valdymą, kuris sąlygojo biudžeto viršijimą. Dėl netinkamos komunikacijos viename iš stebimų projektų, buvo per vėlai užsakytas vienas iš pagrindinių įrengimo komponentų ir tai sukėlė projekto vėlavimus. Kitame projekte, dėl komunikacijos stokos, projektuotojai buvo netinkamai informuoti dėl įrangai skirtos vietos klientų gamykloje ir suprojektavo ją per didelę. Ši klaida buvo pastebėta tik parengus galutinį įrangos 3D modelį. Dėl šios klaidos projektavimui skirtas laikas ir biudžetas buvo viršijami.

Taip pat buvo pastebėta neaiški gamybos prioritetų nustatymo tvarka. Tai sukėlė kai kurių projektų nukrypimą nuo numatytų gamybos planų ir nedidelius biudžeto viršijimus, nes kai kuriuos gamybos darbus teko užsakyti išorėje, siekiant sumažinti projektų terminų nuokrypius. Nekokybiškos subrangos paslaugos sukėlė daugybę problemų, pradedant nuo prastos kokybės gaminių ir paslaugų, kurios neatitiko kliento lūkesčių, ir baigiant nukrypimais nuo gamybos plano ar netinkamu aptarnavimu. Tai padarė neigiamą poveikį ne tik vienam projektui, bet ir įmonės reputacijai apskritai. Nepakankamas personalo kiekis, vykdant skirtingus projektus vienu metu, lėmė perkrovą esamam personalui, vėlavimus projektų vykdyme bei kokybės problemas.

Stebėjimo metu nustatyti įvairūs iššūkiai, su kuriais susiduria projektinės gamybos įmonė, įskaitant sudėtingą pirkimų tvarką, komunikacijos trūkumus, nekokybiškas subrangos paslaugas, nepakankamą personalo kiekį. Šie iššūkiai reikalauja stiprinti pirkimų valdymo procesus, gerinti komunikaciją ir užtikrinti kokybišką resursų panaudojimą, siekiant išvengti vėlavimų ir biudžeto viršijimo bei pagerinti įmonės veiklos efektyvumą.

3.2. Projektinės gamybos problematikos ekspertinės apklausos rezultatai

Norint nustatyti mašinų ir įrengimų projektinės gamybos procesų tobulinimo galimybes, sudaryta ekspertinės apklausos anketa. Apklausoje dalyvavę ekspertai, tai magistro laipsnį turintys mašinų ir įrengimų pramonės atstovai, projektinėje gamyboje dirbantis ne mažiau nei 3 metus ir užimantys vadovaujamas pareigas.

Dalis tyrimo klausimų pateikta naudojant pastovios sumos vertinimo skalę, todėl būtina apskaičiuoti, ar ekspertų nuomonės yra suderinamos. Tam naudojamas Kendall'o konkordacijos koeficientas W. Nuomonių suderinamumas apskaičiuojamas pagal 2 skyriuje pateiktas formules.

Ekspertams pateikti mašinų ir įrengimų, inžinerinės gamybos pagal užsakymą, procesai ir paprašyta juos sureitinguoti pagal sudėtingumą, t. y. procesas, kuris užtrunka daugiausia laiko

ir patiriama daugiausia nuostolių. Ekspertų priskirti balai ir Kendall'o konkordacijos koeficientas (W) pateiktas 12 lentelėje (žr. 12 lentelę).

12 lentelė. Pagal sudėtingumą ekspertų išreitinguoti projektinės gamybos procesai

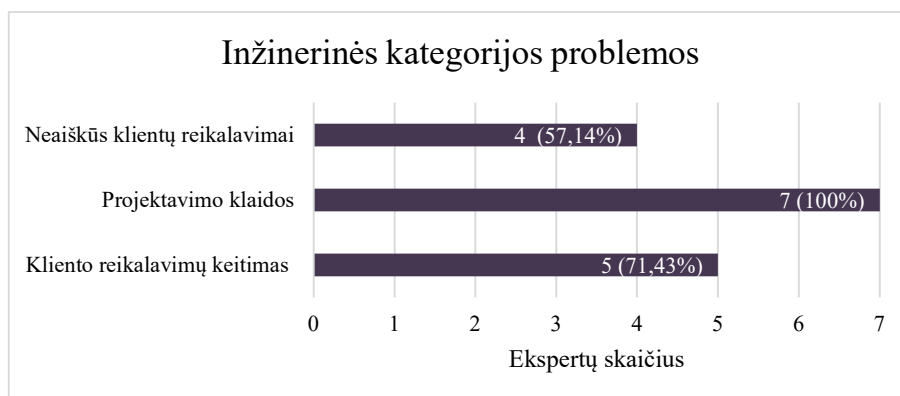
	Ekspertai							Ekspertai							R	S ²
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7		
Procesas	Balai							Rangas								
Techninės užduoties projektavimui gavimas ir analizė	5	0	1	3	1	4	5	7	11	9	8	9	7	7	58	161,65
Rinkos analizė	0	0	1	0	1	1	0	13	11	9	14	9	12	13	81	1275,51
Pirminio koncepto rengimas	5	5	1	2	1	1	5	7	7	9	10	9	12	7	61	246,94
Pasiūlymo sudarymas	5	5	1	1	1	2	5	7	7	9	11	9	9	7	59	188,08
Projekto planavimas	5	10	1	3	1	2	5	7	4	9	8	9	9	7	53	59,51
Projektavimas	10	15	17	14	18	19	10	3	2	2	2	3	2	3	17	800,08
Reikalingų komponentų ir žaliavų užsakymas bei gavimas	15	20	17	14	19	19	15	1	1	2	2	2	2	1	11	1175,51
Gamyba	15	10	9	11	15	13	15	1	4	5	5	4	4	1	24	453,08
Surinkimas	5	5	15	21	8	8	5	7	7	4	1	5	5	7	36	86,22
Programavimas	10	15	25	14	23	20	10	3	2	1	2	1	1	3	13	1042,37
Testavimas	10	10	4	6	3	3	10	3	4	7	7	7	8	3	39	39,51
Įrenginio pristatymas klientui	0	0	1	1	0	0	0	13	11	9	11	14	14	13	85	1577,22
Montavimas	5	0	5	9	6	2	5	7	11	6	6	6	9	7	52	45,08
Paleidimas	10	5	2	1	3	6	10	3	7	8	11	7	6	3	45	0,08
															a=	45,29
															Suma S ² =	7150,86
															W=	0,64

Šaltinis: sudarytas autorės

Remiantis gautais rezultatais, galima teigti, kad ekspertai sudėtingiausiais mašinų ir įrengimų projektinės gamybos procesais laiko – reikalingų komponentų ir žaliavų užsakymą bei gavimą, projektavimą, programavimą, gamybą ir surinkimą. Patys lengviausi projektinės gamybos procesai, ekspertų nuomone, yra įrenginio pristatymas klientui ir rinkos analizė. Siekiant išsiaiškinti ekspertinio vertinimo tyrimo patikimumą, atliekami skaičiavimai atsakymų suderinamumui vertinti. Gautas konkordacijos koeficientas $W=0,64$, rodantis, kad ekspertų nuomonės yra suderinamos aukščiau nei vidutiniškai.

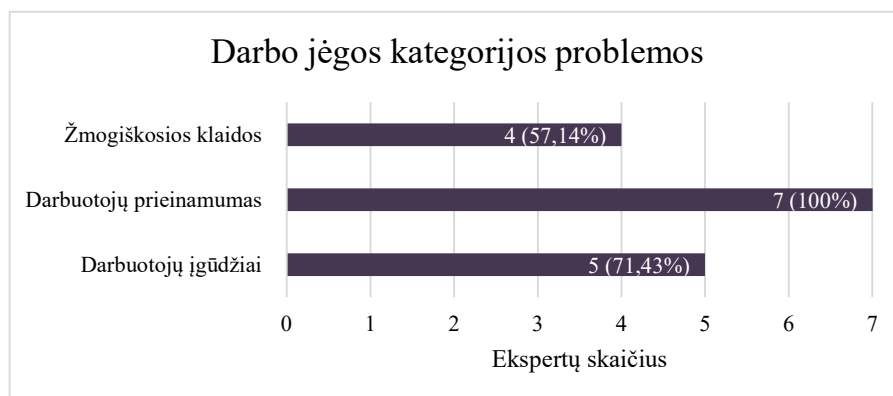
Apklausos metu, nuo 2 iki 8 klausimo, ekspertų prašoma pasirinkti dominančias problemas kiekvienoje projektinės gamybos problemų kategorijoje, kurios yra būdingos mašinų

ir įrengimų inžinerinėje gamyboje pagal užsakymą. Ekspertų atsakymai pateikiami nuo 16 iki 22 paveiksluose.



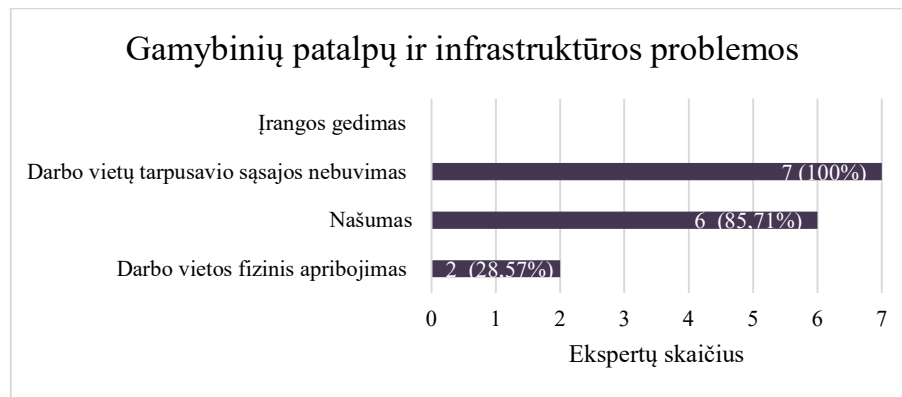
17 pav. Projektinės gamybos, inžinerinės kategorijos problemų, ekspertinis vertinimas
Šaltinis: sudaryta autorės

Remiantis ekspertų nuomone, pagrindinė inžinerinės kategorijos problema yra projektavimo klaidos. Visi apklausti ekspertai ją paminėjo kaip labiausiai pasikartojančią. Antrą vietą užėmė klientų reikalavimų keitimas, o trečiąją vietą užėmė neaiškūs klientų reikalavimai.



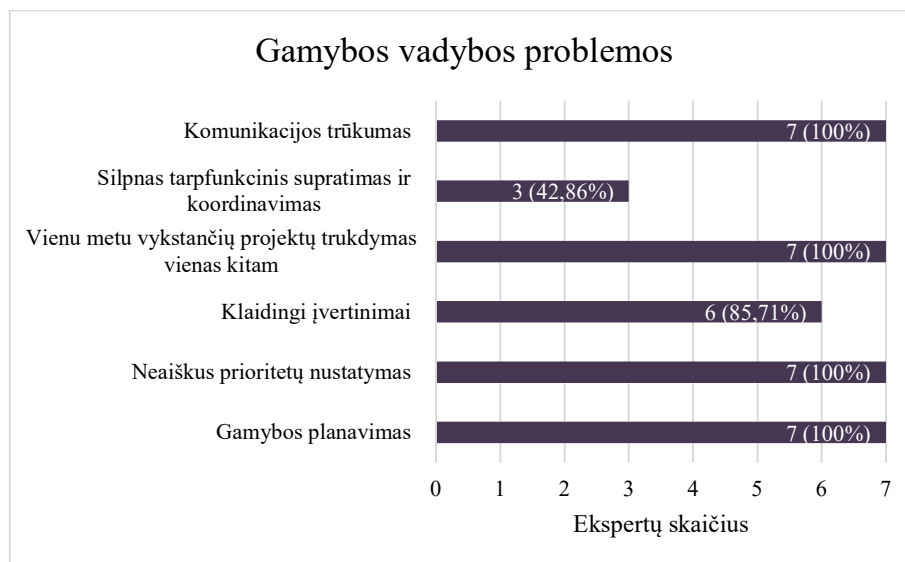
18 pav. Projektinės gamybos, darbo jėgos kategorijos problemų, ekspertinis vertinimas
Šaltinis: sudaryta autorės

Ekspertai teigia, kad pagrindinė darbo jėgos kategorijos problema yra darbuotojų prieinamumas. Visi apklausti ekspertai ją paminėjo kaip dominuojančią problemą. Vadinas, mašinų ir įrengimų projektinėje gamyboje, ekspertų nuomone nėra pakankamai kvalifikuotų darbuotojų, pasiruošusių atlikti užduotis pagal konkretų projektą. Antrąją vietą darbo jėgos problemų kategorijoje užima darbuotojų įgūdžiai. Tai rodo, kad projektinėje gamyboje dažnai pasitaiko situacijų, kai darbuotojai neturi pakankamai darbui reikalingų įgūdžių, kas gali lemti vėlavimus ir prastos kokybės operacijas. Trečiąją vietą užima žmogiškosios klaidos.



19 pav. Projektinės gamybos, gamybinių patalpų ir infrastruktūros problemų, ekspertinis vertinimas
Šaltinis: sudaryta autorės

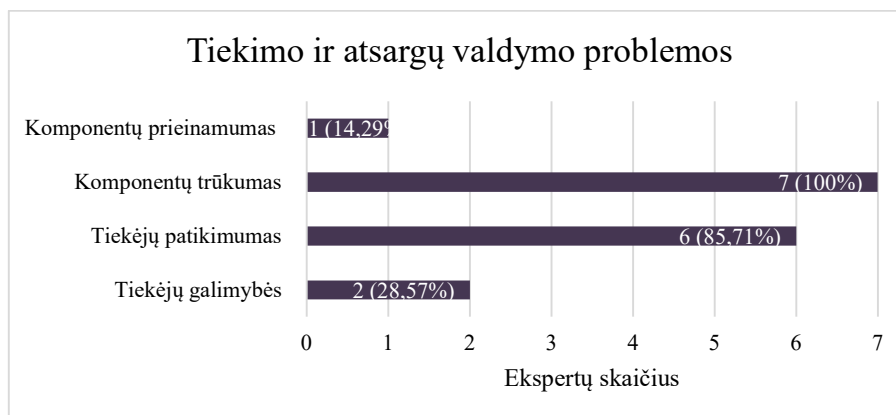
Iš pateikto grafiko matyti, kad visi ekspertai sutinka, kad labiausiai pasikartojanti problema yra darbo vietų tarpusavio sąsajos nebuvimas. Tai rodo, kad mašinų ir įrengimų pramonėje vyrauja netinkamai išplanuotos darbo vietos, kurios sąlygoja ilgą žaliavų ir komponentų judėjimą tarp darbo centrų arba efektyvaus informacijos dalijimosi nebuvimą tarp darbo centrų, o tai turi įtaką kiekvienos darbo vietos prioritetų nustatymui. Našumą, kaip dominuojančią problemą išskiria 6 ekspertai, tai yra 85,71 % apklaustųjų, ir ji užima antrąją vietą. Darbo vietos fizinį apribojimą išskiria 28,57 % respondentų, o įrangos gedimo nei vienas iš ekspertų neišskyrė kaip dominuojančios problemos.



20 pav. Projektinės gamybos, vadybos problemų, ekspertinis vertinimas
Šaltinis: sudaryta autorės

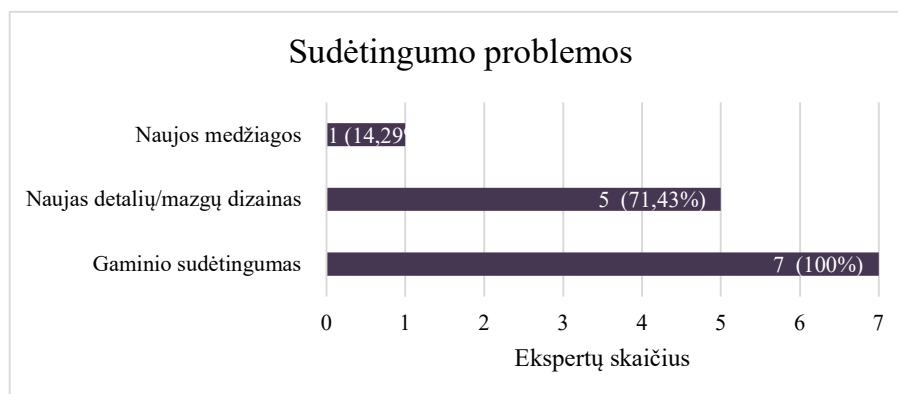
Anot visų septynių apklaustų ekspertų, yra keturios pagrindinės gamybos vadybos kategorijos problemos: komunikacijos trūkumas, vienu metu vykstančių projektų trukdymas vienas kitam, neaiškus prioritetų nustatymas ir gamybos planavimas. Tai rodo, kad mašinų ir įrengimų projektinėje gamyboje dėl vienu metu vykstančių projektų yra sunku nustatyti

prioritetus, kas sąlygoja ir didelį neapibrėžtumą, o tai apsunkina gamybos planų rengimą. 85,71 % apklaustųjų taip pat išskiria klaidingų įvertinimų problemą, kuri yra susijusi su neteisingu laiko ir biudžeto įvertinimu. Paskutinėje vietoje ekspertai išskiria silpną tarpfunkcinį supratimą ir koordinavimą.



21 pav. Projektinės gamybos, tiekimo ir atsargų valdymo problemų, ekspertinis vertinimas
Šaltinis: sudaryta autorės

Analizuojant atsakymų duomenis apie tiekimo ir atsargų valdymo problemas, paaiškėjo, kad pagrindinė problema yra komponentų trūkumas. Tai komplikuoja gamybos projektų valdymą ir didina vėlavimo riziką. Iš septynių apklaustųjų, šeši sutinka, kad tiekėjų patikimumas taip pat yra viena iš didžiausių tiekimo ir atsargų valdymo problemų. Tai reiškia, kad tiekėjai, su kuriais dabar bendradarbiaujama, ne visada laikosi pristatymo sąlygų, kaip buvo susitarta. Tik nedaugelis ekspertų pripažįsta, kad komponentų prieinamumas ir tiekėjų galimybės yra svarbi problema. Vadinasi, mašinų ir įrengimų pramonėje dažnai nenaudojami labai reti komponentai ir nėra bendradarbiaujama su tiekėjais, kurie nesugeba užtikrinti reikiamų žaliavų prieinamumo.



22 pav. Projektinės gamybos, sudėtingumo problemų, ekspertinis vertinimas
Šaltinis: sudaryta autorės

Ekspertų nuomone, gaminio sudėtingumas ir naujų detalių bei mazgų dizainas yra svarbiausi iššūkiai, vertinant sudėtingumo problemos kategoriją. Šios problemos reikalauja efektyvaus inžinerinių pokyčių valdymo. Tai ypač svarbu mašinų ir įrengimų projektinės gamybos strategijoje, kurioje vis daugiau dėmesio skiriama sudėtingesniems gamybos procesams ir projektavimui. Tik vienas ekspertas, kaip dominuojančią sudėtingumo problemą įvardija naujų medžiagų naudojimą, tai rodo, kad naujų medžiagų naudojimas nėra dažnai pasikartojanti problema projektinėje, mašinų ir įrengimų gamyboje.



23 pav. Projektinės gamybos, laukimo problemų, ekspertinis vertinimas

Šaltinis: sudaryta autorės

Vertinant projektinės gamybos laukimo kategorijos problemas, matome, kad visi ekspertai sutinka, kad pagrindinė problema yra gamybos ir inžinierių tarpusavio priklausomybė. Tad galime daryti išvadą, kad projektinėje gamyboje, gamybai tenka dažnai laukti, kol inžinierių komanda pateiks reikalingus brėžinius ar suteiks reikalingas konsultacijas. Be to, keturi iš septynių ekspertų pabrėžia, kad dar viena svarbi problema yra patvirtinimo iš klientų laukimas.

Remiantis stebėjimo metodo rezultatais, 9 klausimu, ekspertų paklausta, ar jie sutinka, kad pastebėtos problemos, jų nuomone, daro įtaką projektinės gamybos sudėtingumui. Ekspertų paprašyta priskirti atitinkamą balų skaičių pastebėtoms problemoms (1 – visiškai nesutinku, 2 – nelabai sutinku, 3 – vidutiniškai sutinku, 4 – sutinku, 5 – labai sutinku). Kuo balų skaičius didesnis, tuo problema yra aktualesnė ir daro didesnę įtaką mašinų ir įrengimų projektinėje gamyboje (žr. 13 lentelę).

13 lentelė. Stebėjimo metu užfiksuotų problemų aktualumo projektinėje gamyboje ekspertinis vertinimas

	Ekspertai							Suma
	1	2	3	4	5	6	7	
Procesas	Balas							
Sudėtinga paslaugų ir prekių pirkimo procedūra	5	5	5	5	5	4	5	34
Sutartyje nurodomas nerealus gamybos terminas	4	3	3	5	3	4	4	26
Darbuotojų įgūdžių stoka	2	4	4	4	4	4	2	24
Projektavimo klaidos	5	4	4	4	4	4	4	29
Klientų noras keisti techninę užduotį po sutarties pasirašymo	4	3	4	3	4	5	4	27
Komunikacijos trūkumas	4	5	4	5	4	5	4	31
Neaiškus prioritetų nustatymo gamyboje	4	4	4	5	5	4	5	31
Nekokybiškos subrangos paslaugos	4	3	4	4	1	1	2	19
Nepakankamas personalo kiekis	4	3	4	4	2	2	4	23

Šaltinis: sudaryta autorės

Vertinant gautus rezultatus, galima daryti išvadą, kad visi ekspertai sutinka, kad pastebėtos problemos, tokios kaip sudėtinga paslaugų ir prekių pirkimo procedūra, projektavimo klaidos, neaiškus prioritetų nustatymo gamyboje ir komunikacijos trūkumas, daro neigiamą įtaką mašinų ir įrengimų gamyboje.

Dešimtuoju klausimu siekiama nustatyti, kurios iš išvardintų, projektinės gamybos problemų kategorijų, turi didžiausią neigiamą įtaką mašinų ir įrengimų pramonei. Ekspertų paprašyta padalinti 100 taškų tarp minėtų kategorijų atsižvelgiant į tai, kuri, jų nuomone, turi didžiausią neigiamą įtaką. Kuo balų skaičius didesnis, tuo didesnė neigiama įtaka (žr. 14 lentelę).

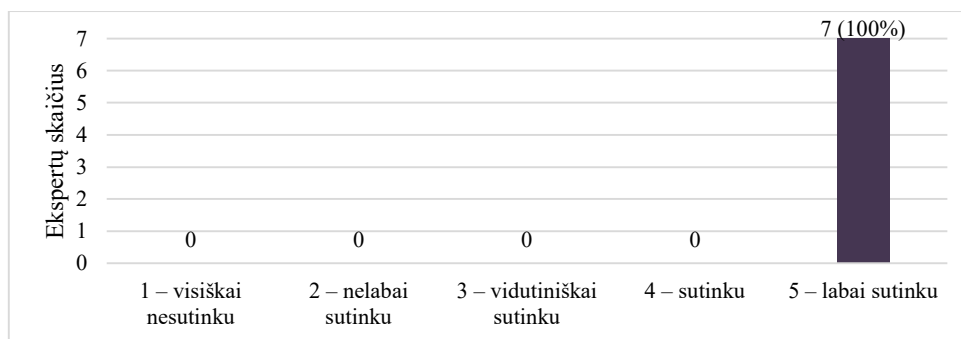
14 lentelė. Didžiausią neigiamą įtaką turinčių projektinių gamybos kategorijų ekspertinis vertinimas

	Ekspertai							Ekspertai							R	S ²
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7		
	Balai							Rangas								
Inžinerinės kategorijos problemos	15	20	7	18	16	27	12	3	2	6	3	3	1	4	22	17,16
Darbo jėgos kategorijos problemos	15	20	17	23	21	18	17	3	2	3	2	2	3	3	18	66,31
Gamybinių patalpų ir infrastruktūros problemos	20	5	12	5	13	14	22	2	6	5	6	4	4	2	29	8,16
Gamybos vadybos problemos	25	30	27	28	26	22	27	1	1	1	1	1	2	1	8	329,16
Tiekimo ir atsargų valdymo problemos	15	10	22	13	8	9	7	3	4	2	4	5	5	6	29	8,16
Sudėtingumo problemos	5	10	13	8	8	9	12	6	4	4	5	5	5	4	33	47,02
Laukimo problemos	5	5	2	5	8	1	3	6	6	7	6	5	7	7	44	318,88
															a=	26,14
															Suma S ² =	794,86
															W=	0,58

Šaltinis: sudaryta autorės

Analizuojant gautus ekspertinio vertinimo rezultatus, didžiausią neigiamą įtaką turinti projektinės gamybos problemų kategorija yra gamybos vadybos problemos. Net 6 iš 7 ekspertų šiai problemų kategorijai priskyrė aukščiausius balus. Antroji vieta, vertinant neigiamą įtaką darančias projektinės gamybos problemų kategorijas, yra darbo jėgos kategorijos problemos. Du iš septynių ekspertų šiai kategorijai priskyrė 2-ąją vietą, o keturi iš septynių - 3-ąją vietą. Vertinant likusias kategorijas, respondentų nuomonė ženkliai išsiskyrė. Gautas konkordacijos koeficientas $W = 0,58$, rodo, kad ekspertų nuomonės yra vidutiniškai suderinamos.

Kadangi šios ekspertinės apklausos tikslas yra įvertinti projektinės gamybos tobulinimo galimybes, paskutiniame klausime ekspertai paklausti, ar jie sutinka su teiginiu, kad aukščiau įvardinti veiksniai ir problemos, lemiančios projektinės gamybos sudėtingumą, daro neigiamą įtaką jos produktyvumui (žr. 24 pav.). Produktivumas apibrėžiamas kaip santykis tarp gamybos rezultato ir patirtų sąnaudų, reikalingų šiam rezultatui pasiekti.



24 pav. Problemų, darančių neigiamą įtaką produktyvumui, vertinimas

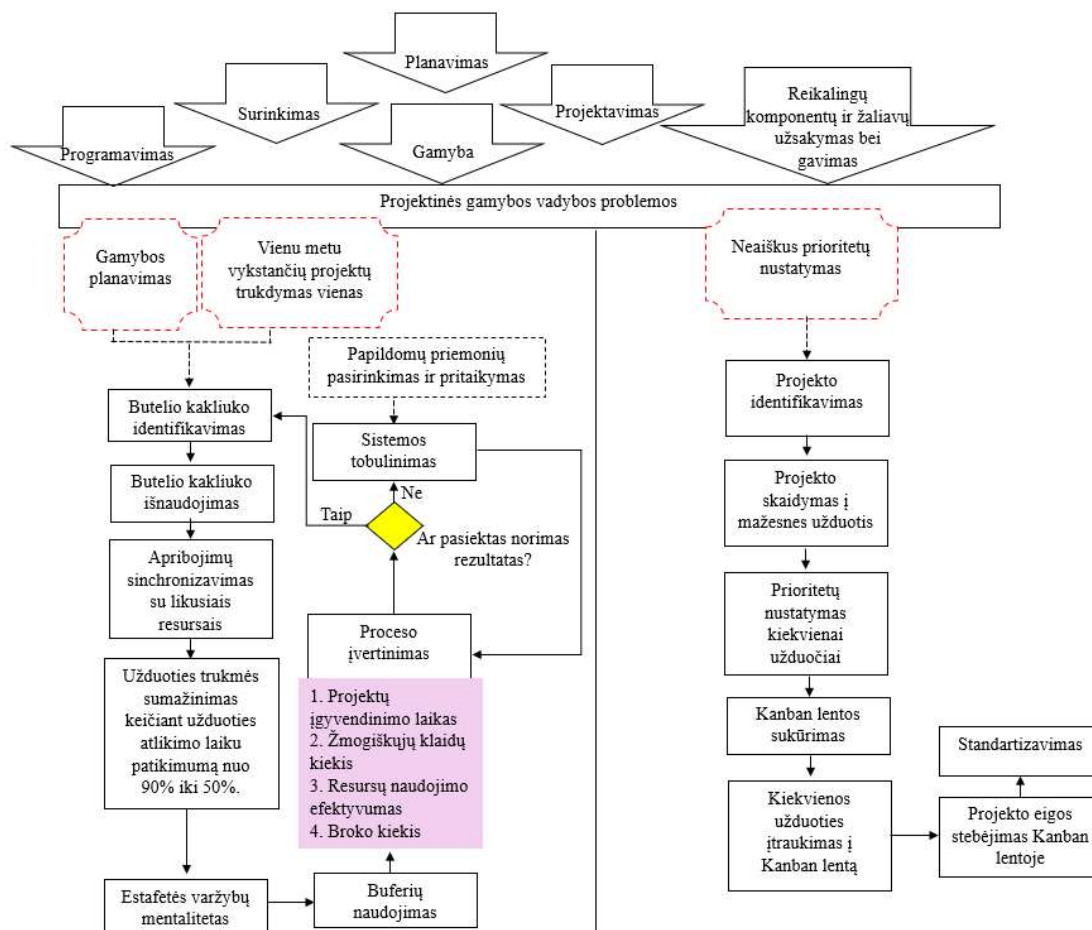
Šaltinis: sudaryta autorės

Visi ekspertai vieningai sutinka, kad minėti veiksniai ir problemos, kurios lemia projektinės gamybos sudėtingumą, neigiamai veikia jos produktyvumą. Tai reiškia, kad kuo daugiau problemų patiria projektinė gamyba, tuo mažesnis jos galutinis produktyvumas.

Remiantis ekspertinio vertinimo atsakymais apie mašinų ir įrengimų projektinės gamybos procesus ir problematiką, 3.3 skyriuje pasiūlytas projektinės gamybos procesų tobulinimo modelis.

3.3. Siūlomas projektinės gamybos procesų tobulinimo modelis

Remiantis atlikta mokslinės literatūros analize ir ekspertinės apklausos atsakymais, sudarytas inžinerinės gamybos pagal užsakymą procesų tobulinimo modelis (modelio I ir II dalis žr. 25 pav. ir 26 pav., pilna modelio schema pateikta 2 priede).



25 pav. Projektinės gamybos procesų tobulinimo modelis, I dalis

Šaltinis: sudaryta autorės

Remiantis projektinės gamybos tobulinimo metodikomis, siūloma spręsti gamybos planavimo ir vienu metu vykstančių projektų trukdymo vienas kitam problemas, pasitelkiant

CCPM metodikos bei „Kaizen“ filosofijos derinį. Kadangi CCPM metodika yra pagrįsta apribojimų teorija, pirmiausia būtina identifikuoti apribojimą (butelio kakliuką), kuris yra kritinis resursas ar išteklis. Antrojo žingsnio tikslas yra padaryti apribojimus kuo veiksmingesnius ir gauti didžiausią naudą iš jų. Užduotys kritiniams resursams yra skirstomos taip, kad būtų išvengta situacijų, kai kelios užduotys yra priskiriamos tiems patiems ištekliams, tuo pačiu metu. Tai užtikrina efektyvesnį išteklių panaudojimą. Tuomet siekiama sinchronizuoti likusius, resursus su šiais apribojimais, kad būtų pasiekama didžiausia projektinės gamybos išnaudojimo galimybė, nes apribojimai lemia jos pralaidumą. Ketvirtuoju žingsniu, vykdomas užduočių reikalingų įvykdyti projektą planavimas, tačiau sumažinant užduoties trukmės atlikimo laiko patikimumą nuo 90 % iki 50 %. Pagrindinis tikslas yra sumažinti perteklinius buferius, kuriuos žmonės paprastai prideda vertindami laiką, per kiek jie atliks tam tikrą užduotį.

Penktuoju žingsniu siekiama, kad komandos nariai būtų visiškai įtraukti į užduoties atlikimą, todėl planuojant nekritines užduotis jos sąmoningai atidedamos pradėti paskutinę įmanomą akimirką, įvertinant užduoties trukmę. Galima tai palyginti su estafetės bėgimu, kai kiekvienas bėgikas pradeda bėgti tik gavęs estafetę iš ankstesnio bėgiko. Toks „estafetės bėgiko mentalitetas“ padeda išlaikyti dėmesį esamai užduočiai, sumažina nebaigtą darbą (angl. *Work in progress*) projekte bei padidina produktyvumą. Šeštuoju žingsniu, projekto kritinio kelio pabaigos pridedamas konsoliduotas buferis. Jis sudaro dalį kritinio kelio ilgio. Dažniausiai naudojamas dydis yra 50 %, nors kai kurie siūlo tik 30 % visos užduoties ilgio. Svarbu pabrėžti, jei konsoliduotas buferio dydis yra 50 %, ir paisant 4 žingsnio, pokytis nuo kritinio kelio lygus:

$$\frac{\text{Pirminis planas}}{2} \cdot 1,5 = 0,75 \text{ kritinio kelio}$$

CCPM buferis nėra papildomas laikas kritinėms situacijoms, bet yra įtrauktas į projekto kritinį kelią, kad būtų galima atsižvelgti į tai, kad kai kurios užduotys užtruks ilgiau nei tikėtasi. Įvykdžius šiuos žingsnius, vykdomas patobulinto gamybos planavimo proceso įvertinimas, kuriuo siekiama nustatyti, ar yra pasiektas norimas rezultatas kokybės, laiko, biudžeto atžvilgiu:

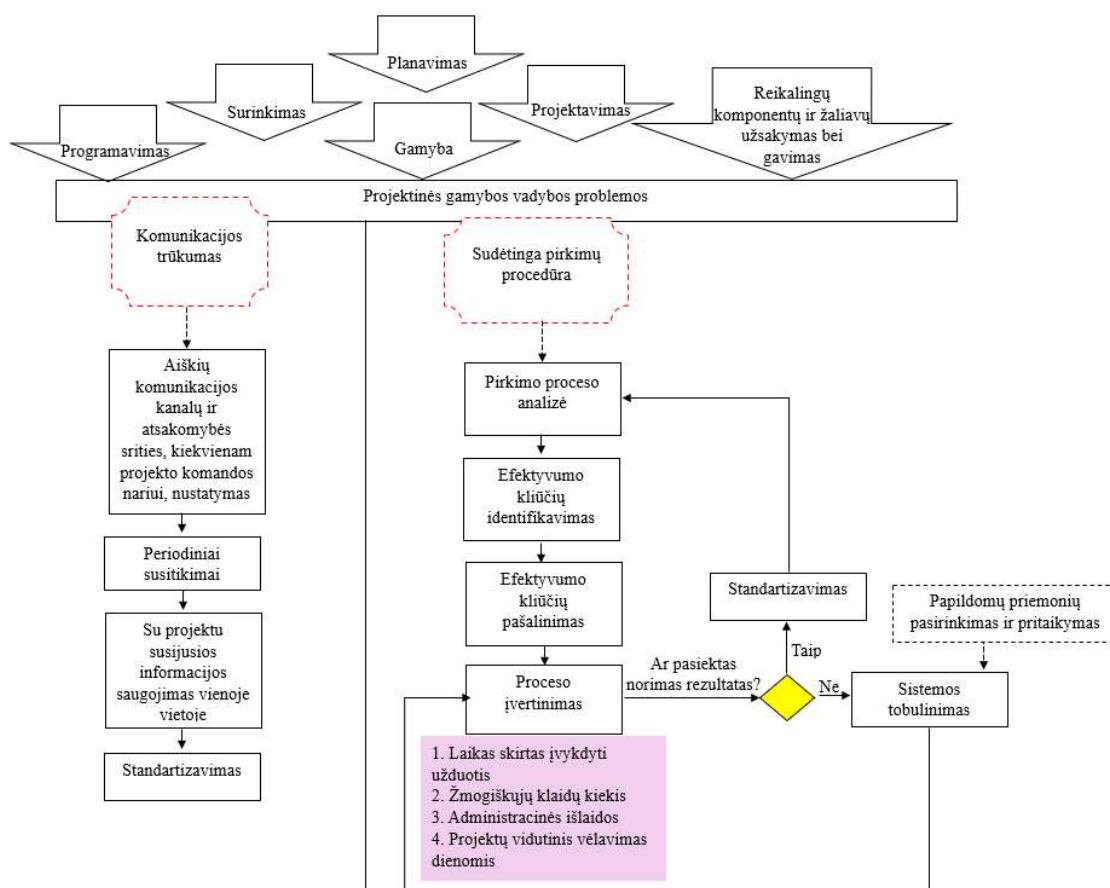
1. Projektų vidutinis vėlavimas dienomis. Matuojamas vidutinis laiko skirtumas tarp numatytos ir faktiškos projekto pabaigos datos. Ši metrika padeda įvertinti, kaip teoriškai suplanuoti gamybos planai atitinka faktišką veiklos eigą.

2. Papildomų išlaidų vidutinė suma. Ši metrika apibūdina vidutinę papildomų išlaidų sumą, kuri atsiranda dėl projektų vėlavimų ar nenumatytų problemų. Tai gali apimti papildomas darbo valandas, neplanuotus pirkimus arba kitas papildomas išlaidas, kurios kyla dėl neefektyvaus planavimo ar netinkamo projektų suderinamumo tarpusavyje.

3. Broko kiekis. Broko kiekio metrika leidžia nustatyti, kiek dažnai susiduriama su brokuotos produkcijos problema projektinėje gamyboje dėl skubos veiksmų, kai siekiama laiku įvykdyti projektą, tačiau nėra nepakankamai suprastas projekto techninės užduoties sudėtingumas.

Kai pasiekiamas norimas rezultatas, tobulinimo procesas kartojamas, siekiant pašalinti kuo daugiau apribojimų ir efektyvinti procesus.

Neaiškus prioritetų nustatymas yra rimta problema projektinėje gamyboje, kuri gali turėti žalingą poveikį viso projekto eigai ir galutiniam rezultatui. Vienas iš pagrindinių padarinių yra neefektyvus resursų paskirstymas, kai projektų vadovai ir komandos nariai nesupranta, kurie uždaviniai yra svarbiausi ir kuriems reikia skirti pirmenybę. Tai gali lemti perteklinį darbą, trukdžius ir vėlavimus, nes komandos gali dirbti su užduotimis, kurios galbūt nėra aukščiausio prioriteto. Išspręsti šią problemą, siūloma pasitelkti „Agile“ ir „Kanban“ metodų derinį. Pirmiausia, reikia identifikuoti projektą, kurį galima suskaidyti į smulkesnes užduotis ar etapus. Tuomet kiekvienai užduočiai yra priskiriamas tam tikro lygio prioritetas ir jos yra surašomos į „Kanban“ lentą, kurioje yra trys skiltys: reikalinga atlikti, vykdoma bei atlikta. Vadovaujantis nustatytais prioritetais, užduotys yra atliekamos ir stumdomos „Kanban“ lentoje. Tai komandai padeda vaizdiškai matyti, kokios užduotys yra prioritetinės.



26 pav. Projektinės gamybos procesų tobulinimo modelis, II dalis

Šaltinis: sudaryta autorės

Komunikacijos trūkumo problema, ekspertų nuomone, viena iš opiausių, vyraujančių projektinėje gamyboje. Siekiant efektyvinti komunikaciją, siūloma pasitelkti keturių žingsnių seką: pirmiausia svarbu nustatyti aiškius komunikacijos kanalus ir atsakomybės sritis kiekvienam projekto komandos nariui, kadangi tai padeda užtikrinti, kad visi dalyviai supranta savo vaidmenį projekte bei veikia suderintai, didinant projektų sėkmę ir efektyvumą. Apsibrėžus komunikacijos kanalus, ypatingai svarbu organizuoti periodinius susitikimus siekiant nuolatinių informacijos mainų, bendradarbiavimo skatinimo, o tai padeda geriau suprasti bendrus tikslus, išlaikyti aukštą darbo motyvaciją bei efektyvumą. Paskutiniai žingsniai apima informacijos saugojimą vienoje vietoje ir standartizavimą. Informacijos saugojimas vienoje vietoje yra būtinas, siekiant užtikrinti, kad visi komandos nariai turėtų lengvą prieigą prie aktualios informacijos. Tai palengvina bendradarbiavimą, padidina efektyvumą, kadangi nebereikia ieškoti informacijos skirtingose vietose, sumažina klaidų riziką bei padeda išlaikyti saugumą.

Reikalingų komponentų ir žaliavų užsakymas bei gavimas laiku yra esminė projektinės gamybos dalis, siekiant sėkmingai įvykdyti projektą. Norint pagerinti veiklos efektyvumą ir

optimizuoti šio procesų eigą, būtina supaprastinti sudėtingą pirkimų procedūrą. Pasitelkiant „Kaizen“ filosofiją, pirmiausia būtina atlikti pirkimo proceso analizę ir identifikuoti efektyvumą lemiančias kliūtis. Tuomet jos turi būti pašalinamos ir atliekamas proceso vertinimas, vadovaujantis tokiais kriterijais kaip:

1. Laikas skirtas įvykdyti užduotis. Matuojamas laikas, per kurį reikia atlikti tam tikras užduotis, susijusias su pirkimo procesu projektinės gamybos srityje. Tai gali apimti laiką nuo užsakymo pateikimo iki tiekėjo atrankos, derybų proceso, sutarties sudarymo ir galutinio prekių ar paslaugų gavimo.

2. Žmogiškųjų klaidų skaičius. Analizuojamas klaidingų veiksmų skaičius, kylantis dėl žmogiškojo faktoriaus vykdant pirkimus pagal nustatytas procedūras. Tai gali būti klaidingai užpildyti dokumentai, netikslūs užsakymai, klaidingi prekių ar paslaugų specifikacijų pateikimai ir kt.

3. Administracinės išlaidos. Vertinamos administracinės išlaidos, susijusias su pirkimo proceso valdymu projektinės gamybos kontekste. Tai gali apimti darbuotojų atlyginimus, skirtus pirkimo procesui valdyti, biurokratinės išlaidas, susijusias su dokumentų tvarkymu ir administravimu, bei išlaidas už technologijas ar įrankius, reikalingus pirkimo procesui efektyviau vykdyti.

4. Projektų vidutinis vėlavimas dienomis. Ši metrika padeda įvertinti, kiek vidutiniškai projektai vėluoja dėl ilgo žaliavų ir komponentų pirkimo proceso. Tai gali būti matuojama kaip skirtumas tarp planuoto ir faktiškai įvykdyto projekto pabaigos laiko, susijusio su pirkimo proceso delsimo pasekmėmis.

Kai norimas rezultatas pasiektas, tuomet grįžtama į pradžią, analizuojamas naujasis pirkimo procesas, identifikuojamos naujos efektyvumo kliūtys.

Taigi, projektinės gamybos procesų tobulinimas yra esminis, siekiant efektyviai valdyti projektus ir pasiekti norimus rezultatus. Naudojant metodikas kaip CCPM, „Agile“, „Kaizen“ ir „Kanban“, bei optimizuojant pirkimų procesus, galima gerinti planavimą, prioritetų nustatymą, komunikaciją ir resursų panaudojimą. Tai ne tik padeda išvengti trukdymų, bet ir užtikrina, kad projektai būtų įvykdyti sėkmingai, laiku ir efektyviai. Taip siekiama ne tik optimizuoti dabartinius procesus, bet ir užtikrinti nuolatinį jų tobulinimą ir siekti vis didesnės sėkmės projektinėje gamyboje.

IŠVADOS

1. Mokslinėje literatūroje – projektinė gamyba yra skirstoma į inžinerinę gamybą pagal užsakymą (angl. *Engineering to order – ETO*) ir gamybą pagal užsakymą (angl. *Make to order – MTO*) tipus. Pagrindinis skirtumas tarp šių tipų yra tas, kad ETO gamyba apima papildomą inžinerijos procesą, kuriame vykdomi projektavimo darbai, siekiant išpildyti kliento reikalavimus. Tai gali apimti smulkius pakeitimus esamame produkte arba visiškai naujo gaminio dizaino skūrimą. MTO gamybos produktai yra pagaminti naudojant įmonės sukurtą standartinį dizainą ir specifikacijas. Pagrindiniai projektinės gamybos procesai yra: produkto kūrimas, pardavimas, inžinerinis procesas pagal kliento reikalavimus (tik ETO atveju), medžiagų užsakymas ir gavimas, gamyba, surinkimas, testavimas ir validavimas bei pristatymas. ETO gamyboje vyrauja didelis neapibrėžtumas, kadangi iš anksto yra apibrėžti gamybos terminai, kokybiniai parametrai bei biudžetas, nors pats produktas dar nėra suprojektuotas. ETO gamyba susiduria su įvairiomis problemomis, kurios, remiantis literatūra, gali būti skirstomos į 8 kategorijas: inžinerinės, darbo jėgos, darbo aplinkos, gamybos vadybos, tiekėjų, atsargų valdymo, sudėtingumo bei laukimo. Mokslininkai, siekdami tobulinti projektinės gamybos procesus, siūlo pasitelkti „Lean“ metodiką, sumažinant nebūtinus atliekas ir optimizuojant procesus, siekiant efektyviau panaudoti išteklius ir pagerinti kokybę; QRM norint optimizuoti gamybos laiką ir sumažinti laiko nuostolius; „Kanban“ vizualizuoti darbo eigą ir valdyti darbo srautą, užtikrinant, kad darbas būtų atliekamas efektyviai ir be perteklinio krūvio; projektavimą pritaikytą gamybai ir surinkimui, siekiant optimizuoti ir pritaikyti projektus gamybai, sumažinti laiko ir resursų švaistymą; „Kaizen“ puoselėti nuolatinio tobulėjimo kultūrą bei CCPM metodą, kuriame dėmesys skiriamas projektų terminų laikymuisi ir resursų valdymui, siekiant išvengti resursų pertekliaus ir optimizuoti projekto eigą.

2. Remiantis stebėjimo ir ekspertinės apklausos metodais, nustatyta, kad pagrindiniai iššūkiai ir produktyvumo mažėjimas inžinerinės gamybos pagal užsakymą procesuose kyla dėl gamybos vadybos problemų. Tyrimas rodo, kad esminiai trūkumai projektinės gamybos procesuose apima nepakankamą gamybos planavimą, vienu metu vykstančių projektų trukdymą vienas kitam, neaiškius prioritetus, komunikacijos trūkumą ir sudėtingą prekių bei paslaugų pirkimo procedūrą. Įvykdytas stebėjimo tyrimas turi tam tikrus apribojimus, kadangi apima tik vienos įmonės 10 inžinerinės gamybos pagal užsakymą projektų stebėjimą, kurių apimtis, sudėtingumas ir įvykdymo laikas yra skirtingas todėl gauti duomenys gali būti nepakankamai reprezentatyvūs visai inžinerinės gamybos pagal užsakymą industrijai.

3. Remiantis mokslinės literatūros analize bei atliktais tyrimais pasiūlytas projektinės gamybos procesų tobulinimo modelis. Siekiant išspręsti gamybos planavimo bei

vienu metu vykstančių projektų trukdymą vienas kitam problemas, siūloma pasitelkti CCPM metodo bei „Kaizen“ filosofijos derinį. Derinant CCPM metodą su „Kaizen“ filosofija, galima pasiekti sinerginį efektą. CCPM metodas identifikuoja kritinį kelią, kuris turi didžiausią įtaką projekto sėkmei. Koncentruojant pastangas į šį kelią, galima maksimaliai optimizuoti resursų panaudojimą ir sumažinti laiko švaistymą, gerinant gamybos efektyvumą. „Kaizen“ skatina nuolatinį tobulėjimą ir procesų optimizavimą, remiantis darbuotojų idėjomis ir įnašu. Įdiegus „Kaizen“ filosofiją, įmonėje formuojama kultūra, kurioje visi darbuotojai yra įtraukti į procesų tobulinimą, o tai leidžia greitai reaguoti į problemas, identifiikuoti trukdymo šaltinius ir ieškoti efektyvių sprendimų. Taigi, šių metodų kombinacija leidžia įmonėms greitai reaguoti į kintančias sąlygas, maksimaliai išnaudoti turimus išteklius ir pagerinti gamybos planavimą bei projektų vykdymą.

Neaiškų prioritetų nustatymo problemą siūloma spręsti pasitelkiant „Agile“ ir „Kanban“ metodų derinį. „Agile“ metodas skatina lankstumą ir greitą rezultatų pristatymą, o „Kanban“ teikia vizualinę informaciją apie darbą, tai padeda lengvai matyti, kurioje stadijoje kiekviena užduotis yra. „Kanban“ lenta taip pat vizualiai perteikia darbo eigos būklę, leidžia aiškiai matyti, kokiai užduočiai reikia skirti didžiausią dėmesį. Tai padeda išspręsti neaiškumus dėl prioritetų, nes komandos nariai gali matyti, kurios užduotys yra svarbiausios ir kurioms reikia skirti daugiau dėmesio. Tai leidžia kontroliuoti darbo krūvį ir didinti darbo efektyvumą, nes prioritetai yra aiškiai nustatyti, ir komanda gali sutelkti pastangas į svarbiausias užduotis. Taigi, derinant „Agile“ ir „Kanban“ metodus, įmonė gali pasiekti didesnę lankstumą, vizualizuoti darbo eigos būklę, kontroliuoti darbo krūvį ir geriau prisitaikyti prie prioritetų pokyčių.

Komunikacijos trūkumo iššūkiams mažinti, siūloma nustatyti aiškius komunikacijos kanalus ir atsakomybės sritis kiekvienam projekto dalyviui, vykdyti periodinius susitikimus bei saugoti su projektu susijusią informaciją vienoje vietoje. Nustatyti aiškūs komunikacijos kanalai ir atsakomybės sritys užtikrina skaidrų ir efektyvų informacijos perdavimą. Turint aiškias taisykles ir struktūrą, kiekvienas dalyvis žino, kur kreiptis, kada reikia informacijos, ir kaip prisidėti prie bendros projekto sėkmės. Tai sumažina neaiškumus ir painiavą, kurie gali kilti dėl neapibrėžtų komunikacijos kanalų, ir padeda užtikrinti, kad visi dalyviai būtų gerai informuoti ir įtraukti į projekto eigą. Tai taip pat padeda išvengti nesusipratimų ir klaidingo informacijos perdavimo, kuris gali kelti grėsmę projekto sėkmei. Reguliarūs susitikimai leidžia aptarti projekto būklę, identifiikuoti problemas ir priimti sprendimus laiku, o centralizuota informacijos vieta padeda visiems projekto dalyviams lengvai pasiekti reikiamą informaciją ir saugoti susijusius dokumentus. Taigi, aiški komunikacija ir atsakomybės sritys, struktūrizuoti

susitikimai bei centralizuota informacijos saugojimo vieta padeda sumažinti komunikacijos trūkumo iššūkius ir gerina projekto valdymą.

Sudėtingos pirkimų procedūros problemos sprendimas pagrįstas „Kaizen“, nuolatinio tobulinimo filosofija. „Kaizen“ filosofija padeda nuolat tobulinti pirkimų procedūrą mažais, bet pastoviais pokyčiais, įtraukiant visą personalą ir optimizuojant procesus, kad būtų sumažintas laiko švaistymas ir biurokratija.

Šio modelio išskirtinumas ir naujumas yra tai, kad sujungiant 4 skirtingas metodikas pasiekiamas visapusiškas efektyvumo gerinimas: CCPM užtikrina efektyvų gamybos projektų valdymą, sutelkiant dėmesį į kritinę grandinę, taip išvengiant vėlavimų. Kaizen metodika skatina nuolatinį mažų patobulinimų įgyvendinimą. Kanban suteikia skaidrumą ir matomumą darbo srautuose, o Agile užtikrina lankstumą ir greitą prisitaikymą prie pokyčių. Tačiau šį modelį įgyvendinti yra pakankami sudėtinga, ypač didelėse ar labiau tradicinėse organizacijose, kuriose gali būti pasipriešinimas pokyčiams, kadangi jis reikalauja reikalauja daug pastangų įgyvendinant ir suderinant skirtingas metodikas. Taip pat sėkmingam modelio veikimui būtina nuolatinė stebėseną, analizė ir prisitaikymas. Tai gali reikalauti papildomų resursų ir laiko, kad būtų užtikrintas nuolatinis tobulinimas ir problemų sprendimas. Tolimesnė tyrimo kryptis galėtų apimti sukurto procesų tobulinimo modelio pritaikymą inžinerinės gamybos pagal užsakymą įmonėse. Tai padėtų įvertinti, kaip šios metodikos veikia praktikoje, skirtingose gamybos sąlygose, ir ar jos leidžia efektyviau valdyti gamybos procesus bei pagerinti produktyvumą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Adaku, E., Amoatey, C. T., Nornyibey, I., Famiyeh, S., & Asante-Darko, D. (2018). Delays in new product introduction. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(5), 811–828. <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2017-0190>
- Adrodegari, F., Bacchetti, A., Pinto, R., Pirola, F., & Zanardini, M. (2015). Engineer-To-Order (ETO) production planning & control: an empirical framework for machinery-building companies. *Production Planning and Control*.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2014.1001808>
- Alaidaros, H., Omar, M., & Romli, R. (2021). The state of the art of agile kanban method: challenges and opportunities. *Independent Journal of Management & Production*, 12(8), 2535–2550. <https://doi.org/10.14807/ijmp.v12i8.1482>
- Albert, M., Balve, P., & Spang, K. (2017). Evaluation of project success: a structured literature review. *International Journal of Managing Projects in Business*, 10(4), 796–821. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-01-2017-0004>
- Alfieri, A., Tolio, T., & Urgo, M. (2012a). A project scheduling approach to production and material requirement planning in Manufacturing-to-Order environments. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(3), 575–585. <https://doi.org/10.1007/s10845-010-0396-1>
- Alfieri, A., Tolio, T., & Urgo, M. (2012b). A two-stage stochastic programming project scheduling approach to production planning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62(1–4), 279–290. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3794-4>
- Andrijauskaitė, M. (2023). *Gamybos procesų tobulinimas kosmetikos sektoriuje* [Master thesis]. Vilniaus Gedimino technikos universitetas.
- Anwar, L., & Colliander, S. B. (2023). *The journey toward precise cost estimation in engineer-to-order manufacturing* [Master]. University of Gothenburg.
- Banelienė, R., Strazdas, R., Dziukevičius, A., Maceika, A., Paulienė, R., & Toločka, E. (2020). *Pramonės įmonių valdymas: inovacijomis ir lyderyste grindžiamas pridėtinės vertės kūrimas*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas.
- Bass, J. M. (2014). Scrum Master Activities: Process Tailoring in Large Enterprise Projects. *2014 IEEE 9th International Conference on Global Software Engineering*, 6–15. <https://doi.org/10.1109/ICGSE.2014.24>
- Bataglin, F. S., Viana, D. D., Formoso, C. T., & Bulhões, I. R. (2019). *Model for planning and controlling the delivery and assembly of engineer-to-order prefabricated building*

- systems: exploring synergies between Lean and BIM1*. NRC Research Press.
<https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0462>
- Bergström, J., & Persson, L. (2019). *Improving the Industrialisation Process at an Engineer-to-Order Company, An Analysis of the Interface between Design and Manufacturing* [Master thesis]. Chalmers University of Technology.
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., & Paciarotti, C. (2015a). Implementing lean information management: the case study of an automotive company. *Production Planning & Control*, 26(10), 753–768. <https://doi.org/10.1080/09537287.2014.975167>
- Brandl, F. J., Roider, N., Hehl, M., & Reinhart, G. (2021). Selecting practices in complex technical planning projects: A pathway for tailoring agile project management into the manufacturing industry. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 33, 293–305. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.03.017>
- Burggraf, P., Wagner, J., Heinbach, B., & Steinberg, F. (2021). Machine Learning-Based Prediction of Missing Components for Assembly – a Case Study at an Engineer-to-Order Manufacturer. *IEEE Access*, 9, 105926–105938.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3075620>
- Cannas, V. G., Pero, M., Pozzi, R., & Rossi, T. (2018). An empirical application of lean management techniques to support ETO design and production planning. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 134–139. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2018.08.247>
- Chahal, S. (2023). Agile Methodologies for Improved Product Management. *Journal of Business and Strategic Management*, 8(4), 79–94. <https://doi.org/10.47941/jbsm.1439>
- Chavez, R., Yu, W., Jacobs, M., Fynes, B., Wiengarten, F., & Lecuna, A. (2015). Internal lean practices and performance: The role of technological turbulence. *International Journal of Production Economics*, 160, 157–171.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.10.005>
- Cheng Siong, B., & Kuan Eng, C. (2018). Implementing Quick Response Manufacturing to Improve Delivery Performance in an ETO Company. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.28), 38. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.28.12879>
- Ciesielska, M., Boström, K. W., & Öhländer, M. (2018). Observation Methods. *Qualitative Methodologies in Organization Studies* (p. 33–52). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-65442-3_2
- Dahl, G. (2019). *Mitigating Delays Through Identifying and Addressing the Underlying Factors: A Framework Proposal* [Master thesis]. Norwegian University of Science and Technology.

- Dallasega, P., Marcher, C., Marengo, E., Rauch, E., Matt, D. T., & Nutt, W. (2016). *A Decentralized and Pull-Based Control Loop for On-Demand Delivery in Eto Construction Supply Chains*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:43755316>
- Dallasega, P., Rauch, E., Matt, D. T., & Fronk, A. (2015). Increasing productivity in ETO construction projects through a lean methodology for demand predictability. *2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*, 1–11. <https://doi.org/10.1109/IEOM.2015.7093734>
- Dallasega, P., Rojas, R. A., Bruno, G., & Rauch, E. (2019). An agile scheduling and control approach in ETO construction supply chains. *Computers in Industry*, *112*, 103122. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.08.003>
- Damij, N., & Damij, T. (2022). An Approach to Optimizing Kanban Board Workflow and Shortening the Project Management Plan. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3120984>
- Davidavičienė, V., Davidavičius, S., Lapinskienė, G., & Grybaitė, V. (2020). *Verslo valdymas informaciniame amžiuje*. Vilnius Gediminas Technical University. <https://doi.org/10.20334/2020-032-S>
- De Lit, P., Latinne, P., Rekiek, B., & Delchambre, A. (2001). Assembly planning with an ordering genetic algorithm. *International Journal of Production Research*, *39*(16), 3623–3640. <https://doi.org/10.1080/00207540110056135>
- Deshmukh, M., Gangele, A., Gope, D. K., & Dewangan, S. (2022). Study and implementation of lean manufacturing strategies: A literature review. *Materials Today: Proceedings*, *62*, 1489–1495. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.02.155>
- Dikčius, V. (2011). *Anketos sudarymo principai*.
- Ding, C., Qiao, F., Liu, J., & Wang, D. (2023). Knowledge graph modeling method for product manufacturing process based on human–cyber–physical fusion. *Advanced Engineering Informatics*, *58*, 102183. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102183>
- Ellis, G. (2016). Critical Chain Project Management (CCPM). *Project Management in Product Development* (p. 143–175). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802322-8.00006-1>
- Ellis, G. (2020). Workflow—Kanban and Kamishibai: Just-In-Time Rationalization. *Improve* (p. 401–425). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809519-5.00021-1>
- Fernandes, N. O., & do Carmo-Silva, S. (2006). Generic POLCA—A production and materials flow control mechanism for quick response manufacturing. *International Journal of Production Economics*, *104*(1), 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.07.003>

- Fortes, C. S., Tenera, A. B., & Cunha, P. F. (2023). Engineer-to-Order Challenges and Issues: A Systematic Literature Review of the manufacturing industry. *Procedia Computer Science*, 219, 1727–1734. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.467>
- Friedrich, K. (2023). A systematic literature review concerning the different interpretations of the role of sustainability in project management. *Management Review Quarterly*, 73(1), 31–60. <https://doi.org/10.1007/s11301-021-00230-z>
- Gao, S., Jin, R., & Lu, W. (2020a). Design for manufacture and assembly in construction: a review. *Building Research & Information*, 48(5), 538–550. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1660608>
- Gebisa, A. W., & Lemu, H. G. (2017). Design for manufacturing to design for Additive Manufacturing: Analysis of implications for design optimality and product sustainability. *Procedia Manufacturing*, 13, 724–731. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.120>
- Ghaffari, M., & Emsley, M. W. (2015). Current status and future potential of the research on Critical Chain Project Management. *Surveys in Operations Research and Management Science*, 20(2), 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.sorms.2015.10.001>
- Ghobakhloo, M., & Azar, A. (2018). Business excellence via advanced manufacturing technology and lean-agile manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(1), 2–24. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2017-0049>
- Giurge, L. M., Whillans, A. V., & West, C. (2020). Why time poverty matters for individuals, organisations and nations. *Nature Human Behaviour*, 4(10), 993–1003. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0920-z>
- Godinho Filho, M., Marchesini, A. G., Riezebos, J., Vandaele, N., & Ganga, G. M. D. (2017). The extent of knowledge of Quick Response Manufacturing principles: an exploratory transnational study. *International Journal of Production Research*, 55(17), 4891–4911. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1268729>
- Gosling, J. (2011). *Flexibility Strategies for Engineer-to-Order Construction Supply Chain* [Dissertation]. Cardiff University.
- Hallgren, M., & Olhager, J. (2009). Lean and agile manufacturing: external and internal drivers and performance outcomes. *International Journal of Operations & Production Management*, 29(10), 976–999. <https://doi.org/10.1108/01443570910993456>
- Hama Kareem, J. A., & Talib, N. A. (2015). A Review on 5S and Total Productive Maintenance and Impact of Their Implementation in Industrial Organizations. *Advanced Science Letters*, 21(5), 1073–1082. <https://doi.org/10.1166/asl.2015.6084>

- Hammerstrøm, M., & Botterli, P. (2020). *Engineer-To-Order and its Competitive Advantages: A Case Study of the Norwegian Maritime Equipment Suppliers* [Master]. Molde University College.
- Herrera Vidal, G., & Coronado Hernández, J. R. (2021). Complexity in manufacturing systems: a literature review. *Production Engineering*, 15(3–4), 321–333. <https://doi.org/10.1007/s11740-020-01013-3>
- Hooshmand Yousef, Köhler Peter, & Korff-Krumm Andrea. (2016). Cost Estimation in Engineer-to-Order Manufacturing. *De Gruyter open*, 22–34. <https://doi.org/10.1515/eng-2016-0002>
- Hormozi, A. M. (2001). Agile manufacturing: the next logical step. *Benchmarking: An International Journal*, 8(2), 132–143. <https://doi.org/10.1108/14635770110389843>
- Iakymenko, N., Brett, P. O., Alfnes, E., & Strandhagen, J. O. (2022). Analyzing the factors affecting engineering change implementation performance in the engineer-to-order production environment: case studies from a Norwegian shipbuilding group. *Production Planning & Control*, 33(9–10), 957–973. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1837939>
- Iqbal, T., Huq, F., & Bhutta, M. K. S. (2018). Agile manufacturing relationship building with TQM, JIT, and firm performance: An exploratory study in apparel export industry of Pakistan. *International Journal of Production Economics*, 203, 24–37. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.05.033>
- Irani, S. (2011). Choosing what works. *Industrial Engineer, IE*, 43(8), 42–47.
- Yu, Q., Sriram, P. K., Alfnes, E., & Strandhagen, J. O. (2016). RFID Integration for Material Management Considering Engineering Changes in ETO Industry. *Advances in Production Management Systems. Initiatives for a Sustainable World*, 488.
- Jiang, C., Hu, X., & Xi, J. (2019). Integrated Multi-Project Scheduling and Hierarchical Workforce Allocation in the ETO Assembly Process. *Applied Sciences*, 9(5), 885. <https://doi.org/10.3390/app9050885>
- Jünge, G., Alfnes, E., Nujen, B., Emblemshag, J., & Kjersem, K. (2023a). Understanding and eliminating waste in Engineer-To-Order (ETO) projects: a multiple case study. *Production Planning & Control*, 34(3), 225–241. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1903279>
- Kadar, U. A., Devadasan, S. R., & Balakrishnan, K. (2019). Design of agile supply chain model for footwear industry. *International Journal of Business Excellence*, 17(2), 230. <https://doi.org/10.1504/IJBEX.2019.097545>

- Kadenic, M. D., Koumaditis, K., & Junker-Jensen, L. (2023a). Mastering scrum with a focus on team maturity and key components of scrum. *Information and Software Technology*, 153, 107079. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2022.107079>
- Kaufmann, C., & Kock, A. (2022). Does project management matter? The relationship between project management effort, complexity, and profitability. *International Journal of Project Management*, 40(6), 624–633. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2022.05.007>
- Khaled Yacoub, M., Abdel Athim Mostafa, M., & Bahaa Farid, A. (2016). A New Approach for Distributed Software Engineering Teams Based on Kanban Method for Reducing Dependency. *Journal of Software*, 11(12), 1231–1241. <https://doi.org/10.17706/jsw.11.12.1231-1241>
- Kiran, D. R. (2022). Creativity and Kaizen. *Principles of Economics and Management for Manufacturing Engineering* (p. 193–204). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99862-8.00028-5>
- Kjersem, K. (2020). *Contributing to Resolving a Project Planning Paradox in ETO: From plan to planning* [PhD thesis]. Molde University College.
- Kraus, S. F. (2023). The Method of Observation in Science Education: Characteristic Dimensions from an Educational Perspective. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-023-00422-x>
- Krishnamurthy, A., & Suri, R. (2009). Planning and implementing POLCA: a card-based control system for high variety or custom engineered products. *Production Planning & Control*, 20(7), 596–610. <https://doi.org/10.1080/09537280903034297>
- Kumar, N., Shahzeb Hasan, S., Srivastava, K., Akhtar, R., Kumar Yadav, R., & Choubey, V. K. (2022). Lean manufacturing techniques and its implementation: A review. *Materials Today: Proceedings*, 64, 1188–1192. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.03.481>
- Kumar, R., Singh, K., & Jain, S. K. (2020). An empirical investigation and prioritization of barriers toward implementation of agile manufacturing in the manufacturing industry. *The TQM Journal*, 33(1), 183–203. <https://doi.org/10.1108/TQM-04-2020-0073>
- Kumar, R., Singh, K., & Jain, S. K. (2022). Assessment of Agile manufacturing impact on business performance of Indian manufacturing industry: A PLS-SEM approach. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 1, 100001. <https://doi.org/10.1016/j.smse.2022.100001>
- Lai, N. Y. G., Foo, W. C., Tan, C. S., Kang, M. S., Kang, H. S., Wong, K. H., Yu, L. J., Sun, X., & Tan, N. M. L. (2022). Understanding Learning Intention Complexities in Lean Manufacturing Training for Innovation on the Production Floor. *Journal of Open*

- Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(3), 110.
<https://doi.org/10.3390/joitmc8030110>
- Lamas, J., Pimentel, C. M. O., & Matias, J. C. O. (2019). *A Practical Study of the Application of Value Stream Mapping to a Pre-series Production Area* (p. 117–125).
https://doi.org/10.1007/978-3-030-14973-4_11
- Lei, H., Ganjeizadeh, F., Jayachandran, P. K., & Ozcan, P. (2017). A statistical analysis of the effects of Scrum and Kanban on software development projects. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 43, 59–67. <https://doi.org/10.1016/J.RCIM.2015.12.001>
- Leite, M., & Braz, V. (2016). Agile manufacturing practices for new product development: industrial case studies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(4), 560–576. <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2015-0073>
- Li, X., Guo, S., Liu, Y., Du, B., & Wang, L. (2017). A Production Planning Model for Make-to-Order Foundry Flow Shop with Capacity Constraint. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2017/6315613>
- Ljagatšov, V. (2015). *Product Design Process improvement based on Agile Project Management principles* [Master thesis]. Talinn University of Technology.
- Mello, M. H., Strandhagen, J. O., & Alfnes, E. (2015). Analyzing the factors affecting coordination in engineer-to-order supply chain. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(7), 1005–1031. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2013-0545>
- Naeni, L. M., & Salehipour, A. (2021). Optimization for Project Cost Management. H. Golpîra (Sud.), *Application of Mathematics and Optimization in Construction Project Management* (p. 79–118). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81123-5_4
- Oomen, S., De Waal, B., Albertin, A., & Ravesteyn, P. (2017). How can scrum be successful? Competences of the scrum product owner. *25th European Conference on Information Systems (ECIS)*, 5–10. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://core.ac.uk/download/pdf/301372157.pdf>
- Oztemel, E., & Selam, A. A. (2017). Bees Algorithm for multi-mode, resource-constrained project scheduling in molding industry. *Computers & Industrial Engineering*, 112, 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.08.012>
- Perlow, L. A. (1999). The Time Famine: Toward a Sociology of Work Time. *Administrative Science Quarterly*, 44(1), 57–81. <https://doi.org/10.2307/2667031>

- PM Partners. (2021, birželio 23). *The Agile Journey: A Scrum overview*. Agile and Scaled Agile section. <https://www.pm-partners.com.au/the-agile-journey-a-scrum-overview/>
- Potdar, P. K., & Routroy, S. (2017). Performance analysis of agile manufacturing: a case study on an Indian auto component manufacturer. *Measuring Business Excellence*, 21(2), 117–135. <https://doi.org/10.1108/MBE-04-2016-0024>
- Powell, D. J. (2018). Kanban for Lean Production in High Mix, Low Volume Environments. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 140–143. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.248>
- Rahman, H. F., Servranckx, T., Chakraborty, R. K., Vanhoucke, M., & El Sawah, S. (2022). Manufacturing project scheduling considering human factors to minimize total cost and carbon footprints. *Applied Soft Computing*, 131, 109764. <https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2022.109764>
- Remeikienė, R. (2017). *Lean ir apribojimų teorijos integracija organizacijų veiklos tobulinimui* [Master]. Vilniaus universitetas.
- Riazanova, V., & Žilinskienė, I. (2019). Transportavimo plėtros ekspertinis vertinimas: atvejo analizė. *Mokslinių straipsnių rinkinys: Visuomenės saugumas ir viešoji tvarka*, 88–98. <https://doi.org/10.13165/PSPO-19-23-07>
- Riezebos, J. (2010). Design of POLCA material control systems. *International Journal of Production Research*, 48(5), 1455–1477. <https://doi.org/10.1080/00207540802570677>
- Robertson, M., & Jones, C. (1999). Application of lean production and agile manufacturing concepts in a telecommunications environment. *International Journal of Agile Management Systems*, 1(1), 14–17. <https://doi.org/10.1108/14654659910266664>
- Rocha, A., Romero, F., Miranda, D., Amorim, M., & Lima, R. M. (2023). Quality management practices to direct and control the accomplishment of project objectives in R&D units. *Procedia Computer Science*, 219, 36–43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.261>
- Sameen Mirza, M., & Datta, S. (2019). Strengths and Weakness of Traditional and Agile Processes - A Systematic Review. *Journal of Software*, 14(5), 209–219. <https://doi.org/10.17706/jsw.14.5.209-219>
- Saniuk A., & Waszkowski R. (2016). *Make-to-order manufacturing - new approach to management of manufacturing processes*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/145/2/022005>
- Schulze, F., & Dallasega, P. (2023). Lean and Industry 4.0 mitigating common losses in Engineer-to-Order theory and practice: an exploratory study. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. <https://doi.org/10.1007/s10696-023-09503-z>

- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2017). *The Scrum Guide™ The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*.
- Senthil Kumar, K. M., Akila, K., Arun, K. K., Prabhu, S., & Selvakumar, C. (2022). Implementation of 5S practices in a small scale manufacturing industries. *Materials Today: Proceedings*, 62, 1913–1916. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.402>
- Shahriar, M. M., Parvez, M. S., Islam, M. A., & Talapatra, S. (2022). Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study. *Cleaner Engineering and Technology*, 8, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100488>
- Sharma, J. K., Rajeshkannan, A., Sharma, A. A., & Seenivasagam, D. R. (2020). Some aspects on the sustainable process design in a timber mill using the design for manufacturability/sustainability. *International Journal of Sustainable Engineering*, 13(3), 194–203. <https://doi.org/10.1080/19397038.2019.1674941>
- Stefansson, H., Jensson, P., & Shah, N. (2009). Procedure for reducing the risk of delayed deliveries in make-to-order production. *Production Planning & Control*, 20(4), 332–342. <https://doi.org/10.1080/09537280902843698>
- Strandhagen, J. W., Buer, S.-V., Semini, M., & Alfnes, E. (2019). Digitalized Manufacturing Logistics in Engineer-to-Order Operations. K. E. and von C. G. and K. D. Ameri Farhad and Stecke (Sud.), *Advances in Production Management Systems. Production Management for the Factory of the Future* (p. 579–587). Springer International Publishing.
- Suri, R. (2010). *It's about Time, the Competitive Advantage of Quick Response Manufacturing*. Productivity Press Taylor and Francis.
- Tamulienė, V., & Vaičiuvienė, A. (2020, gegužės 6). *Vaikų maisto prekės ženklas „Semper“ žinomumo vertinimas pabaltijos šalių rinkoje*. <https://doi.org/10.3846/vvf.2020.013>
- Thilak, V. M. M., Devadasan, S. R., Sunil, D. T., Vinod, M., & Muruges, R. (2017). Voyaging of agile manufacturing: from Iacocca Institute to pump industry. *International Journal of Business Innovation and Research*, 14(2), 168. <https://doi.org/10.1504/IJBIR.2017.086277>
- Tidikis, R. (2003). *Socialinių mokslų tyrimų metodologija: [vadovėlis]*. Lietuvos teisės universitetas.
- Vandaele, N., Van Nieuwenhuyse, I., Claerhout, D., & Cremmery, R. (2008). Load-Based POLCA: An Integrated Material Control System for Multiproduct, Multimachine Job Shops. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10(2), 181–197. <https://doi.org/10.1287/msom.1070.0174>

- Varl, M., Duhovnik, J., & Tavčar, J. (2020). Agile product development process transformation to support advanced one-of-a-kind manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(6), 590–608.
<https://doi.org/10.1080/0951192X.2020.1775301>
- Vázquez-Bustelo, D., & Avella, L. (2006). Agile manufacturing: Industrial case studies in Spain. *Technovation*, 26(10), 1147–1161.
<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2005.11.006>
- Vveinhardt, J., & Gulbovaitė, E. (2016). Expert Evaluation of Diagnostic Instrument for Personal and Organizational Value Congruence. *Journal of Business Ethics*, 136(3), 481–501. <https://doi.org/10.1007/s10551-014-2527-7>
- Wang, W., Khalid, Q. S., Abas, M., Li, H., Azim, S., Babar, A. R., Saleem, W., & Khan, R. (2021). Implementation of POLCA Integrated QRM Framework for Optimized Production Performance—A Case Study. *Sustainability*, 13(6), 3452.
<https://doi.org/10.3390/su13063452>
- White, D., & Koster, K. (2015). *Project Manufacturing For Dummies* (S. Kaelble, J. Bingham, & R. Mengle, Sud.). John Wiley & Sons, Inc.
- Whitney, D. E. (2004). *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development* (1st edition). Oxford University Press.
- Williams, T., Eden, C., Ackermann, F., & Tait, A. (1995). Vicious circles of parallelism. *International Journal of Project Management*, 13(3), 151–155.
[https://doi.org/10.1016/0263-7863\(95\)00034-N](https://doi.org/10.1016/0263-7863(95)00034-N)
- Williams, T., Vo, H., Samset, K., & Edkins, A. (2019). The front-end of projects: a systematic literature review and structuring. *Production Planning & Control*, 30(14), 1137–1169.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1594429>
- Willner, O., Powell, D., Duchi, A., & Schönsleben, P. (2014). Globally Distributed Engineering Processes: Making the Distinction between Engineer-to-order and Make-to-order. *Procedia CIRP*, 17, 663–668. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.054>
- Zennaro, I., Finco, S., Battini, D., & Persona, A. (2019). Big size highly customised product manufacturing systems: a literature review and future research agenda. *International Journal of Production Research*, 57(15–16), 5362–5385.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1582819>
- Zhou, B., & Zhao, Z. (2022). A hybrid fuzzy-neural-based dynamic scheduling method for part feeding of mixed-model assembly lines. *Computers & Industrial Engineering*, 163, 107794. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107794>

- Zhou, J., Zhou, Y., Wang, B., & Zang, J. (2019). Human–Cyber–Physical Systems (HCPSs) in the Context of New-Generation Intelligent Manufacturing. *Engineering*, 5(4), 624–636. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.07.015>
- Zimmermann, R., Ferreira, L. M. D. F., & Moreira, A. C. (2020). An empirical analysis of the relationship between supply chain strategies, product characteristics, environmental uncertainty and performance. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(3), 375–391. <https://doi.org/10.1108/SCM-02-2019-0049>
- Zohuri, B., & Patrick, M. (2021). Plan-do-check-act (PDCA) cycle. *Introduction to Energy Essentials* (p. 549–558). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90152-9.00015-3>