

ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ ТА ПРАВА «КРОК»

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Тема: «Організація управління проектом застосування Lean Six Sigma у
контексті Промисловості 4.0.»

Ступінь вищої освіти – магістр

Спеціальність – 073 «Менеджмент»

Освітня програма «Agile-технології розробки програмного забезпечення»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Керівник: доцент, к.т.н.,
Веніамін ГІТІС

Керівник: викладач,
Олег МУШИНСЬКИЙ

Виконав: здобувач
групи МЕН/Agile-23м
Вадим ІВЛЄВ

Київ, 2024 р.

ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ ТА ПРАВА «КРОК»

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри інформаційного
менеджменту, математики та
статистики
_____ Денис БАЛДИК
«__»____20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ІВЛЄВ ВАДИМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Тема роботи	«Організація управління проектом застосування Lean Six Sigma у контексті Промисловості 4.0.»
Номер та дата наказу про затвердження теми	№56-3 від 27.06.2024
Коротка постановка завдання	«Організація управління проектом застосування Lean Six Sigma у контексті Промисловості 4.0.»
Посилання на джерела інформації (не більше п'яти найменувань, які рекомендує науковий керівник)	Jayaram Athul. (2016). Lean Six Sigma approach for global supply chain management using Industry 4.0 and IIoT, Amity University, Uttar Pradesh. Yin, R. K. (2003). Case study research: Design and methods. Thousand Oaks, CA: Sage.
Вимоги до кваліфікаційної роботи	Кваліфікаційна робота має містити теоретичне та/або практичне дослідження за темою роботи, яку слід розглядати як складне спеціалізоване завдання або практичну проблематику в галузі управління та адміністрування, яка характеризується комплексністю та невизначеністю умов і потребує застосування теорій і методів Agile технологій.

Дата видачі завдання «14» липня 2024 р.

Керівник

Веніамін ГІТІС

Керівник

Олег Мушинський

Здобувач

Вадим ІВЛЄВ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання	Примітка
Підготовчий етап			
1	Вибір напрямку дослідження та керівника	01.07.2024 р.	Виконано
2	Формування теми та призначення керівника	08.07.2024 р.	Виконано
3	Затвердження теми кваліфікаційної роботи	09.07.2024 р.	Виконано
4	Затвердження завдання на кваліфікаційну роботу	15.07.2024 р.	Виконано
Основний етап			
5	Розробка концепції кваліфікаційної роботи	22.07.2024 р.	Виконано
6	Підбір та вивчення джерел інформації з напрямку дослідження. Огляд існуючих аналогів.	29.07.2024 р.	Виконано
7	Затвердження розширеної постановки завдання. Підготовка та подання керівнику розділу 1 кваліфікаційної роботи	18.09.2024 р.	Виконано
8	Проектування інформаційної системи. Підготовка та подання керівнику розділу 2 кваліфікаційної роботи	18.09.2024 р.	Виконано
9	Реалізація інформаційної системи. Підготовка та подання керівнику розділу 3 кваліфікаційної роботи	25.09.2024 р.	Виконано
10	Підготовка та подання керівнику першого варіанту всієї кваліфікаційної роботи	01.10.2024 р.	Виконано
11	Доопрацювання кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника та представлення керівнику доопрацьованого варіанту кваліфікаційної роботи	04.10.2024 р.	Виконано
Завершальний етап			
12	Представлення рукопису для перевірки на плагіат	07.10.2024 р.	Виконано
13	Підготовка презентації та доповіді на передзахист	07.10.2024 р.	Виконано
14	Передзахист кваліфікаційної роботи	08-11.10.2024 р.	Виконано
15	Технічна самоекспертиза роботи на відповідність вимогам до оформлення та виправлення недоліків	08-11.10.2024 р.	Виконано
16	Експертиза роботи керівником та зовнішнім експертом	14.10.2024 р.	Виконано
17	Доопрацювання доповіді та презентації для захисту	18.10.2024 р.	Виконано
18	Захист кваліфікаційної роботи	21-25.10.2024 р.	Виконано

Керівник

Керівник

Здобувач

Веніамін ГІТІС

Олег МУШИНСЬКИЙ

Вадим ІВЛЄВ

АНОТАЦІЯ

Промисловість 4.0 є концепцією, яка широко обговорюється в промисловості. Однак, Промисловість 4.0 зазвичай пов'язана з високою автоматизацією процесів і низькою взаємодією людини з машинами. Ручна праця, як правило, не вважається частиною Промисловості 4.0, однак при виробництві складних продуктів з низьким обсягом виробництва, впровадження автоматизації може бути економічно не вигідно. На додачу, відмінності в матеріалах при виробництві складних елементів чи конструкцій та відсутність чітких технічних вимог у деяких операціях що потребують ручної праці, ускладнюють впровадження автоматизації.

Передбачуваність операцій які виконують машини є високою через виконання стандартних програм. Роботи не можуть зрозуміти, якщо щось пропущено, що робить їх передбачуваними. На відміну від цього, ручна праця менш передбачувана, оскільки відхилення повинні бути вирішені в поточному або наступному кроці процесу.

Це призводить до варіацій, які можна уникнути у виконанні завдання машинами.

Метою цього дослідження буде з'ясувати як проєкт Lean Six Sigma може покращити передбачуваність при управлінні проєктом використовуючи ручну працю у контексті Промисловості 4.0.

Впровадження Lean Six Sigma показали, що поділ ручних операцій на дрібніші етапи підвищує ефективність роботи. Завдяки збільшенню кількості точок вимірювання, статистичні інструменти можуть бути використані для аналізу та виявлення джерел варіацій. Впровадження Lean Six Sigma продемонструвало, що варіації не залежать тільки від оператора, а також від варіацій матеріалу, які машини не можуть врахувати. П'ять різних фаз впливу Lean six Sigma були об'єднані з Промисловістю 4.0 для покращення імплементації.

ANNOTATION

Industry 4.0 is a concept widely discussed in industrial sectors. However, Industry 4.0 is typically associated with high process automation and minimal human-machine interaction. Manual labor is generally not considered part of Industry 4.0, yet in the production of complex, low-volume products, automation implementation can be economically unfeasible. Additionally, variations in materials when manufacturing complex elements or structures, along with the lack of clear technical specifications in some operations requiring manual labor, complicate automation implementation.

Machine-performed operations are highly predictable due to standardized programming. Robots cannot detect omissions, making them predictable. In contrast, manual labor is less predictable, as deviations must be addressed in the current or subsequent process step. This results in variations that can be avoided when tasks are performed by machines.

The aim of this study is to determine how a Lean Six Sigma project can improve predictability in project management using manual labor within the context of Industry 4.0. Implementing Lean Six Sigma has shown that dividing manual operations into smaller steps enhances work efficiency. By increasing the number of measurement points, statistical tools can be applied to analyze and identify sources of variation. The implementation of Lean Six Sigma has demonstrated that variations do not solely depend on the operator but also on material variations, which machines cannot account for. The five distinct Lean Six Sigma phases have been integrated with Industry 4.0 to enhance implementation.

Список умовних скорочень

CAD = Computer Aided Design

GUI = Graphical User Interface

Q3 = Deviation from CAD-model (handles internally)

Q4 = Deviation from CAD-model (externals need to be involved)

SAP/R3 = Systems Applications Products

QSYS = Quality (SPC) systems

R3 = Real-time data processing, 3-tier (multitier architecture; database, application server & client SAPgui)

MSA = Measurement System Analysis

AIM = Affinity Interrelationship method

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ПЕРЕДУМОВИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	12
1.1 Опис проблеми	12
1.2 Мета та дослідницькі питання.....	13
1.3 Обсяг дослідження та обмеження	15
1.4 Аналіз даних	15
1.5 Надійність	16
1.6 Валідність	17
РОЗДІЛ 2. ТЕОРИТИЧНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТОМ ЗАСТОСУВАННЯ LEAN SIX SIGMA У КОНТЕКСТІ ПРОМИСЛОВОСТІ 4.0	18
2.1 Методологія дослідження	18
2.2 Збір даних	19
2.3 Промисловість 4.0	20
2.4 Інтернет речей	22
2.5 Кіберфізична система (CPS)	23
2.6 Великі дані.....	24
2.7 Машинне навчання.....	27
2.8 Lean Six Sigma	28
РОЗДІЛ 3. ЕМПІРИЧНІ РОЗРАХУНКИ ТА АНАЛІЗ	30
3.1 Передбачуваність під час виконання інструкцій в ручну.....	30
3.2 Попереднє дослідження	31
3.3 Визначення факторів, що впливають на передбачуваність у ручних операціях.....	32

3.4 Етап визначення (Define phase)	34
3.5 Фаза вимірювання – М.....	36
3.6 Фаза аналізу - А.....	42
3.7 Ручні операції в контексті Промисловості 4.0	49
3.8 DMAIC	50
3.9 Дослідження Промисловості 4.0 та Lean Six Sigma	52
3.10 Впровадження Промисловості 4.0 у контексті Lean Six Sigma.....	53
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	58
ДОДАТОК А	63
ДОДАТОК Б.....	64
ДОДАТОК В	65
ДОДАТОК Г.....	66

ВСТУП

Актуальність теми.

Промисловість 4.0 — це концепція, яка об'єднує автоматизацію та комп'ютери в нові структури. Ця концепція може використовуватися для розвитку комп'ютерних систем, де роботи можуть бути підключені до виробничої лінії, зводячи до мінімуму потребу в операторах. Більшість робіт у майбутньому буде «інтелектуальною працею». У контексті Промисловості 4.0 це передбачає вирішення багатьох різних проблем, переважно пов'язаних із плануванням.

Слід враховувати три різні етапи при впровадженні Промисловості 4.0:

- 1) яку трансформацію компанія хоче досягти за допомогою цієї технології, яка мета;
- 2) де потрібно пріоритезувати ресурси — на якій дії або потоці продуктів;
- 3) яка технологія Промисловості 4.0 найкраще відповідає потребам компанії.

Існує невизначеність щодо фінансових вигод від інвестицій в Промисловість 4.0, оскільки не існує достатньої кількості підприємств, які повністю впровадили цю технологію. Крім того, загроза кібератак викликає занепокоєння, оскільки сторонні постачальники прагнуть захистити свої технології.

Промисловість 4.0 — це широко обговорювана концепція, особливо у контексті автономних і передбачуваних виробничих процесів. Вона правонаступниця третій промисловій революції, яка впровадила електричні інформаційні системи для автоматизованого виробництва. Хоча Промисловість 4.0 продовжує розвиватися, її рідко застосовують до ручних операцій, де людська праця є критичним фактором. Нові технології можуть змінити роль людини на виробництві. Передбачуваність операцій має вплив на задоволеність клієнтів, оскільки вона підвищує надійність, довіру та безпеку.

Ручна праця зменшиться в майбутньому завдяки впровадженню роботів. Проте не всі клієнти орієнтуються на найдешевший товар; деякі надають перевагу ручній роботі, навіть якщо вона дорожча. З часом роль оператора зміниться — він стане більше керівником процесів і прийматиме стратегічні рішення у виробництві.

Lean Six Sigma може бути впроваджений як сервіс для обслуговування в рамках Промисловості 4.0, де можуть бути включені певний аналіз та покращення. Lean Six Sigma — це методологія вирішення проблем, яка базується на фактах та спрямована на виявлення та усунення першопричин. Після виявлення цих причин можна контролювати відмінності процесу.

Попередні дослідження більше фокусувалися на покращенні якості продукції за допомогою Lean Six Sigma, але не досліджували, як збираються дані щодо часу виконання операцій у ручних процесах і як їх можна використовувати. У цій роботі було проведено дослідження на прикладі компанії GKN Aerospace Trollhättan, яке включало інтерв'ю та проєкт покращення для дослідження, як проєкт Lean Six Sigma може покращити передбачуваність часу виконання в ручних операціях.

Мета дослідження - використання Lean Six Sigma для підвищення передбачуваності операцій, які виконуються вручну, використовуючи нові можливості, пов'язані з Промисловістю 4.0 на підприємстві GKN Aerospace.

Завдання дослідження - для досягнення мети необхідно виконати наступні завдання:

- обрати ручний процес на підприємстві GKN Aerospace та проаналізувати час його виконання
- обрати ручний процес на підприємстві GKN Aerospace та проаналізувати методи зменшення часу, необхідних для виконання цієї операціїю.

Об'єктом дослідження є управління проєктом із застосуванням Lean Six Sigma у контексті Промисловості 4.0.

Предметом дослідження є конкретні процеси реалізації управлінського методу Lean Six Sigma у контексті Промисловості 4.0 на підприємстві GKN Aerospace.

Методи дослідження. Для аналізу даних використовувався Метод взаємозв'язку афінності (AIM), який застосовується як метод для вирішення складних проблем, щоб отримати розуміння та провести аналіз. Щоб отримати загальний огляд проблеми, яка мала бути досліджена в рамках проекту покращення, був проведений AIM, який розглядав проблеми, що можуть виникнути при підвищенні передбачуваності в ручних операціях.

Новизна результатів дослідження. Дослідження дозволяє проаналізувати вплив застосування Lean Six Sigma у контексті Промисловості 4.0 на оптимізацію операцій, які виконуються вручну, на виробництві складних компонентів.

Практичне значення результатів дослідження. Практичне значення дослідження дозволяють знизити час на виконання операцій, які виконуються вручну, на виробництві складних компонентів.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, які поділені на підрозділи, загального висновку, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи 65 сторінок, обсяг основного тексту 41 сторінка.

РОЗДІЛ 1. ПЕРЕДУМОВИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Опис проблеми

За словами працівника компанії GKN, більшість компаній прагнуть досягти повністю автономного виробництва, де людський фактор має мінімальний вплив на процес. Однак, у випадку складних продуктів, які не можуть бути оброблені машинами, потрібне людське втручання для виконання операції. Для GKN це означає, що коли йдеться про авіаційні продукти, де критичність є високою, немає місця для помилок, що створює значний тиск на виробничі компанії, щоб уникнути відправки дефектної продукції. Це є проблемою для GKN, оскільки ручна робота з високим рівнем людського фактора спричиняє значну варіацію між операторами. Робочі методи, досвід і спосіб збору ручних даних відрізняються, що робить час виконання операцій нестабільним і важким для вимірювання.

GKN є авіаційною виробничою компанією з низьким обсягом і високою складністю виробничих процесів. За досвідом працівника GKN, існує підозра, що експлуатанти схильні реєструвати стандартний час як фактичний. Це підкріплюється тим фактом, що при наявності стандартного часу для певної виробничої дії (див. таблицю 8), оператори часто фіксують саме стандартний час замість реального часу виконання. В авіаційній промисловості висока критичність дефектних компонентів ставить перед виробничими компаніями високі вимоги до якості, де жоден дефектний компонент не може бути випущений з заводу.

При впровадженні Промисловості 4.0, за словами Ranta (2019) [31], потрібно враховувати три кроки:

1. Які перетворення компанія хоче досягти за допомогою цієї технології?
2. Де потрібно пріоритезувати ресурси?

3. Яка технологія Промисловості 4.0 найкраще відповідає потребам компанії?

Отже, компанія повинна мати чітку структуру впровадження Промисловості 4.0. Згідно з Dennis K. та ін. (2017) [14], Промисловість 4.0 є новою технологією, і поки що не існує чітких рамок щодо вартості впровадження певних технологій. Це означає, що кроки, запропоновані Ranta (2019) [31], мають велике значення для забезпечення економічної вигоди. За словами Ansari F. та ін. (2018) [2], у випадку ручних робіт існує значна індивідуальна відмінність між операторами порівняно з машинами. Також різноманітність між операторами є високою, особливо в контексті їхніх здібностей до вирішення проблем і рівня досвіду. У контексті прийняття рішень оператор може бути під впливом складності та ризику рішення, що не впливає на роботу (Ansari F. та ін. (2018) [2]).

GKN прагне покращити передбачуваність часу виконання операцій у ручних процесах, де безперервність і концепція нульових дефектів є пріоритетами. Під час виконання в ручну дані вимірюються вручну операторами, що може призвести до варіацій, якщо не існує чіткої методики реєстрації даних. Наприклад, один оператор може почати відлік часу в певний момент, а інший — в інший, що залежить від різниці в їхньому досвіді (див. таблицю 7). Існує багато різних факторів, які впливають на час циклу в ручних операціях, що було предметом дослідження. Використання технологій Промисловості 4.0 може допомогти операторам виконувати свою роботу більш ефективно. GKN прагне ширше використовувати технології Промисловості 4.0, зосереджуючись на покращенні вимірювальних систем, підтримці операторів, системах обробки даних, методах роботи тощо.

1.2 Мета та дослідницькі питання

Метою цієї магістерської роботи було покращити використання Lean Six Sigma для підвищення передбачуваності ручних операцій, використовуючи

нові можливості, пов'язані з Промисловістю 4.0. Це дослідження також оцінювало, як передбачуваність може вплинути на велику компанію, та досліджувало, як можна підвищити передбачуваність під час виконання інструкцій в ручну. Для досягнення мети цього дослідження було сформульовано два дослідницькі питання:

Питання 1: Чому компанії з низьким обсягом і високою складністю продукції слід підвищувати передбачуваність (за часом виконання) в ручних операціях?

Перше дослідницьке питання визначає, чому передбачуваність є необхідною в ручних операціях. Відповідь на це питання було отримано через проведення інтерв'ю, щоб побачити, як різні ролі впливають на передбачуваність у виробничому потоці та як різні ролі в компанії враховують передбачуваність. Важливість передбачуваності може вплинути на всі ролі й опосередковано вплинути на задоволеність клієнтів. Розуміння необхідності покращення передбачуваності є важливим для всіх ролей, оскільки мотивація покращити передбачуваність може сприяти активній роботі в цьому напрямку.

Питання 2: Як можна керувати передбачуваністю в ручних операціях і як їх можна покращити за допомогою технологій Промисловості 4.0?

Друге дослідницьке питання було розроблено для вивчення того, як передбачуваність буде впроваджуватися в ручні дії, використовуючи технології Промисловості 4.0. Щоб відповісти на це питання, автор досліджував, як здійснюється збір даних в операціях з великими відмінностями, а також для отримання розуміння роботи операторів. Було досліджено, як ручні операції можуть бути покращені за допомогою технологій Промисловості 4.0. У висококомплексному виробництві деякі дії залишатимуться ще довгий час, тому для збереження конкурентоспроможності вони також потребують розвитку й адаптації до майбутніх потреб.

Щоб зрозуміти, як покращувальний проєкт може ефективно впроваджувати технології Промисловості 4.0, було проведено проєкт Lean Six Sigma. Цей проєкт було розроблено для підвищення передбачуваності в ручних операціях, пов'язаних з Промисловістю 4.0. Щоб залишатися конкурентоспроможними, потрібні новітні технології, але також важливо зберігати витрати в межах конкурентоспроможності, що потребує ефективного використання технологій. Потрібні додаткові знання про те, як проводити покращувальні проєкти для ефективного впровадження Промисловості 4.0 в майбутньому.

1.3 Обсяг дослідження та обмеження

Через обмежений час на виконання цієї магістерської роботи не було можливості впровадити будь-які результати у виробництво. Це означає, що з п'яти фаз циклу DMAIC в рамках проєкту Lean Six Sigma було виконано лише перші три фази (DMA). Це дослідження зосереджується на аналізі того, як вимірюється та збирається час виконання операцій, і не стосується якості продукції або операцій. Було проведено дослідження на прикладі однієї великої компанії, в рамках якого проведено інтерв'ю та покращувальний проєкт. Це дослідження охоплює лише продукцію високої складності з низьким обсягом виробництва на підприємстві GKN Aerospace у Тролльгеттані.

1.4 Аналіз даних

Для аналізу даних використовувався Метод взаємозв'язку афінності (AIM), який, згідно з Alänge (2009) [1], застосовується як метод для вирішення складних проблем, щоб отримати розуміння та провести аналіз. Щоб отримати загальний огляд проблеми, яка мала бути досліджена в рамках проєкту покращення, був проведений AIM, який розглядав проблеми, що можуть виникнути при підвищенні передбачуваності в ручних операціях. Для

дослідження взаємозв'язку між різними операціями в потоці та загальним часом виконання була проведена кореляційна аналіз, щоб з'ясувати, чи є зв'язок між ручними та автоматичними операціями. Було проведено тестування гіпотез між різними наборами даних. Для виявлення джерела варіацій була проведена аналіз першопричин.

1.5 Надійність

Згідно з Golafshani (2003) [19], надійність визначає, чи можна повторити дослідження з тими ж результатами, використовуючи той самий підхід. Щоб отримати надійні результати, дослідження повинно давати послідовні результати протягом часу, а загальна популяція повинна бути представлена у кількісному дослідженні. У Krueger та ін. [26] (як зазначає Merriam, 1988 [30]), надійність у кейс-стадіях може бути забезпечена в три етапи:

1. Перший етап стосується здатності пояснити, чому це відбувається, і які підґрунтові теорії підсилюють цей аргумент. На цьому етапі використовувався покращувальний проєкт, щоб пояснити, як можна підвищити передбачуваність під час виконання інструкцій в ручну. Було розглянуто теорії Lean Six Sigma для підсилення надійності цієї роботи.
2. Другий етап – це триангуляція, яка передбачає використання кількох методів збору даних. Було зібрано три різні методи даних: огляд літератури, інтерв'ю та покращувальний проєкт, де ці методи були зіставлені у дискусії.
3. Третій етап – це наявність «аудиторського сліду», який передбачає перевірку результатів дослідження незалежними джерелами, а також візуалізацію підходу дослідника для можливості повторного дослідження іншими особами. Було проведено літературне дослідження, де теорії Промисловості 4.0 і Lean Six Sigma порівнювалися для

виявлення шаблонів у методологічних підходах і даних, щоб покращити результати.

Golafshani (2003) [19] зазначає, що надійність стосується того, наскільки результати послідовні протягом часу і чи точно вони представляють загальну популяцію, що досліджується. Якщо дослідження можна відтворити за допомогою подібної методології, то інструмент дослідження вважається надійним. Згідно з Golafshani (2003) [19], під час проведення інтерв'ю надійність можна забезпечити, ставлячи однакові запитання кожній групі та обговорюючи одну й ту саму тему для всіх різних ролей, які будуть залучені. Якщо респонденти дають схожі відповіді для різних ролей, це можна вважати надійним.

1.6 Валідність

Згідно з Sreejesh та ін. (2014) [38], існує два типи валідності: внутрішня та зовнішня валідність. Sreejesh та ін. (2014) [38] стверджують, що валідність означає, що дослідницький підхід не містить помилок, які можуть виникнути під час дослідницького процесу. Зовнішня валідність представляє ідею про те, як дослідження можна узагальнити за межі експериментальної області. Yin (2003) [44] стверджує, що внутрішня валідність полягає у знаходженні взаємозв'язків у кейс-стадії та використанні моделей, які є релевантними для цього дослідження. Щоб забезпечити валідність цієї магістерської роботи, були досліджені різні потоки продуктів в рамках проєкту покращення на підприємстві GKN, щоб отримати загальний огляд того, як виконуються різні ручні дії. Інтерв'ю проводилися з різними ролями, щоб отримати загальний погляд на досліджувану область. Для підвищення валідності в покращувальному проєкті був розроблений AIM (Метод взаємозв'язку афінності), який пізніше був переглянутий і затверджений п'ятим співробітником GKN, який не брав участі у семінарі з AIM, що підсилює валідність.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРИТИЧНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТОМ ЗАСТОСУВАННЯ LEAN SIX SIGMA У КОНТЕКСТІ ПРОМИСЛОВОСТІ 4.0

2.1 Методологія дослідження

На основі роботи Chalmers (1999) [9], у цій магістерській роботі використовуються як дедуктивне, так і індуктивне мислення. Індукція передбачає, що дані будуть зібрані на основі спостережень, заснованих на гіпотезі. У цьому дослідженні було проведено кейс-стаді з інтерв'ю та покращувальний проєкт для отримання нових теорій. Дедуктивне мислення використовувалося під час огляду літератури, де теорія була застосована для формулювання прогнозів для подальших досліджень. Згідно з Douven (2017) [17], поєднання індуктивного та дедуктивного мислення називається абдуктивним мисленням. Це означає, що у дослідженні використовується підхід із двох напрямків із використанням як якісних, так і кількісних даних для отримання ширшої перспективи. Svennevig (2001) [39] стверджує, що абдуктивне мислення є функціональним поясненням, що пов'язує функцію з соціальним явищем, яке отримує нові знання в процесі розвитку. Інтерв'ю та покращувальний проєкт були проведені разом із вивченням літератури.

Було проведено пояснювальне дослідження, яке, за словами Yin (2009) [45], є кейс-стаді, де ви співпрацюєте з компанією, вивчаєте їхні процеси, а потім узагальнюєте на основі попередніх досліджень. У цій магістерській роботі використовувалося одиничне дослідження випадку. Voss та ін. (2002) [42] стверджують, що одиничне дослідження випадку дозволяє глибше дослідити проблему, але через єдиний кейс важко узагальнити висновки, оскільки дослідження зосереджене лише на одній компанії, тоді як для узагальнення краще використовувати кілька компаній.

Згідно з Yin (2003) [44], існують два різні типи одиничних кейс-дизайнів: холістичний і вбудований. Холістичний підхід передбачає, що аналізується

лише один блок, а вбудований підхід означає, що аналізується кілька блоків у рамках кейс-стаді. Холістичне дослідження дає ширшу перспективу й не обмежується кількома блоками аналізу, тоді як вбудоване дослідження дозволяє глибше проаналізувати проблему. Для цієї роботи використовувався вбудований дизайн, щоб отримати глибше розуміння проблеми, з використанням кількох дослідницьких питань.

2.2 Збір даних

Немає найкращої практики для того, як має проводитися збір даних. Denscombe, 2010 [15] стверджує, що під час проведення дослідження теорія збору даних повинна використовуватися протягом усього проєкту, що означає, що теорії мають бути засновані на емпіричних дослідженнях. Тому, щоб підтвердити теорію, потрібно узагальнювати результати з іншими подібними даними. Згідно з Denscombe, 2010 [15], первинні дані — це ті, які автор збирає в процесі дослідження. Вторинні дані — це дані, які були розроблені для інших цілей, а не для цього дослідження. Первинні дані були зібрані під час інтерв'ю та в процесі покращувального проєкту. Вторинні дані використовувалися для огляду літератури, який було проведено на основі наукових статей.

Метою цієї магістерської роботи є підвищення використання Lean Six Sigma для покращення передбачуваності ручних операцій шляхом використання нових можливостей, пов'язаних з Промисловістю 4.0. На малюнку 1 показано схему підходу до цієї магістерської роботи. Огляд літератури було розроблено на основі результатів покращувального проєкту і навпаки. Інтерв'ю проводилися паралельно з покращувальним проєктом і взаємодіяли з оглядом літератури. Пізніше інтерв'ю, покращувальний проєкт і огляд літератури були об'єднані в висновки та рекомендації.

2.3 Промисловість 4.0

Crandall (2017) [12] стверджує, що на сьогодні відбулося чотири промислові революції, які називаються «перша промислова революція», «друга промислова революція», «третья промислова революція» і «четверта промислова революція», яка є останньою.

Crandall (2017) [12] описує, що вісімнадцятого століття розпочалася перша революція, коли головною рушійною силою у фабриках стали вода та пара. Crandall (2017) [12] стверджує, що під час першої промислової революції робітники виконували «більш прості» завдання, розробляли механічні продукти, а транспортування товарів покращилося завдяки паровим двигунам і розвитку транспорту. Друга революція відбулася в кінці XIX — на початку XX століття, коли електрика стала рушійною силою цієї революції, що вплинуло на виробництво, підвищивши ефективність і швидкість. У цей період з'явилися конвеєрні лінії, що зробило можливим масове виробництво.

Crandall (2017) [12] зазначає, що третя революція була більше цифровою революцією, оскільки були розроблені комп'ютери, що вплинули на промисловість. У 1960-х роках почала розвиватися комп'ютерна техніка, а в 1990-х з'явився Інтернет, що суттєво вплинуло на те, як вироблялися продукти. Остання промислова революція, четверта, розпочалася в Німеччині, але зараз поширена по всьому світу. Crandall (2017) [12] стверджує, що Промисловість 4.0 стосується реального часу та просунутих комп'ютерів, які впливають на виробництво.

Gilchrist (2016) [18] зазначає, що Промисловість 4.0 — це концепція, яка об'єднує різні технології в одній категорії організацій ланцюга вартості, такі як великі дані, кіберфізичні системи та Інтернет речей. Промисловість 4.0 базується на тому, що вся виробнича лінія продукту дає працівнику зворотній зв'язок про хід процесу. Кіберфізичні системи (CPS) є технологією, включеною до Промисловості 4.0. Це тип моніторингу, який вимірює фізичний процес і приймає рішення на основі створеної віртуальної копії вибраного процесу.

Згідно з Gilchrist (2016) [18], бачення Промисловості 4.0 полягає в тому, що фабрики перетворюються на «розумні фабрики», керовані інтелектуальними системами, які обмінюються інформацією. Завдяки обміну інформацією прийматимуться децентралізовані рішення на основі фізичного світу, який був перетворений на віртуальну копію, що може запускати дії в системі, якщо щось піде не так.

Ustundag & Emre (2018) [41] стверджують, що останнім часом до Промисловості 4.0 було привернуто увагу як з боку виробничих компаній, так і з боку систем обслуговування. Відповідно до Ustundag & Emre (2018) [41], Промисловість 4.0 не має чітко визначеного поняття, і немає чіткого методу щодо того, як інтегрувати сучасні технології в Індустрію 4.0. Для впровадження цих футуристичних технологій, як стверджують Ustundag & Emre (2018) [41], необхідні такі технології, як автономні роботи, кіберфізична інфраструктура, адитивне виробництво тощо, для успішної адаптації. Також потрібна кіберфізична система, підключена до адаптивних роботів, і прийняття рішень у реальному часі з використанням різних інструментів координації для ефективного застосування Промисловості 4.0.

Rojko (2017) [34] обговорює розумну фабрику Промисловості 4.0, де ключовим компонентом є конверсія між фізичним і цифровим світами (див. рисунок 1). Рисунок 1 пояснює, як дані збираються з фізичного світу та завантажуються в хмарне сховище великих даних. Коли дані проаналізовані, вони можуть бути надіслані в ІТ-підтримку, якщо потрібно щось виправити. Великі дані співпрацюють із клієнтами, щоб стежити за тактом виробництва або, якщо клієнт хоче індивідуальні продукти. Хмарне сховище великих даних передає інформацію назад на розумну фабрику, і фабрика коригується відповідно до змін.



Рисунок 1. Розумна фабрика Промисловості 4.0 (адаптовано з Rojko, 2017).

2.4 Інтернет речей

Згідно з Madakam et al. (2015) [29], Інтернет речей (IoT) — це концепція, яка змінила ІТ-сектор, що походить від двох слів: «інтернет» та «речі». «Інтернет» охоплює мільярди користувачів, які отримують допомогу від комп'ютерних мереж, використовуючи стандартні протоколи передачі даних, де мережі побудовані на основі урядових, бізнесових та академічних мереж. «Речі» можуть бути визначені в реальному світі як об'єкти або люди. Проте, «речі» не обмежуються лише електронікою або технологічними продуктами, вони також можуть включати їжу та одяг.

Madakam et al. (2015) [29] зазначають, що Інтернет речей — це технологія з використанням інтелектуальних віртуальних об'єктів для симуляції реального світу. Основна мета IoT полягає в тому, щоб інформувати нас і контролювати оточуючі нас речі. Щодо визначення Інтернету речей, то немає точної загальноприйнятої дефініції серед користувачів у цій спільноті.

Це включає різні групи, такі як розробники, новатори, практики, науковці та бізнесмени, кожен із яких має власне визначення IoT. Спільним розумінням є те, що раніше дані створювалися людьми, а зараз їх створюють речі. Загальноприйняте визначення IoT: «Відкрита і всеосяжна мережа інтелектуальних об'єктів, які здатні самостійно організовуватися, обмінюватися інформацією, даними та ресурсами, реагувати та діяти в умовах ситуацій та змін у навколишньому середовищі» (Madakam et al. (2015) [29], с. 165). У виробничій екосистемі IoT визначається як: «все обладнання та продукти оснащені вбудованими обчислювальними пристроями, що з'єднують їх із Інтернетом» (Semernek et al., 2017 [8], с. 240).

2.5 Кіберфізична система (CPS)

Almada-Lobo (2015) [1] стверджує, що кіберфізична система (CPS) — це система, вбудована в фізичну систему, яка включає обчислювальні потужності та програмне забезпечення, що дозволяють адаптацію всередині процесу. У контексті Промисловості 4.0 кількість розумних продуктів буде збільшуватися у виробничому потоці, що дозволить виробництву самостійно керувати собою; наприклад, якщо деталь є жорсткішою за звичайну, робот зможе впоратися з цим без допомоги людини.

CPS було ініційовано у 2006 році в США, де взаємодія між фізичним світом і взаємопов'язаними обчислювальними системами стала набувати більшого значення. Semernek et al., 2017 [8] стверджують, що кіберфізична система складається з п'яти рівнів обробки даних. Спочатку сенсори в машинах надсилають дані в CPS, де вони обробляються, і після цього створюється новий план дій для роботи машин (див. рисунок 2). Chiabert et al. (2018) [11] обговорюють виклики впровадження майбутніх рішень, таких як CPS, оскільки сьгоднішні технології ще не досягли необхідного рівня. Для компанії це може зайняти від 3 до 10 років для впровадження цієї функціональності, причому ступінь зрілості є важливим фактором.

Almada-Lobo (2015) [1] зазначає, що співпраця між людиною та машиною може здійснюватися в середовищі кіберфизичного виробництва, де, наприклад, роботи можуть контролюватися з іншого місця, що впливає на швидкість змін і, опосередковано, на економіку. Це дозволяє знижувати витрати, якщо виникає проблема з якістю або інші неполадки у виробничому процесі, які можна швидше виправити на відстані, без відвідування виробництва. Gorecky et al. (2014) [21] зазначають, що в контексті CPS віртуальна реальність може бути корисною для моделювання того, як оператор буде виконувати свою роботу.



Рисунок 2. Процес кібер-фізичної системи згідно з Setzer et al., 2017.

2.6 Великі дані

Chen & Mao (2014) [10] стверджують, що великі дані можна пояснити як «масивні дані» або «дуже великі дані», що є абстрактним поняттям, де

важливими є не лише обсяг даних, але й інші характеристики, такі як якість. Визначення, надане Chen & Mao (2014) [10], с.173): «великі дані означають такі набори даних, які не можна сприймати, отримувати, керувати та обробляти за допомогою традиційних ІТ- та програмно-апаратних засобів у прийнятний час».

Великі дані стосуються того, як прийняття рішень може бути підвищено за рахунок інноваційного підходу, який є економічно ефективним. У концепції великих даних різні показники, такі як висока швидкість, великий обсяг і висока різноманітність, демонструють, як дані можуть бути оброблені. За словами Semernek et al., 2017 [8], великі дані можуть допомогти покращити активність процесу на виробничому заводі, що створює послуги для виробничої системи, орієнтованої на дані. Semernek et al., 2017 [8] стверджують, що існує п'ять вимірів (5V), які потрібно враховувати для оцінки актуальності зібраних даних (див. таблицю 1).

Таблиця 1. П'ять типів даних — великі дані.

Обсяг	Розмір даних
Швидкість	Час, необхідний для створення даних
Різнманітність	Різні типи даних (дані з сенсорів, XML-дані тощо)
Достовірність	Надійність даних, наприклад, якість даних
Цінність	Визначає цінність даних. Спочатку дані мають низьку цінність, але після аналізу, який розкриває інформацію, їхня цінність зростає.

Щоб описати метод і найкращу практику процесу великих даних через створення знань із даних, Semernek et al., 2017 [8] стверджують, що дані можна поділити на два підпроцеси: управління даними та аналітика. Управління даними починається з запису та збору даних, потім дані очищуються для інтеграції та для того, щоб представляти релевантні дані для

наступного етапу в процесі великих даних. Semernek et al., 2017 [8] зазначають, що техніки аналітики даних, такі як предиктивна аналітика, використовуються для виявлення закономірностей, що є важливим у контексті великих даних. Результати такого аналізу дають змогу отримати знання про процес, що був проаналізований, щоб керівництво могло приймати рішення на основі фактів. Semernek et al., 2017 [8] також описують, як процес великих даних і кіберфізичні системи пов'язані з прийняттям рішень людьми в процесі (див. рисунок 3).

Процес великих даних показує, як дані збираються за допомогою сенсорів, обробляються в кіберфізичній системі та мають постійну взаємодію з процесом великих даних. Людське втручання відбувається тоді, коли завершена аналітика даних, і результати конфігуруються в кіберфізичній системі. CPS надсилає сигнали машинам щодо того, як їм діяти.

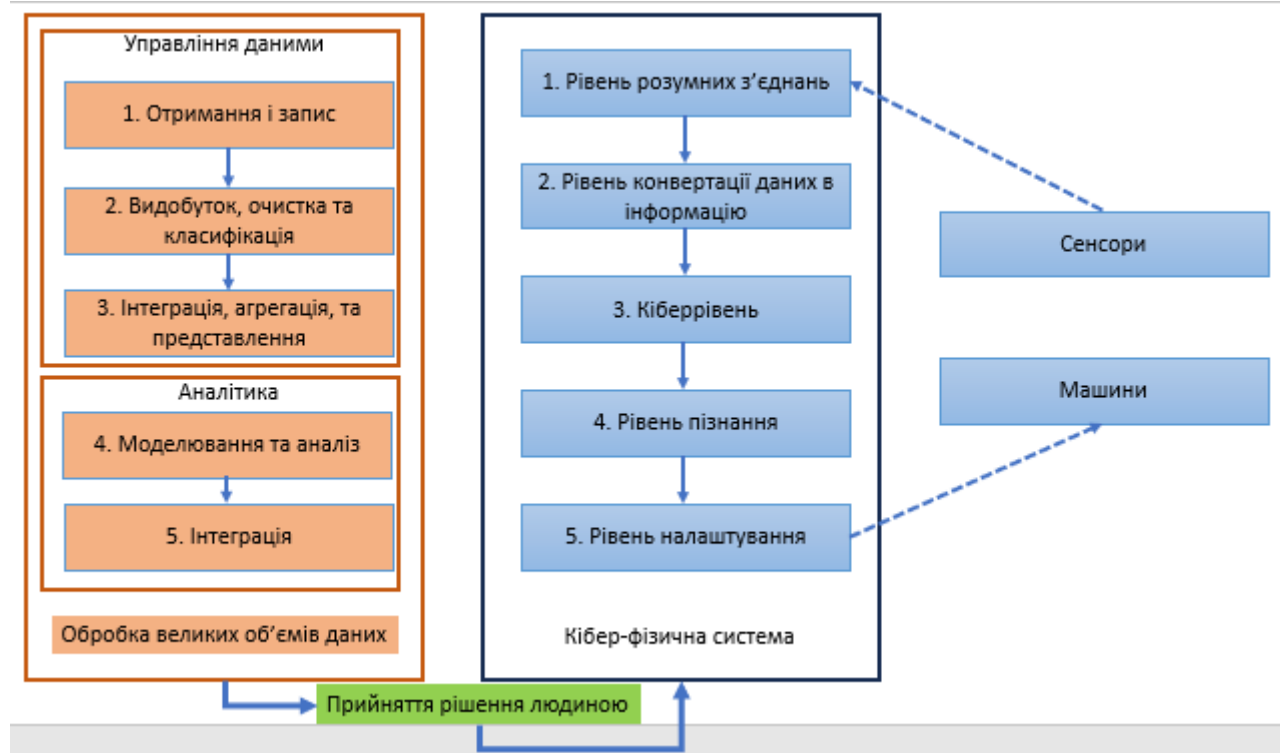


Рисунок 3. Діаграма процесу обробки даних згідно з Semernek et al., 2017 [8]

2.7 Машинне навчання

Згідно з De Mello & Ponti (2018) [16], машинне навчання — це програмне забезпечення, яке можна запрограмувати для виконання певних завдань, таких як прийняття рішень і підтримка фахівців у щоденних проблемах. Машинне навчання можна використовувати для сортування матеріалів за якістю, таких як твердість або геометрія, а також для діагностики захворювань у людей. Машинне навчання пов'язане зі статистикою, штучним інтелектом і розпізнаванням шаблонів.

Згідно з Madakam et al. (2015) [29], штучний інтелект (AI) тісно пов'язаний з Інтернетом речей (IoT), оскільки AI є високотехнологічним і спеціалізованим інтелектом у машинах. Штучний інтелект може допомагати людям у повсякденному житті, використовуючи інформацію та інтелект в пристроях, підключених до мережі. Madakam et al. (2015) [29] зазначають, що AI характеризується п'ятьма різними характеристиками:

- Вбудованість: середовище інтегроване мережею пристроїв.
- Контекстна обізнаність: пристрій може розпізнати ситуацію, в якій ви перебуваєте.
- Персоналізація: ваші потреби можуть бути налаштовані під індивідуальні вимоги.
- Адаптивність: машини можуть змінювати свої дії, залежно від ваших команд.
- Передбачуваність: машини можуть задовольнити ваші потреби без необхідності вказівок від вас.

Chiabert et al. (2018) [11] обговорюють, як може виглядати спрощена карта процесу для Промисловості 4.0. Вони зазначають, що перша фаза стосується збору даних за допомогою шару Інтернету речей, де дані зберігаються в хмарі, підключеній до мережі. Після того як дані були передані в хмару, шар великих даних використовується для очищення процесу і

забезпечення коректності даних. Пізніше дані обробляються машинним навчанням.

2.8 Lean Six Sigma

За словами Boslaugh (2019) [6], Six Sigma — це методологія, спрямована на покращення якості за допомогою статистичних інструментів. Boslaugh (2019) стверджує, що мета впровадження проекту Six Sigma полягає у виявленні та зменшенні варіацій у процесах, що в довгостроковій перспективі зменшить кількість дефектів продукції. Brook (2017) [7] пояснює, що Six Sigma — це методологія, яка поєднує вирішення проблем та дані у підхід "вирішення проблем на основі даних". Проект Six Sigma поділяється на п'ять фаз (DMAIC), які складаються з таких етапів: Визначення, Вимірювання, Аналіз, Покращення та Контроль.

Шість Сигм можна використовувати як додаток до Lean, де об'єднуються методики скорочення витрат та покращення якості.

Schroeder et al. (2007) [35] стверджують, що Six Sigma має подібності з управлінням якістю, оскільки вона була використана до впровадження Six Sigma. Six Sigma допомагає виявляти проблеми між різними відділами організації та забезпечує структуру для покращення.

Antony & Banuelas (2002) [3] визначають Six Sigma як статистичну та бізнес-методологію, яка спрямована на усунення дефектів, таких як витрати на якість, скорочення відходів та підвищення ефективності різних операцій.

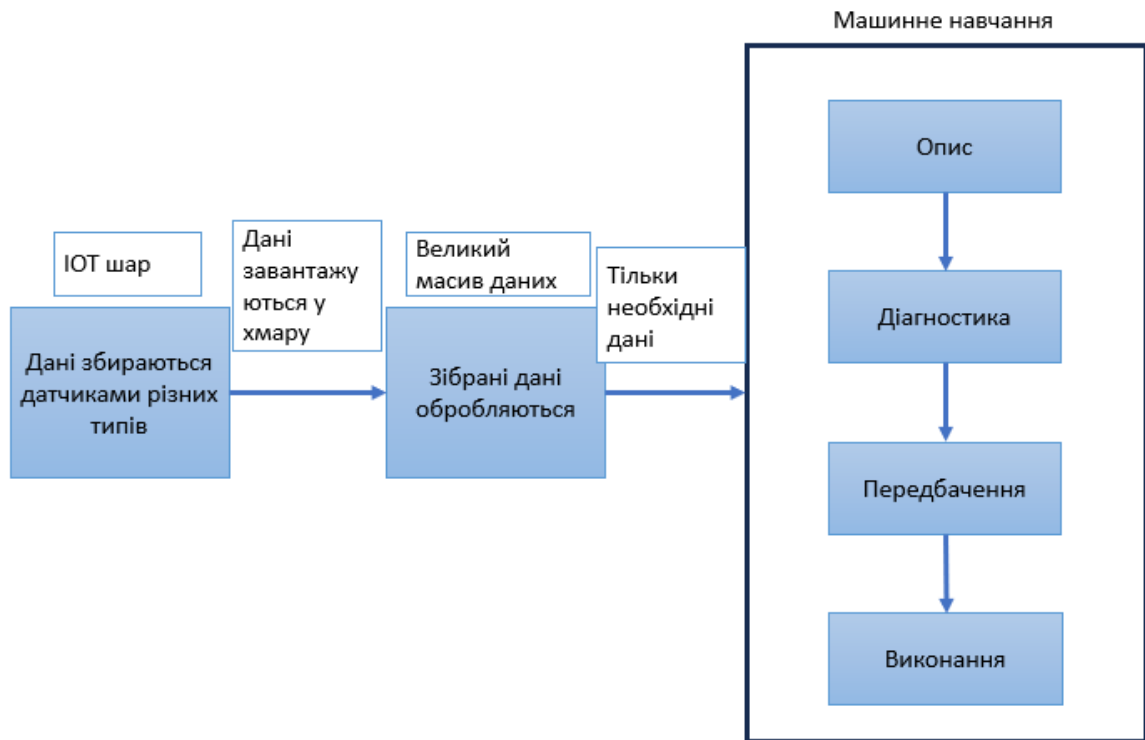


Рисунок 4. Спрощена схема Промисловості 4.0 згідно з Chiabert et al., 2018 [11].

Таблиця 2. Ключові інгредієнти для впровадження Six Sigma (на основі Antony & Banuelas, 2002 [3])

Інгредієнт	Опис
Залучення керівництва	Керівництво повинно брати участь, надавати необхідне навчання та ресурси, а також розуміти Six Sigma, оскільки це може суттєво вплинути на структуру та культуру організації.
Культурні зміни	Мотивація для підвищення відповідальності за якість серед працівників є важливою. Необхідно долати страх перед змінами через комунікацію та планування.
Організаційна структура	Важлива підтримка керівництва в організації. Генеральний директор — це "чемпіон" у Six Sigma, ієрархія включає майстрів чорних поясів, чорні пояси, зелені пояси тощо.
Навчання	Покращення знань працівників про Six Sigma, пояснення "чому" та "як" якомога раніше.

Навички управління проєктами	Добрі навички управління проєктами необхідні для досягнення успіху в Six Sigma, особливо для дотримання термінів та ключових етапів проєктів.
Пріоритизація проєктів	Вибір проєктів має базуватися на чітких критеріях: бізнес-користь, здійсненність і вплив на організацію.
Розуміння методології	DMAIC — це модель Six Sigma для навчання. Необхідно використовувати різні техніки для процесу вдосконалення, лідерства та роботи в команді.
Зв'язок із бізнес-стратегією	Важливо визначити вимоги клієнтів і забезпечити, щоб Six Sigma проєкт був пов'язаний із бізнес-стратегією для досягнення успіху.
Зв'язок із клієнтом	Визначення вимог клієнта є ключовим етапом на початку проєкту. Це допомагає зрозуміти потреби та очікування клієнтів.
Зв'язок із людськими ресурсами	Дії з боку HR необхідні для досягнення бажаних змін у поведінці, включаючи винагороди та заохочення для співробітників, що сприяють успіху проєкту.
Зв'язок із постачальниками	Six Sigma також може бути розширена на ланцюг постачання організації для покращення якості та ефективності.

РОЗДІЛ 3. ЕМПІРИЧНІ РОЗРАХУНКИ ТА АНАЛІЗ

3.1 Передбачуваність під час виконання інструкцій в ручну

Передбачуваність у GKN є важливим компонентом для ефективної роботи компанії, оскільки необхідно знати, скільки часу займе виконання певної дії. Із точки зору як менеджера, так і оператора передбачуваність є необхідною. Менеджери повинні знати, скільки коштує виготовлення певної кількості продукції, а також скільки можна пообіцяти клієнту в певний період. Наприклад, існує п'ятитижневий план постачання для клієнта, і якщо є відхилення у два тижні, то клієнт може отримати продукцію в період від трьох до семи тижнів, що не задовольняє його, якщо він не впевнений, коли точно отримає товар. Для оператора важливо знати, коли на його станцію надійде наступна одиниця продукції, що допомагає планувати свій робочий графік та

підготувати необхідне обладнання, що дозволяє заощадити час і сприяє більш плавному виробничому потоку.

3.2 Попереднє дослідження

Було проведено попереднє дослідження, де матриця розсіювання (див. таблицю 3) використовувалася для картування кореляцій між ручними та автоматизованими операціями, щоб побачити, чи є якісь зв'язки в процесі. Було виявлено, що немає кореляції між автоматичними операціями та загальним часом, що свідчить про передбачуваність для цих операцій. Це пояснюється тим, що автоматизовані дії мають фіксований час: оператор натискає кнопку «старт», а машина виконує свою програму. Однак видно, що немає чіткої лінії, де існують певні варіації для цих операцій, що, ймовірно, пов'язано з тим, як різні оператори реєструють час, оскільки час реєструється вручну. Машини є передбачуваними в плані тривалості виконання операцій. Проте циклограми на цьому графіку не показують повну картину того, що виходить після завершення обробки виробів. Якщо якась машина щось пропустила на виробі, вона не зможе визначити, що саме сталося. Натомість наступна ручна операція повинна вирішувати цю проблему, що може вплинути на час у ручних операціях.

Щодо ручних операцій, у таблиці 3 видно слабку лінійну кореляцію між ручними операціями та загальним часом, що свідчить про те, що ручні дії є менш передбачуваними за часом у порівнянні з машинними операціями. Для багатофакторної кореляції див. Додаток А.

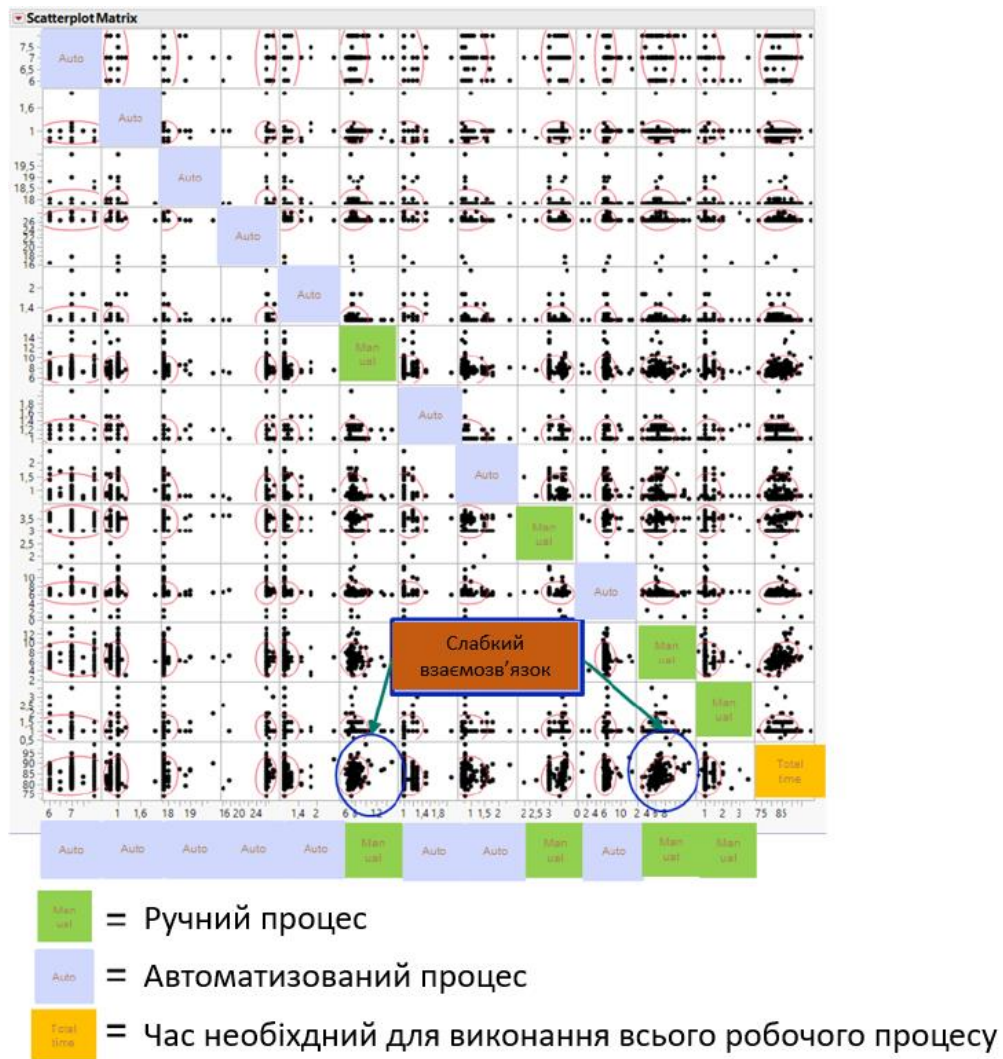


Рисунок 5. Матриця розсіювання для всього виробничого процесу.

3.3 Визначення факторів, що впливають на передбачуваність у ручних операціях

Під час інтерв'ю обговорювалися шляхи підвищення передбачуваності ручних операцій. Існує багато факторів, які впливають на передбачуваність таких операцій, починаючи від розробки креслень із урахуванням помилок і закінчуючи дизайном та використанням виробничих процесів. Критичні фактори, визначені з інтерв'ю:

Надійна система

В інтерв'ю обговорювали, що для забезпечення високої передбачуваності процесів потрібна надійна система, яка дозволить здійснювати моніторинг та

реагувати ще до появи проблем. Система повинна мати чіткі контрольні межі, щоб при виявленні відхилень можна було вжити заходів до того, як продукт вийде за межі вимірюваних допусків. Один із опитаних керівників зазначив, що надійність означає отримання однакового результату за стабільного процесу, який перебуває під статистичним контролем. Якщо процес перебуває під контролем, можна передбачити, скільки часу знадобиться на виконання дії, спираючись на історичні дані. Коли запускаються нові програми, і немає досвіду роботи з конкретним продуктом, важливо розбивати потік продукту на окремі процеси, щоб забезпечити високу та низьку передбачуваність на різних етапах роботи, що дозволить будувати бізнес-кейс.

Дизайн на етапі креслення

Дизайн продукту на етапі креслення відіграє важливу роль у передбачуваності. Оператори, які виконують дії, повинні враховуватися як з ергономічної, так і з виконавчої точки зору. У GKN є продукти, розроблені ще в 1990-х роках, коли не було вимірювальних машин, а лише ручні вимірювання. Тому ці продукти не можна використовувати з машинами, що призводить до довгих циклів часу, і оператори не завжди враховувалися під час розробки.

Людський фактор

Людський фактор був однією з основних тем, оскільки досвідчені оператори працюють швидше, ніж новачки. Зріст, сила і особисті вподобання також можуть впливати на передбачуваність. Наприклад, сильніший оператор може використовувати важчий інструмент, що пришвидшує процес.

Методи роботи

Більшість ручних операцій у GKN не мають стандартизованих методів виконання. Деякі операції мають навчальні документи, але вони більше схожі на рекомендації, а не на обов'язкові інструкції. Через це різні оператори можуть виконувати одну й ту саму роботу по-різному, що знижує передбачуваність.

Технічні вимоги

Одна з найбільших проблем під час виконання інструкцій в ручну — це технічні вимоги, які важко визначити. Наприклад, на етапі інспекції оператор може не завжди точно знати, чи є певна пляма на виробі допустимою.

Варіації матеріалу

Варіації матеріалу обговорювали як експлуатанти, так і керівники. Наприклад, листовий метал завжди має різну форму, що ускладнює його передбачуваність.

Ідентифікація апаратних засобів, що відхиляються від стандарту

Коли виріб відхиляється від норми, важко визначити, як це сталося і як це можна виміряти.

Стандартний час

Стандартний час згадувався у всіх інтерв'ю. Дехто сумнівався у достовірності даних, зареєстрованих у SAP/R3, хоча їх можна використовувати як орієнтир.

3.4 Етап визначення (Define phase)

На етапі визначення були виявлені проблеми, які необхідно вирішити, і місця, де вони виникають.

Модель афінного взаємозв'язку (AIM)

У сесії AIM взяли участь чотири співробітники з GKN з різних відділів, щоб висловити свої думки. Пізніше діаграма була переглянута п'ятим співробітником. Співробітникам, які брали участь у AIM, було запропоновано оцінити, що, на їхню думку, найбільше впливає на створення передбачуваності у ручних операціях. Співробітники отримали по одному з кожного числа: 3 (червоний) — має найбільший вплив, 2 (синій) — другий за значенням, 1 (зелений) — найменший вплив. Стрілки показують, як різні категорії корелюють одна з одною.

П'ять різних областей були визначені як основні виклики для підвищення передбачуваності в ручних операціях:

- **Зовнішні збурювальні проблеми** — це підгрупа, яка отримала найвищий бал (10). Вважається, що різниці матеріалу впливають на передбачуваність, оскільки відмінність між однією апаратною частиною та іншою може суттєво вплинути на час. Також обговорювалися проблеми, пов'язані з надійністю, такі як бруд, розміри тощо.
- **Автоматизована система звітності** — отримала другий за величиною бал (5), де надійність звітності вважається проблемою через труднощі в обробці часу, оскільки немає чіткої структури для вимірювання часу та зрозумілої системи звітності.
- **Людський фактор** — вважається однією з груп, яка є проблемою для створення передбачуваності в ручних операціях. Виникає різномайття між досвідченим і недосвідченим оператором, що було визнано проблемою.
- **Чіткі інструкції щодо методів роботи та організація процесів і потоків** — обговорюється відсутність стандартизованих робочих методів, що підвищує невизначеність щодо того, скільки часу займає виконання інструкцій. Під час інтерв'ю з промисловим менеджером було сказано, що перед тим як можна буде щось виміряти, всі мають виконувати дії за однаковою методикою з використанням однакових інструментів, інакше результати будуть некоректними.
- **Скорочення часу циклу без зниження якості** — це стосується зменшення часу без впливу на якість. Не враховується, чи має оператор досвід, що також впливає на передбачуваність, оскільки вартість протягом процесу базується на цільовому часі, який однаковий для всіх операторів.

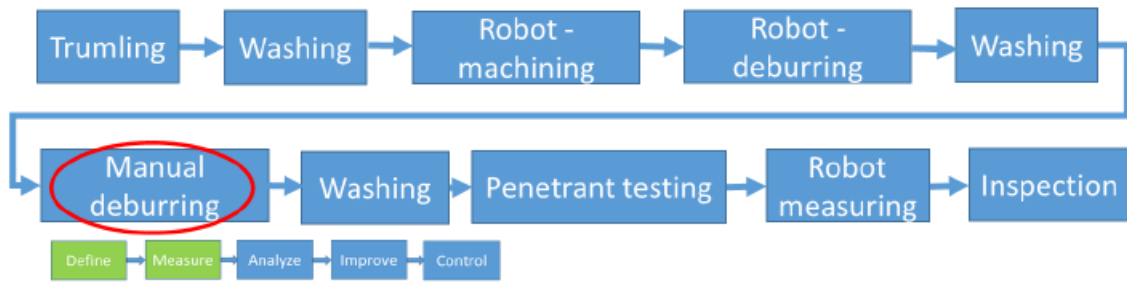


Рисунок 5. Послідовність процесу для обраної процедури

Аналіз варіацій у різних операціях потоку виробництва дав змогу отримати огляд того, як виконуються різні інструкції. З інтерв'ю стало зрозуміло, що не варто повністю довіряти даним і використовувати їх більше як індикатори для виявлення тенденцій. Однією з причин недовіри до даних є те, що оператори часто записують стандартний час замість фактичного часу, який пішов на виконання операції. Крім того, з точки зору оператора важко відстежувати, скільки часу займає кожен етап, що також впливає на точність звітності.

Як показано на рисунку 5, індивідуальні вимірювання часу циклу для ручної обробки задирок не знаходяться під контролем, хоча є лише кілька точок, що виходять за межі. Однак на діаграмі діапазону змін (див. рисунок 6) можна побачити більше таких точок, що свідчить про те, що різномайття в ручній обробці задирок не перебуває під контролем.

3.5 Фаза вимірювання – М

Час циклу ручної обробки задирок

Як показано на рисунку 6, індивідуальні вимірювання часу циклу для ручної обробки задирок не знаходяться під контролем, хоча є лише кілька відхилень. На діаграмі діапазону змін можна побачити більше таких відхилень, що свідчить про те, що відмінності у процесі ручної обробки задирок не є контрольованою.

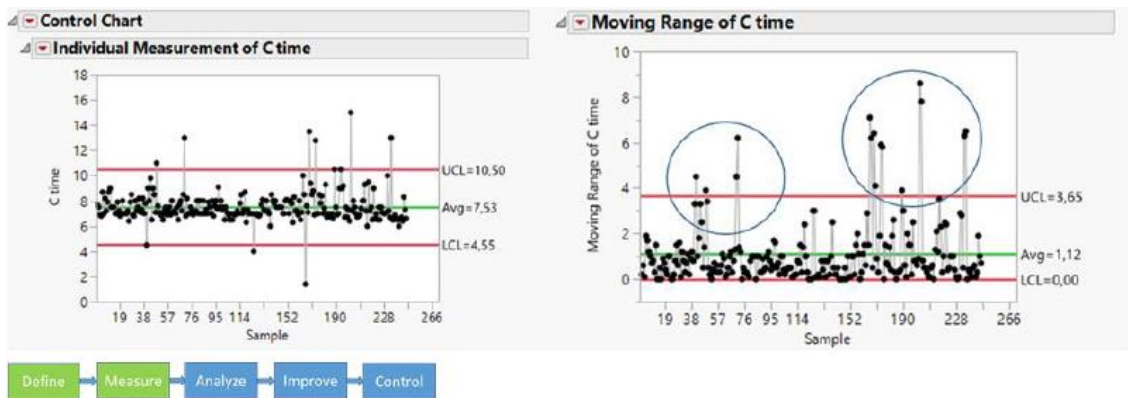


Рисунок 6. Контрольні діаграми – історичні дані щодо ручної обробки задирок

Отже, було визнано наявність варіацій, і стає важливим визначити, які аспекти ручного процесу найбільше сприяють цій непередбачуваності.

Фаза вимірювання показує результати карти процесу, яка була проведена на ручному зачищенні, що є заданим процесом того, як працюють оператори. Аналіз системи вимірювання (MSA) показує варіацію. Карта процесу було розроблено карту процесу для ручного зачищення, щоб зрозуміти, як виконується операція (див. рисунок 7). На рисунку 7 показано, як етапи операції були поділені на різні "темпо", кроки або етапи, що є конкретною ділянкою на обладнанні, яку потрібно обробити.

Аналіз вимірювальної системи (MSA)

Було розроблено карту процесу для ручної обробки задирок, щоб зрозуміти, як виконується операція (див. рисунок 7).

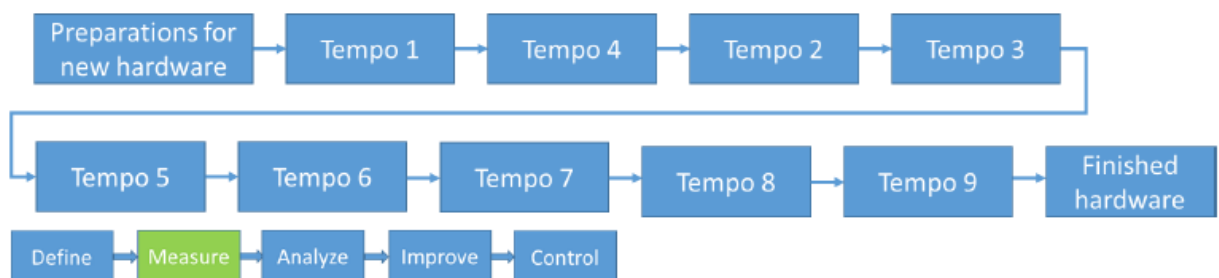


Рисунок 7. Карта процесу – ручна обробка задирок

MSA показує різниці у процесі ручної обробки задирок. Різномаяття виникає між етапами та продуктивністю операторів. Тому було необхідно зібрати дані, які допомогли б зрозуміти причини цих варіацій.

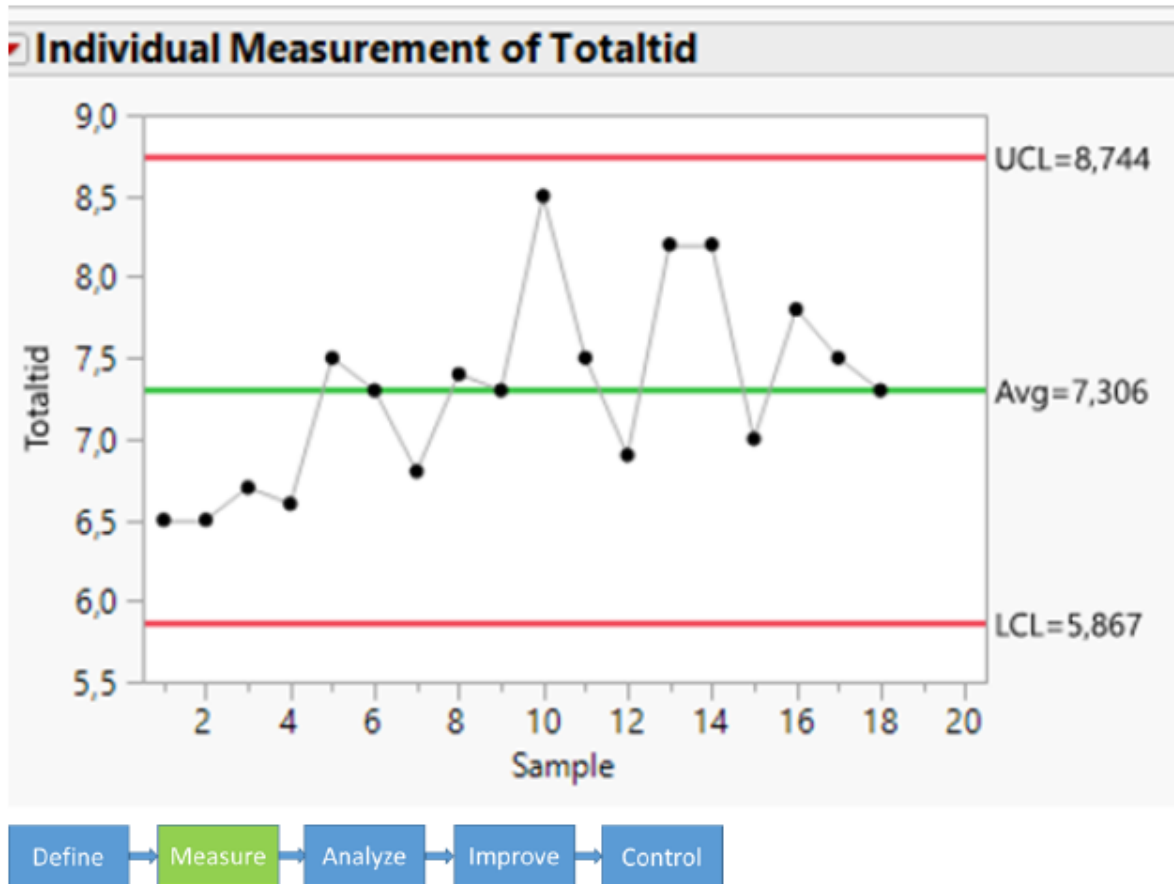


Рисунок 8. Контрольний графік MSA – ручна обробка задирів

Щоб перевірити, чи зібрані дані відповідають історичним, було проведено гіпотезне тестування між середніми значеннями історичних даних і MSA (див. рисунок 8). H_0 : немає різниці між середніми значеннями історичних і MSA-даних. Значення $p > 0,05$ свідчить про те, що H_0 не можна відхилити. Це вказує на те, що дані є репрезентативними, і як історичні дані, так і MSA-дані можна використовувати для подальшого аналізу.

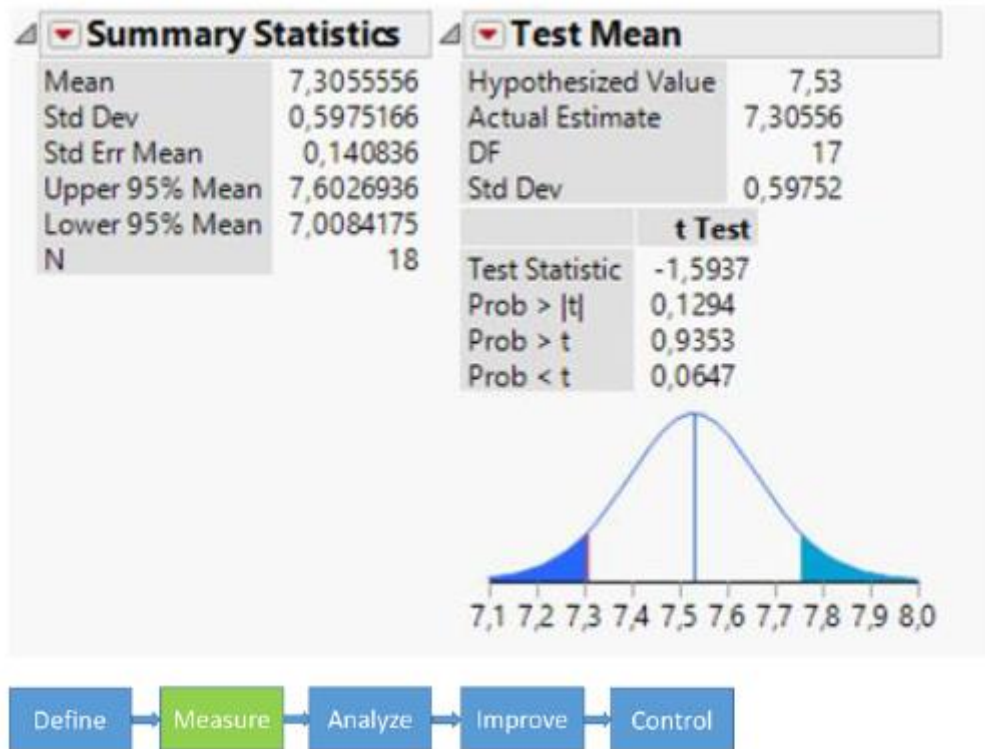


Рисунок 9. Гіпотезне тестування середніх значень між MSA та історичними даними.

Було проведено однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) між різними етапами, щоб перевірити, чи є відмінність між середніми значеннями та тими, що виходять за рамки стандартних. На рисунку 9 видно, що чотири різні темпи виділяються: 2, 3, 5 і 8. Ці етапи мають вищу стандартну девіацію порівняно з іншими, що дає уявлення про те, де виникає різноманітність в процесі. Проте, їх оскільки значення відрізняються за середніми показниками, порівняння стандартних відхилень може бути оманливим, оскільки кроки з вищими стандартними відхиленнями не обов'язково мають велику відмінність у своєму кроці порівняно з іншим етапами, що має таку ж стандартну девіацію, але менший середній показник.

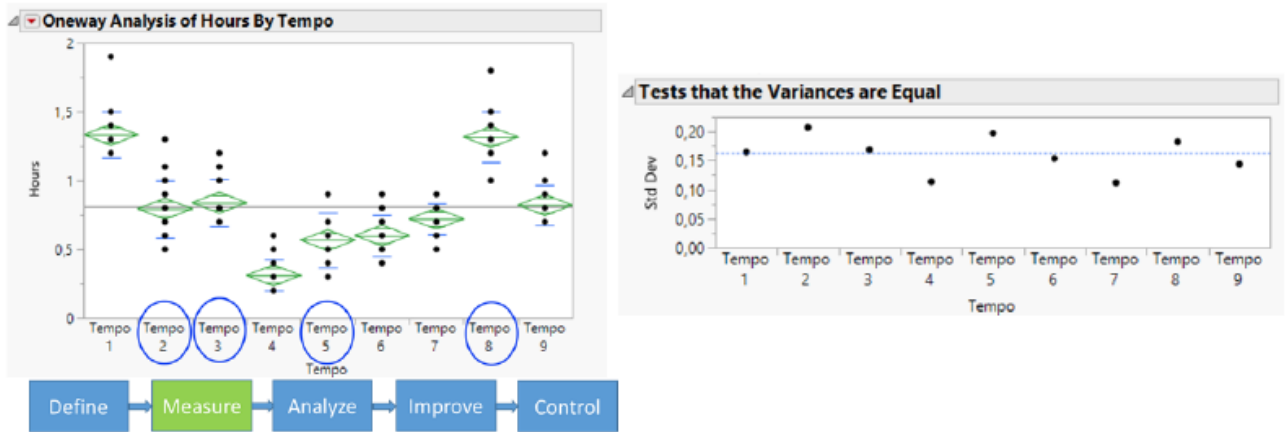


Рисунок 10. Однофакторний дисперсійний аналіз різних темпів.

Замість однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) було зроблено збір даних із MSA та враховано відгуки операторів під час ручної обробки задирок (див. таблицю 5), щоб глибше зрозуміти різні "темпи". У другій колонці описується, як вони пройшли через попередні дії, що дає уявлення про те, чи впливають вони на конкретний етап.

Третя колонка описує думки операторів щодо того, які кроки мають найбільшу варіацію або які вони вважають прийнятними. Це суб'єктивна думка операторів, але вона дає уявлення про те, які з них вважають проблемними. У четвертій колонці вказано відсоток відхилень, що дає точне уявлення про фактичну варіацію в ручних операціях задирок. Також у таблиці візуалізується складність, заснована на тому, які етапи експлуатанти вважають складнішими за інші.

У таблиці 5 видно, що є зв'язок між типом обробки задирок і відсотком відхилень, що вказує на те, що, ймовірно, є проблема з попередніми операціями. Видно, що темп 1 має низький відсоток відхилень, що свідчить про те, що попередня операція може добре справлятися з цією ділянкою в порівнянні з іншими, які були оброблені роботом. Темп 4 має найвищий відсоток відхилень. Однак він має найнижчий середній час, і оператори записують час вручну, тому округлення може впливати на нього.

Tempo	Type of deburring	Comment from operators	% deviation	mean time (h)	Complexity	Comments
Tempo 1	Robot deburred	Largest variations according to operators	12%	1,3	Easy OP	Low variation, few/only errors from the robot
Tempo 2	Robot deburred	Almost all robot miss, similar quality	26%	0,8	Easy OP	Can be the human factor
Tempo 3	Fully deburred	More sensitive area to work in	20%	0,8	Difficult OP	Can be the human factor
Tempo 4	Robot deburred	Milling can affect the material if it's hard, similar quality	36%	0,3	Easy OP	Most likely problems with previous OP
Tempo 5	Robot deburred	Largest variations according to operators	35%	0,6	Easy OP	Most likely problems with previous OP
Tempo 6	Robot deburred	Similar quality	26%	0,6	Easy OP	Can be the human factor
Tempo 7	Fully deburred	Works fine	15%	0,7	Easy OP	Can be the human factor
Tempo 8	Inside robot deburred	Largest variations according to operators	14%	1,3	Inside difficult	Low variation, previous op is most likely doing well
Tempo 9	Fully deburred	Works fine	17%	0,8	Easy OP	Can be the human factor



Рисунок 11. Збір даних MSA – ручна обробка задирок.

Одним з моментів, які можна помітити в таблиці 5, є те, що темп 3 був повністю оброблений задирками, і оператори вважають його найскладнішим, де відсоток відхилень є найбільшим, що може вказувати на те, що, ймовірно, існує більша відмінність між операторами в порівнянні з іншими, які були повністю оброблені.

Було проведено багатофакторний кореляційний аналіз, щоб перевірити, чи існують кореляції між різними етапами (див. таблицю 5). Темп 2, який був визначений як складна зона для роботи, виявив високу кореляцію із загальним часом дії. Це свідчить про те, що це співвідношення може бути пов'язана з варіаціями між операторами. Однак, оскільки єдиний аналізований фактор — це час, не можна зробити висновок про різниці операторів. Темп 6 також має кореляцію з темпом 2, що також може вказувати на різниці між операторами. Проте темп 6 корелює з темпами 2 і 3, але команда разом з операторами намагалися зрозуміти, чому виникла ця кореляція, і ніхто не зміг точно визначити причину, лише припущення. Для багатофакторної кореляції див.

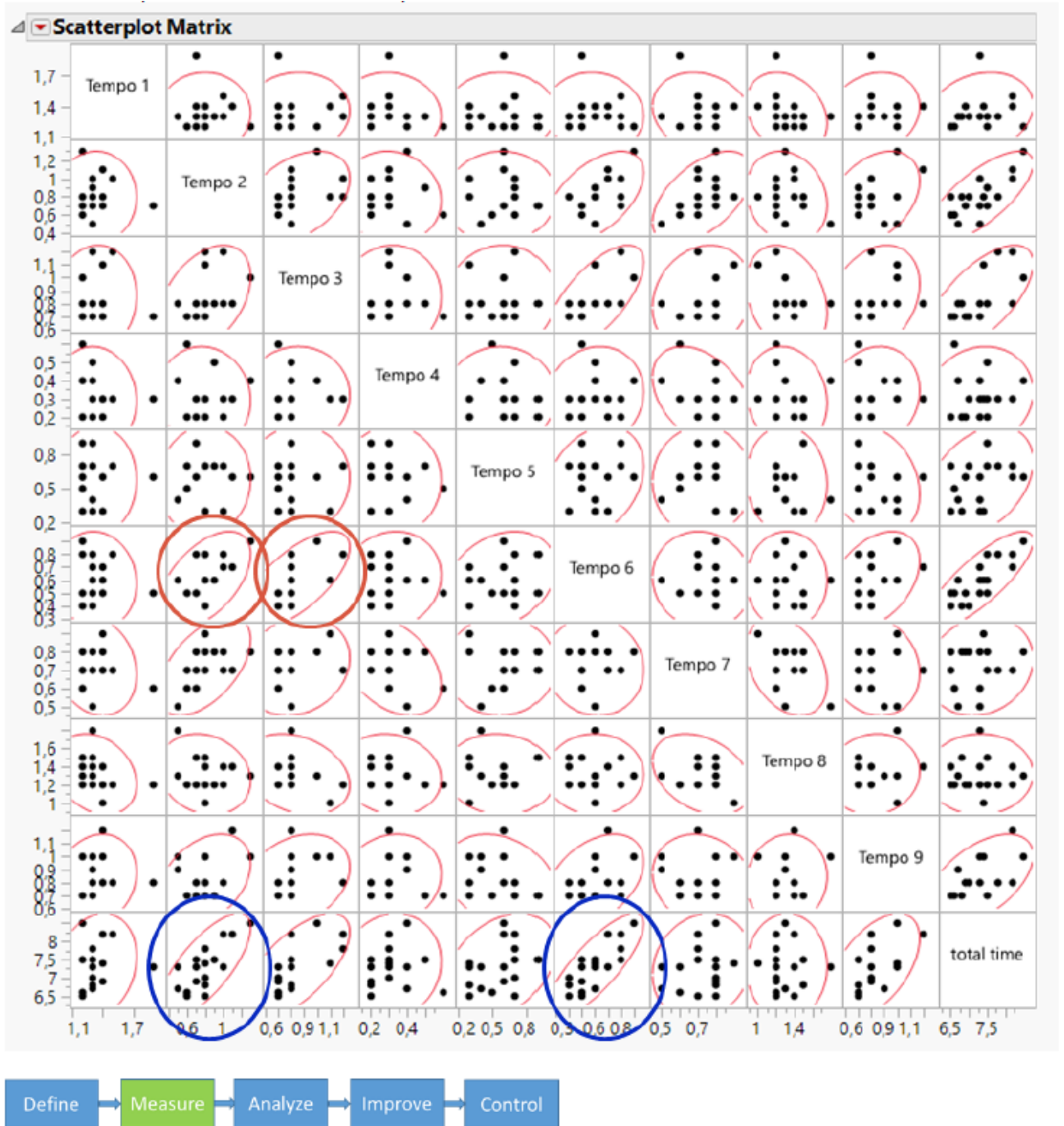


Рисунок 12. Матриця діаграм розсіювання для різних темпів.

3.6 Фаза аналізу - А

Фаза аналізу визначила причини, які можуть впливати на варіації в ручному обробленні задирок.

Діаграма "риб'ячої кістки"

Діаграма "риб'ячої кістки" (див. Рисунок 11) була складена для ручного оброблення задирок з метою виявлення факторів, які, на думку операторів, можуть впливати на час виконання інструкцій. Початковим питанням було: «Які фактори впливають на час у ручній обробці задирок?» Два експлуатанти з ручного оброблення брали участь у складанні діаграми, і пізніше вона була переглянута колишнім оператором.

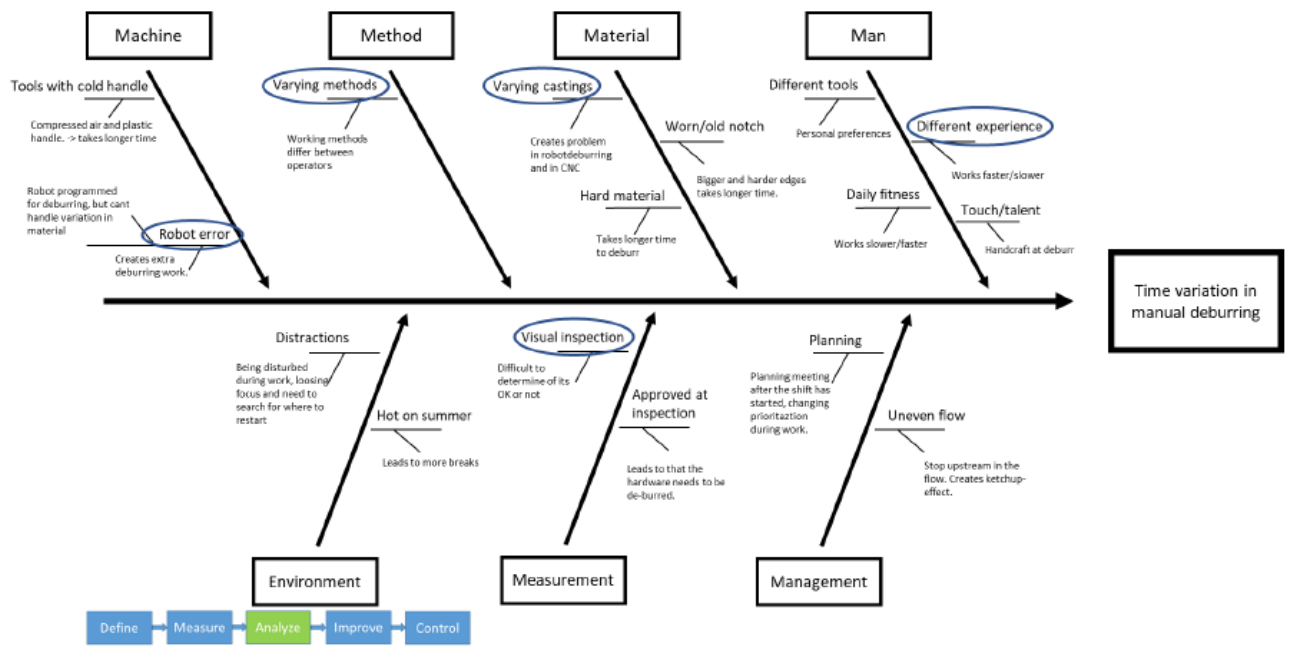


Рисунок 11. Діаграма "риб'ячої кістки" — варіації часу в ручній обробці задирок.

Оператори визначили п'ять різних факторів, які, на їхню думку, мають найбільший вплив на час:

- Різні методи – Оператори не використовують однакові методи роботи, що може впливати на час.
- Варіації у литтях – У матеріалі існують різні ґатунки твердості та геометрії, що припускає, що попередні дії, виконані роботом, не можуть впоратися з цими варіаціями. Це означає, що експлуатанти в ручному обробленні повинні виконувати додаткову роботу.

- Помилки робота – Робот виконує лише те, що йому наказано, і якщо в матеріалі є різні ґатунки, робот не може обробити всі ділянки, які потрібно. Це припускає, що оператори мають виправляти те, що робот не може зробити.

Також, якщо хтось відправляє деталь, яка не завершена, її потрібно буде обробити заново пізніше в процесі, що призводить до додаткової роботи для операторів.

Аналіз постачальників

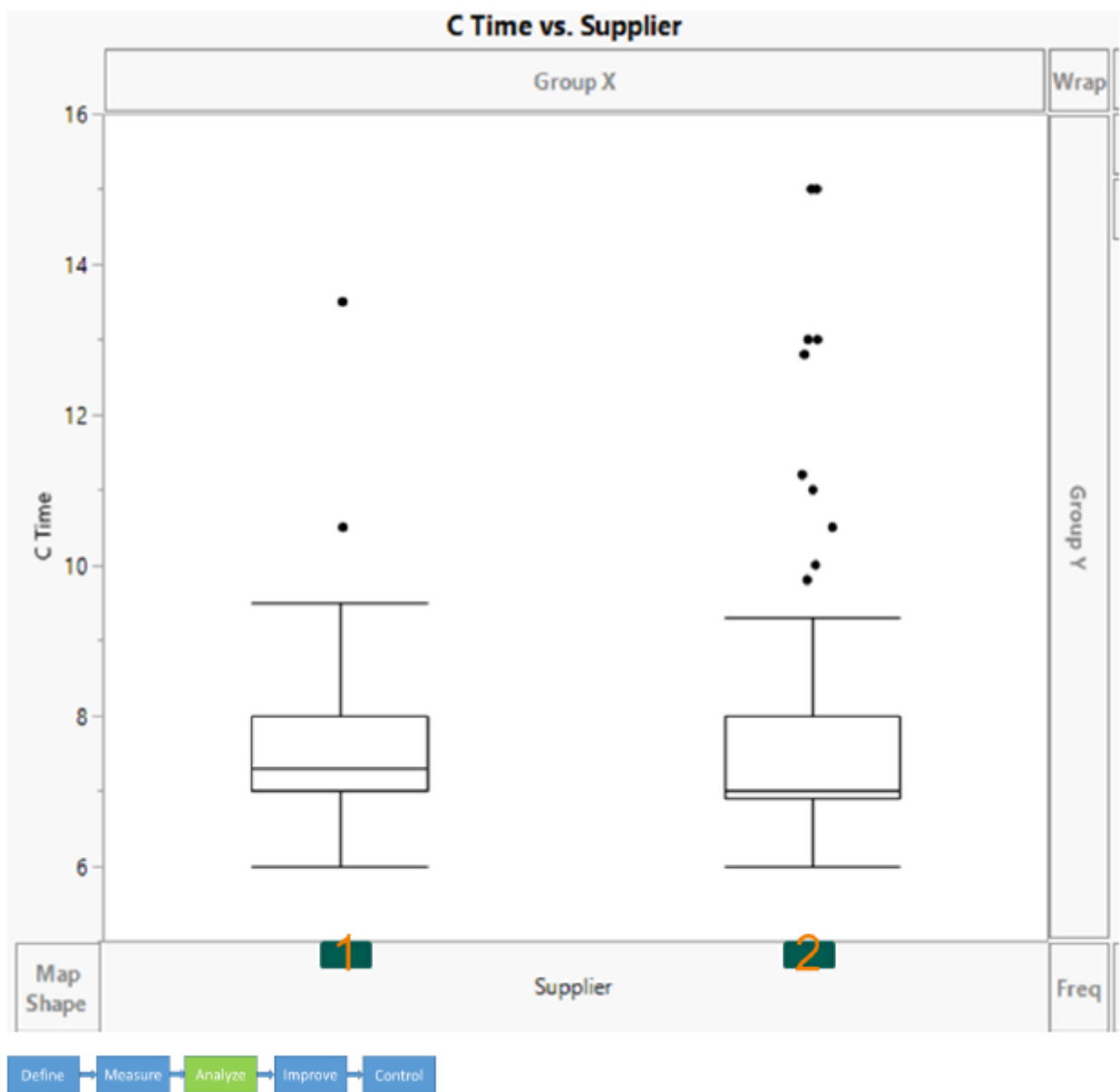


Рисунок 12. Діаграма розмаху – постачальник

Для цього потоку продуктів є два різні постачальники, і було проведено аналіз, щоб дослідити, чи є відмінність між ними за часом. Аналіз було проведено, враховуючи цикл часу ручної обробки задирок та фактор постачальника. Як показано на рисунку 12, середнє значення подібне, але один з постачальників має більше відхилень, що вказує на більшу варіативність між двома постачальниками.

Різний рівень досвіду – Впливає на швидкість роботи оператора; більш досвідчений оператор виконує операцію швидше.

Візуальна перевірка – Коли оператор вважає деталь готовою, він проводить візуальну перевірку або відчуває на дотик. Це може створити відмінності між операторами, оскільки один може вважати роботу виконаною, а інший – ні.

Гіпотетичний тест

Був проведений гіпотетичний тест (див. Рисунок 12), щоб перевірити, чи є дисперсії між однаковими постачальниками:

- H_0 : немає різниці в стандартному відхиленні між постачальниками.
- H_a : існує відмінність в стандартному відхиленні між постачальниками.

$P < 0.05$ – на основі проаналізованих даних H_0 може бути відхилено.

Це доводить, що існує значна відмінність в стандартному відхиленні між різними постачальниками. Відмінності між двома постачальниками свідчить про те, що, найімовірніше, матеріальне різномайття є причиною відхилень, оскільки коли операція займає більше часу в ручному обробленні, це часто відбувається через те, що робот не може впоратися з попередніми операціями (див. Рисунок 9). Робот не здатний реагувати на зміни в предметі, що призводить до того, що операторам доводиться виконувати більше роботи в ручному обробленні, щоб обробити ті ділянки, з якими робот не справляється.

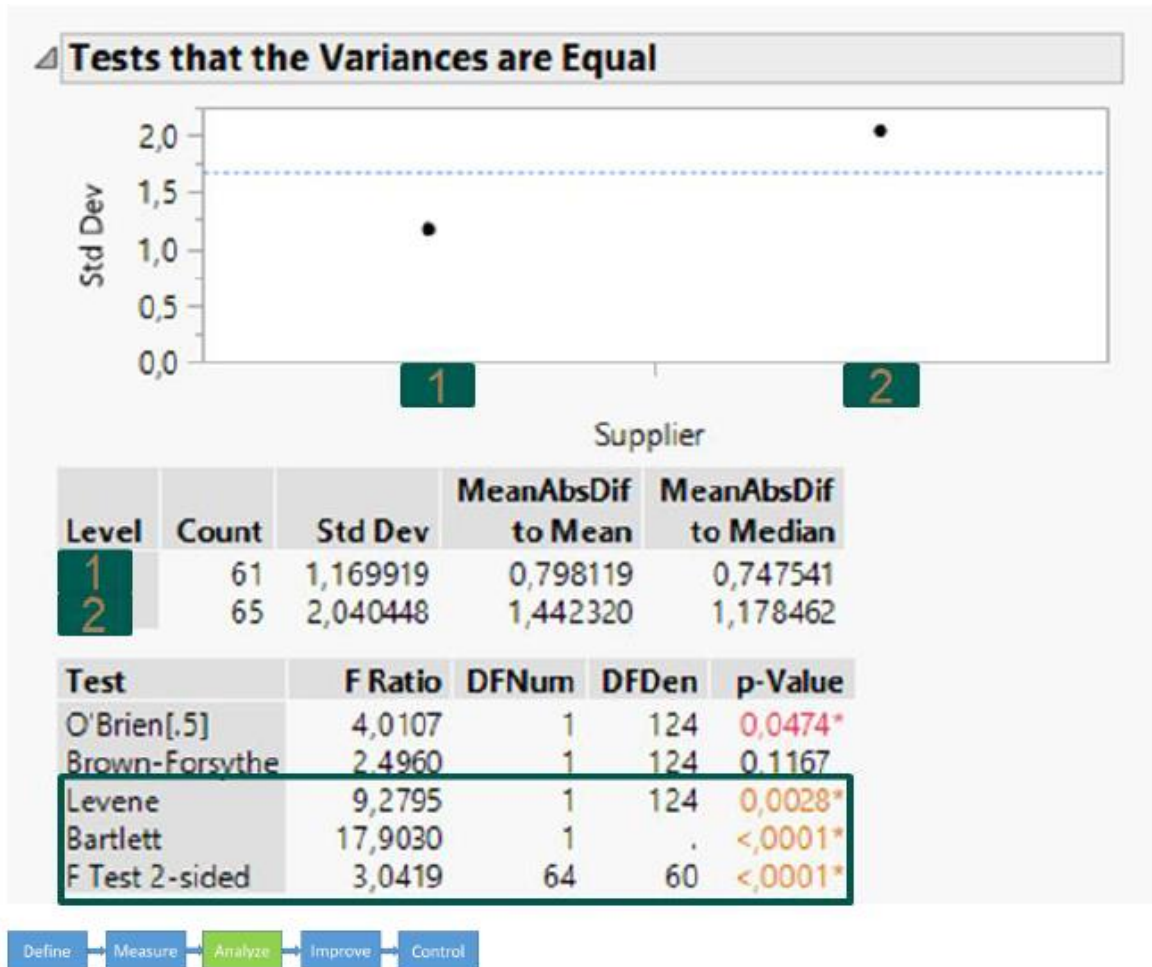


Рисунок 13. Гіпотетичне тестування між постачальниками.

Гіпотетичне тестування середніх значень

Щоб перевірити, чи існує відмінність в середніх значеннях між двома постачальниками, було проведено гіпотетичне тестування (див. Рисунок 13).

- H_0 : немає різниці в середніх значеннях між постачальниками.
- $P > 0.05$ – на основі проаналізованих даних немає достатньо доказів для відхилення H_0 .

Це означає, що немає значущої різниці в середніх значеннях між постачальниками.



Рисунок 14. Двохвибірковий t-тест між постачальниками.

Пропозиції щодо покращення

З проекту Lean Six Sigma були розроблені пропозиції щодо покращення в контексті Промисловості 4.0:

- **Різні методи, різний досвід:** Можна використовувати VR-окуляри, щоб допомогти операторам виконувати свою роботу, демонструючи, як саме слід виконати певну дію.
- **Варіації в литті:** Збільшити доступність даних про матеріал і сертифікати від постачальника (варіації матеріалів тощо), аналіз даних лиття перед виготовленням.
- **Візуальна перевірка:** CAD-моделі та автоматична оптична інспекція (AOI), використання AI для виявлення дефектів або відхилень.
- **Помилки робота через відмінності в матеріалі:** Можливість вимірювати проблему пізніше, якщо проводити вимірювання на кількох етапах.
- **Відмонності в матеріалі:** Здатність прогнозувати, скільки часу знадобиться для обробки деталі до її входу в виробничий потік, виходячи з матеріалу.
- **Ручна реєстрація фактичного часу:** Вимірювати час за допомогою смартфона, щоб спростити для операторів відстеження часу і збільшити кількість точок даних.

Різні методи, різний досвід

Різні методи та різний досвід були відзначені як проблеми в АІМ, діаграмі "риб'ячої кістки" та в інтерв'ю. Це свідчить про те, що з трьох різних джерел підтверджено, що це є проблемою. Причиною різних методів у деяких ручних операціях є те, що немає чіткого методу виконання роботи оператором. У вибраній роботі для цього проєкту (ручне оброблення задирок) існували схожі методи виконання операції, але не абсолютно однакові. Мали місце деякі відмінності на різному темпі. У перспективі промисловості 4.0 VR-окуляри можуть бути корисними для допомоги оператору в виконанні оптимального процесу оброблення задирок. Також для недосвідченого працівника буде корисно мати інструкцію про те, як виконувати роботу та які інструменти використовувати.

Відмінності в литті

Через високу складність продуктів і те, що лише кілька постачальників можуть виробляти такі види обладнання, існує ймовірність наявності варіацій у литтях. АІМ, діаграма "риб'ячої кістки" та аналіз постачальників показують, що існують варіації в матеріалі, які, найімовірніше, походять від постачальника. Для підвищення обізнаності про відмінності матеріалу можна використовувати збільшену доступність даних про матеріал і сертифікати від постачальника для аналізу та перевірки, чи певна твердість матеріалу вимагатиме більше часу для обробки, ніж обладнання з нижчою твердістю.

Візуальна перевірка

Коли обладнання завершено в операції ручного оброблення задирок, проводиться візуальна перевірка, щоб визначити, чи потрібно щось ще обробити. Якщо ні, то обладнання переходить до наступної дії в процесі. Якщо щось не так з обладнанням, перевірка в кінці процесу виявить, чи є якісь проблеми, після чого буде повторно оброблено обладнання. Невизначеність у тому, чи продукти завершені, може коштувати чимало грошей. За допомогою

технологій Промисловості 4.0, таких як автоматична оптична перевірка (AOI) і CAD-моделі, можна сканувати продукт, щоб визначити, чи підходить він.

3.7 Ручні операції в контексті Промисловості 4.0

На основі інтерв'ю одна особа обговорила, як Промисловість 4.0 є екосистемою, де багато компаній сприймають Індустрію 4.0 як щось, що їм потрібно впровадити без конкретної мети, чому це потрібно. Це може призвести до значних витрат на впровадження технологій Промисловості 4.0 у місцях, де це не є необхідним або повинно бути пріоритетом.

Щодо можливих перешкод, які можуть виникнути при впровадженні Промисловості 4.0 в ручні операції, у цьому дослідженні піднялася проблема особистої конфіденційності. Це було висловлено в АІМ (див. Рисунок 8) та в інтерв'ю, де вимірювання часу є параметром, що є чутливим. Оскільки Промисловість 4.0 є технологією, яка вимагає великої кількості даних, кількість даних про особу також збільшується. Вимірювання за допомогою відео також є критичним, коли мова йде про особисту конфіденційність.

Розробка повністю передбачуваної ручної дії в контексті Промисловості 4.0 вимагає, щоб оператори виконували одні й ті ж дії знову і знову. Це означає, що немає індивідуальних відмінностей, наприклад, бути однаково сильними, однакової висоти та виконувати ті ж самі рухи. Це не є реалістичним для жодної ручної операції, де потрібно враховувати індивідуальні відмінності.

Технології Промисловості 4.0 відкривають можливості не лише в автоматизованих операціях, але й у ручних. В одному з інтерв'ю обговорювали можливості оптимізації ручної праці в CAD-моделюванні, де можливо отримати найкращі практики. Іншою обговореною технологією була система сканування, яка сканує виконані дії та надає зворотний зв'язок щодо того, чи все добре або погано, чи потрібно щось додатково зробити на певній частині або що потрібно змінити. Система сканування може допомогти зменшити

повторні повернення обладнання до певного етапу, що збільшує час виконання продукту.

3.8 DMAIC

DMAIC — це акронім для п'яти різних фаз: Визначення (Define), Вимірювання (Measure), Аналіз (Analyze), Покращення (Improve) та Контроль (Control) (див. таблицю 6). Ці фази використовуються як структурований спосіб визначення та вирішення проблем, де рішення будуть впроваджуватися для усунення корінних причин і забезпечення того, щоб рішення були стійкими. Brook (2017) [7] стверджує, що підхід DMAIC є одним із ключових факторів успіху проектів Six Sigma через його структурований підхід до вирішення проблем.

Таблиця 6. Визначення фаз DMAIC (Brook, 2017 [7])

Фаза	Опис
Визначення	Визначення бізнес-задачі. Необхідно зрозуміти, чого хоче клієнт і як проєкт буде пов'язаний із клієнтом. Проблему процесу потрібно чітко визначити, щоб знати, що вимірювати і чи ми вирішуємо правильну проблему.
Вимірювання	Розробка показників процесу та дослідження того, як можна виміряти проєкт. Проводиться збір даних, аналізується якість даних та робляться висновки про стан процесу.
Аналіз	Ідентифікація корінних причин і критичних факторів, що впливають на процес. Ця фаза є гнучкою, надаючи інструменти та методи для різноманітних аналізів.

Покращення	Усунення корінних причин, виявлених на етапі аналізу, та розробка найкращих рішень. Використання показників ефективності (KPI) для оцінки запропонованих рішень.
Контроль	Підтримка досягнутих покращень та забезпечення їх стабільного впровадження.

Інструменти Lean Six Sigma

Lean Six Sigma має великий набір інструментів, які можна використовувати для виконання проєкту. Brook, 2017 [7] наводить перелік інструментів, які можна застосовувати в проєктах Lean Six Sigma.

Таблиця 7. Інструменти Lean Six Sigma (на основі Brook, 2017 [7] та Alänge, 2009 [1])

Інструмент	Опис
Проектний статут	Результати з етапу визначення підсумовуються у проєктному статуті.
Ефективна постановка завдань (SIPOC)	Допомагає визначити, на чому має зосередитися проєкт.
Метод взаємозв'язку афіниті (AIM)	AIM використовується для аналізу складних проблем і надання розуміння проблеми.
Картування процесу	Надає розуміння того, як працює процес.
Аналіз систем вимірювань (MSA)	Метод для аналізу якості системи вимірювання.
Діаграма контролю	Показує графічні відхилення від нормальних значень.
Перевірка гіпотез	Інструмент, який визначає, наскільки можна бути впевненим у правдивості припущень, приймаючи певне рішення.
Матриця розсіювання	Допомагає виявити кореляції між двома факторами.
Діаграма Ісікави (Fishbone)	Розбиває проблему на менші гілки для пошуку корінних причин.
Ящик з вусами (Box plot)	Узагальнює дані у вигляді ящиків і вусів для порівняння між наборами даних.

Проектування експериментів (DOE)	Техніка проведення експериментів у процесі в межах заданих областей з подальшим спостереженням та аналізом.
Аналіз видів і наслідків відмов (FMEA)	Інструмент для проведення аналізу ризиків, таких як серйозність, частота виникнення та можливість виявлення проблеми.
План контролю якості	Розробка документу для управління процесом, що містить деталі вимірювань для кожного етапу процесу.

3.9 Дослідження Промисловості 4.0 та Lean Six Sigma

У таблиці 8 підсумовані важливі фактори, які показують, як дослідження Промисловості 4.0 можуть бути пов'язані з методологією Lean Six Sigma.

Таблиця 8. Порівняння різних досліджень щодо Lean Six Sigma у зв'язку з Промисловістю 4.0 стосовно методів та даних для вдосконалення.

Дослідження	Структура проблеми	Вимірювання та аналіз даних	Впровадження рішень	Контроль процесу	Економічна доцільність	Датчики	ХМ L-дані	Фотодані	СА D-моделі
Cemernek et al. (2017)	x	x		x					
Gorecku et al. (2014)	x	x							
Herrmann et al.		x	x		x				

al. (2016)									
Chiabe rt et al. (2018)		x		x					

Як видно з таблиці 8, усі дослідження, які були проаналізовані, мають чітку структуру вимірювання та аналізу даних, що свідчить про врахування підходу Lean Six Sigma до вдосконалень, заснованих на даних, у контексті Промисловості 4.0. Однак лише одне дослідження Herrmann et al., (2016) [23] розглядає економічну доцільність впровадження різних технологій. Крім того, лише одне дослідження враховує чітку структуру впровадження та пріоритезації рішень.

Дані датчиків, XML та фотографічні дані були обговорені у всіх дослідженнях, що свідчить про те, що ці метрики можуть бути найбільш важливими для вимірювання того, як оператори взаємодіють з машинами.

3.10 Впровадження Промисловості 4.0 у контексті Lean Six Sigma

Згідно з Gorecky et al. (2014) [20], аналіз даних, отриманих від ручних робочих станцій, має структурований спосіб для аналізу. Спочатку йде структурація результатів, де дані перетворюються у стиснутий та структурований результат, що можна вважати етапом вимірювання (Measure) у методології Six Sigma. Ці дані потім піддаються подальшому аналізу, який відповідає етапу аналізу (Analyze). Реалізація результатів із даних візуалізується у відчутних моделях, які змінюються на цілі.

У контексті ручних операцій Gorecky et al. (2014) [20] стверджують, що під час розробки оптимальної моделі виконання роботи оператора, рухи об'єктів повинні відслідковуватися. Рухи можуть коригуватися в режимі

реального часу, і оператор може отримувати допомогу, якщо робляться помилки. Gorecky et al. (2014) [20] також зазначають, що дані можуть збиратися за допомогою GPS, точок доступу Wi-Fi або систем внутрішнього позиціонування, а віртуальна реальність може використовуватися як інструмент для допомоги працівникові в оптимальному виконанні роботи.

Gorecky et al. (2014) [20] стверджують, що різні методи повинні продукувати дані, які легко записувати, щоб ними могли скористатися інші оператори для отримання оптимального маршруту виконання роботи.

Herrmann et al. (2016) [23] обговорюють метрики, які можна використовувати для оцінки, які покращення слід пріоритезувати. Herrmann et al. (2016) зазначають, що існує три принципи для впровадження рішень Промисловості 4.0. Один із них — "взаємозв'язок" — стосується стабільної системи вимірювань, де сенсори, пристрої, машини та люди взаємодіють один з одним. Це передбачає важливість стандартизованого зв'язку між машинами та людьми. Інформаційна прозорість також обговорюється як принцип, де аналіз даних відбувається з використанням даних сенсорів у поєднанні з віртуальною реальністю.



Рисунок 15. Принцип послідовності згідно з Lichenberg, 1984 [28].

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота підсумовує результати дослідження. Спочатку розглядається вплив високої передбачуваності. Потім наводяться висновки про те, як можна підвищити передбачуваність у ручних операціях. Нарешті, у цьому розділі підсумовується, як Lean Six Sigma може бути використана для покращення передбачуваності в контексті Промисловості 4.0.

Передбачуваність є життєво важливою у компанії з високою складністю та низьким обсягом виробництва. Основними факторами, що обумовлюють необхідність високої передбачуваності, є:

- Розрахунки запасів безпеки та аналіз потужностей
- Час доставки
- Виграш у бізнес-угоді – вартість продукту
- Задоволеність клієнтів
- Добре організоване підвищення нового продукту
- Здатність передбачити, коли наступне обладнання прибуде на певний етап

Розбивка процесу допомагає виявити джерело варіацій. Загальний огляд операцій не дає того ж уявлення, як розбивка на менші етапи вимірювання. Завдяки Промисловості 4.0 з'являється можливість збільшити обсяг даних, що дозволяє глибше аналізувати ручні дії та можливість надійно звітувати про дані.

З проєкту Lean Six Sigma виявлено, що різноманітність матеріалів була основним фактором варіацій у ручному обробленні задирок, а різноманітність операторів також існувала, але її важко було повністю вивчити, оскільки список операторів був недоступний. Було виявлено кореляції між різними темпами, але члени команди та працівники не змогли пояснити ці кореляції. Необхідно провести подальше дослідження того, як твердість матеріалу впливає на ручне оброблення задирок.

Проект Lean Six Sigma допомагає впроваджувати технології Промисловості 4.0 таким чином, щоб ідентифікація кореневих причин показувала, де пріоритетно впроваджувати ці технології. Промисловість 4.0 може зробити ручну роботу більш передбачуваною. Наприклад, VR-окуляри можуть бути використані для інструктажу з найкращих практик виконання операцій. Крім того, смартфони можуть бути використані для підвищення точності звітування про правильний час у системі SAP/R3 та збільшення кількості точок вимірювання на етапі процесу. Це дозволяє провести кількісний аналіз для виявлення джерел варіацій у процесі. Тільки розглядаючи час циклу на етапі процесу, не можна отримати повну картину, лише індикатори того, що відбувається, якщо є якісь патерни, які потрібно додатково дослідити. П'ять різних фаз Lean Six Sigma впливають і були поєднані з технологіями Промисловості 4.0 як висновок про те, як можна виконати покращення:

- **Фаза визначення:** Визначає промислову проблему – чи вирішуємо ми правильну проблему?
- **Фаза вимірювання:** Вимірює промислову проблему – чи можемо ми довіряти даним? Промисловість 4.0 збільшує обсяг та надійність даних – включаючи датчики (IoT)
- **Фаза аналізу:** Розбивка макета процесу на більш детальні етапи допомагає знайти джерела варіацій і підвищити передбачуваність.
- **Фаза вдосконалення:** Ефективне використання технологій Промисловості 4.0 -> смартфони, планшети, VR тощо. Машинне навчання (AI) для покращення виробничих процесів.
- **Фаза контролю:** Контроль за допомогою даних сенсорів та впровадження меж специфікацій. Машинне навчання (AI) для контролю виробництва.

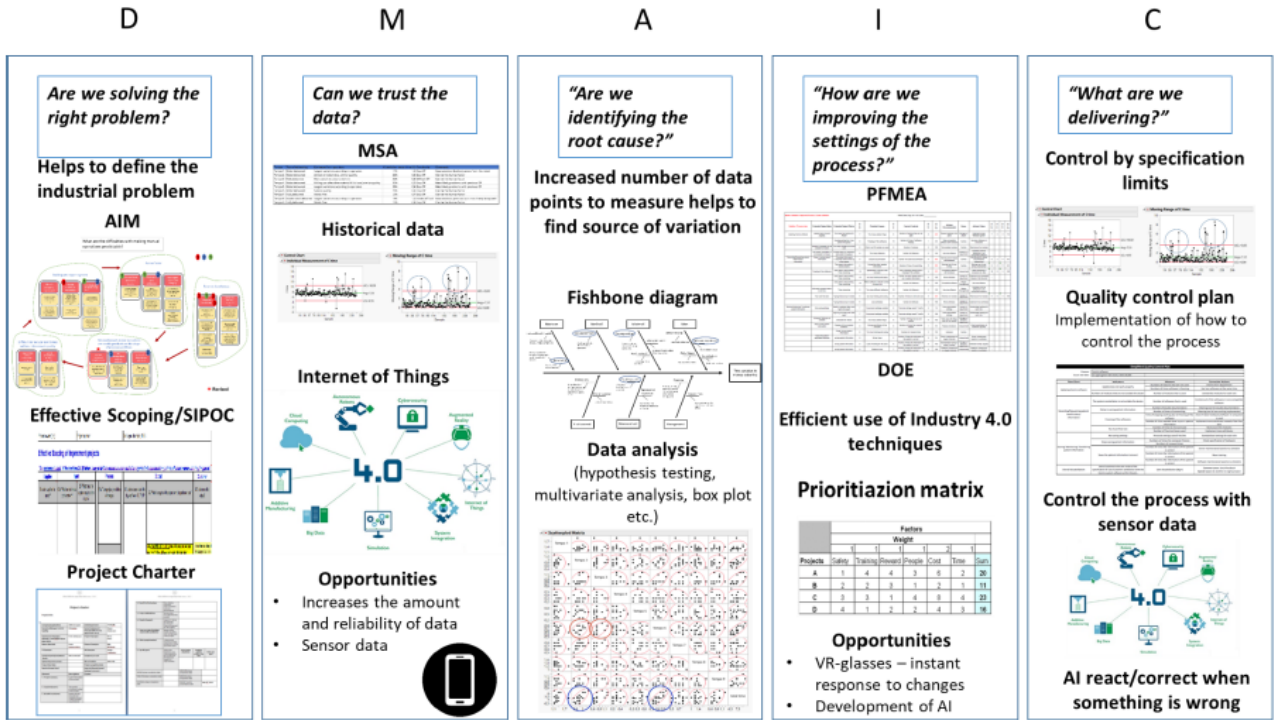


Рисунок 10. Lean Six Sigma в синергії з Промисловістю 4.0.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Alänge Sverker. 2009. The Affinity- Interrelationship Method AIM. A Problem Solving Tool for Analysing Qualitative Data Inspired by the Shiba “Step by Step” Approach
2. Ansari Fazel, Erol Selim & Sihn Wilfried. (2018). Rethinking Human-Machine Learning in Industry 4.0: How Does the Paradigm Shift Treat the Role of Human Learning?
3. Antony Jiju & Banuelas Ricardo. (2002). Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program, measuring business. Vol. 6 Issue: 4, pp.20-27 date: 190415 Available at: <https://doi.org/10.1108/13683040210451679>
4. Berg BL. (2009) Qualitative Research Methods For The Social Sciences. Seventh edition. Alliii and Bacon. Boston MA.
5. Boone, Laura, Salem. (2019) Industry 4.0 (Fourth industrial revolution). Press encyclopedia, Research starters. Date: 190227 Available at: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/#106a27d39788>
6. Boslaugh, Sarah E., Salem (2019). Six Sigma. Press Encyclopedia. Date: 190301 Available at: <https://eds-a-ebSCOhost-com.e.bibl.liu.se/eds/detail/detail?vid=2&sid=f4720048-0a6a-4008-9ef5-e5c63ea357f6%40sdc-v-sessmgr03&bdata=JnNpdGU9ZWRzLWxpdmUmc2NvcGU9c2l0ZQ%3d%3d#AN=89677627&db=ers>
7. Brook Quentin, (2017) – Lean Six Sigma & minitab (5th Edition) ISBN-13: 978-0-9957899-0-6.
8. Cemernek David, gursch Heimo & Kern Roman. (2017). Big data as a promoter of Industry 4.0: lessons of the semiconductor industry. Known-center GmbH, Knowledge Discovery Department. Graz Austria

9. Chalmers A.F. (1999) What is this thing called science? Third edition ISBN 0-87220-452-9.
10. Chen, M., Mao, S. & Liu, Y. (2014), Big Data: A Survey, Mobile Netw Appl, Vol. 19, pp. 171–209.
11. Chiabert Paolo, Bouras Abdelaziz, Noel Frédéric & Ríos José. (2018). Product lifecycle management to support industry 4.0. ISBN 978-3-030-01614-2 (eBook) Date: 190410 Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-01614-2>
12. Crandall E. Richard. (2017). Industry 1.0 to 4.0: the Evolution of Smart Factories. Date 190325 Available at: <http://www.apics.org/apics-for-individuals/apics-magazine-home/magazine-detail-page/2017/09/20/industry-1.0-to-4.0-the-evolution-of-smart-factories>
13. Dana C. Krueger, Mahour Mellat Parast & Stephanie Adams. (2014). Six Sigma implementation: a qualitative case study using grounded theory, Production Planning & Control, 25:10, 873-889, DOI: 10.1080/09537287.2013.771414.
14. Dennis K., Nicolina P., and Yves-Simon G. (2017). Textile Learning Factory 4.0 – Preparing Germany’s Textile Industry for the Digital Future. 7th Conference on Learning Factories, CLF 2017 Procedia Manufacturing. 57
15. Denscombe Martyn. (2010). The Good Research Guide for small-scale social research projects. Fourth Edition.
16. De Mello Fernandes Rodrigo & Ponti Antonelli Moacir. (2018). Machine Learning – a practical approach on the statistical learning theory.
17. Douven, Igor. (2017). "Abduction", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Date: 190227 Available at: <https://plato.stanford.edu/cgi-bin/encyclopedia/archinfo.cgi?entry=abduction>
18. Gilchrist Alasdair. (2016). “Industry 4.0: The Industrial Internet of Things” Date: 190301 Available at: <https://library-books24x7->

- com.e.bibl.liu.se/assetviewer.aspx?bookid=115830&chunkid=584152160&rowid=435 ¬eMenuToggle=0&leftMenuState=1
19. Golafshani, N. (2003). Understanding reliability and validity in qualitative research. *The Qualitative Report*, 8(4), 597-606. Retrieved 190214, from <http://www.nova.edu/ssss/QR/QR8-4/golafshani.pdf>.
 20. Gorecky Dominic, Schmitt Mathias, Loskyll Matthias & Zühlke Detlef. (2014). Human-Machine- Interaction in the Industry 4.0 Era. *Innovative Factory Systems*, German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI), Kaiserslautern, Germany.
 21. Gorecky Dominic, Schmitt Mathias, Loskyll Matthias, Zühlke Detlef. (2014). *Innovative Factory Systems*, German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI), Kaiserslautern, Germany.
 22. Grendel H, Larek R, Riedel F, Cetric Wagner J. (2017). Enabling manual assembly and integration of aerospace structures for Industry 4.0 – methods. Hochschule Bremen, Neustadtswall 30, 28199 Bremen, Germany. Date: 190308 Available at: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.11.004>
 23. Hermann Mario, Pentek Tobias, Boris Otto. (2016) Design principles for Industrie 4.0 scenarios. 49th Hawaii international conference on system sciences
 24. Jayaram Athul. (2016). Lean Six Sigma approach for global supply chain management using Industry 4.0 and IIoT, Amity University, Uttar Pradesh.
 25. Jick.D Todd. (1979). *Mixing qualitative and quantitative methods: triangulation in action*, by Cornell University. ISBN 0001-8392/79/2404.
 26. Kelle, U. (2006). *Combining qualitative and quantitative methods in research practice: purpose advantages*.
 27. Liao Corrina, Purseer Bec. (2011). *Being predictable*. Date: 190225 Available at: <https://uxmag.com/articles/being-predictable>
 28. Lichtenberg Steen. (1984). *Projekt planlÆgning – i en foranderlig verden*. ISBN 87-502-0622-2

29. Madakam Somayya, Ramaswamy & Tripathi Siddarth (2015). Internet of Things (IoT): A Literature Review, Journal of computer and communications. Date: 190330 Available at: <http://www.scirp.org/journal/jcchttp://dx.doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>
30. Merriam, S. B. (1988). Case Study Research in Education. San Francisco, CA: Jossey-Bass. 58
31. Ranta Kate. (2019) Industry 4.0 and challenges manufacturers face. Date: 190603 Available at: <https://www.marklogic.com/industry-4-0-challenges-manufacturers-face/>
32. Rastogi Ankit. (2018). A Breif introduction to Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma Date: 190214, Available at: <https://www.greycampus.com/blog/quality-management/a-brief-introduction-to-Lean-and-six-sigma-and-Lean-six-sigma>.
33. Richards. W Jay. (2018). Will manual labor disappear? Date: 190211 available at: <https://business.catholic.edu/news/2018/02/labor.html>.
34. Rojko Andreja. (2017). Industry 4.0 Concept: background and overview. ECPE European Center for Power Electronics e.V., Nuremberg, Germany.
35. Schroeder G. Roger, Lindermann Kevin, Charles liedtke, Choo S. Adrian. (2007) Six Sigma: Definitions and underlying theory. Journal of Operations Management 26(2008) 536-554. Date: 190407 Available at: www.sciencedirect.com
36. Schwab Klaus. (2016). The fourth industrial revolution: what it means, how to respond World economic forum. Date: 190225. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
37. Shanks Graeme, 2002 - GUIDELINES FOR CONDUCTING POSITIVIST CASE STUDY RESEARCH IN INFORMATION SYSTEMS, Department of Information Systems, The University of Melbourne.

38. Sreejesh, S., Mohapatra Sanjay & Anusress, M.R. (2014). Business research methods, an applied orientation ISBN 978-3-319-00539-3 (e-book).
39. Svennevig Jan. (2001). "Abduction as a methodological approach to the study of spoken interaction" Date: 190228, Available at: <http://home.bi.no/a0210593/abduction%20as%20a%20methodological%20.pdf>
40. Tranfield, D., Denyer, D. and Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence- Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *Br. J. Manag.* 2003, 14, 207–222.
41. Ustundag Alp & Cevikcan Emre. (2018). Industry 4.0: Managing the digital transformation (ebook) Date 190407 Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5>
42. Voss Chris, Tsikriktsis Nikos, Frohlich Mark, (2002) Case research in operations management - *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22 Issue: 2, pp.195-219, <https://doi.org/10.1108/01443570210414329>.
43. Wienclaw, R. A. (2013), *Quantitative and Qualitative Analysis*. Available at: <https://login.e.bibl.liu.se/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=89185655&site=eds-live&scope=site>.
44. Yin, R. K. (2003). *Case study research: Design and methods*. Thousand Oaks, CA: Sage.
45. Yin R.K. (2009). *Case Study Research: Design and Methods*. Thousand Oaks: Sage, 4.

ДОДАТОК А – Матриця взаємозалежності

Multivariate													
Correlations													
	Auto	Auto	Auto	Auto	Auto	Manual	Auto	Auto	Manual	Auto	Manual	Manual	Total time
Auto	1,0000	-0,0347	-0,0039	0,0620	-0,0025	0,0218	-0,1619	-0,0770	-0,0614	-0,0136	-0,1210	-0,2187	0,1134
Auto	-0,0347	1,0000	0,0229	-0,0392	0,0120	-0,0819	-0,1246	0,0141	-0,0670	0,0214	-0,0374	0,0817	0,0174
Auto	-0,0039	0,0229	1,0000	0,0130	-0,0108	0,0085	0,0761	-0,0681	0,0036	-0,0053	0,0328	0,1344	0,1155
Auto	0,0620	-0,0392	0,0130	1,0000	0,0638	0,0330	0,0188	0,0680	-0,0726	-0,0170	-0,0128	-0,1588	0,1307
Auto	-0,0025	0,0120	-0,0108	0,0638	1,0000	-0,0263	0,0936	0,0306	0,0179	-0,0161	-0,0579	-0,0569	0,0617
Manual	0,0218	-0,0819	0,0085	0,0330	-0,0263	1,0000	0,0114	-0,0444	-0,1526	-0,0531	-0,0474	-0,0238	0,2728
Auto	-0,1619	-0,1246	0,0761	0,0188	0,0936	0,0114	1,0000	-0,1988	-0,0615	0,0380	-0,0106	0,1575	-0,1588
Auto	-0,0770	0,0141	-0,0681	0,0680	0,0306	-0,0444	-0,1988	1,0000	-0,0550	-0,0023	0,0109	-0,0197	0,0591
Manual	0,0614	-0,0670	0,0036	-0,0726	0,0179	-0,1526	-0,0615	-0,0550	1,0000	-0,1239	0,0323	0,0189	0,1626
Auto	-0,0136	0,0214	-0,0053	-0,0170	-0,0161	-0,0531	0,0380	-0,0023	-0,1239	1,0000	-0,0850	0,0243	0,0739
Manual	-0,1210	-0,0374	0,0328	-0,0128	-0,0579	-0,0474	-0,0106	0,0109	0,0323	-0,0850	1,0000	-0,0459	0,4273
Manual	-0,2187	0,0817	0,1344	-0,1588	-0,0569	-0,0238	0,1575	-0,0197	0,0189	0,0243	-0,0459	1,0000	0,0430
Total time	0,1134	0,0174	0,1155	0,1307	0,0617	0,2728	0,1588	0,0591	0,1626	0,0739	0,4273	0,0430	1,0000

ДОДАТОК Б – Дані зібрані з дослідження MSA

Robot error

Q3

No robot deburr

Övrigt	Ordernur	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7	Tempo 8	Tempo 9	Totaltid
Tid		1,3	0,5	0,8	0,4	0,4	0,6	0,5	1,3	0,9	6,7
Tid		2,5	0,5	1	0,2	2	1,5	1	2	0,5	11,2
Tid		1,3	0,9	0,8	0,5	0,7	0,6	0,8	1,2	0,7	7,5
Tid		1,2	0,6	0,7	0,2	0,7	0,5	0,7	1,2	0,7	6,5
Tid		1,2	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5	0,6	1,2	0,7	6,6
Tid		1,3	0,5	0,8	0,4	0,4	0,6	0,5	1,8	1	7,3
Tid		1,2	0,8	0,7	0,2	0,3	0,4	0,8	1,4	0,7	6,5
Tid		1,3	0,8	1,2	0,3	0,7	0,8	0,7	1,2	0,8	7,8
Tid		1,3	0,8	0,8	0,2	0,3	0,4	0,8	1,5	0,7	6,8
Tid		1,4	0,8	1,1	0,3	0,3	0,6	0,9	1	1	7,4
Tid		1,3	1	0,8	0,2	0,3	0,7	0,8	1,4	0,8	7,3
Tid		1,5	1,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	7,6
Tid		1,2	1,3	1	0,4	0,6	0,9	0,8	1,3	1	8,5
Tid		1,3	0,7	0,8	0,3	0,9	0,5	0,8	1,5	0,7	7,5
Tid		1,5	1	1,2	0,3	0,7	0,8	0,7	1,2	0,8	8,2
Tid		1,4	0,7	0,7	0,2	0,6	0,5	0,8	1,2	0,8	6,9
Tid		1,4	1,1	0,8	0,3	0,6	0,7	0,7	1,4	1,2	8,2
Tid		1,3	0,8	0,7	0,3	0,7	0,4	0,8	1,2	0,8	7
Tid		1,2	0,7	0,8	0,2	0,9	0,8	0,7	1,5	0,7	7,5
Tid		1,9	0,7	0,7	0,3	0,6	0,5	0,6	1,2	0,8	7,3

ДОДАТОК В – MSA форма-опитувальник

Mätssystemanalys på manuell gradning

Namn & anställningsnummer: _____ Ordernummer: _____

Startdatum & starttid: 2019-04-04 Totaltid (ex. 7,8 h 8,9 h): 6.5

Information

Operationssteg – Visar de olika stegen som innefattar gradoperationen.

Tid – Den faktiska tiden det tar att utföra just det operationssteget i timmar (ex. 1,3 h, 2,7 h).

Verktyg – Namnet på verktyget som användes för att genomföra operationssteget.

Ordning – Vilken ordning tog ni steget i. ex Tempo 1 utfördes först och då ska "1" skrivas in i kolumnen, om Tempo 4 utfördes efter Tempo 1 då ska "2" skrivas in i kolumnen.

Kommentar – kan innefatta varför operationen tog längre/kortare tid än vanligt eller om det var skiftbyte. Vid skiftbyte ange då namn och anställningsnummer.

Op-steg	Tid	Verktyg	Ordning	Kommentar
Tempo 1	1,2		1	
Tempo 2	0,8		3	
Tempo 3	0,7		4	
Tempo 4	0,2		2	
Tempo 5	0,3		5	
Tempo 6	0,4		6	
Tempo 7	0,8		7	
Tempo 8	1,4		8	
Tempo 9	0,7		9	

ДОДАТОК Г – Відмінність між різними підходами

Multivariate										
Correlations										
	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7	Tempo 8	Tempo 9	total time
Tempo 1	1,0000	0,0058	0,0566	-0,0843	0,0181	-0,0699	-0,1711	-0,2550	0,1659	0,1955
Tempo 2	0,0058	1,0000	0,4110	-0,0725	0,0384	0,5369	0,5408	-0,1687	0,3601	0,7369
Tempo 3	0,0566	0,4110	1,0000	0,0377	0,0591	0,6827	0,1705	-0,2713	0,2780	0,6579
Tempo 4	-0,0843	-0,0725	0,0377	1,0000	0,0176	0,1016	-0,3938	-0,1235	0,1286	0,1034
Tempo 5	0,0181	0,0384	0,0591	0,0176	1,0000	0,2725	0,0089	-0,0655	-0,2424	0,3614
Tempo 6	-0,0699	0,5369	0,6827	0,1016	0,2725	1,0000	-0,0688	0,0000	0,4003	0,8087
Tempo 7	-0,1711	0,5408	0,1705	-0,3938	0,0089	-0,0688	1,0000	-0,3378	-0,1428	0,1482
Tempo 8	-0,2550	-0,1687	-0,2713	-0,1235	-0,0655	0,0000	-0,3378	1,0000	0,0748	0,0099
Tempo 9	0,1659	0,3601	0,2780	0,1286	-0,2424	0,4003	-0,1428	0,0748	1,0000	0,5328
total time	0,1955	0,7369	0,6579	0,1034	0,3614	0,8087	0,1482	0,0099	0,5328	1,0000