



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



Boosting the role of HEIs in the industrial transformation towards the Industry 4.0 paradigm  
in Georgia and Ukraine  
609939-EPP-1-2019-1-BE-EPPKA2-CBHE-JP

**Шатоха В.І., Жаданос О.В., Потап О.Ю., Чернова Н.С.**

# **ІНДУСТРІЯ 4.0: ЄВРОПЕЙСЬКІ ПРАКТИКИ У ВИЩІЙ ОСВІТІ ТА НА ВИРОБНИЦТВІ**

**МОНОГРАФІЯ**



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

Boosting the role of HEIs in the industrial transformation  
towards the Industry 4.0 paradigm

in Georgia and Ukraine

609939-EPP-1-2019-1-BE-EPPKA2-CBHE-JP



**Шатоха В.І., Жаданос О.В., Потап О.Ю., Чернова Н.С.**

# **ІНДУСТРІЯ 4.0: ЄВРОПЕЙСЬКІ ПРАКТИКИ У ВИЩІЙ ОСВІТІ ТА НА ВИРОБНИЦТВІ**

Монографія

Рекомендовано до друку Вченою Радою Українського державного  
університету науки і технологій  
(протокол №6 Від 03.04.2023)

Проект фінансується за підтримки Європейської Комісії. Зміст публікації відображує точку зору авторів і Європейська Комісія не може бути відповідальною за будь-яке використання інформації, яка приведена в публікації.

Дніпро, 2023

УДК 378.147 (477)  
ББК 74.484.4 (4 укр.)  
ISBN 978-966-2394-71-9

Рекомендовано до друку Вченою Радою Українського державного  
університету науки і технологій  
(протокол №6 Від 03.04.2023)

Рецензенти:

Мельничук М.Д. – Завідувач кафедри матеріалознавства Луцького  
національного технічного університету, кандидат технічних наук, доцент

Маначин І.О. - Старший науковий співробітник Інституту чорної  
металургії НАН України, кандидат технічних наук, старший дослідник

**Шатоха В.І., Жаданос О.В., Потап О.Ю., Чернова Н.С.**

**Індустрія 4.0: європейські практики у вищій освіті та на виробництві.**

Монографія. Дніпро. «Поліграфічна акцидентна фірма», 2023. - 89 с. Тираж 200  
примірників

Проект HEIn4.0, "Посилення ролі ЗВО в промисловій трансформації в контексті  
парадигми Industry 4.0 в Грузії та Україні (609939-EPP-1-2019-1-BE-EPPKA2-CBHE-JP)",  
виконується в рамках програми Erasmus+ за участі університетів і підприємств Бельгії,  
Португалії, Швеції, Грузії та України з 2020 року. Видання знайомить освітян і промисловців  
з передовим європейським досвідом, оформленим у вигляді опису вебінарів та тренінгів, що  
відбулися в рамках проекту, у контексті відповіді на виклики Індустрії 4.0. Публікація надає  
можливість широкому загалу освітян та промисловців стати співучасниками проекту заради  
того, щоб надалі разом впроваджувати найбільш передовий досвід реформування вищої  
освіти назустріч новим цивілізаційним та технологічним викликам.

**Shatokha V.I., Zhadanos O.V., Potap O.Y., Chernova N.S.**

**Industry 4.0: European practices in higher education and enterprise.**

Monograph. Dnipro. «Поліграфічна акцидентна фірма», 2023. - 89 p. Тираж 200  
екземплярів

The project HEIn4.0, "Boosting the role of HEIs in the industrial transformation towards the  
Industry 4.0 paradigm in Georgia and Ukraine (609939-EPP-1-2019-1-BE-EPPKA2-CBHE-JP)",  
is implemented since 2020 in the framework of the Erasmus+ programme with the participation of  
universities from Belgium, Portugal, Sweden, Georgia and Ukraine. This publication introduces the  
advanced European experience in the form an overview of webinars and trainings which took place  
in the frame of the project in the context of a response to the challenges of Industry 4.0. The  
publication provides an opportunity for the general public of educators and industrialists to become  
co-participants in the project in order to further jointly implement the most advanced experience in  
reforming higher education to meet new civilizational and technological challenges.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕДМОВА                                                                                                                                         | 7  |
| ЧАСТИНА 1. Індустрія 4.0 та вища освіта                                                                                                           | 9  |
| 1.1 Аналіз досвіду впровадження навчальних програм, які відповідають викликам концепції Індустрія 4.0 в умовах Королівського інституту технологій | 9  |
| 1.2 Науково-дослідна співпраця ЗВО та промислових підприємств в умовах Політехнічного інституту Порту                                             | 12 |
| 1.3 Лідерство університетів на шляху переходу до Індустрії 4.0                                                                                    | 14 |
| ЧАСТИНА 2. Індустрія 4.0 та суспільство                                                                                                           | 24 |
| 2.1 Аналіз основних компонентів концепції Індустрія 4.0, її переваг та задач, які постають перед промисловістю та ЗВО                             | 24 |
| 2.2 Розумне здоров'я: рамки інтернету речей ( <i>internet of things, IoT</i> ) для клінічних випробувань - середовище спільного створення         | 28 |
| 2.3 Великі дані та міська аналітика                                                                                                               | 30 |
| 2.4 Дослідження взаємозв'язку між концепціями ощадливого виробництва, Індустрії 4.0 та сталого розвитку»                                          | 36 |
| ЧАСТИНА 3. Співпраця університетів та промисловості в контексті Індустрії 4.0                                                                     | 38 |
| 3.1 B-remote - проект для віддаленого моніторингу стану машин                                                                                     | 38 |
| 3.2 Генерація коду з MATLAB, код для промислових додатків з ПЛК. Приклад промислового використання в умовах Arcelor Mittal Gent                   | 41 |
| 3.3 Індустрія 4.0 - Від сенсору до хмари                                                                                                          | 45 |
| 3.4 Відкритий дизайн, відкрита обробка та відкрите виробництво                                                                                    | 48 |
| 3.5 Proficloud - Інфраструктура інтернету речей (IoT) для віддалених промислових додатків                                                         | 49 |
| 3.6 PROFIenergy: розумна економія енергії за допомогою PROFINET                                                                                   | 54 |
| 3.7 Розширення можливостей майбутнього “Усуньте розрив між даними та прийняттям рішень за допомогою Power BI”                                     | 61 |
| 3.8 Сучасні і майбутні мережі для Індустрії 4.0                                                                                                   | 66 |
| 3.9 «Цифрові двійники: загальний огляд та практичний досвід»                                                                                      | 78 |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| ЧАСТИНА 4. Реалізація парадигми Індустрія 4.0 індустріальними партнерами проекту | 84 |
| 4.1 Кейс Festo                                                                   | 84 |
| 4.2 Інновації та технології в контексті Індустрії 4.0 у Volvo                    | 87 |

## CONTENT

|                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCTION                                                                                                                                                                    | 7  |
| PART 1. Industry 4.0 and higher education                                                                                                                                       | 9  |
| 1.1 Analysis of the experience of implementing educational programs that meet the challenges of the Industry 4.0 concept in the conditions of the Royal Institute of Technology | 9  |
| 1.2 Scientific and research cooperation of higher education institutions and industrial enterprises in the conditions of the Polytechnic Institute of Porto                     | 12 |
| 1.3 Leadership of universities on the way of transition to Industry 4.0"                                                                                                        | 14 |
| PART 2. Industry 4.0 and society                                                                                                                                                | 24 |
| 2.1 Analysis of the main components of the concept of Industry 4.0, its advantages and challenges facing industry and higher education institutions                             | 24 |
| 2.2 Smart health: an internet of things (IoT) framework for clinical trials - a co-creation environment                                                                         | 28 |
| 2.3 Big data and urban analytics                                                                                                                                                | 30 |
| 2.4 Research on the relationship between the concepts of lean production, Industry 4.0, and sustainable development                                                             | 36 |
| PART 3. Cooperation between universities and industry in the context of Industry 4.0                                                                                            | 38 |
| 3.1 Project for remote monitoring of machine condition                                                                                                                          | 38 |
| 3.2 Code generation with MATLAB, code for industrial applications with PLC. An example of industrial use in the conditions of Arcelor Mittal Gent                               | 41 |
| 3.3 Industry 4.0 - From the sensor to the cloud                                                                                                                                 | 45 |
| 3.4 Open design, open processing, and open manufacturing                                                                                                                        | 48 |
| 3.5 Internet of Things (IoT) infrastructure for remote industrial applications                                                                                                  | 49 |
| 3.6. PROFIenergy: smart energy saving with PROFINET                                                                                                                             | 54 |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.7 Empowering the future “Bridge the gap between data and decision-making with Power BI”    | 61 |
| 3.8 Modern and future networks for Industry 4.0                                              | 66 |
| 3.9 "Digital doubles: general overview and practical experience"                             | 78 |
| ЧАСТИНА 4. Implementation of the Industry 4.0 paradigm by industrial partners of the project | 84 |
| 4.1 Case Festo                                                                               | 84 |
| 4.2 Innovation and technology in the context of Industry 4.0 at Volvo                        | 87 |

## ПЕРЕДМОВА

Навіть зважаючи на невинну модернізацію вищої освіти за часів незалежності України, її зміст та спрямованість великою мірою продовжують академічні традиції часів індустріалізації 30-х років минулого сторіччя. Компетенції, на надання яких орієнтується вища інженерна освіта і досі відповідають контексту 3-го технологічного укладу, пов'язаного з розвитком окремих галузей господарства, що вимагало вузькопрофільних фахівців у великі кількості.

Втім, хоча важливість базових інженерних компетенцій ніхто не може відмінити, парадигма соціально-економічного розвитку вже змінилася. Наша цивілізація вже вступила у чергову промислову революцію: стрибком долаючи 4-й та 5-й технологічний уклади, ми вже бачимо обрії 6-го технологічного укладу, головними рисами якого є революційне удосконалення матеріалів (які стають більш функціональними та слугуватимуть нам набагато довше за традиційні), скорочення потреб у енергії (завдяки підвищенню енергоефективності) та зміни структури її виробництва і споживання (насамперед, це стосується розвитку відновлювальних джерел), проникнення інформаційних технологій та штучного інтелекту до усіх сфер діяльності, але головне – це поступове стирання межі між галузями знань та галузями виробництва. Вже у найближчому майбутньому відбуватиметься конвергенція нано-, біо-, інфо- та когнітивних технологій. Це вимагає революційних змін на усіх рівнях людської діяльності, зокрема й у вищій освіті: переможе той, хто буде здатним змінюватися швидше за інших, а на тих хто не зможе переналаштуватися чекає участь динозаврів.

Під Четвертою промисловою революцію, що іменована терміном Індустрія 4.0, розуміється інтегрований розвиток та взаємне проникнення автоматизації, обміну даних і виробничих технологій з формуванням саморегульованої системи, втручання до якої людини (у якості оператора) ставатиме дедалі менш необхідним. Для освітян і науковців є очевидним те, що наслідком такої революції має стати докорінна зміна вимог до компетенцій майбутніх працівників, що, у свою чергу, вимагає змінювати і зміст вищої освіти

Проект HeIn4.0, що виконується коштом Європейського Союзу за програмою Erasmus+, спрямований на пришвидшення трансформаційних процесів у вищій освіті у контексті парадигми Індустрії 4.0. Проект виконується у тісній співпраці з промисловістю та має на меті вирішити проблему диспропорції між наявністю технологій, що відповідають рівню Четвертої

промислової революції, та відсутністю досвіду щодо переформатування бізнес-моделі підприємства з метою забезпечення всебічного використання нових технологічних можливостей.

Розпочавшись у 2020 році, проект HEIn4.0 набув ще більшої актуальності в контексті Covid-19 з огляду на загальне усвідомлення потреби у пришвидшеній цифровій трансформації. Навіть робочі інструменти виконання проекту еволюціонували, надаючи перевагу новітнім цифровим технологіям навчання та комунікацій.

Європейські партнери проекту - представники Бельгії, Португалії та Швеції - є визнаними лідерами у багатьох сферах і, зокрема, у сфері налагодження співпраці з промисловими партнерами задля максимального наближення змісту освіти до нових технологічних викликів. Це видання покликане познайомити широке коло освітян і промисловців з передовим європейським досвідом, оформленим у вигляді опису вебінарів та тренінгів, що відбулися в рамках проекту.

З початку війни 2022 року Україна зазнала масштабного руйнування. Загарбниками знищено або пограбовано підприємства, які були флагманами української індустрії, пошкоджено промислову, комунальну та транспортну інфраструктуру. Післявоєнна відбудова не має носити характер реконструкції – ми маємо застосувати найбільш передовий світовий досвід та забезпечити проривний розвиток нашої держави, який дозволить нам не лише відновитися, але й стати одним з лідерів постіндустріальної цивілізації.

Ця публікація має на меті надати можливість широкому загалу освітян та промисловців стати співучасниками нашого проекту заради того, щоб надалі разом впроваджувати найбільш передовий досвід реформування вищої освіти назустріч новим цивілізаційним та технологічним викликам.

*Володимир Шатоха,  
співкоординатор проекту HEIn4.0*

## ЧАСТИНА 1

### Індустрія 4.0 та вища освіта

#### 1.1 Аналіз досвіду впровадження навчальних програм, які відповідають викликам концепції Індустрія 4.0 в умовах Королівського інституту технологій

Актуальною задачею для ЗВО в контексті впровадження парадигми Індустрія 4.0 є сприяння підвищенню кваліфікації кадрів відповідно до викликів та компетенцій, пов'язаних з концепцією підприємств майбутнього. Для цього учасниками проекту HEIn4.0 було проаналізовано досвід впровадження відповідних навчальних програм в умовах Королівського інституту технологій (КТН, Royal Institute of Technology).

У проекті КТН *Maestro* “Виробнича освіта для стійкої четвертої промислової революції” технології розглядаються не просто як новий засіб економічного зростання, але як ключовий елемент забезпечення екологічного майбутнього. Головною метою цього проекту є поєднання передового досвіду у виробничих дослідженнях для визначення та забезпечення нових компетенцій, які необхідні майбутнім інженерам для роботи в контексті четвертої промислової революції з особливим акцентом на аспект стійкого переходу до цифрової ери. Нові освітні компоненти сформульовані в рамках незалежних навчальних блоків, які можна легко інтегрувати до існуючих загальнодоступних програм у галузі промислової, механічної, виробничої та електричної техніки.

Поставлена мета досягається шляхом виконання наступних компонентів проекту:

- аналіз та обґрунтування інноваційних тем для включення до бакалаврської освіти (наприклад, віртуальна реальність, доповнена реальність, адитивне виробництво, співпраця між автономними роботами та роботами і людьми, стійкі бізнес-моделі, засноване на мультиагентних засобах розподілене управління, машинне навчання, бази даних тощо);
- визначення відповідних та оновлених навичок та компетенцій у галузі 4.0, з акцентом на питання стійкості для різних інженерних профілів;
- розробка конструктивно узгоджених між партнерами проекту навчальних дисциплін, які містять сучасні навчальні матеріали та кейси і демонструють існуючу реалізацію технологій Індустрії 4.0 у промисловості та мають конкретне посилення на аспект стійкості. Конструктивне узгодження дає

необхідну спільну основу для розподілу освітніх цілей між різними навчальними закладами та різними методологіями навчання;

- перевірка та впровадження запропонованих курсів, проведення першого набору пілотних курсів, що включає весь спектр технологій, що входять до Індустрії 4.0;
- довготривала співпраця та взаємодія між залученими організаціями для взаємного зміцнення кожної установи.

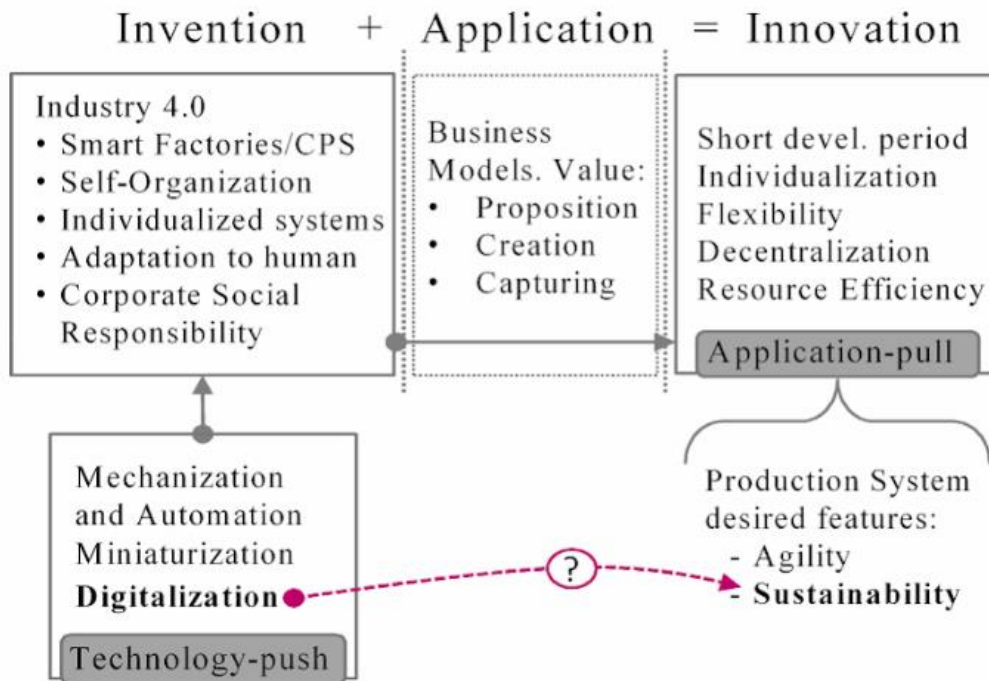


Рис. 1.1 - Взаємозв'язок між концепцією Індустрія 4.0 та сталим розвитком

За своїм характером така діяльність може здійснюватися лише в міжнародному середовищі, тому до проекту залучені партнери різних країн ЄС (Великобританія, Португалія, Італія, Словенія та Польща).

Ще одним прикладом проекту, який сприяє підвищенню кваліфікації кадрів в контексті парадигми Індустрія 4.0 є проект **Tiphys**, орієнтований на побудову відкритої мережевої платформи для вивчення тем Індустрії 4.0 аспірантами різних країн та спеціальностей. Очікуваним результатом є можливість для аспірантів спільно створювати свій навчальний шлях та динамічні студентські команди для кожної конкретної навчальної потреби. Взаємодія таких команд здійснюватиметься за допомогою соціальної мережі.

Запорукою ефективності нової навчальної програми є її наукова основа та можливість використання загальних інструментів, пов'язаних з дослідженнями (EndNote, мова програмування, лабораторії, Matlab тощо), а також її специфічні особливості такі як:

- баланс передової, теорії та практики (на основі дослідницьких робіт, результатів проекту, а не виданих книг чи усталених практик або стандартів);
- чітко встановлена модель навчання у гнучкому контексті;
- створення спільноти для досягнення поставлених цілей.

Важливим етапом розробки курсів є їх конструктивне узгодження, для цього використовують результати роботи Джона Біггса та його видатний принцип розробки ефективної та дієвої педагогічної діяльності у вищій школі SOLO (Structure of the Observed Learning Outcomes). Зокрема, цей принцип спирається на дві основні концепції: конструктивне розуміння навчального процесу та практичну потребу у узгоджених та розроблених навчальних програмах на основі результатів. Такий підхід надає необхідну спільну основу для розподілу освітніх цілей між різними закладами та різними методологіями навчання.

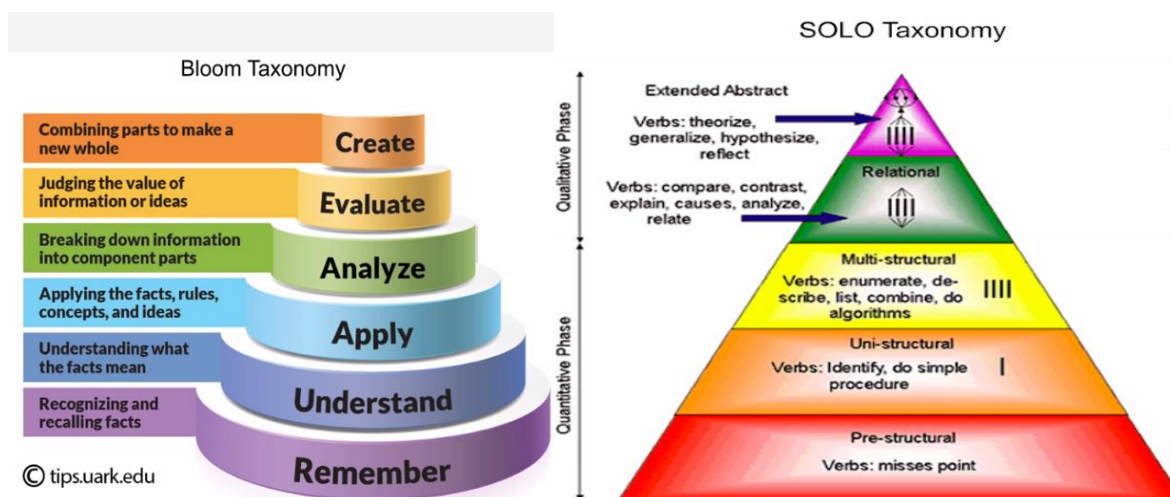


Рис. 1.2 - Педагогічні особливості сучасних методологій навчання

Основні переваги таксономії SOLO, в порівнянні з класифікацією Блума:

- вона ґрунтується на наукових фактах і дослідженнях;
- в її основу закладені базові поняття теорії навчання;
- більш логічна ієрархія, оскільки вона побудована за типом «від простого до складного»;
- висока надійність застосування даної таксономії в навчальному процесі;
- крім словесного опису, модель має схематичність, що дозволяє ефективніше інтегрувати її до навчального процесу;
- дана класифікація пропонує і систему зворотного зв'язку для оцінки рівня засвоєння знань слухачами.

Для забезпечення належної взаємодії студентів з лабораторними заходами, характерними для кожного університету в проєкті використовують платформи MOOC (Massive Open Online Courses) та віртуальна реальність. MOOC дозволяє пропонувати мережевий багатонаціональний навчальний контент без необхідності фізичного пересування студентів та викладачів між університетами.

## 1.2 Науково-дослідна співпраця ЗВО та промислових підприємств в умовах Політехнічного інституту Порту

Ефективність та можливості для здійснення науково-дослідницької діяльності значно зростають при співпраці ЗВО та промисловості. Особливу актуальність такий вид співпраці набуває при модернізації виробництва в контексті четвертої промислової революції. Один з вебінарів HEIn4.0 присвячено стратегіям співпраці Політехнічного інституту Порту в контексті парадигми Індустрія 4.0.

Перш за все, слід зазначити основні принципи організації науково-дослідної діяльності Політехнічного інституту Порту:

- технологічні інновації є одним з основних рушіїв економіки;
- міждисциплінарна співпраця сприяє пошуку більш ефективних рішень;
- університети є центрами технологічних інновацій і стимулюються та фінансуються згідно з європейською політикою сприяння економіці знань;
- розвиток фундаментальної науки може здійснюватися в стінах ЗВО, але також необхідно шукати способи для її переведення в прикладну реальність.

### Different Point of View: Knowledge Creation vs. Problem Solving

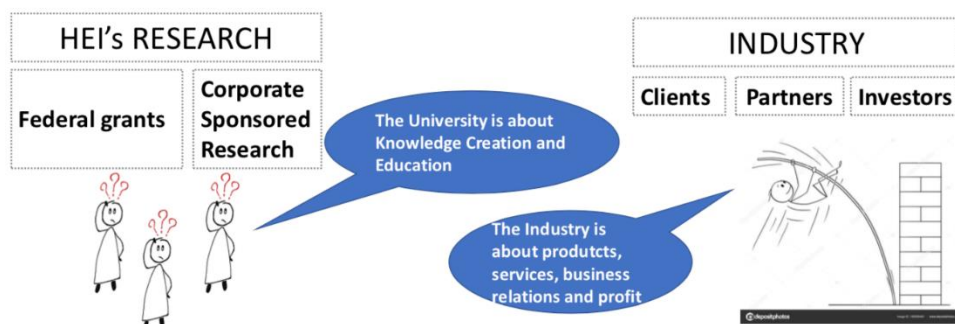


Рис. 1.3 – Складнощі взаємодії між університетами та підприємствами через їх різну мотивацію

При співпраці університетів та підприємств часто виникають складнощі через їх різну орієнтацію та мотивацію: метою науково-дослідної діяльності

університету є створення нових знань, а промислові підприємства, у той же час, більш зацікавлені у вирішенні конкретних проблем чи задач, які виникають в процесі виробництва.

Для формування взаємовигідної співпраці ЗВО та промисловості та мінімізації ризиків проаналізовано та визначено такі важливі кроки організації цього процесу згідно найкращих практик:

- встановлення контакту якомога раніше;
- встановлення чітких ліній відповідальності у стосунках;
- регулярність контакту;
- широке і відкрите мислення;
- взаємодія на партнерському рівні;
- робота зі студентами;
- вирішення дійсно складних проблем та задач;
- робити науково-дослідну діяльність по-справжньому спільною.

Типові переваги, які отримують підприємства від сумісної роботи, є такими:

- моніторинг нових технологій;
- відкриття нових технологій для зміцнення існуючого бізнесу;
- підтвердження (відхилення) ключових інвестиційних рішень;
- розробка нового продукту;
- вирішення короткострокових технічних проблем;
- визначення нових галузевих партнерів;
- залучення експертів ЗВО для консультацій;
- участь у встановленні нових галузевих стандартів;
- навчання своїх працівників та пошук нових.

### Managing Risk While Closing the GAP

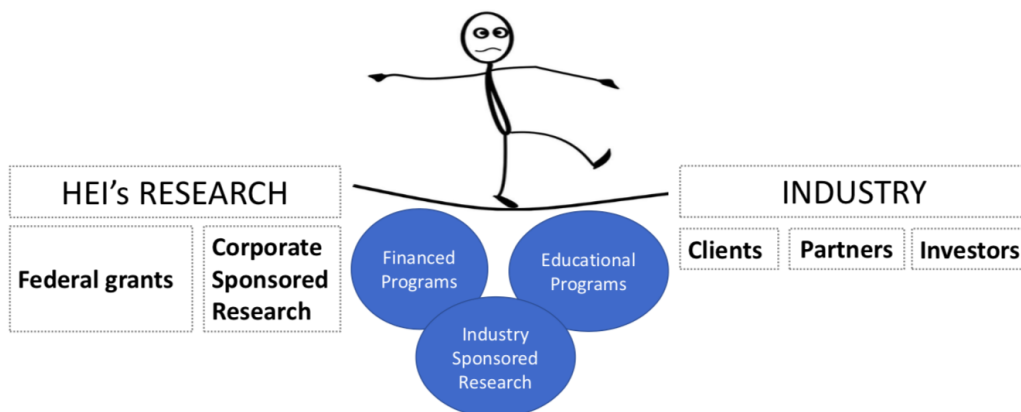


Рис. 1.4 – Формування взаємовигідної співпраці ЗВО та промисловості та мінімізації ризиків

Під час вебінару розкрито багато особливостей та правил щодо узгодження авторських прав, стратегії створення спільних публікацій та

поведінки співробітників - як підприємств, так і університетів - при використанні результатів, отриманих в співпраці.

Невід'ємною складовою співпраці є сумісне формування компетенцій, які необхідні майбутньому фахівцеві та розробка умов для їх формування. Саме краще розуміння навичок, необхідних для роботи та впровадження Індустрії 4.0, є запорукою започаткування справжніх змін, отримання вигоди від них та демократизації доступу до знань для майбутньої робочої сили.

Аналіз досвіду європейських університетів та підприємств показав, що запровадження новітніх технологій у виробничий процес кардинально трансформує трудову діяльність людини: з одного боку, велика частина робіт відводиться на автоматизоване виконання; проте, з іншого боку, стає нагальною потреба у налагодженні і управлінні виробничим процесом в цілому, обробці величезної кількості інформації і роботі з базами даних. Сьогодні швидкість зміни виробничих технологій зумовлює необхідність у постійному навчанні і це ставить перед університетами та підприємствами нові завдання.

З одного боку, для ЗВО актуальним завданням є створення платформ для онлайн навчання з точки зору гнучкості програм, але, з іншого боку, важливим аспектом є створення платформи для відпрацювання практичних навичок в умовах наближених до реального виробництва. Окрім цього, навчальні програми слід постійно контролювати на їх відповідність досягненню запланованих результатів навчання та шукати інструменти для адаптації навчального процесу не тільки для студентів, але і для перекваліфікації вже працюючих фахівців підприємств.

### 1.3 Лідерство університетів на шляху переходу до Індустрії 4.0.



Представники європейських університетів-партнерів поділилися власним досвідом і розкрили особливості впровадження та функціонування концепції Індустрія 4.0 в освітньому процесі для широкої аудиторії освітян з Грузії та України.

У доповіді Католицького університету Льовену було детально показано, яким чином університети співпрацюють з підприємствами та проаналізовано основні переваги, які кожен отримує від цієї співпраці. Зазначено, що плідність взаємодії значно підвищується у разі коли є сприяння і підтримка на рівні державної політики. Ефективність та взаємовигідність співпраці схематично ілюструється «потрійною спіраллю», в якій кожна сторона має певну роль та власні інструменти впливу.

Діяльність університетів в контексті співпраці з промисловістю спрямована на формування прикладної орієнтації науково-дослідної діяльності, розробці курсів для промисловості на високому освітньому рівні, мотивації та полегшенню доступу підприємств до участі у науково-дослідних проектах. Зацікавленість представників промисловості у співпраці, як правило, зумовлена наступними очікуваннями від університетів:

- отримання випускників з високим рівнем знань, які мають певний досвід контакту з промисловістю та відповідають їх вимогам щодо компетенцій та навичок, здобутих за період навчання;
- підтримка та співпраця у дослідженнях;
- можливість навчання для їхнього інженерного персоналу - від коротких простих до тривалих висококласних курсів (як правило за ринковою ціною та без складання іспитів або отримання сертифікатів).

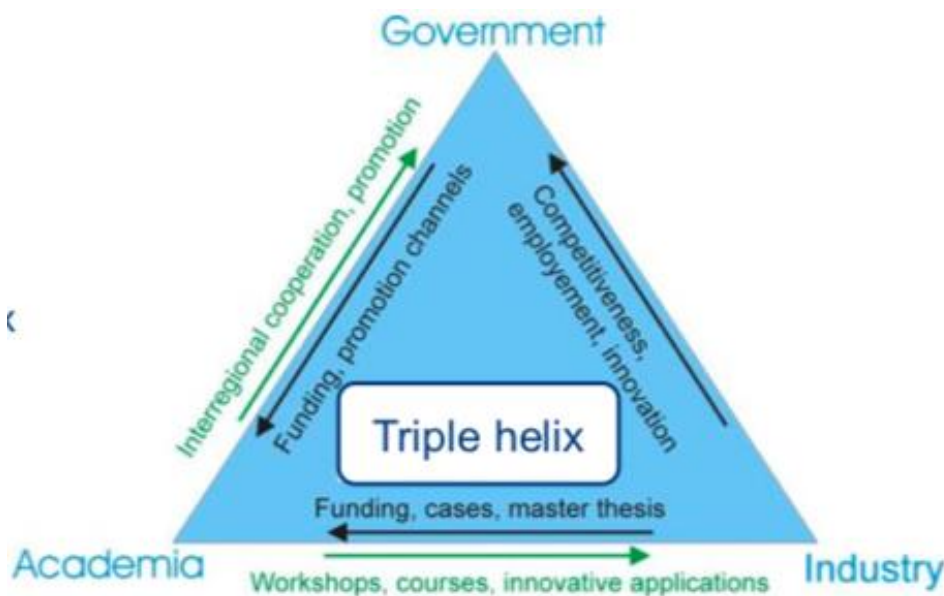


Рис. 1.5 – “Потрійна спіраль” - уряд, промисловість, університет

Для підвищення привабливості університету для промисловців, включаючи можливе навчання працюючих інженерів, виділено такі орієнтири діяльності:

- спрямованість розроблюваних курсів на інженерний рівень, що забезпечить підприємству більш високу кваліфікацію співробітників та відкриє для підприємства нові можливості для розвитку;
- здатність бути «гнучкими» та швидко реагувати і вносити корективи у навчальні програми, відповідно до зміни актуальних промислових тенденцій;
- співробітництво з національними та міжнародними професійними організаціями;
- відповідність тематики студентських проектів, магістерських та кандидатських дисертацій промисловій тематиці, урядовим пріоритетам та програмам розвитку країн ЄС.

Наведено приклад реалізації проекту з реформування навчальної програми факультетом інженерних технологій. Основною метою реформування є сприяння технологічному розвитку шляхом підсилення таких навичок як проектування, розробка та вирішення проблем. Приклад структури побудови такої навчальної програми та активності, які організовано в рамках програми для студентів, наведено на схемі.

## Structure of the programme

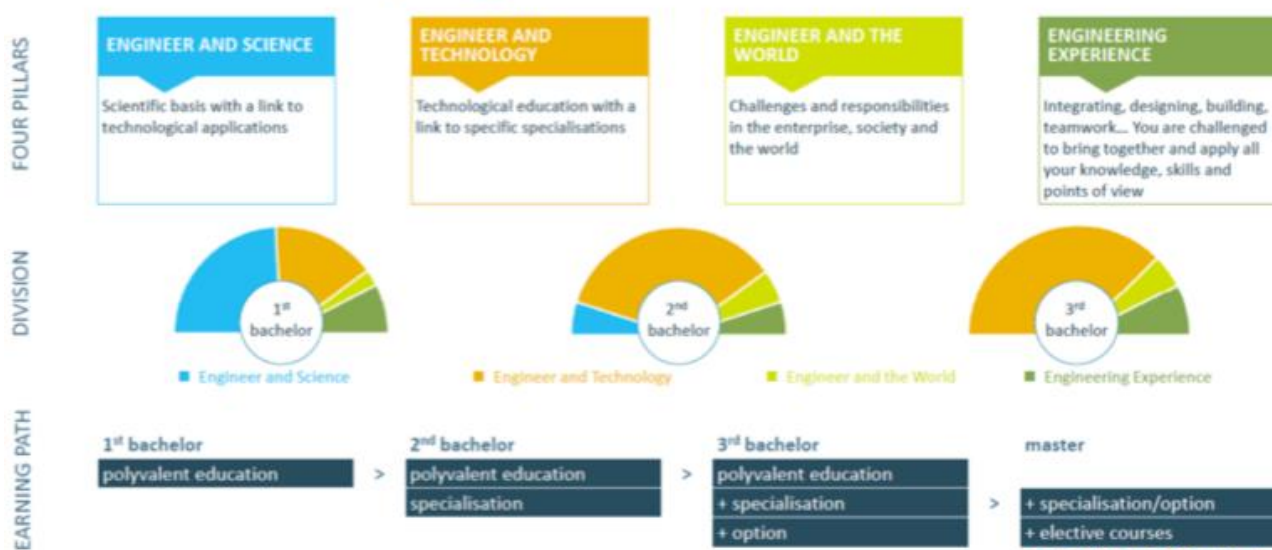
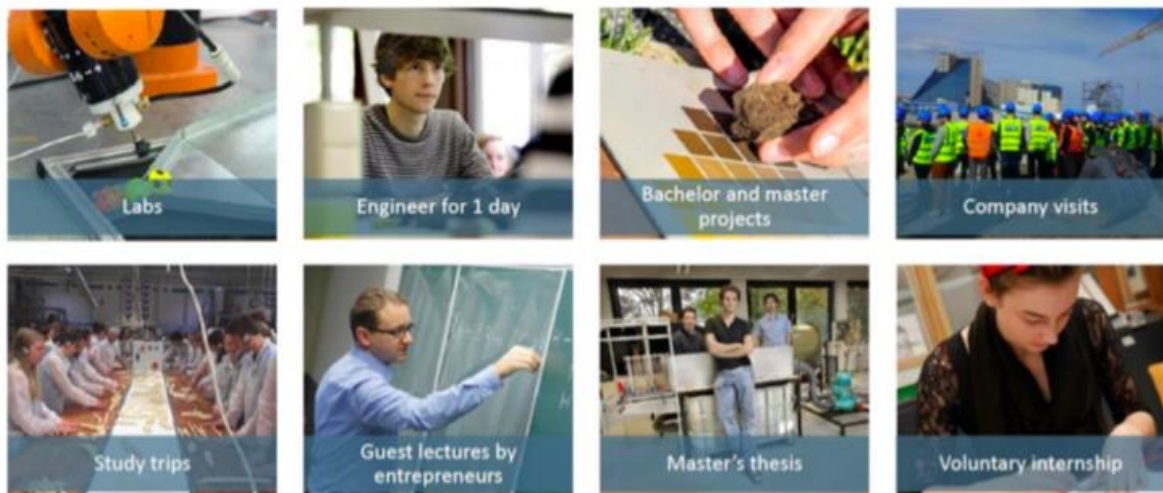


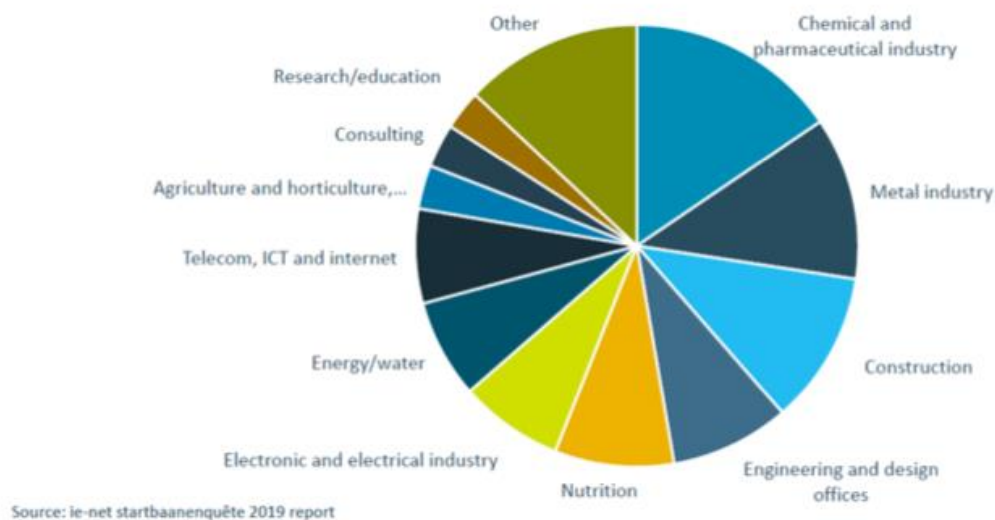
Рис. 1.6 – Структура навчальної програми факультету інженерних технологій бельгійського університету



*Рис. 1.7 – Активності, задіяні у навчальному процесі для досягнення поставленої мети*

Такий підхід дозволив значно розширити подальші кар'єрні перспективи випускників та сприяв підвищенню привабливості університету для співпраці серед підприємств наведених галузей.

## Career perspectives: employment sectors



*Рис. 1.8 - Перспективні галузі для працевлаштування випускників університету*

В рамках презентації досвіду Королівського технічного університету (КТН, Стокгольм, Швеція) у розвитку питань побудови взаємовигідної співпраці університетів та підприємств було докладно презентовано принципи

побудови Європейської спільної магістерської інженерної програми з орієнтацією на підприємництво. В рамках цього проекту всі програми містять в собі курс «Підприємництво», який складається з 6-9 кредитів ECTS. Для його викладання, окрім класичного лекційного матеріалу, застосовано стратегію «промислового залучення», яка полягає у наступних навчальних активностях:

- перший навчальний рік: інтерв'ювання підприємців та виконання реального проекту із залученням клієнтів / користувачів та консультантів, при цьому тематику проекту визначає сам студент;
- другий навчальний рік: виконання проектів, наданих безпосередньо промисловістю.

Приклади тематик проектів (визначених самостійно або наданих промисловістю) за останні роки: «AI - рішення для велоарматури», «SMS-сервіс для ресторанів в Індії», «Організація діяльності із застосуванням ZOOM», «Кращі ІОТ-рішення для людей з порушеннями слуху», «Спільні плейлисти з допомогою AI і SPOTIFY» та ін.

Суто прикладний аспект ставить перед студентом та викладачем певні виклики, оскільки потребує постійно слідувати меті досягнення найкращого результату, знаходити рішення в процесі взаємодії викладача зі студентом, в результаті чого студент має навчитися сам знаходити оптимальне рішення. Таким чином, сформовано наступні вимоги до навчального процесу та його учасників:

- викладачі повинні мати досвід і розуміти промисловість та її основні потреби й можливості;
- вітається повторна співпраця з певною корпорацією, оскільки, як правило, у цьому випадку набагато легше організувати процеси та є можливість досягнути більших результатів;
- важливим є такий баланс допомоги студентові, який налаштовує його на самостійні дії за умови вчасного коригування та спрямування;
- регулювання очікувань залежно від складності проекту (технічної або промислової);
- готовність до зміни мети в процесі виконання чи навіть до провалу (бо пріоритетом є навчання і здобуття навичок студентом, а не консультування);
- розуміння принципів мотивації студента;
- розуміння, що кожен студент отримує різні інструменти навчання, але вони призначені для досягнення загальної мети – дізнатися як вирішити проблему в умовах певного підприємства.

У доповіді від представників Політехнічного інституту Порту, розкрито низку педагогічних та дидактичних питань інженерної освіти стосовно Індустрії 4.0 на прикладі актуального діючого проекту "Університети

майбутнього", в якому вони приймають активну участь і який спрямовано на мінімізацію розриву між промисловістю та університетами. Основними новаціями для університету є:

- розробка нових, інноваційних та мультидисциплінарних підходів до викладання та навчання з метою підвищення кваліфікації та перекваліфікації працівників;
- стимулювання навичок підприємницької та цифрової діяльності викладацького персоналу вищої освіти та співробітників компаній;
- своєчасне коригування та зміна навчальних планів для сприяння обміну та спільному створенню знань.

В основу проекту покладено чотирикратну спіраль, згідно якої головними партнерами виступають бізнес-університети-студенти/випускники-уряд. Особливістю цього партнерства є те, що заплановано функціонування Віртуальної фабрики викладання та навчання (Інноваційний центр), де користувачі можуть обговорювати та ділитися досвідом, знаходити результати проекту та отримувати доступ до середовищ моделювання для виконання практичних завдань, пов'язаних з Індустрією 4.0.

## The quadruple helix

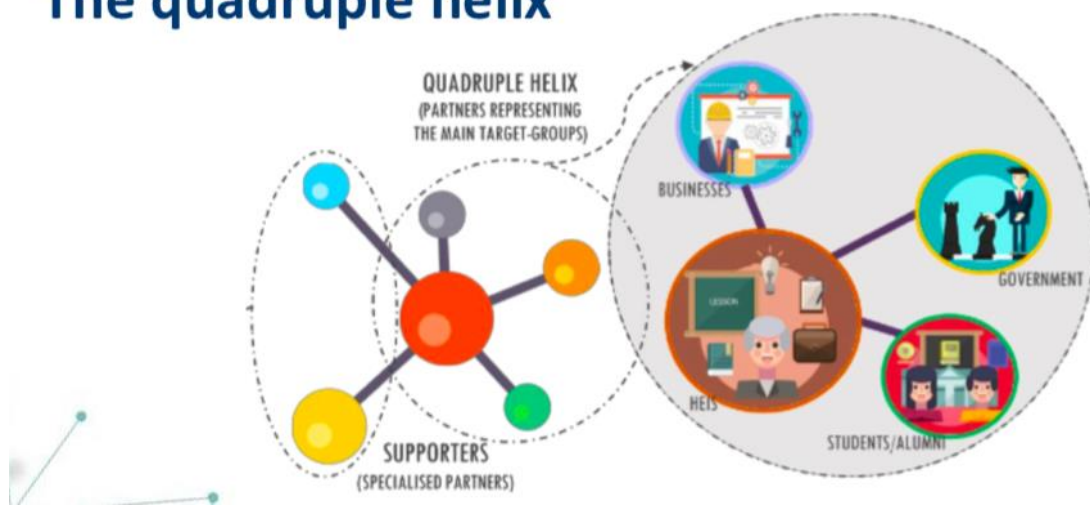


Рис. 1.9 - Модель партнерства для ефективного досягнення поставленої мети

В рамках цього проекту висунуто основні вимоги до розроблених навчальних програм та курсів:

- всі програми відповідають Європейській системі накопичення кредитів (ECTS) та узгоджені з національним стандартом акредитації вищої освіти;
- відповідність всім необхідним стандартам для курсів безперервної освіти та спільного післядипломного навчання для акредитації на національному рівні;
- дисципліни розробляються відповідно до цих стандартів без необхідності будь-якого конкретного процесу акредитації;

- кваліфікація, яку здобувають студенти, легко визнається на їх робочих місцях та в інших університетах в будь-якій країні.

Нижче наведено схему, яка відображає основні компетенції та навички, на розвиток яких орієнтовано навчальний процес, з якої можна зрозуміти, що дійсно навчальний процес орієнтовано на здобуття студентами теоретичних та практичних навичок, які забезпечать їх готовність до роботи на підприємстві, а також видно, що значна увага приділена розвитку персональних якостей фахівця (Soft skills), які дозволяють підвищити свідомість людини при організації процесу досягнення поставленої мети, ефективно застосовувати отримані знання та взаємодіяти з середовищем. Також слід звернути увагу на схему взаємозв'язку наведених компетентностей з сучасними світовими концепціями розвитку такими як Індустрія 4.0 та сталий розвиток.

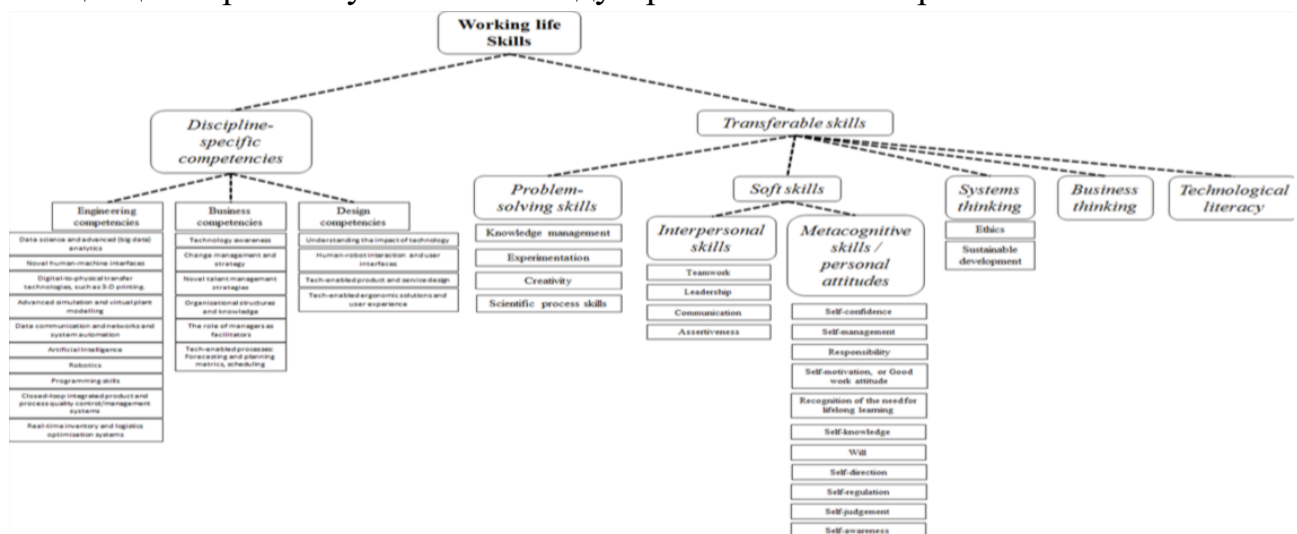


Рис. 1.10 - Ієрархічна структура основних компетенцій та навичок, на розвиток яких орієнтовано навчальний процес в умовах Політехнічного інституту Порту

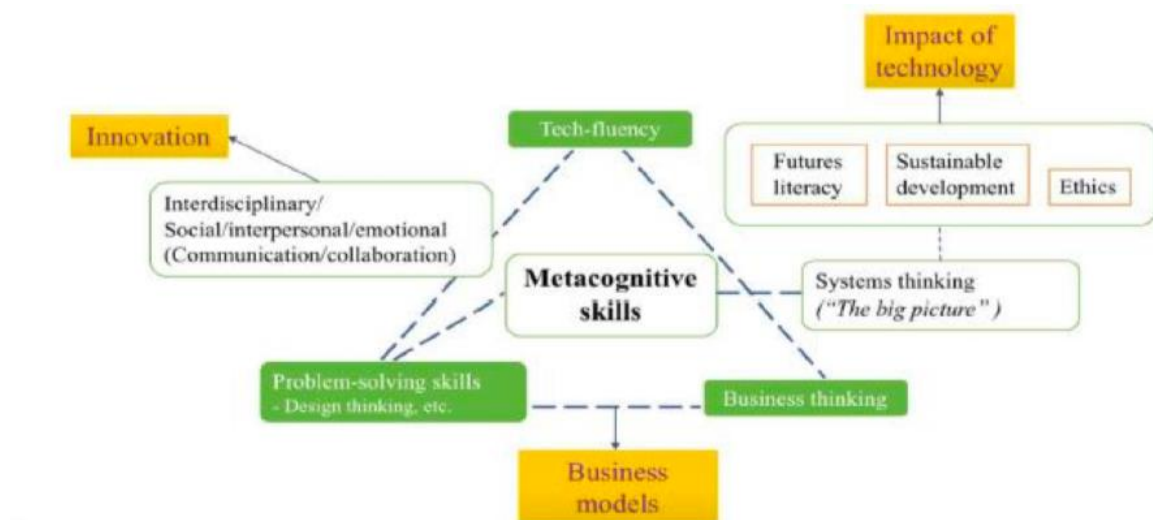


Рис. 1.11 - Взаємозв'язок навчальних компетентностей з сучасними світовими концепціями розвитку - Індустрія 4.0 та Сталий розвиток

Цікавим також є досвід побудови програм PhD в умовах Політехнічного інституту Порту, який базується на підтримці розвитку шести основних блоків, а також залучення віртуального навчання та здобуття досвіду на навчальних фабриках.

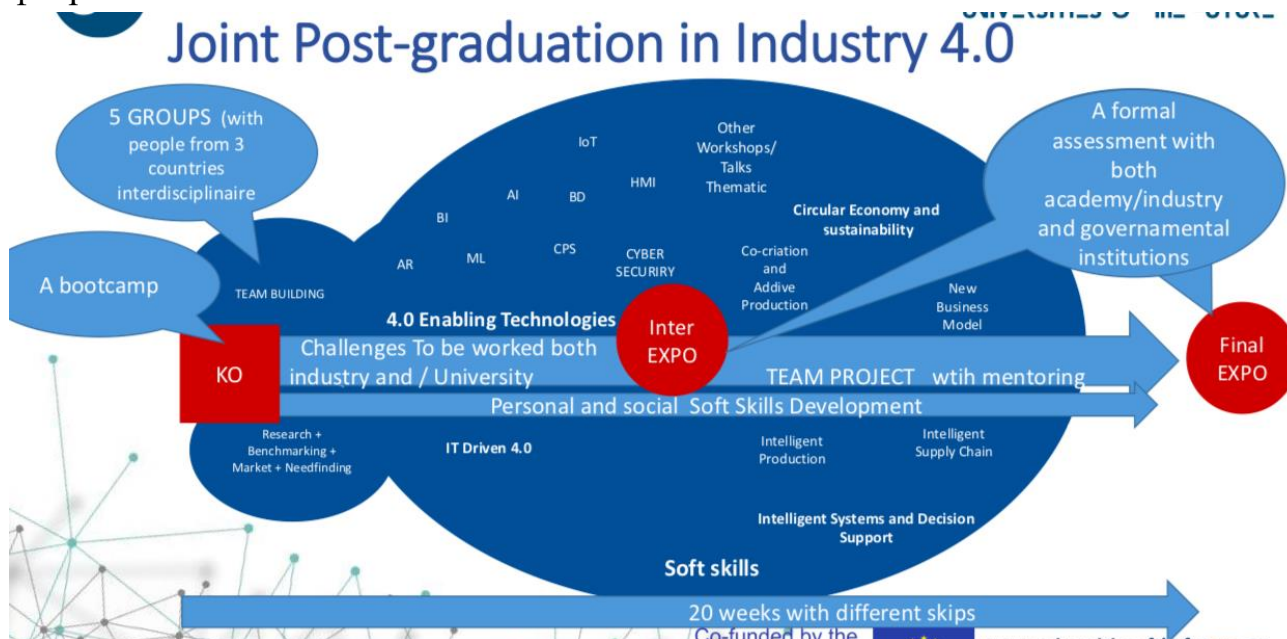


Рис. 1.12 - Структура побудови програми PhD в умовах Політехнічного інституту Порту

Вищезгадані шість основних блоків навчального процесу включають:

- 1) Виконання проекту в міждисциплінарній команді, яка створюється при проходженні другого модулю «Командна робота» для майбутньої співпраці.
- 2) Розвиток персональних лідерських якостей, що відповідає парадигмі Індустрія 4.0 і спрямовані на розвиток здатності передавати набуті навички, керувати нововведеними змінами та забезпечувати ефективне функціонування підприємства.
- 3) Залучення ІТ-технологій (Штучний інтелект, Базис даних, Інтернет речей, Кіберфізичні системи, Кібербезпека та ін.) для розуміння доцільності їх застосування у тому чи іншому бізнес-процесі.
- 4) Розуміння Інтелектуальних інформаційних систем (Системи підтримки прийняття рішень, Інтеграція ІС та сумісність, колаборативні ІС) для їх доцільного застосування при оптимізації бізнес-процесів.
- 5) Вивчення нових бізнес-моделей (Інновації, Цифровий бізнес та послуги, Аналіз бізнес-даних) і здатність до їх грамотного залучення у роботу підприємства.
- 6) Сталий розвиток промисловості та дистрибуції (Додаткове виробництво, Інтелектуальне планування процесів, Логістика та SCM 4.0 - фізичний Інтернет, Циркулярна економіка та стійкість).

В якості методології, яку покладено в основу програми є орієнтація на «Дизайнерське мислення» тобто розвиток здатності пройти всі чотири етапи вирішення поставленої задачі: дослідження проблематики - визначення - розробка ідеї – її впровадження.

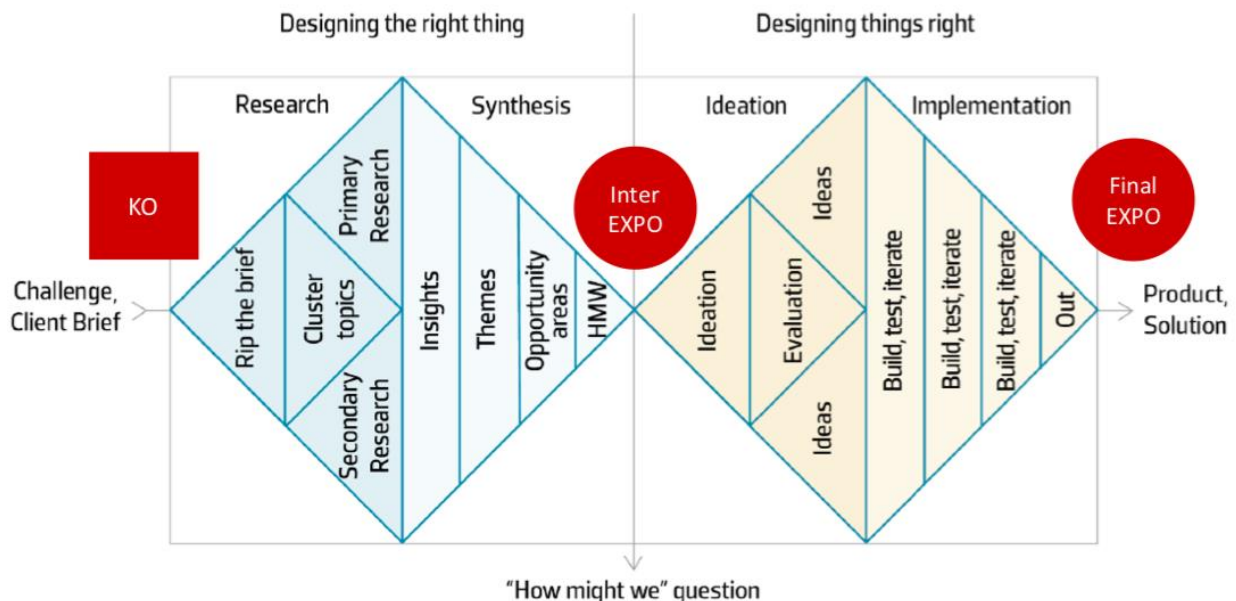


Рис. 1.13 - Схема залучення методології навчання «Дизайнерське мислення» у навчальний процес

Протягом навчального процесу застосовуються різні методи навчання для досягнення поставленої мети і отримання певних навичок:

- Синтез спостережень шляхом занурення у певний контекст/діяльність і систематичний збір певної інформації;
- Інтернет-опитування - це чудовий спосіб отримати інформацію від учасників та користувачів;
- Вторинний синтез досліджень - вивчення книг, публікацій, Інтернету та будь-якого іншого джерела, за допомогою якого студенти можуть розкрити інформацію про свій проект;
- Карта емпатії – розуміння потреб та запитів від користувачів;
- Карта подорожей - відображення певного періоду в житті користувача продуктом чи послугою;
- Мозковий штурм – висловлення спонтанних ідей в групі;
- Кластерування - як класифікація ідей мозкового штурму за категоріями або предметами, що дозволяє організувати інформацію для подальшого голосування;
- Визначення вимог до дизайну щоб постійно відстежувати важливі та другорядні фактори у проекті.

Отже, в результаті участі у проведеному воркшопі з питань побудови ефективної взаємодії підприємств та ЗВО, учасники дійсно змогли побачити

багато наробок європейських університетів та оцінити плідність тих чи інших заходів. Цей досвід дозволяє зрозуміти основні ресурси та стратегії для подальшої роботи, як з навчальними процесами, так і з питаннями взаємодії з підприємствами та позиціонування ЗВО у сучасному суспільстві.

## ЧАСТИНА 2

### Індустрія 4.0 та суспільство

#### 2.1 Аналіз основних компонентів концепції Індустрія 4.0, її переваг та задач, які постають перед промисловістю та ЗВО

Вебінар, проведений Політехнічним інститутом Порту, детально розглянув основні положення нової промислової парадигми, її роль у формуванні подальшої стратегії підприємств і ЗВО та складнощі, які виникають в процесі впровадження.

Перш за все проаналізовано основні засади формування європейської економіки і показано необхідність трансформування виробничої галузі. Зазначено, зокрема, наступне:

- в Європі обробні галузі складають 22% ВВП (валовий внутрішній продукт) (дані, до розширення ЄС) та працевлаштовують 40 мільйонів працівників;
- кожне робоче місце у промисловості створює два робочі місця у суміжних сферах;
- для формування конкурентоспроможної економіки необхідно підсилювати та трансформувати обробну промисловість, таким чином, щоб вона спиралась не лише на наявні природні ресурси, але й на знання та інновації;
- надмірна орієнтація європейської економіки на послуги значно ускладнює її конкурентоспроможність та існування.

Порівняльний аналіз динаміки показників доданої вартості більшості країн ЄС відображає, що лише кілька країн змогли покращити цей показник з 2001 по 2012 рік.

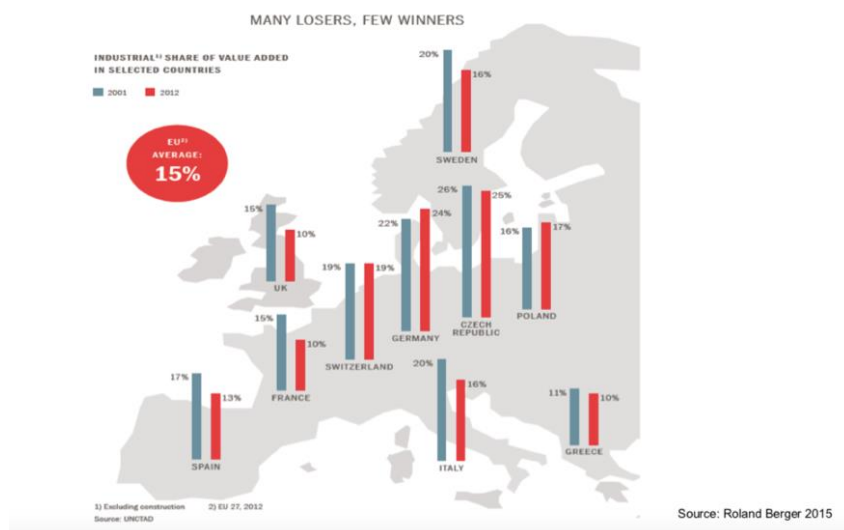


Рис. 2.1 - Показники доданої вартості країн Європи за 2001 та 2012 роки

Серед передумов, які визначають необхідність формування нової парадигми розвитку промисловості, визначено наступні:

- у промисловості все ще переважають класична організація та методи роботи, які базуються на принципах наукового управління, заснованих Ф.В. Тейлором ще сто років тому;
- запровадження принципів ощадливого виробництва внесли деякі зміни до принципів роботи підприємств, але ці принципи також дещо застаріли;
- інтенсивність розвитку та впровадження нових знань та технологій;
- інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) відкривають абсолютно нові можливості;
- світова глобалізація;
- необхідність розумного користування природними ресурсами та підтримки природної рівноваги.

Виходячи з приведених задач для промисловості, німецькими академіками та інженерами у 2011-2012рр в якості ідеї для утримання провідних позицій німецької промисловості було запропоновано концепцію Індустрія 4.0, яка зараз переросла в нову промислову парадигму і концентрується на розвитку та впровадженні новітніх світових досліджень, розробок та інновацій.



*Рис. 2.2 - Основні компоненти парадигми Індустрія 4.0*

Сьогодні парадигма Індустрія 4.0 - це поєднання передових виробничих технологій з розумними цифровими технологіями для створення цифрових підприємств, які зможуть не лише автономно існувати але і комунікувати одне з одним, використовуючи і аналізуючи базу даних для прийняття подальших рішень у фізичному просторі. Вона являє собою способи, за допомогою яких інтелектуальні технології можуть бути вбудованими в організації, людей та інші активи, і відзначається появою таких можливостей, як робототехніка,

аналітика, штучний інтелект та когнітивні технології, нанотехнології, квантові обчислення, мобільні пристрої, Інтернет речей та сучасні матеріали.

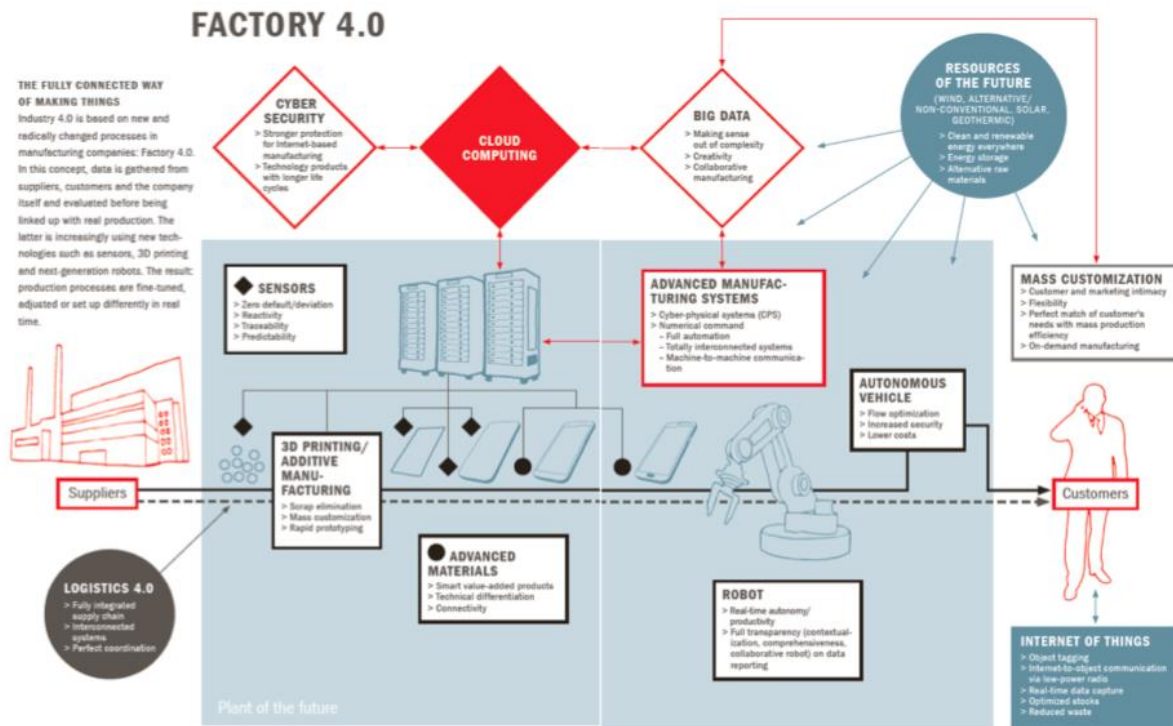


Рис. 2.3 - Основні компоненти підприємства, яке відповідає парадигмі Індустрія 4.0

Залучення зазначених новітніх технологій та налагодження приведеної схеми роботи підприємства дозволяє досягти наступних результатів:

- підвищена продуктивність за рахунок оптимізації та автоматизації
- економія реального часу за рахунок своєчасності даних для ланцюгів поставок (у режимі реального часу);
- краща керованість бізнесу завдяки вдосконаленим можливостям технічного обслуговування та моніторингу;
- отримати продукти вищої якості за рахунок моніторингу в режимі реального часу за підтримки інтернету речей та роботів;
- кращі умови праці та вища стійкість;
- можливості персоналізації замовлень, що підвищує довіру та лояльність сучасного споживача.

Але на шляху впровадження Індустрії 4.0 в реальних виробничих умовах успіх впровадження залежить від готовності країни та конкретних підприємств. Як видно з наведеного графіку лише невелика кількість країн ЄС (станом на 2015 рік) готова до успішного впровадження заходів по модернізації згідно Індустрії 4.0.

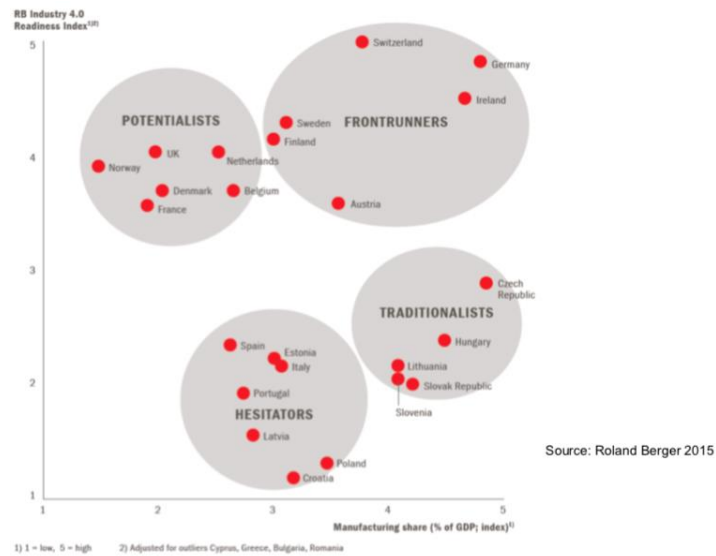


Рис. 2.4 - Готовність країн ЄС до впровадження Індустрії 4.0

Також проаналізовано основні перешкоди на шляху впровадження підприємствами парадигми Індустрія 4.0, серед яких:

- незрозумілість економічної вигоди, надмірні інвестиції (46%);
- недостатня кваліфікація кадрів (30%);
- відсутність стандартів, що регулюють процес сертифікації (26%);
- нестача юридичних інструментів для користування зовнішніми даними (22%);
- низький рівень розвитку технологій (20%);
- відкриті питання відносно безпеки даних (19%);
- недостатній рівень підтримки топ менеджерами (18%);
- повільне розповсюдження базових технологій (13%);
- недостатня стабільність мереж/ резервного копіювання даних (6%).

Отже, проведений аналіз показує, що процес запровадження концепції Індустрія 4.0 вже розпочато і він дійсно є необхідним для подальшого прогресу та більш ефективного функціонування, як окремих підприємств, так і економіки взагалі. Серед задач, які постають перед ВНЗ основною є трансформування навчальних програм, підходів та навчального середовища для формування у студентів компетентностей, які дозволять їм бути спроможними відповідати поставленим викликам. Проте неможливо навчити студентів, якщо ВНЗ працює без тісної комунікації із підприємствами та технологіями, тож ще однією вагомою задачею є побудова взаємовигідних відносин між ВНЗ та виробничими підприємствами, які дозволять сумісно вирішувати виникаючі проблеми, поєднати набутий потенціал та підвищити швидкість реакції на виклики сьогодення.

## 2.2 Розумне здоров'я: рамки інтернету речей (*internet of things, IoT*) для клінічних випробувань - середовище спільного створення



Католицький університет Льовену присвятив один з вебінарів використанню двох складових компонентів Індустрії 4.0 - Інтернету речей і хмарні технології для практичної реалізації проекту керованого інвалідного візку.



Інтернет речей - це концепція мережі передачі даних між фізичними об'єктами (речами), що оснащені вбудованими засобами і технологіями для взаємодії між собою та/або з зовнішнім середовищем. Організація таких мереж у майбутньому зможе перебудувати економічні і суспільні процеси, виключити з частини дій і операцій необхідність участі людини.

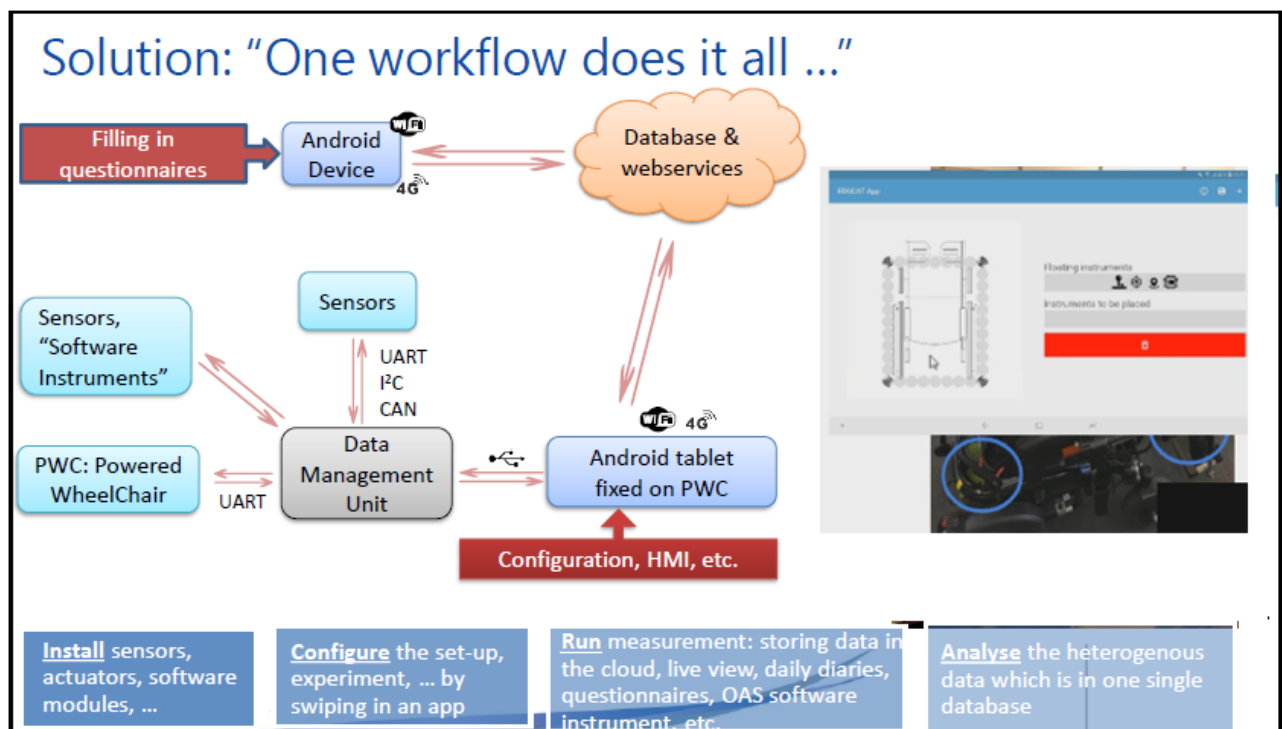


Рис. 2.5 - Основні елементами системи управління керованого інвалідного візку

Основними елементами системи управління є: модуль керування даними (DMU – data management unit), апаратні та програмні датчики та інструменти, Android-пристрій, який призначений для конфігурації роботи системи, є засобом людино-машинного інтерфейсу (HMI) та передачі даних. Центральною частиною даної системи є хмарна база даних, що містить інформацію з різномірних джерел, які використовуються для обчислень.



Рис. 2.6 - Використання Android-пристрою в якості засобу людино-машинного інтерфейсу (HMI) та передачі даних



Рис. 2.7 - Сенсори системи управління візком

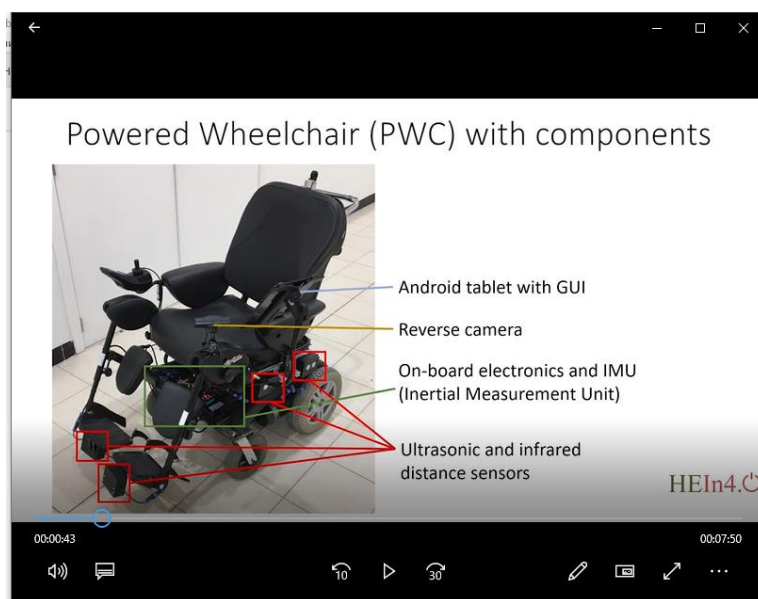


Рис. 2.8 - Схема візку з розташуванням основних компонентів системи управління

Сам візок насичено великою кількістю обладнання, що дозволяє людині за допомогою НМІ керувати переміщенням. Складовою частиною системи керування є система уникання перешкод.

## 2.3 Великі дані та міська аналітика



Цей вебінар Королівського інституту технологій присвячено питанням збирання, обробки та застосування “великих даних” на прикладі міста Стокгольм.

“Великі дані та аналітика” є однією з дев’яти технологій, які трансформують життєве середовище. Великі дані (*big data*) - це структуровані і неструктуровані дані величезних об’ємів і значної різноманітності. Великі дані мають наступні характеристики (так звані чотири V): об’єм (*volume* - фізичний об’єм), швидкість (*velocity* - швидкість зростання, яка зумовлює необхідність високошвидкісної обробки і отримання результатів), різноманітність (*variety* - можливість одночасної обробки різних типів даних), достовірність (*veracity* – невизначеність того, яка частка даних є невірною).

Широке впровадження терміну “великі дані” пов’язують з редактором журналу Nature Кліффордом Лінчем (Clifford Lynch), який у 2008 році підготував спеціальний випуск з темою «Як можуть вплинути на майбутнє науки технології, що відкривають можливості роботи з великими обсягами даних? В цьому виданні були зібрані матеріали про феномен вибухового зростання обсягів і різноманітності оброблюваних даних і технологічні перспективи їх швидкої та якісної обробки.

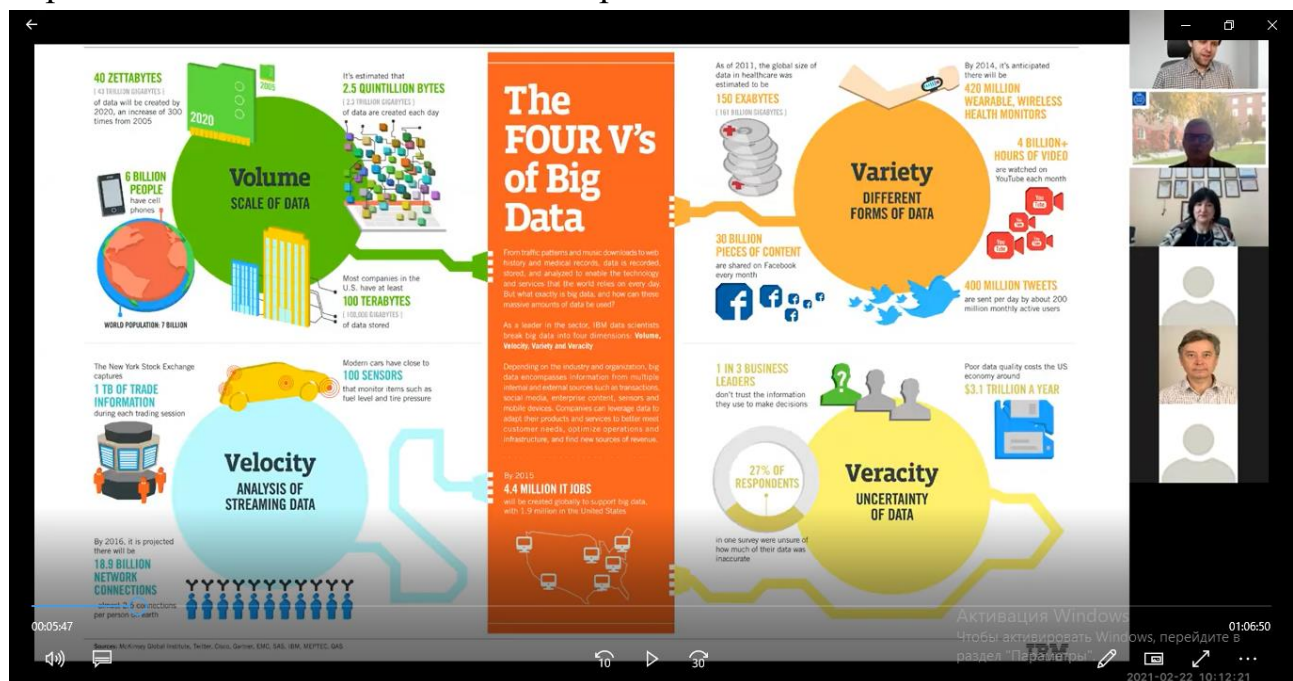


Рис. 2.9 - Чотири основні характеристики “великих даних”

Головною характеристикою великих даних є ступінь їх структурованості і варіантів подання. Джерелами великих даних можуть бути:

- інтернет – соціальні мережі, блоги, ЗМІ, форуми, сайти, інтернет речей;
- корпоративна інформація - транзакції, архіви, бази даних і файлові сховища;

- показання приладів - датчиків, сенсорів, реєстраторів та ін.

| Category | Big Data                                                                                                                                                                                                         | Small Data                                                                                                                    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sources  | Outside the enterprise, nontraditional data sources <ul style="list-style-type: none"> <li>Social media</li> <li>Sensor data</li> <li>Log data</li> <li>Device data</li> <li>Video, images, etc.</li> </ul>      | Traditional enterprise data                                                                                                   |
| Volume   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Terabytes (<math>10^{12}</math>)</li> <li>Petabytes (<math>10^{15}</math>)</li> <li>Exabytes (<math>10^{18}</math>)</li> <li>Zettabytes (<math>10^{21}</math>)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Gigabytes (<math>10^9</math>)</li> <li>Terabytes (<math>10^{12}</math>)</li> </ul>     |
| Velocity | <ul style="list-style-type: none"> <li>Often real-time</li> <li>Requires immediate response</li> </ul>                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Batch or near real-time</li> <li>Does not always require immediate response</li> </ul> |
| Variety  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Typically unstructured</li> <li>Multi-structured</li> </ul>                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Typically structured</li> <li>Unstructured</li> </ul>                                  |
| Value    | Complex, advanced, predictive business analysis and insights                                                                                                                                                     | Business intelligence, analysis and reporting                                                                                 |

Рис. 2.10 - Відмінність великих та малих даних

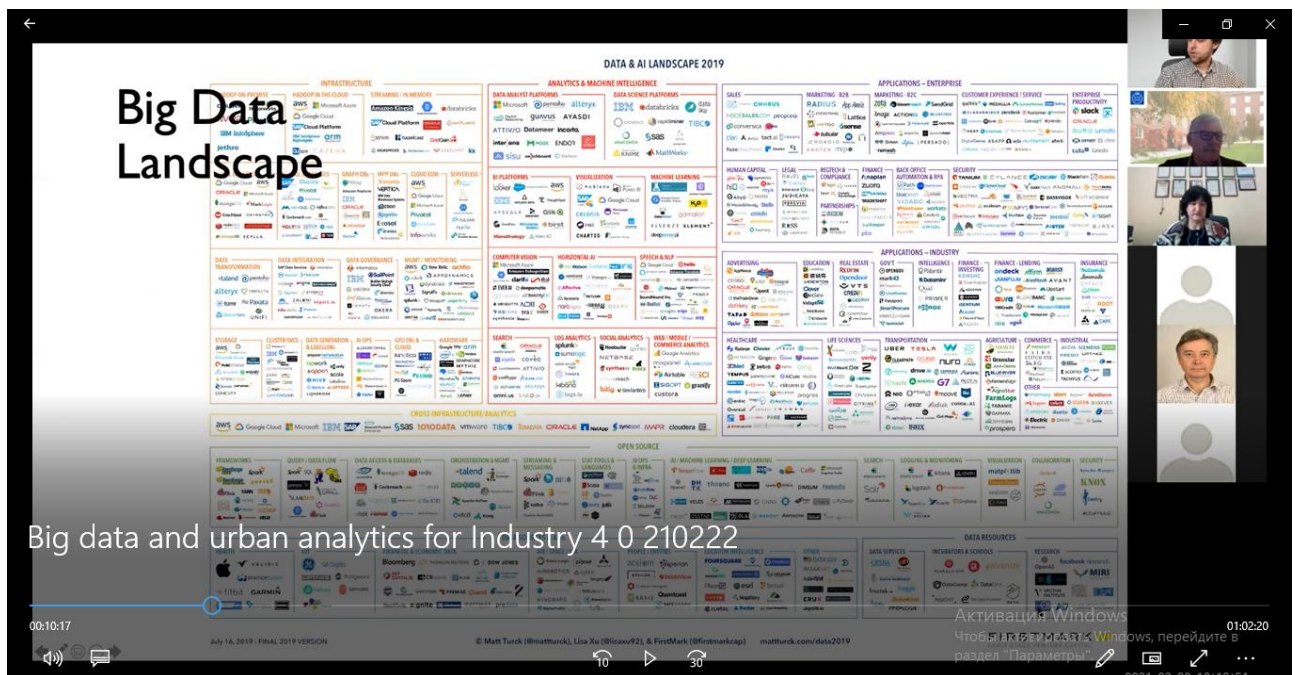


Рис. 2.11 - Різноманітність великих даних

Різновидом великих даних є відкриті дані – дані, які повинні знаходитися у вільному доступі для використання і подальшої публікації без обмежень авторського права, патентів і інших механізмів контролю. Багато урядів в рамках реалізації стратегії “відкритої держави” створили веб-сайти для розповсюдження частини даних, що обробляються у секторі державного управління, наприклад, в Україні створено портал <https://data.gov.ua>.

Збирання та обробка великих даних є важливою запорукою для реалізації концепції “смарт-міст” – концепції інтеграції інформаційних і комунікаційних технологій та інтернету речей для управління основними міськими активами. Наприклад, у м. Стокгольм збираються та аналізуються дані по наступним напрямкам життя міста: інфраструктура, енергетичні ресурси, водні ресурси, логістика, транспорт та мобільність, здоров’я, технології, економіка, будівництво, геопростори, інновації, навколишнє середовище, комунікації, інформацію щодо соціальної спільноти. Така величезна кількість і різноманітність даних дає можливість здійснювати цілісний підхід до вирішення завдань з управління міським господарством.

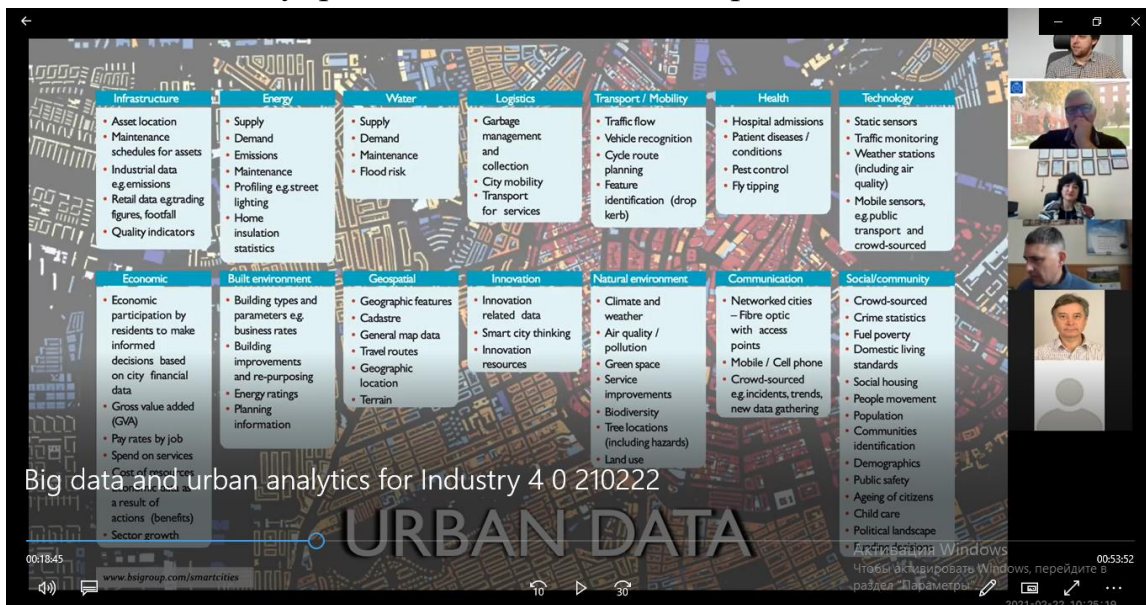


Рис. 2.12 - Напрями життя Стокгольму, інформація про які збирається та аналізуються

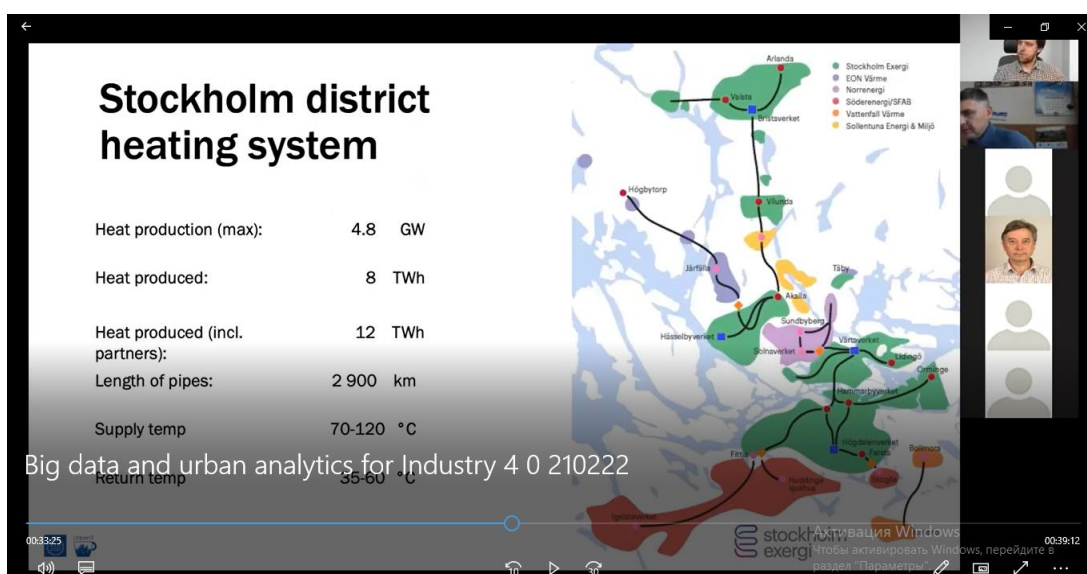


Рис. 2.13 - Інформація щодо основних технічних параметрах системи централізованого теплопостачання Стокгольму



Рис. 2.14 - Енергетичні показники будівель у Стокгольмі

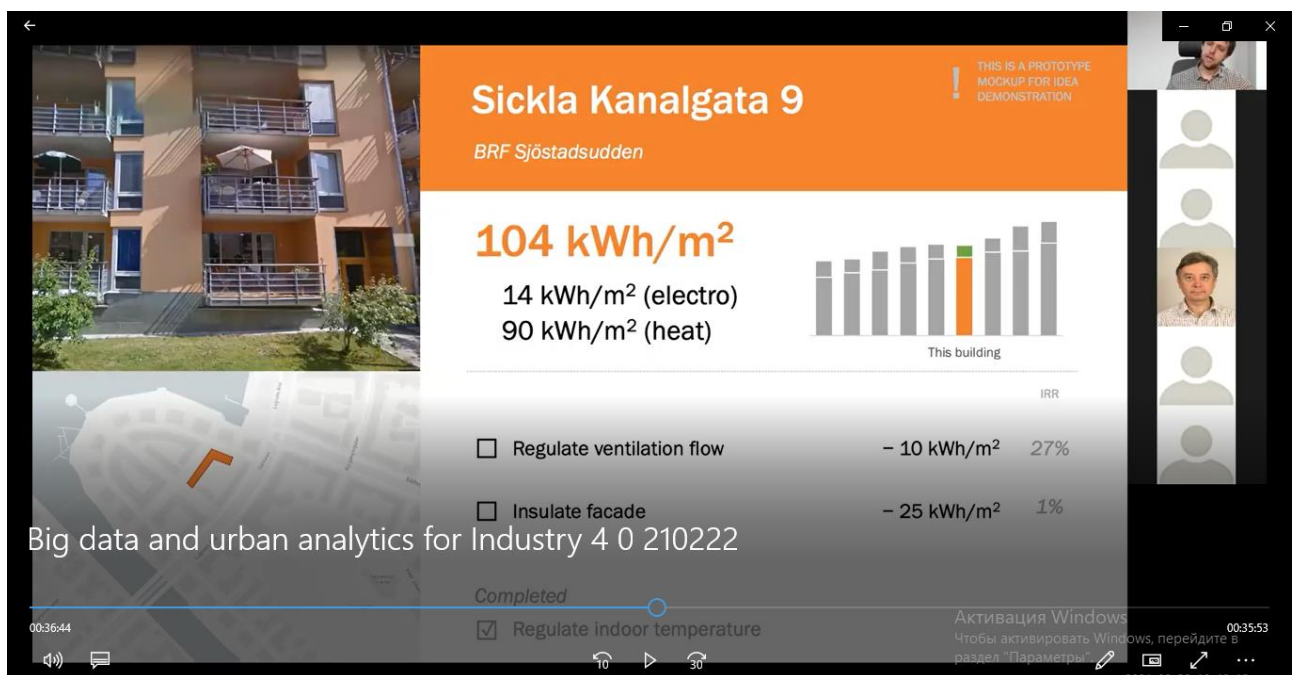


Рис. 2.15 - Енергетичні показники будівель у Стокгольмі

Наприклад, з даних рисунка видно, що витрата енергії на 1м<sup>2</sup> будинку складає 104 кВт/м<sup>2</sup> у тому числі, теплової енергії 90 кВт/м<sup>2</sup>, а електричної – 14 кВт/м<sup>2</sup>. Регулювання потоку вентиляції може дати зниження витрати енергії на 10 кВт/м<sup>2</sup>, а утеплення фасаду – на 25 кВт/м<sup>2</sup>. При цьому норма прибутковості (IRR, internal rate of return) – відсоткова ставка, при якій наведена вартість майбутніх грошових надходжень і вартість вихідних інвестицій дорівнює 27% та 1% відповідно.

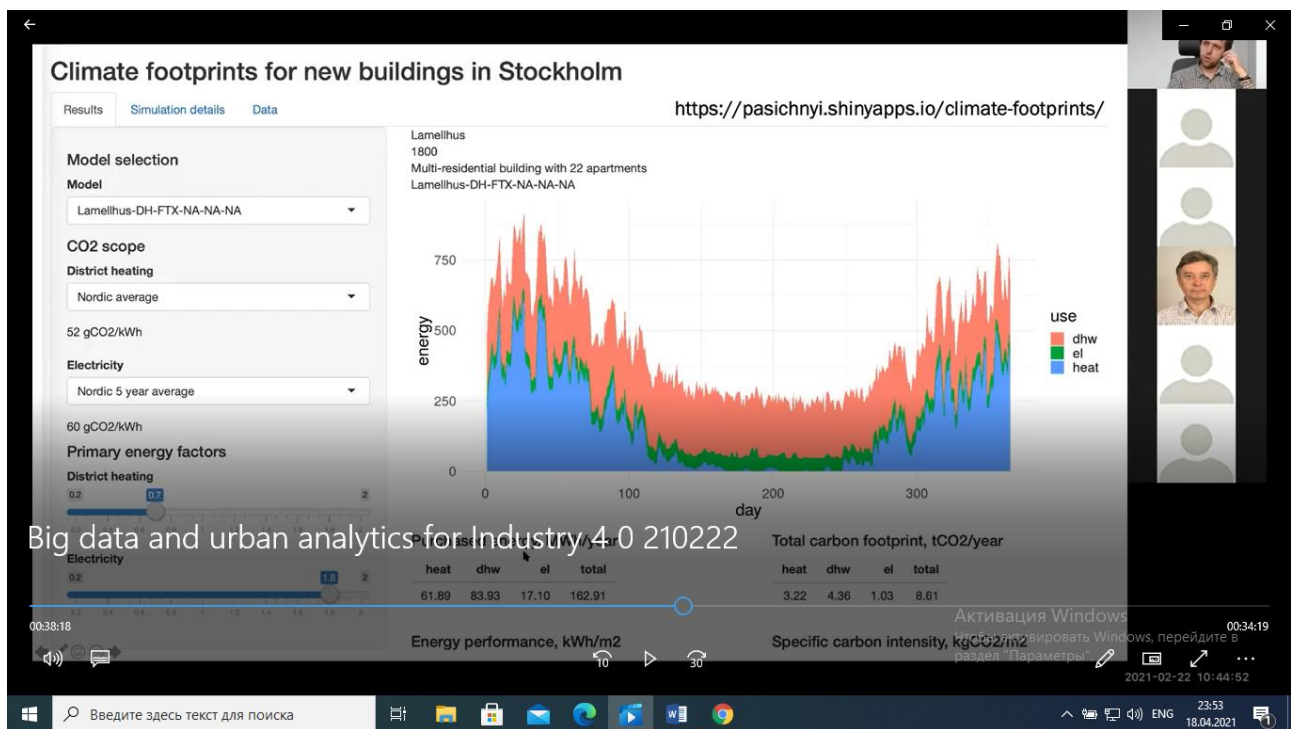


Рис. 2.16 - Енергетичні показники будівель у Стокгольмі

Інший приклад - річне споживання електричної і теплової енергії та температура підігрітої води в новобудові протягом року. При цьому розраховується вуглецевий слід (carbon footprint) – міра викидів парникових газів.

Збирання та обробка “великих даних”, автоматичне керування процесами за допомогою систем штучного інтелекту ставить також питання кібербезпеки. Необхідно захищати бази даних від несанкціонованого доступу та витоку конфіденційної інформації, дотримуватися прав і свобод людини, недоторканності приватного життя, гарантованих Конституцією. Якби не були потужні та розумні системи управління, завжди має бути передбачений перехід на ручне управління, щоб попередити несподівані збої у роботі системи або можливі наслідки кібератак. Ці питання теж докладно були розглянуті на вебінарі.

Загалом, учасники вебінару прийшли до таких висновків:

1. Збирання та аналіз великих даних є важливою частиною технологій які трансформують життєве середовище
2. Збирання та обробка великих даних є важливою запорукою для реалізації концепції “смарт-міст” – концепції інтеграції інформаційних і комунікаційних технологій та інтернету речей для управління основними міськими активами, що дуже вдало показано на прикладі Стокгольму.

3. Досвід Стокгольму у реалізації концепції “смарт-міст” є корисним для великих і малих міст України.
4. Великий обсяг даних, що збираються та обробляються у тому числі тих, що стосуються конфіденційних сторін життя людини, системи управління, які підключені до глобальної інформаційно-цифрової мережі ставлять питання кібербезпеки на принципово новий дуже високий рівень.

## 2.4 Дослідження взаємозв’язку між концепціями ощадливого виробництва, Індустрії 4.0 та сталого розвитку»



### Evaluation of the Relation between Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability

Hélio Castro and Paulo Ávila  
School of Engineering, Polytechnic of Porto, Portugal

10th November, 2020

**P.PORTO**



Розвиток сучасної світової промисловості відповідає засадам трьох основних концепцій:

1. Сталий розвиток – стратегія організації усіх сфер діяльності соціуму з метою організації умов споживання природних ресурсів таким чином, щоб забезпечити сприятливі екологічні, економічні та соціальні умови існування сьогоденним та майбутнім поколінням;
2. Індустрія 4.0, задача якої діджиталізація виробництва та створення умов для функціонування людини у новому діджиталізованому середовищі;
3. Ощадливе виробництво (Канбан), основною метою якого є підвищення ефективності діяльності виробництва шляхом пошуку ресурсів для підвищення продуктивності роботи людини та бізнес-процесів в цілому. Головним чином ця стратегія направлена на усунення безплідної діяльності людини та створення умов найбільш ефективного її функціонування в виробничих умовах.

Представниками Політехнічного університету Порту проведено дуже цікаве дослідження про взаємний вплив цих концепцій на розвиток одна одної в умовах роботи реальних підприємств. Метою дослідження було відстеження впливу запровадження заходів щодо розвитку ощадливого виробництва та Індустрії 4.0 на фундаментальні засади сталого розвитку. В основу проведеного

дослідження покладено модель структурного рівняння з шістьма гіпотезами з метою кількісного вимірювання. Розроблена модель базується на двох екзогенних факторах - ошадливе виробництво та Індустрія 4.0 - та трьох ендогенних (сталість розвитку в економічному аспекті - EcS, сталість розвитку навколишнього середовища - EnS та соціальний аспект сталого розвитку - SoS). Для статистичної перевірки таких гіпотез було проаналізовано 252 анкети від промислових компаній Піренейського півострова (Португалія та Іспанія).

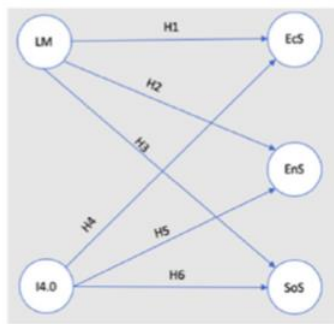


Figure 1. Initial general model.

**Hypothesis 1 (H1).** The industrial companies' perception on Economic Sustainability is positively related to Lean Manufacturing.

**Hypothesis 2 (H2).** The industrial companies' perception on Environmental Sustainability is positively related to Lean Manufacturing.

**Hypothesis 3 (H3).** The industrial companies' perception on Social Sustainability is positively related to Lean Manufacturing.

**Hypothesis 4 (H4).** The industrial companies' perception on Economic Sustainability is positively related to Industry 4.0.

**Hypothesis 5 (H5).** The industrial companies' perception on Environmental Sustainability is positively related to Industry 4.0.

**Hypothesis 6 (H6).** The industrial companies' perception on Social Sustainability is positively related to Industry 4.0.

Рис. 2.17 - Загальна модель дослідження

В результаті отримано дані, які можуть бути дуже корисними для підприємств при впровадженні тих чи інших заходів, з точки зору розуміння як це відобразиться на сталості розвитку подальшої діяльності. Так отримані результати підтверджують зв'язок між Індустрією 4.0 та сталим розвитком, і, навпроти, свідчать про відсутність впливу обраних заходів ошадливого виробництва на підсилення сталості розвитку підприємства. Окрім цього, слід зазначити, що найвагоміший вплив запровадження заходів концепції Індустрія 4.0 спостерігається на екологічний фактор сталого розвитку, за ним іде соціальний і найнижчим є вплив на економічну сталість. Також було встановлено кореляційний зв'язок між ошадливим виробництвом та Індустрією 4.0.

| Hypothesis | Exogenous Construct | Endogenous Construct         | Est.   | SE    | CR     | p-Value | Conclusion    |
|------------|---------------------|------------------------------|--------|-------|--------|---------|---------------|
| H1.        | Lean                | Economic Sustainability      | 0.187  | 0.133 | 1.405  | 0.16    | Not confirmed |
| H2.        | Lean                | Environmental Sustainability | -0.167 | 0.365 | -0.457 | 0.648   | Not confirmed |
| H3.        | Lean                | Social Sustainability        | -0.142 | 0.280 | -0.508 | 0.611   | Not confirmed |
| H4.        | Industry 4.0        | Economic Sustainability      | 0.457  | 0.132 | 3.466  | <0.001  | Confirmed     |
| H5.        | Industry 4.0        | Environmental Sustainability | 1.482  | 0.477 | 3.108  | 0.002   | Confirmed     |
| H6.        | Industry 4.0        | Social Sustainability        | 0.994  | 0.297 | 3.341  | <0.001  | Confirmed     |

Рис. 2.18 - Отримані результати дослідження

## ЧАСТИНА 3

### Співпраця університетів та промисловості в контексті Індустрії 4.0

#### 3.1 B-remote - проект для віддаленого моніторингу стану машин

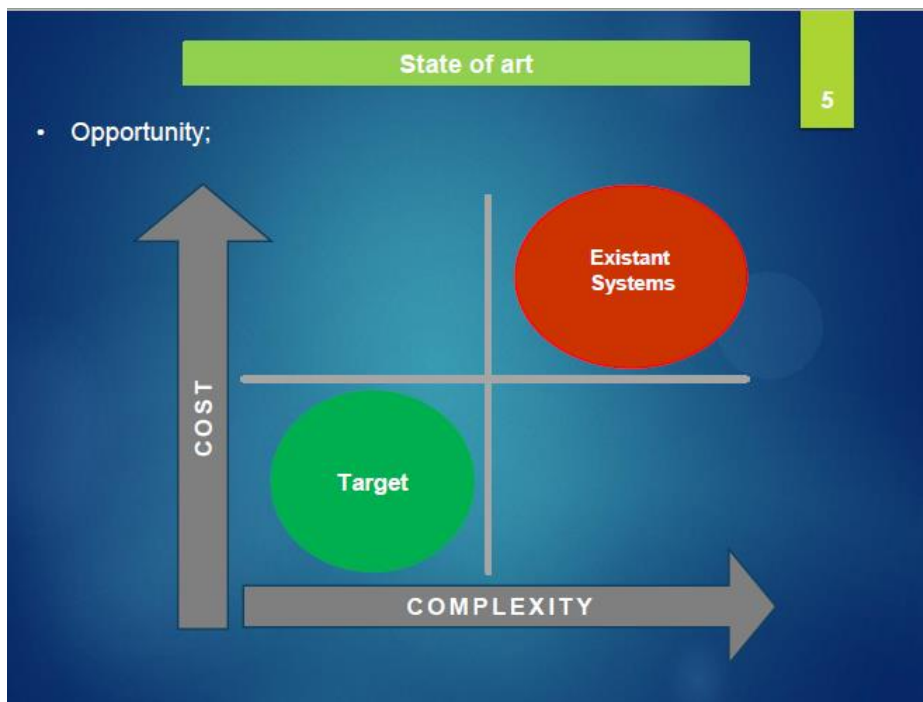


В рамках реалізації проекту HeIn4.0 європейські партнери проекту з Політехнічного інституту Порту у дистанційному форматі провели онлайн-семінар, на якому були представлені результати впровадження системи віддаленого моніторингу стану машин для підприємств малого та середнього бізнесу.

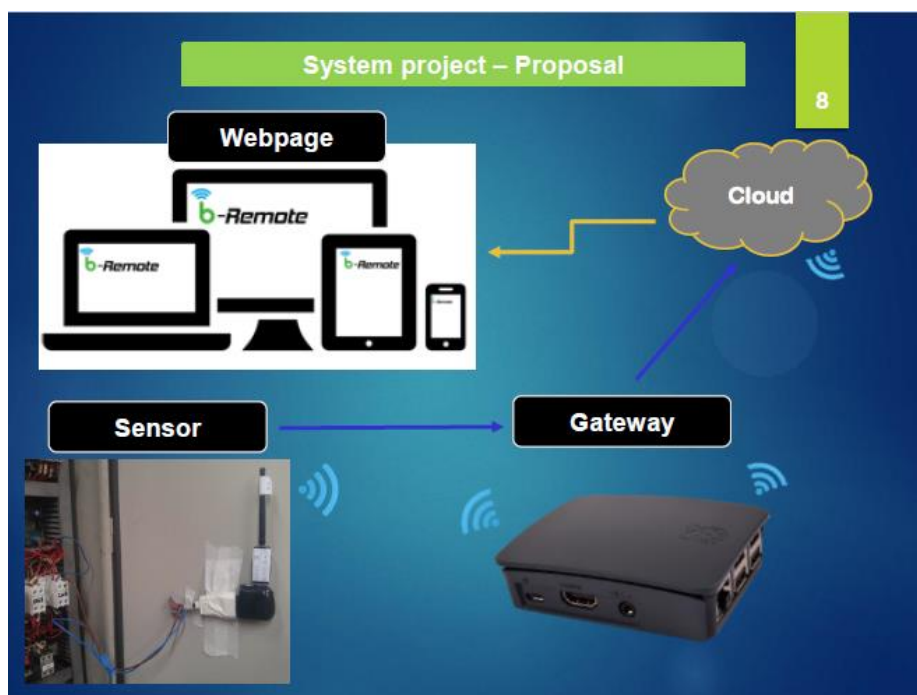
Однією з найважливіших складових роботи устаткування у контексті Індустрія 4.0 є безперервний моніторинг його робочого стану і умов роботи. Система віддаленого моніторингу стану машин b-remote призначена для підприємств малого та середнього бізнесу (SME). Основними причинами створення такої системи були:

- 1) Необхідність знати стан роботи машини в режимі реального часу у тому числі віддалено;
- 2) Отримання інформації, яка допомагає у прийнятті рішень;  
При цьому система повинна забезпечувати:
  - 1) Простоту і гнучкість установки і використання;
  - 2) Привабливе співвідношення витрат і вигід для малого і середнього бізнесу.

Основна ідея розробки проекту полягала у використанні технологій бездротового зв'язку і хмарних технологій для забезпечення зв'язку з сенсорами об'єкту контролю і виконання необхідних досліджень.



*Рис. 3.1 - Привабливе співвідношення витрат і вигід, відносно невисокий рівень складності – нова парадигма у створенні автоматизованих систем*



*Рис. 3.2 - Використання технологій бездротового зв'язку і хмарних технологій для забезпечення зв'язку з сенсорами об'єкту контролю*

Розроблена система має наступні переваги:

- 1) ненав'язлива інтеграція в існуючі машини;
- 2) модульність і невисока вартість;
- 3) гнучкий доступ до системи з простою візуалізацією і інтуїтивно зрозумілим використанням;
- 4) ефективність роботи системи була підтверджена технічно за допомогою моделювання в лабораторних і промислових умовах;
- 5) достатній радіус дії і несприйнятливість до перешкод;
- 6) простота установки і використання.

Важливою рисою реалізації проекту є не лише технічна реалізація, але і розробка бізнес-плану для конкретного підприємства малого і середнього бізнесу (модель бізнес-аналізу; аналіз ринку; маркетинговий аналіз; операції та соціально-економічні наслідки; модель фінансового аналізу; ціни та прогнози продажу; стратегія витрат, загальних витрат і фінансових потреб; визначення та аналіз фінансових показників). Саме такий системний підхід і є рисою, яка притаманна Індустрії 4.0.

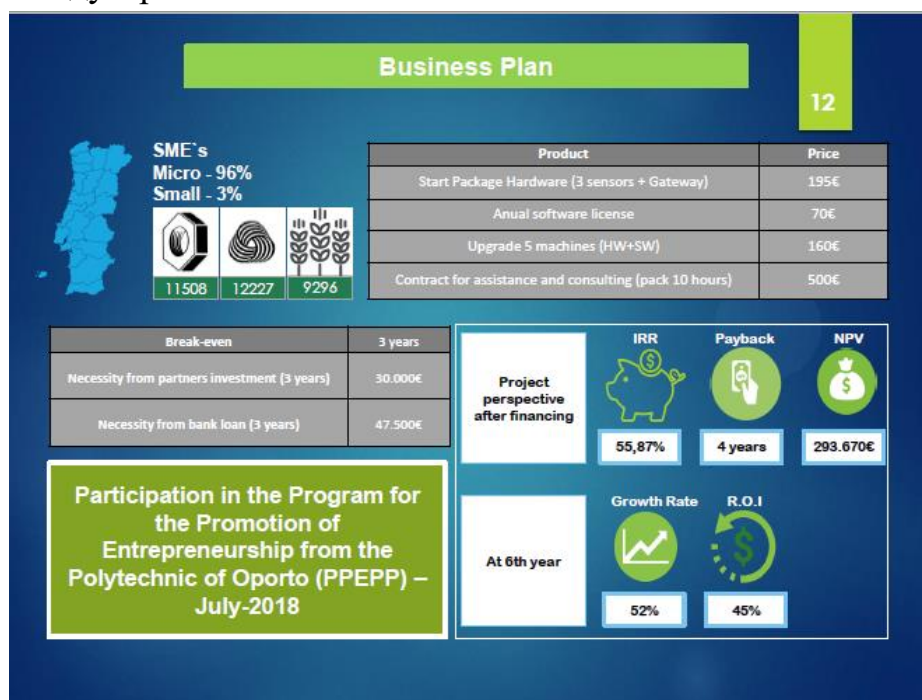
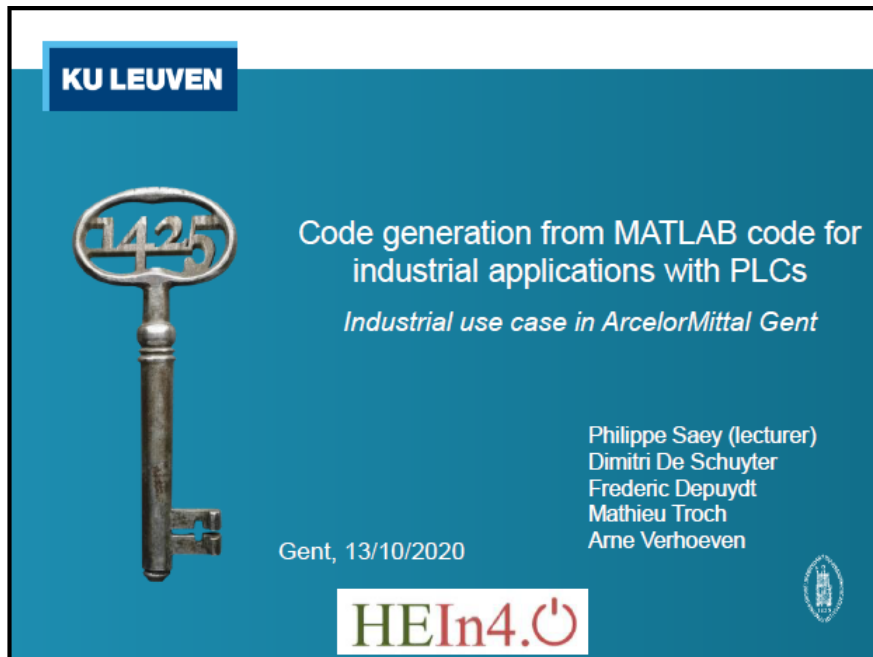


Рис. 3.3 - Результати розрахунків основних економічних індикаторів для підприємства малого і середнього бізнесу

Найбільш значущими результатами реалізованого проекту є цікаві технічні рішення (технології бездротового зв'язку, хмарні технології), а також те, що розробники не зупинилися тільки на технічній реалізації, а й розробили бізнес-план для підприємства малого і середнього бізнесу.

### 3.2 Генерація коду з MATLAB, код для промислових додатків з ПЛК. Приклад промислового використання в умовах Arcelor Mittal Gent



У форматі онлайн-семінару партнери проекту з Католицького університету Льовену поділилися з аудиторією результатами вирішення практичних завдань щодо обробки і аналізу великих масивів даних задля управління рівнем металу у кристалізаторі машини безперервного лиття заготовок в умовах металургійного підприємства Арселор Мітал Гент.

Однією з дев'яти технологій, які трансформують промислове виробництво є «Моделювання і віртуальне введення в експлуатацію», основними варіантами якої є:

- Використання програмованих мікропроцесорних контролерів;
- Застосування цифрових двійників (digital twins) тобто цифрових копій фізичного об'єкту або процесу;
- Моделювання і швидка реалізація складних кодів (обробка сигналів, автоматичне управління).

На семінарі автори на промисловому прикладі продемонстрували які досить великі можливості надає використання третьої компоненти технології «Моделювання і віртуальне введення в експлуатацію»

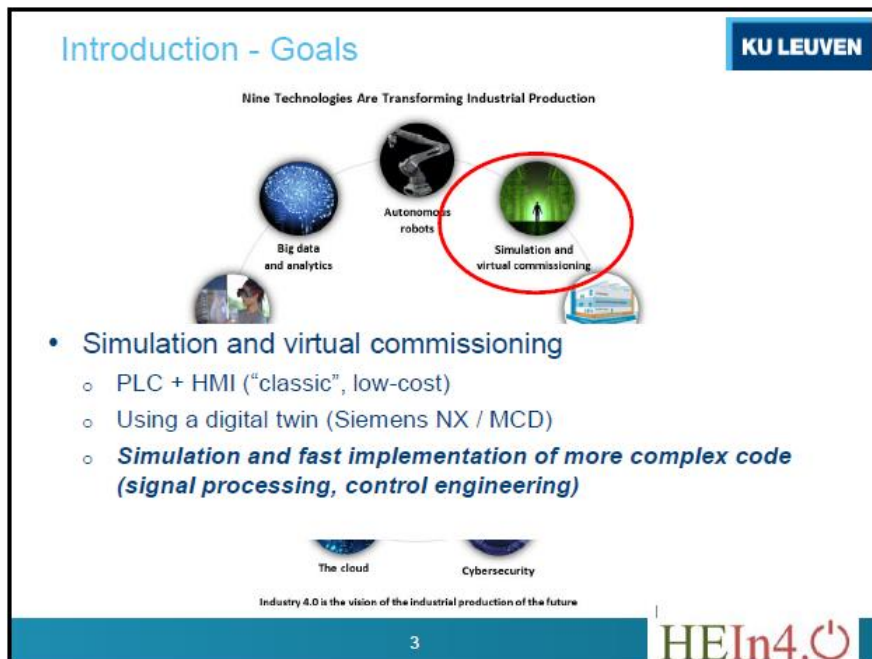


Рис. 3.4 - Основні варіанти реалізації технології «Моделювання і віртуальне введення в експлуатацію»

Основна ідея розробки алгоритму управління і математичного забезпечення АСУ машини безперервного лиття заготовок полягає у використанні програмного середовища Matlab. У цьому середовищі було розроблено спрощену модель об'єкту управління, розроблено регулятор рівня металу в проміжному ковші.

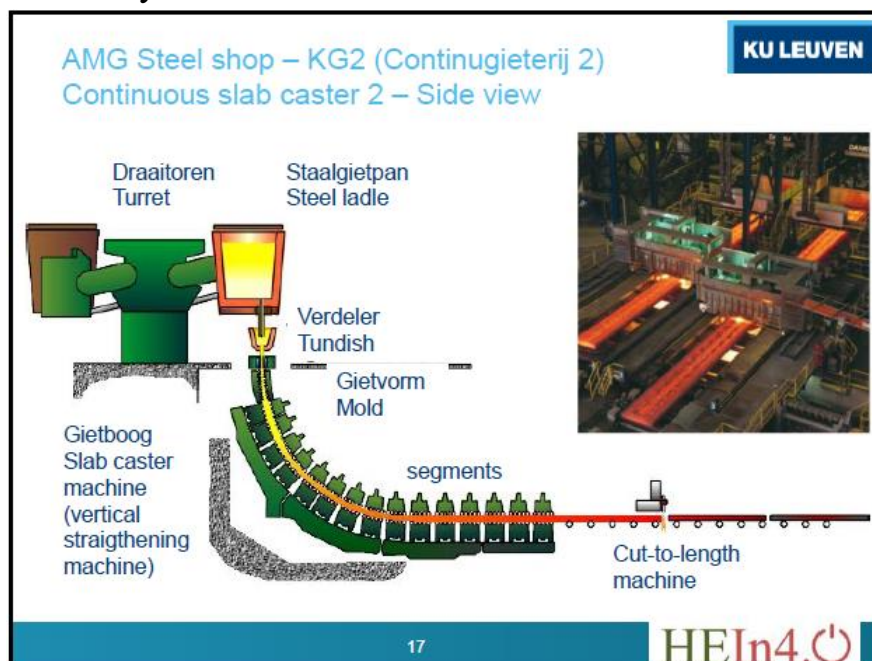


Рис. 3.5 - Основні елементи машини безперервного лиття заготовок

Цікавим фактом є те, що середовище Matlab дозволяє зв'язок з програмованими мікропроцесорними контролерами (наприклад Simatic S7) за

допомогою спеціального протоколу. Під час вебінару значна увага була приділена технічним особливостям організації зв'язку середовища Matlab з контролером Simatic S7.

AMG Steel shop – KG2 (Continugietterij 2)  
Continuous slab caster 2: what do we want to control?

KU LEUVEN

We want to control the mold level:

- Actuator is the “stopper”
- The level in the tundish (verdeler) is changing (it buffers, especially when the steel ladle (staalgietpan) is switched)
- ...

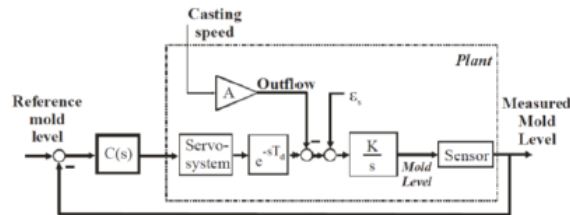


Fig. 2: Scheme of basic plant and simple feedback control

- But what happens in the mold itself?

"Periodic Disturbance Suppression in a Steel Plant with Unstable Internal Feedback and Delay", C. Furtmueller, L. del Re, H. Bramerdorfer, K. Moenwald; Institute for Design and Control of Mechatronical Systems Johannes Kepler University & ISC1-Technologie Strangielstechnik VOEST-ALPINE, 2005, Austria

HEIn4.0

Рис. 3.6 - Схема регулювання рівня металу кристалізаторі

Така розробка дозволяє тестувати алгоритми управління в автономному режимі без втручання у роботу промислового об'єкту управління, але на реальному цільовому обладнанні.

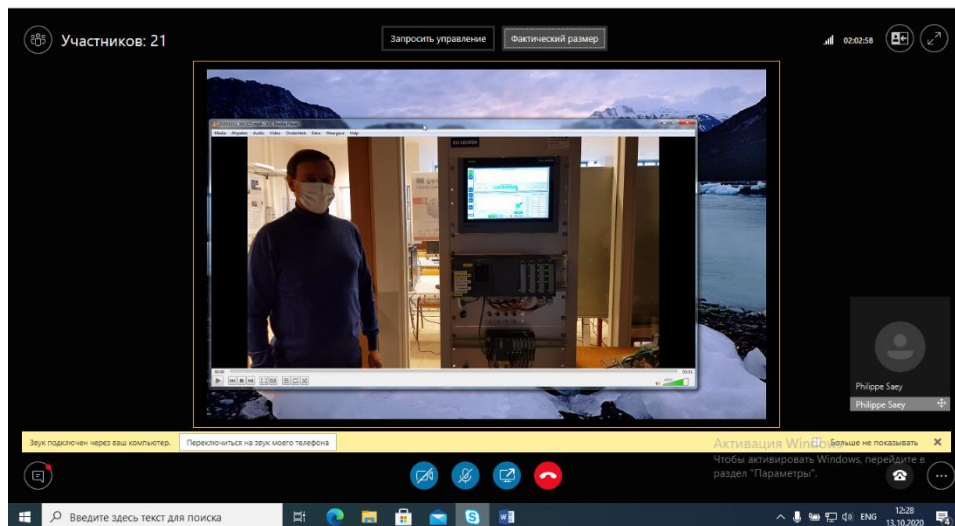
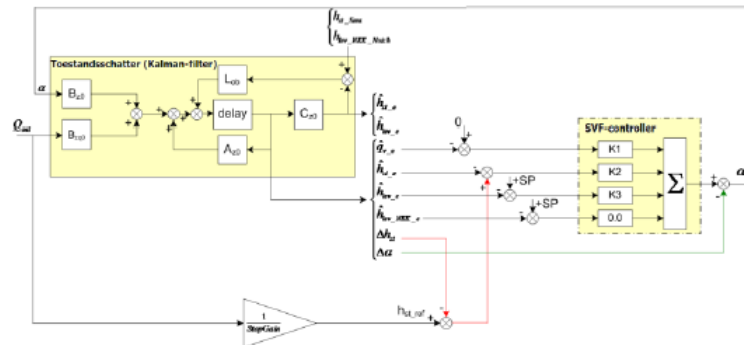


Рис. 3.7 - Тестування роботи запропонованих алгоритмів управління на цільовому обладнанні

Дуже цікавим елементом дослідження є використання для аналізу роботи машини безперервного лиття заготовок рекурсивного фільтру Калмана (оцінювання вектору стану динамічної системи для неповних та зашумлених значень) а також швидкого перетворення Фур'є (Fast Fourier Transformer) для обробки промислових даних.

The good news is that it is already controlled ...

Using a state observer (Kalman filter) and a state variable feedback controller. (Manually programmed into the PLC !)



23

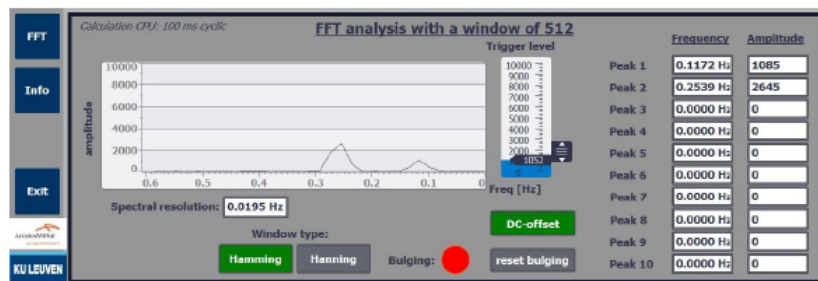
HEIn4.0

Рис. 3.8 - Використання для аналізу роботи машини безперервного лиття заготовок рекурсивного фільтру Калмана

### Early warning & long term analysis

KU LEUVEN

- Two extensions are proposed:
  - Early warning detection of bulging:** FFT analysis (Fast Fourier Transform<sup>1</sup>) on an array 512 points (51.2 seconds), with detection of spectral lines exceeding a threshold => "bulging Y/N"



- An FFT with a high spectral resolution

<sup>1</sup> A FFT is an algorithm that calculates the discrete Fourier transform (DFT) of a sequence of numbers (an array).

41

HEIn4.0

Рис. 3.9 - Аналіз отриманих даних за допомогою швидкого перетворення Фур'є (спектральна роздільна здатність 0,0195 Гц)

**Висновки щодо можливості використання досвіду Католицького університету Львовен у ЗВО України**

Найбільш значущими результатами реалізованого проекту є

- 1) Приклад взаємодії Католицького університету Льовен з індустріальним партнером у напрямі впровадження елементів Індустрія 4.0 у виробничий процес;
- 2) Цікаві технічні рішення щодо зв'язку середовища Matlab/Simulink з контролерами та об'єктами управління;
- 3) Приклади реалізації алгоритмів управління металургійним агрегатом.

### 3.3 Індустрія 4.0 - Від сенсору до хмари



## Industry 4.0 – from sensor to the Cloud

Presenting:  
João Costa

Представники Політехнічного інституту Порту надали приклади сучасної ієрархії розподілених систем автоматизації в контексті технологій Індустрії 4.0 (сенсори та виконавчі механізми, програмовані логічні контролери, Scada-системи, операційний менеджмент, менеджмент виробництва, хмари).

В якості прикладів реалізації наводилися технічні засоби відомої німецької компанії Ifm electronic.

## Automation Pyramide

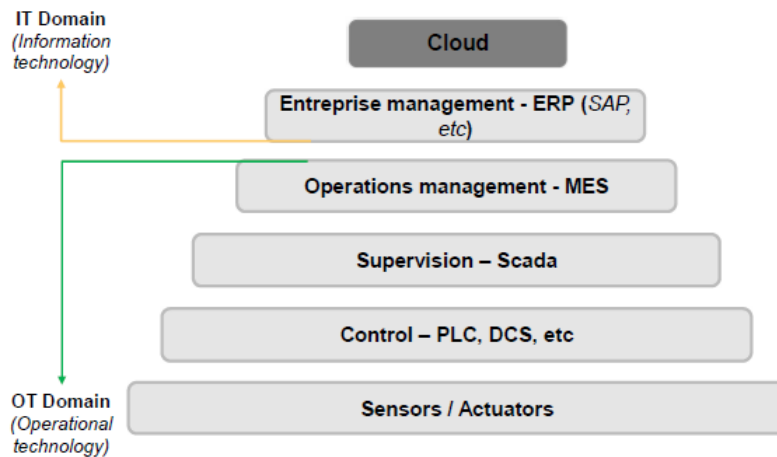


Рис. 3.10 - Ієрархічна структура розподілених систем автоматизації в контексті технологій Індустрія 4.0

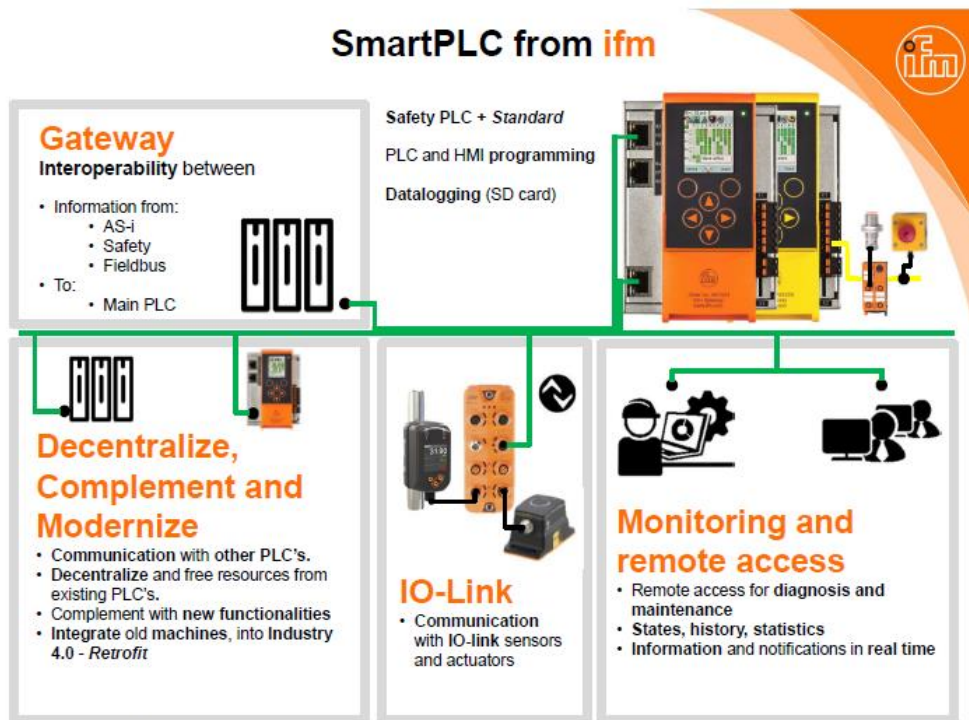


Рис. 3.11 - Основні функції Smart-ПЛК

Основними рисами Індустрії 4.0 для систем автоматизації є:

- Сумісність
- Децентралізація
- Аналіз у реальному часі (тобто це системи реального часу)
- Віртуалізація
- Орієнтованість на обслуговування
- Модульність та масштабованість

Такі системи є основою для створення фабрики майбутнього - певного типу системи бізнес-процесів, способу комбінування бізнес-процесів, які мають такі характеристики:

- Створення цифрових платформ - своєрідних екосистем передових цифрових технологій. На основі передбачуваної аналітики і великих даних платформний підхід дозволяє об'єднати територіально розподілених учасників процесів проектування і виробництва, підвищити рівень гнучкості і кастомізації з урахуванням вимог споживачів;
- Розробка системи цифрових моделей як нових проєктованих виробів, так і виробничих процесів. Цифрові моделі повинні мати високий рівень адекватності реальним об'єктам і реальним процесам (конвергенція матеріального і цифрового світів, що породжують синергетичні ефекти);
- Цифровізація всього життєвого циклу виробів (від концепт-ідеї, проєктування, виробництва, експлуатації, сервісного обслуговування та до утилізації). Чим пізніше вносяться зміни, тим їх вартість більше, а тому центр ваги зміщується в бік процесів проєктування, в рамках яких закладаються характеристики глобальної конкурентоспроможності або високі споживчі вимоги.

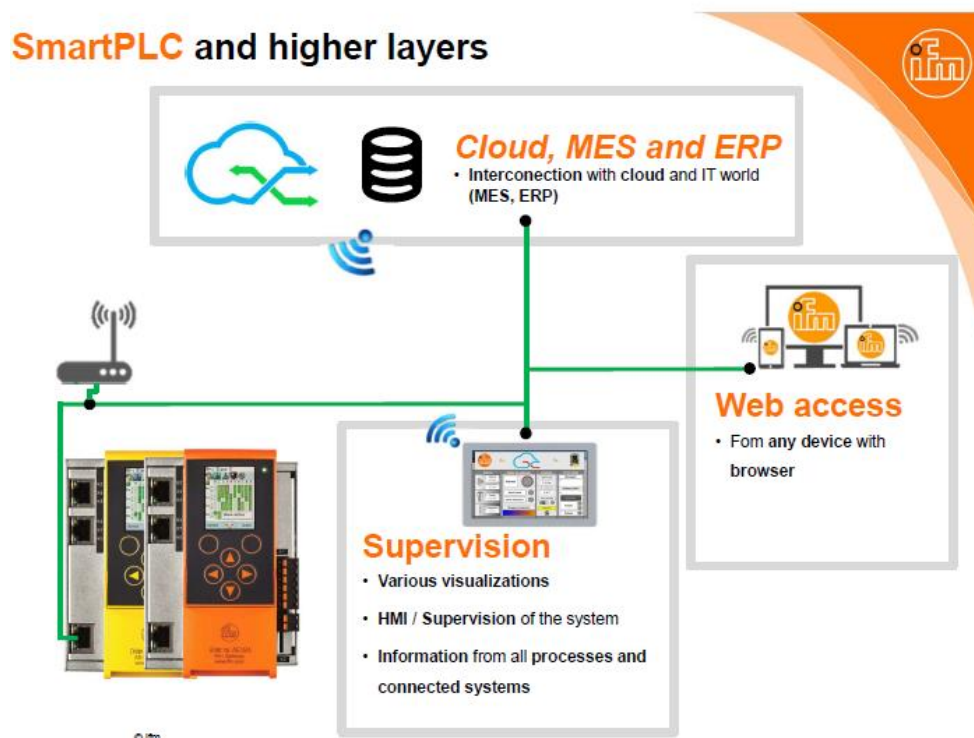
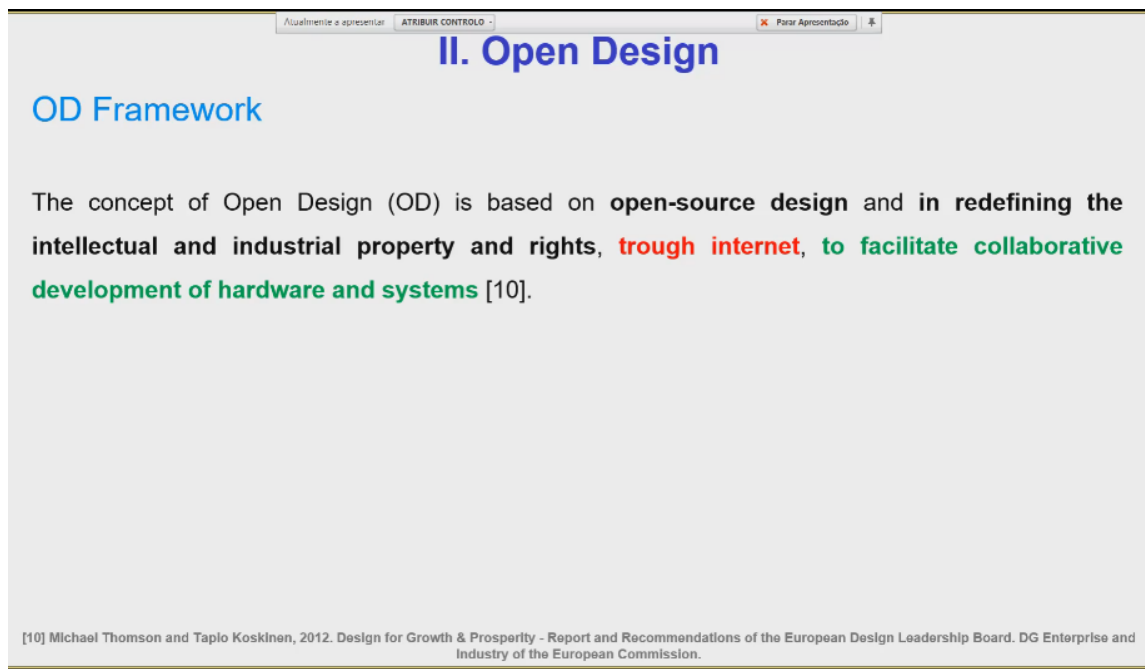


Рис. 3.12 - Зв'язок Smart-ПЛК з елементами АСУ вищого рівня

### 3.4 Відкритий дизайн, відкрита обробка та відкрите виробництво



Фахівці Політехнічного інституту Порту наочно продемонстрували можливості практичного використання концепції відкритого дизайну (open design) і відкритого програмного коду (open-source software).



*Рис. 3.13 - Цифрова система управління невеликою фермою з вирощування рослин*

Відкритий дизайн – це спосіб розробки і супроводження експлуатації машин і систем шляхом використання публічної інформації. В даному випадку комунікація відбувається через мережу інтернет. Така система роботи дозволяє не обмежуватися при проектуванні систем лише вузьким колом фахівців (з однієї групи, фірми, компанії), а формувати у довільній формі гнучку команду зацікавлених осіб, які мають мультидисциплінарні навички. Це призводить до прискорення обміну інформацією та знаннями, створення нових систем управління та програмних продуктів завдяки вільній базі знань та напрацювань попередніх розробників, що є однією з рис четвертої індустріальної революції.

В якості прикладу реалізації концепції відкритого проектування наведено цифрову систему управління невеликою фермою з вирощування рослин.

Ця невелика ферма обладнана автоматичною системою поливання та внесення добрив, системою освітлення вночі у разі необхідності. Електрична енергія, що використовується виробляється сонячними батареями.

### 3.5 Proficloud - Інфраструктура інтернету речей (IoT) для віддалених промислових додатків



Цікавим є досвід фахівців Католицького університету Льовену в використанні “Інтернету речей” (IoT) для віддаленого управління промисловими об’єктами. Це стало логічним продовженням попереднього вебінару “Розумне здоров’я: рамки інтернету речей (internet of things, IoT) для клінічних випробувань - середовище спільного створення” (див. Розділ «Індустрія 4.0 та суспільство»).

Як відомо, найважливішими зі складових компонентів Індустрії 4.0 є «Інтернет речей» і «Хмарні технології».

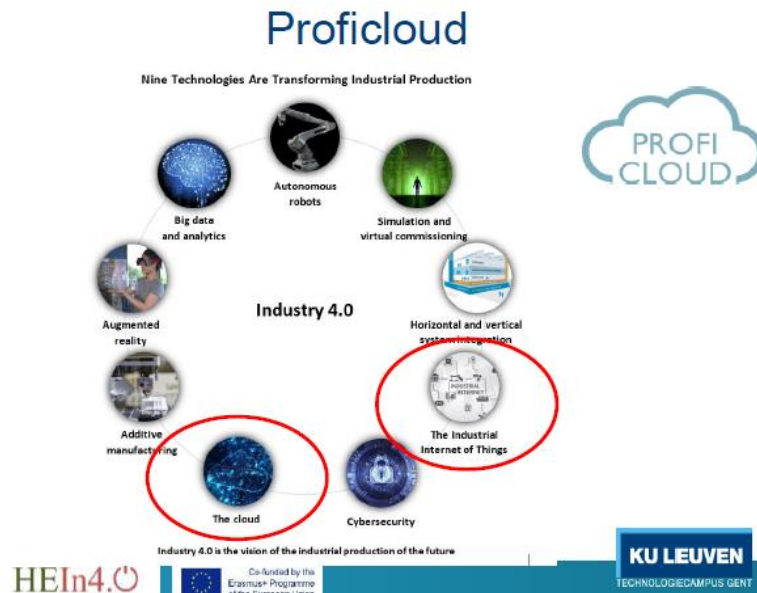


Рис. 3.14 - Роль і місце “Інтернету речей” і “Хмар” у структурі дев’яти технологій, які трансформують виробничий процес

Як відомо, Інтернет речей (Internet of things, IoT) - це концепція мережі передачі даних між фізичними об’єктами («речами»), що оснащені вбудованими засобами і технологіями для взаємодії одного з іншим або з зовнішнім середовищем.

В даному вебінарі мова йшла про використання Інтернету Речей і Хмар для інтегрального управління промисловими об’єктами, які розташовані в різних локаціях на великих відстанях один від іншого. Наведено два показових приклади організації управління такими об’єктами.

**Приклад 1.** Установа з виробництва води з невеликими віддаленими об’єктами в декілька десятків кілометрів.

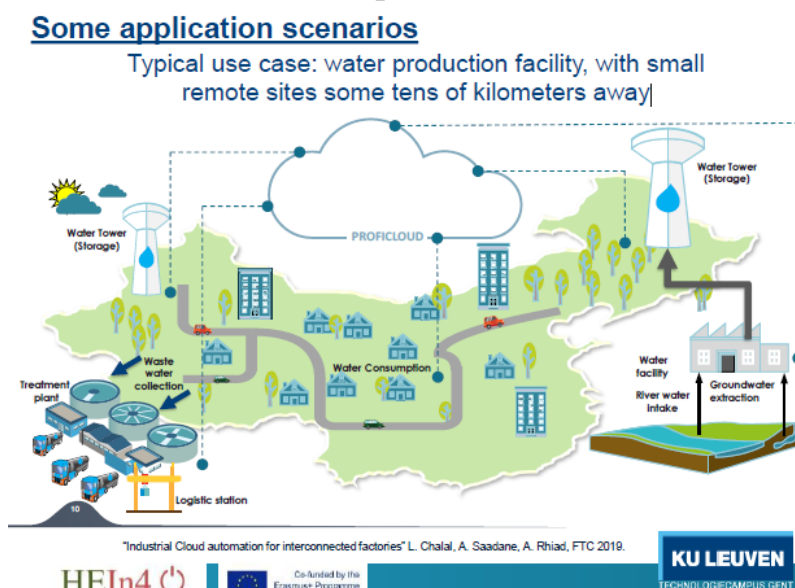


Рис. 3.15 - Використання хмарної платформи ProfiCloud для управління підприємством з видобування, підготовки та постачання води

Особливостями такої системи є використання хмарної платформи ProfiCloud та пряма інтеграція в мережу PROFINET – одну з найвідоміших мереж промислових мереж Ethernet. Таким чином, ProfiCloud дозволяє:

- Відслідковувати стан відділеного виробничого об'єкту та управляти ним;
- Аналізувати ефективність роботи віддаленого устаткування, виробництва та ін.;
- Проводити контроль якості продукції, аналізувати стан та надійність устаткування, збирати та аналізувати данні, які з різних боків характеризують виробничі процеси;
- Виробляти та реалізовувати керуючі впливи.

**Приклад 2.** Віддалене виробниче устаткування знаходиться в США, Бельгії, Китаї та інших країнах, а штаб-квартира автоматизації знаходиться в Бельгії. Основна мета – відслідковувати стан устаткування, отримувати попередження і відправляти деякі вимірювання до хмари (або на локальні сервери) для аналізу стану машин та KPI (*Key Performance Indicators*, - ключові показники діяльності).

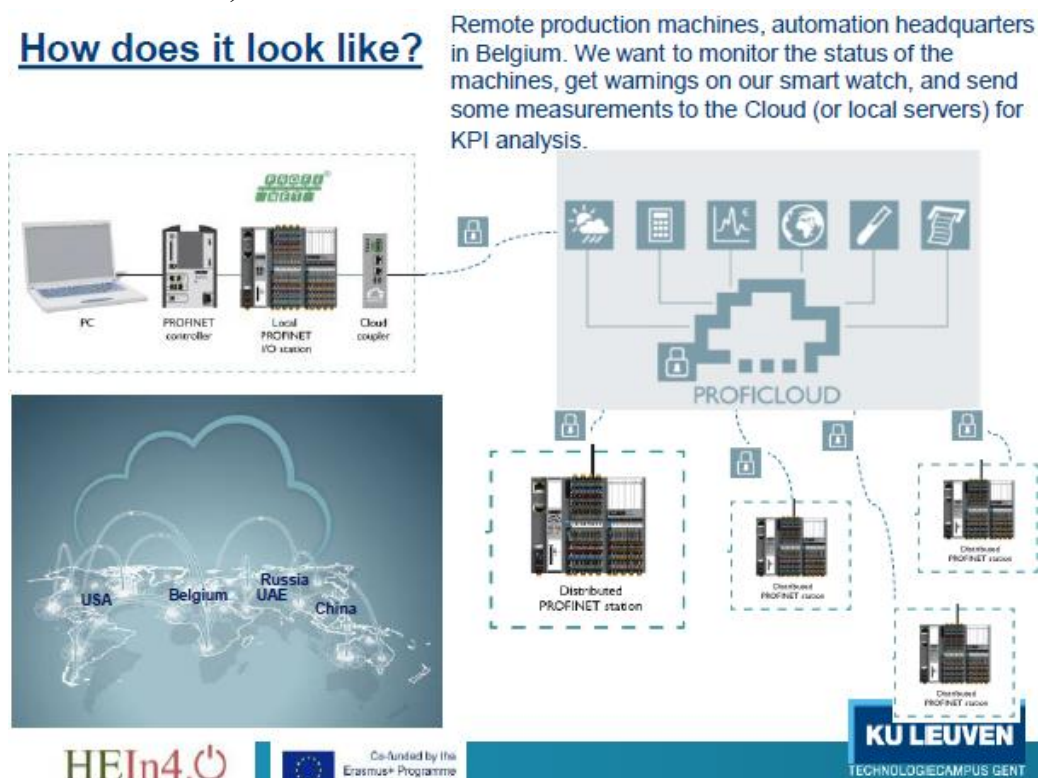


Рис. 3.16 - Відділений контроль і управління виробничими процесами транснаціонального виробництва у декількох країнах світу з Бельгії

Основним устаткуванням для організації віддаленого контролю і управління є програмований логічний контролер (PLC), PROFINET – пристрій, хмарний з'єднувач, хмарні контролери.

### How does it look like?

Remote production machines,  
automation headquarters in Belgium

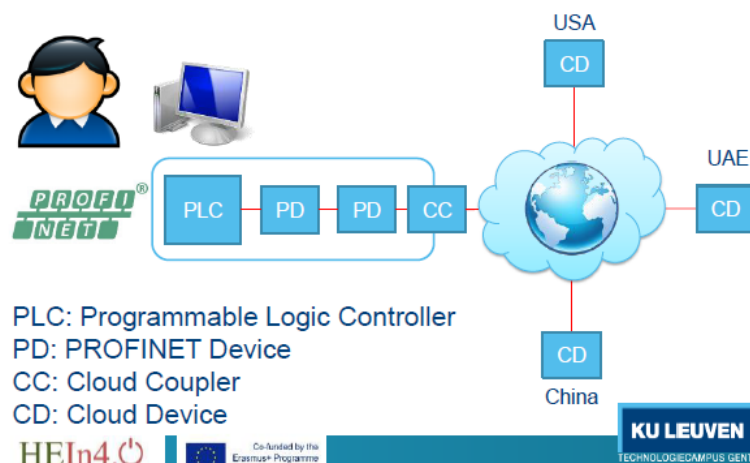


Рис. 3.17 - Основні структурні для організації віддаленого контролю і управління

### How does it look like?

Remote production machines,  
automation headquarters in Belgium

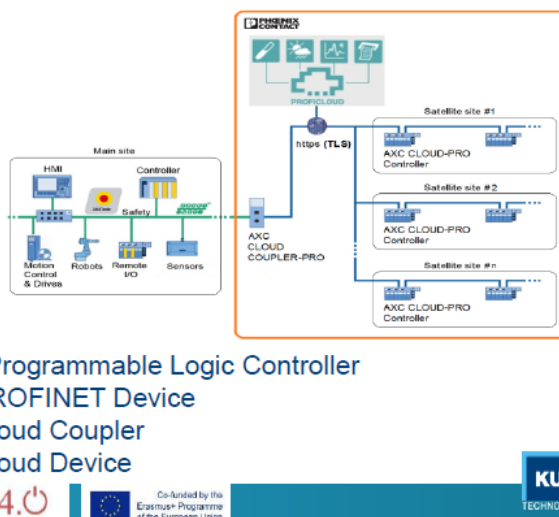


Рис. 3.18 - Основне устаткування для організації віддаленого контролю і управління

Необхідні запити до віддалених пристроїв або керуючі впливи вводяться за допомогою людино-машинного інтерфейсу, надходять на вхід контролеру і далі, за допомогою PROFINET (пристрою і хмарного з'єднувача), через хмару - до хмарних контролерів віддалених об'єктів AXC COULD PRO.

### How does it really look like?

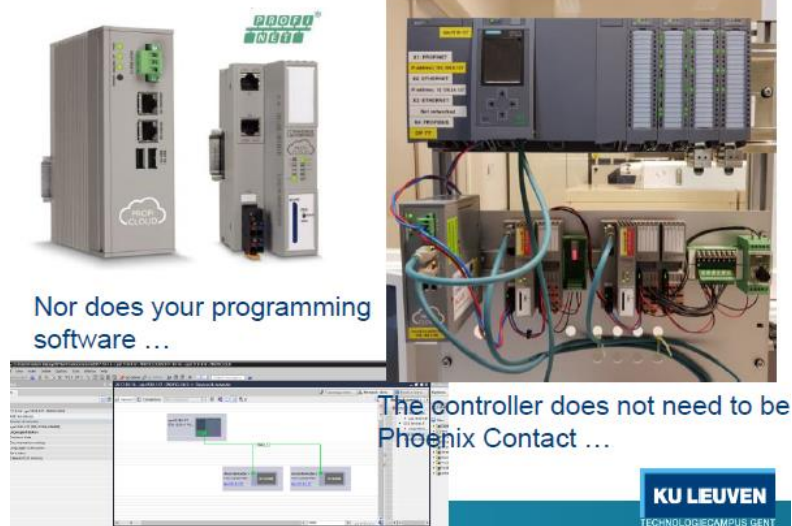


Рис. 3.19 - Програмований логічний контролер і хмарні контролери

Для захищеної передачі даних між об'єктами використовується протокол TLS (transport layer security - Протокол захисту транспортного рівня) TLS дає можливість клієнт-серверним додаткам здійснювати зв'язок в мережі таким чином, що не можна виконувати прослуховування пакетів і здійснювати несанкціонований доступ.

### TLS – Transport Layer Security

#### Authentication

- Initially, each device is identified and authenticated using a UUID (Universally Unique Identifier (128 bit number))
- Only "manufactured" UUIDs are allowed
- The first login / registration is used to exchange a new key (API key)
- For all other interactions, only this API key is allowed



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



Рис. 3.20 - Автентифікація з використанням протоколу TLS

З метою навчання студентів, опрацювання нових рішень, вдосконалення подібних систем ICAM, University Lille 1 та KU Leuven розробили відповідні лабораторні установки.

## INCASE: demonstrators

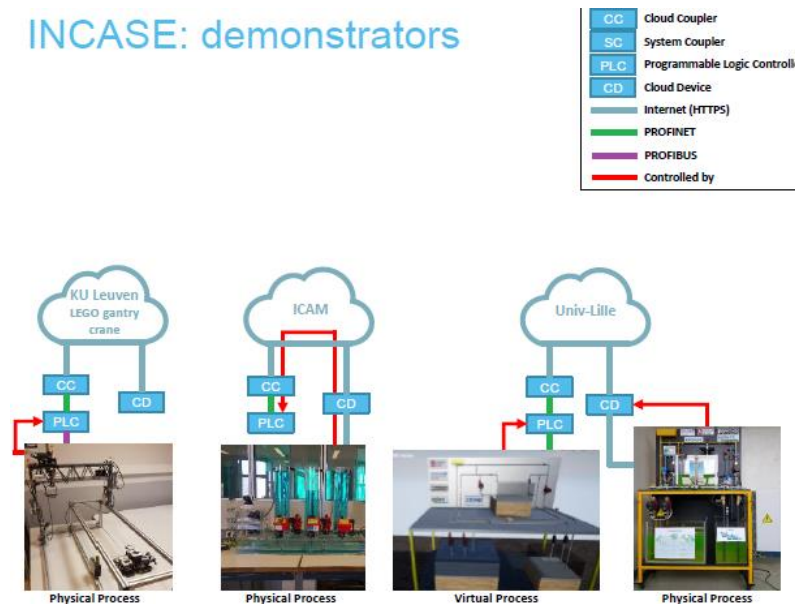


Рис. 3.21 - Між університетська лабораторна установка, що демонструє принципи роботи системи віддаленого управління

### Висновки щодо можливості використання досвіду Католицького університету Льовен у ЗВО України

1. Приклад реалізації використання Інтернету Речей і Хмар для інтегрального управління промисловими об'єктами, які розташовані в різних локаціях на великих відстанях один від іншого
2. Приклад взаємодії Католицького університету Льовен з іншими університетами Європи з метою вирішення прикладних задач з Індустрії 4.0;
3. Цікаві і одночасно досить прості технічні рішення щодо організації зв'язку та управління віддаленими об'єктами;

### 3.6 PROFIenergy: розумна економія енергії за допомогою PROFINET

KU LEUVEN  
TECHNOLOGIECAMPUS GENT

HEIn4.0

PROFIenergy:  
Smart energy-savings with PROFINET

15/12/2020

Philippe Saey  
Mathieu Troch  
Dimitri De Schuyter  
Frederic Depuydt  
Arne Verhoeven

philippe.saey@kuleuven.be

Також технології Інтернету речей (мережа PROFINET) дозволяють зменшувати витрати електричної енергії у промисловому виробництві.

На сьогодні у ЄС успішно впроваджуються заходи зі зниження викидів парникових газів, зростання частки відновлювальних джерел енергії. Проте не досягнуто намічених цілей з підвищення енергоефективності у різних галузях.

У структурі споживання електричної енергії у країнах ЄС 36,5% - це споживання промисловістю і тут є великий потенціал для покращення ситуації зі зменшенням витрат. Тому розглянемо приклад того, як використання платформи PROFenergy створеної на базі мережі PROFINET дозволяє суттєво знизити витрати електричної енергії на підприємствах автомобільної галузі.

### Energy saving in manufacturing industries

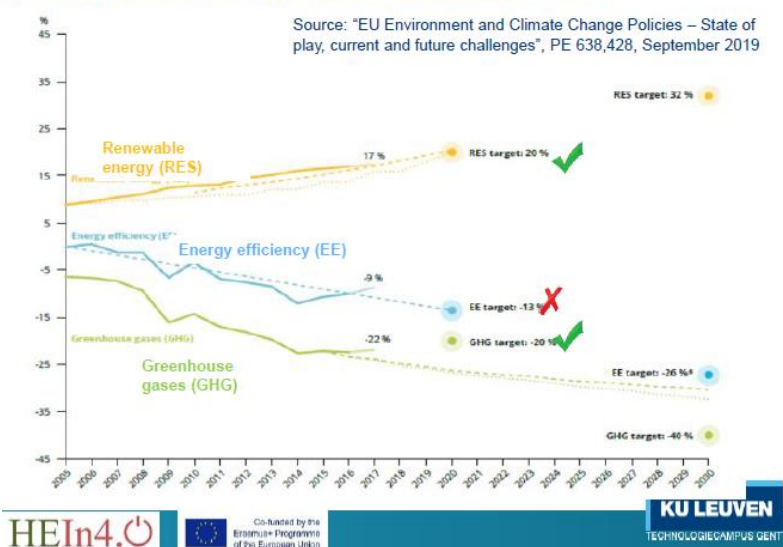


Рис. 3.22 - Результати впровадження заходів з протидії змінам клімату і захисту навколишнього середовища у країнах ЄС

### Energy saving in manufacturing industries

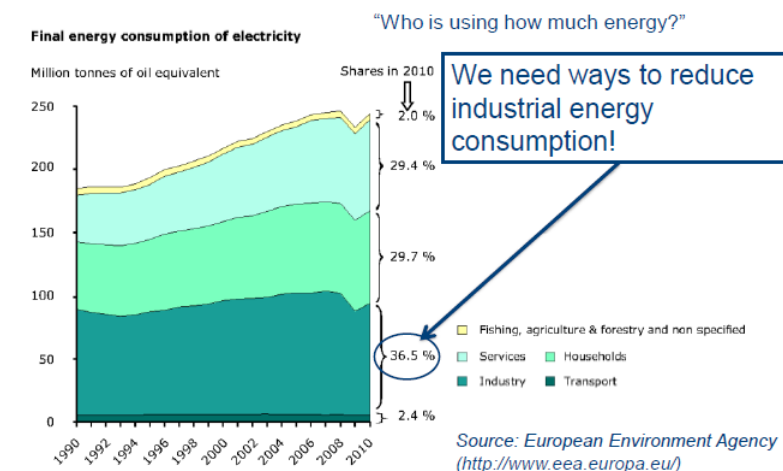


Рис. 3.23 - Споживання електричної енергії у країнах ЄС у різних галузях

Основною ідеєю зниження енергоспоживання на підприємствах з виробництва автомобілів є скорочення її споживання під час простоїв: коротких та довгих пауз, вихідних. Встановлено, що у виробництві автомобілів близько 60% енергії, що використовується під час виробництва, все ще витрачається під час простоїв.

Існує два способи для вирішення зазначеної проблеми:

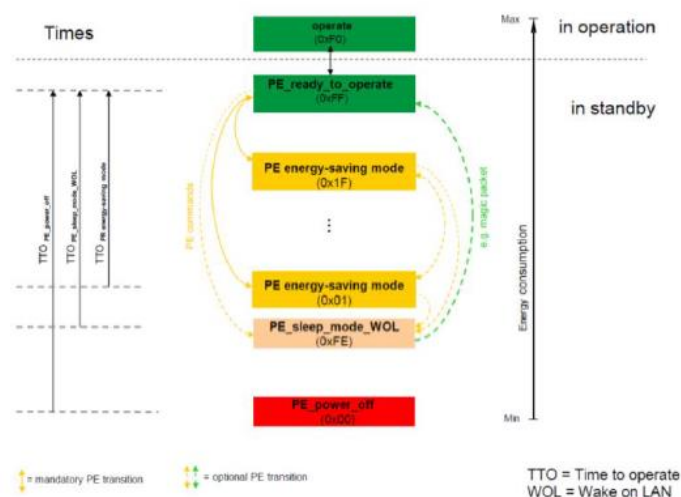
Традиційний спосіб – використання вимикачів з додатковим контролером, недоліками якого є дуже складні процедури організації його роботи (запуск, блокування), необхідність встановлення додаткового обладнання (контролерів), додаткового програмування, що призводить великих витрат враховуючи кількість конвеєрів та роботів. До того ж, ця система дозволяє лише повністю вимикати/вмикати обладнання і не дозволяє йому знаходитися в режимі очікування.

Другим способом є використання технічних засобів які працюють на основі промислової мережі PROFINET – платформи PROFIenergy. Ця платформа створена на запит автомобільної промисловості Німеччини (AIDA). У 2009 році було створено робочу групу з реалізації цього проекту у складі Siemens, ABB, Bosh та інших провідних європейських компаній.

Платформа PROFIenergy забезпечує:

- Енергозбереження під час коротких пауз (~ хвилини);
- Енергозбереження під час довгих пауз (~ години/дні);
- Енергозбереження під час незапланованої паузи;
- Вимірювання та візуалізація навантаження/потoku енергії.

### What is PROFIenergy? State model of a PE device



Siemens, "Application Guideline for Implementing Switch-off Concepts with PROFIenergy"

HEIn4.0

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

KU LEUVEN TECHNOLOGIE/CAMPUS GENT

Рис. 3.24 - Принцип роботи системи

Енергозбереження під час пауз забезпечується наступним чином: тригер запускає паузу (заздалегідь визначений, єдиний, перехресний інтерфейс постачальника на основі ациклічного зв'язку в промисловій мережі PROFINET). Вимкнення відбувається в самому пристрої, додатковий зовнішній перемикач не потрібен. Пристрої будуть переведені в режим очікування або будуть вимкнені, якщо це можливо.

Наведемо приклад роботи цієї системи (рис. 3.25 і рис. 3.26). Конвеєр необхідно відключити після відключення робота і ввімкнути за 2 хвилини до включення робота. Початок зупинки 12 година, а повторний запуск 12:45. Процес включення/відключення конвеєру має наступні часові параметри – час вмикання/вимикання 1 хвилина, мінімальний час затримки – 2 хвилини, тому мінімальна тривалість паузи при, якій можливо здійснювати зупинку конвеєру – 4 хвилини.

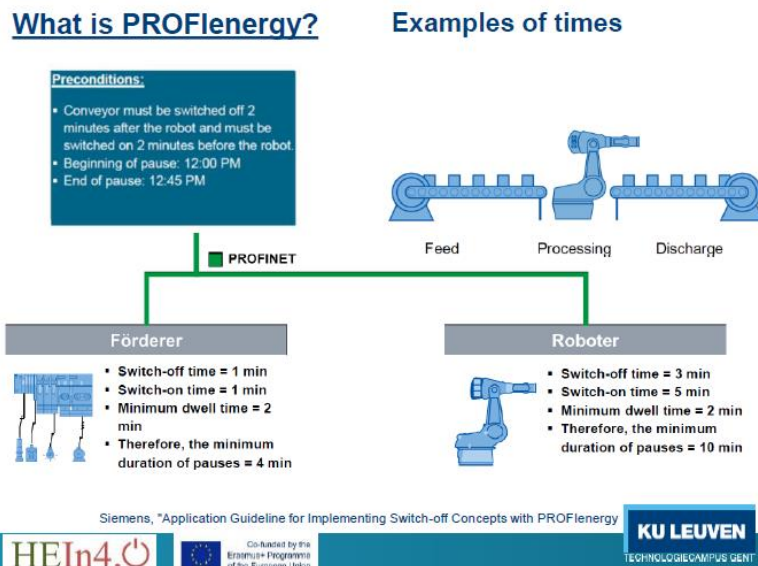


Рис. 3.25 - Опис завдання на вимкнення/вмикання конвеєру та робота

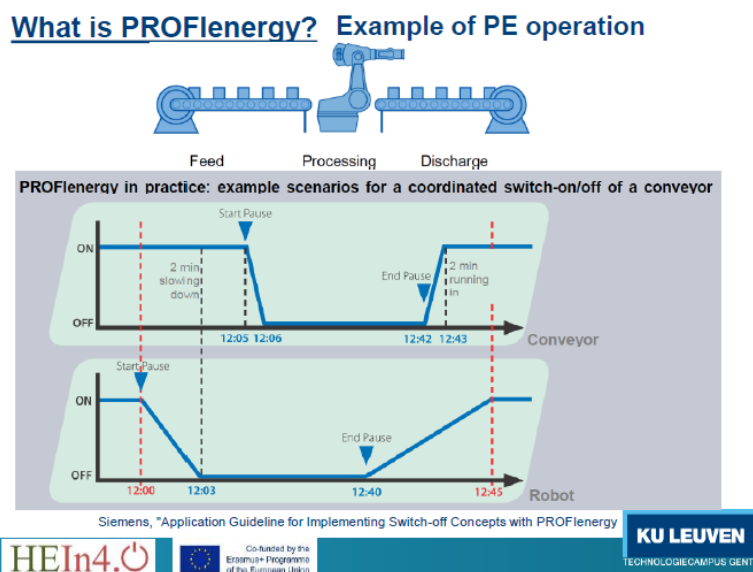


Рис. 3.26 - Часові діаграми роботи робота та конвеєра

Процес включення/відключення робота має наступні часові параметри – час вимикання 3 хвилини, час вмикання – 5 хвилин, мінімальний час затримки – 2 хвилини, тому мінімальна тривалість паузи при, якій можливо здійснювати зупинку робота – 10 хвилин.

На рис. 3.27 представлена схема передачі даних та команд між програмованим мікропроцесорним контролером та конвеєром і роботом.

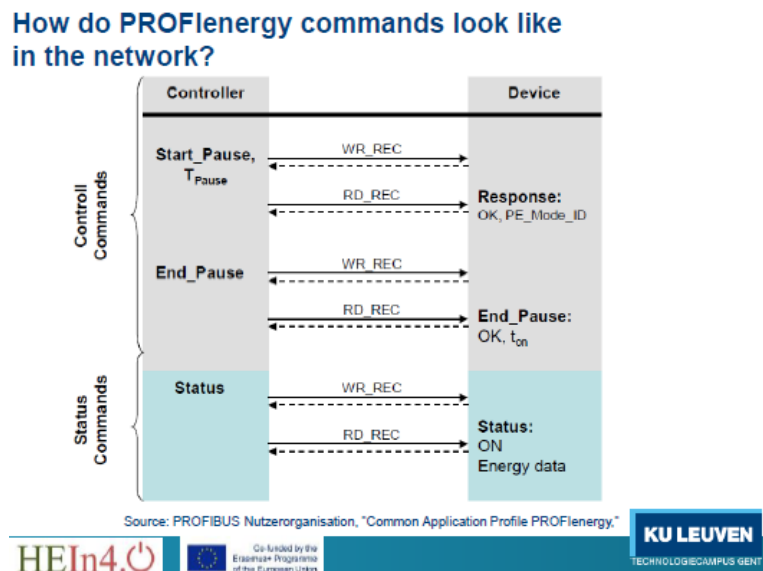


Рис. 3.27 - Схема передачі даних та команд між програмованим мікропроцесорним контролером та конвеєром і роботом

Основними апаратними елементами даної системи є (рис. 3.28) програмований мікропроцесорний контролер Simatic S7 з центральним процесором CPU315F, модульна станція розподіленого вводу-виводу на основі мережі PROFIBUS, керовані комутатори серії SCALANCE X-200 для побудови лінійних і зіркоподібних структур мережі Industrial Ethernet зі швидкістю передачі даних 10/100 Мбіт/с.

**How do PROFIenergy commands look like in the network?**

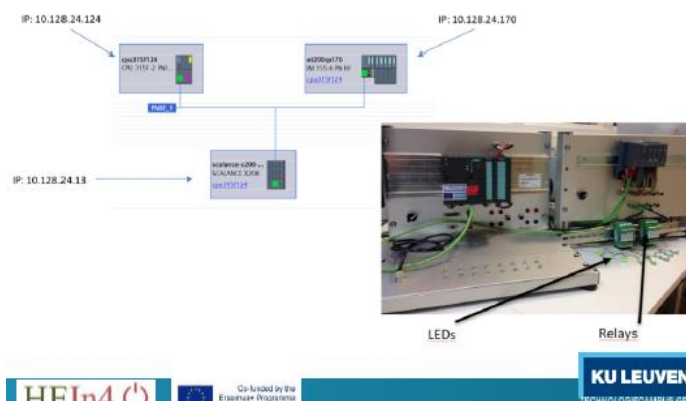


Рис. 3.28 - Основні апаратні елементи системи управління вмикання/вимикання конвеєру та роботу

Також дуже важливими завданнями роботи системи є збирання даних щодо роботи пристроїв та калькуляції енергоспоживання (рис. 3.29).

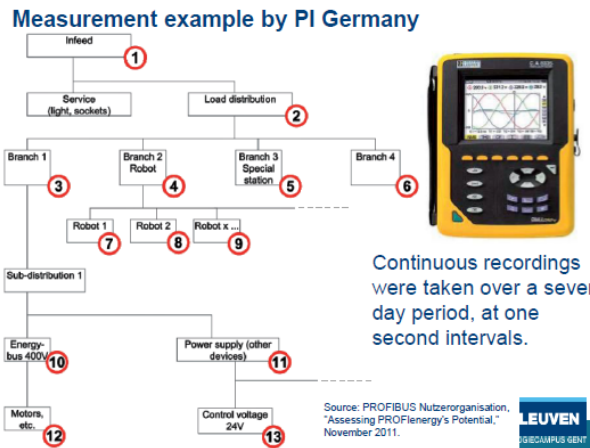


Рис. 3.29 - Виміри параметрів роботи пристроїв

Вимірювання параметрів роботи пристроїв дозволили встановити, що можливо забезпечити зниження загальних витрат електроенергії на 33%, а також знизити викиди CO<sub>2</sub> у повітря.

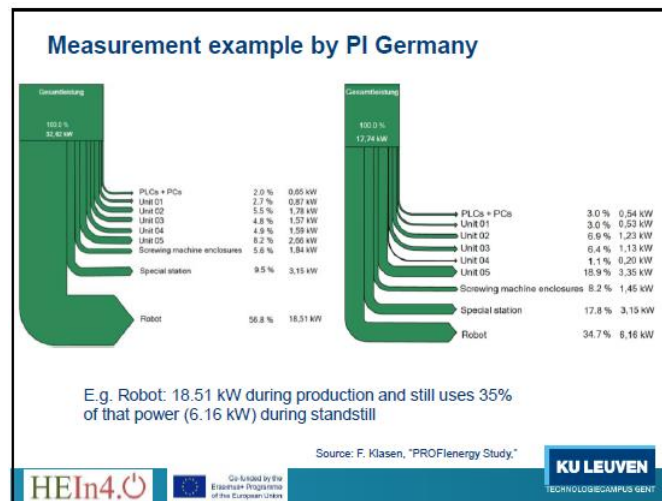


Рис. 3.30 - Графічне представлення результатів вимірювання електричних режимів роботи пристроїв

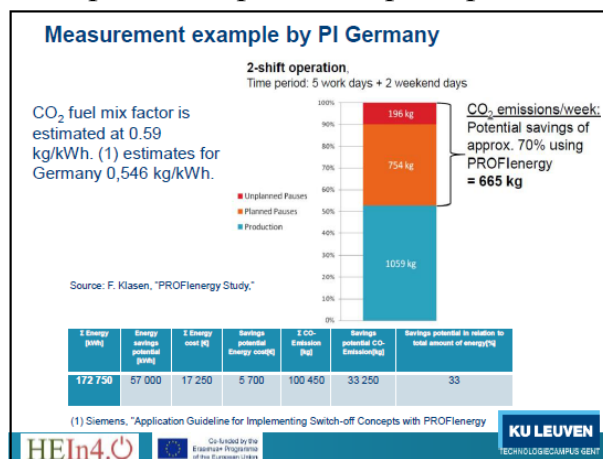


Рис. 3.31 - Зменшення викидів CO<sub>2</sub> у повітря

З метою навчання студентів, опрацювання нових рішень, вдосконалення подібних систем у Католицькому університеті Льовен встановлено відповідне лабораторне устаткування.

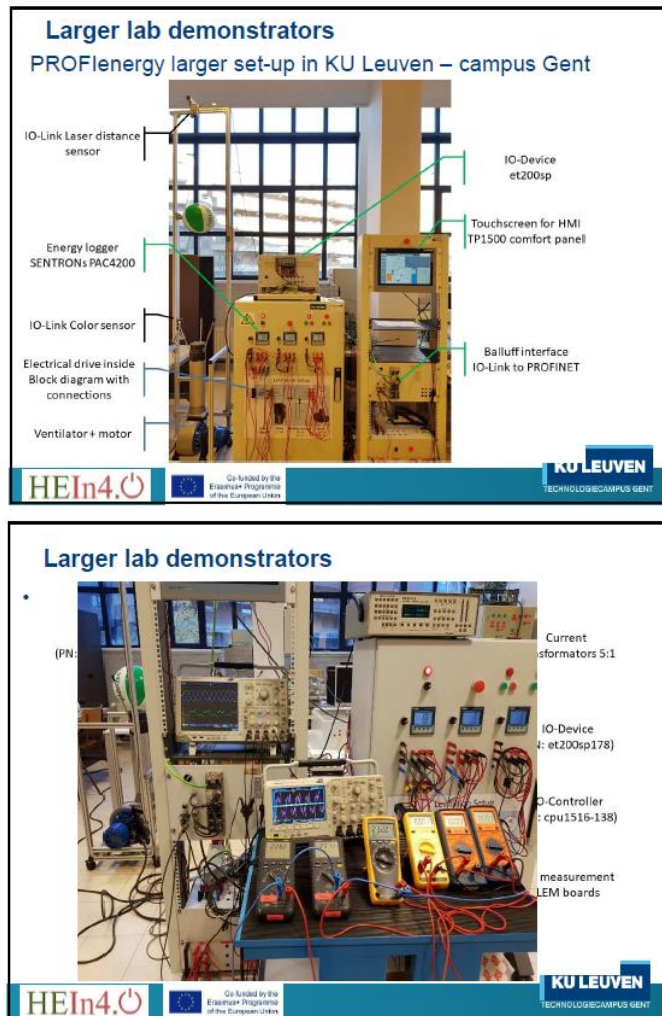


Рис. 3.32 - Університетська лабораторна установка, що демонструє принципи роботи платформи PROFenergy

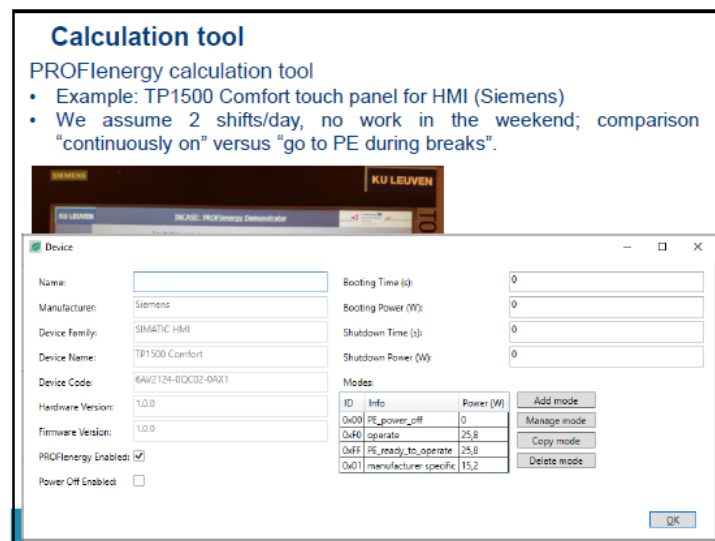


Рис. 3.33 - Програмний додаток для обчислень споживання електричної енергії

В якості інструменту для розрахунків споживання електричної енергії слугує сенсорна панель TP 1500 Comfort фірми Siemens для людино-машинного інтерфейсу. Об'єктами досліджень є, виробнича камера, конвеєрна стрічка та накладна стрічкова конвеєрна стрічка на підприємстві Volvo Cars Gent.

Католицький університет Льовен активно співпрацює з автомобільним заводом Volvo Cars Gent та компаніями Siemens і ABB (виробник роботів) з метою визначення додаткових типових показників для потенціалу енергозбереження.

В залежності від результату планується спільна розробка програмного забезпечення та додатків для програм автоматизації та спеціального демонстратору.

### ***Висновки щодо можливості використання досвіду Католицького університету Льовен в Україні***

1. Технічні рішення з автоматизації, які забезпечують суттєві поліпшення техніко-економічних показників виробничих процесів;
2. Подібні технічні рішення знайдуть використання на підприємствах гірничо-металургійного комплексу України (агломераційні машини, системи шихтоподачі та інші).

### **3.7 Розширення можливостей майбутнього “Усуньте розрив між даними та прийняттям рішень за допомогою Power BI”**

**Empowering the Future.**

Bridge the gap between data and decision making with Power BI

Cláudia Barbudo - [claudia.barbudo@efaced.com](mailto:claudia.barbudo@efaced.com)  
João Mota Faria - [joao.mota@efaced.com](mailto:joao.mota@efaced.com)  
Paulo Ávila - [PSA@isep.ipp.pt](mailto:PSA@isep.ipp.pt)  
João Francisco Silva - [jfs@isep.ipp.pt](mailto:jfs@isep.ipp.pt)  
João Bastos - [jab@isep.ipp.pt](mailto:jab@isep.ipp.pt)  
Rafael Pedrosa - [frp@isep.ipp.pt](mailto:frp@isep.ipp.pt)

**efaced** Empowering the Future  
**P.PORTO**  
**HEIn4**  
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Семінар від представників університету Порто присвячено питанням збирання, обробки основних індикаторів бізнес-процесів та їх візуалізації на прикладі інструменту *Power BI*.

*Power BI* - комплексне програмне забезпечення бізнес-аналізу компанії від компанії Microsoft, що об'єднує кілька програмних продуктів, що мають загальний технологічний і візуальний дизайн, з'єднувачів, а також web-сервісів. Фактично інструмент *Power BI* є одним з варіантів *Business intelligence* (комп'ютерні методи та інструменти для організацій, що забезпечують переклад транзакційної ділової інформації в форму, придатну для бізнес-аналізу, а також засоби для масової роботи з такою обробленою інформацією).

Під час вебінару були розглянуті наступні питання:

1. Вступ до бізнес-аналітики (BI)
2. Питання впровадження Power BI
3. Використання Power BI в умовах компанії Efaces

Інструменти бізнес-аналітики (BI) - це типи прикладного програмного забезпечення, яке збирає та обробляє великі обсяги неструктурованих даних із внутрішніх та зовнішніх систем, включаючи книги, журнали, документи, медичні записи, зображення, файли, електронну пошту, відео та інші ділові джерела. Інструменти BI пропонують спосіб накопичення даних для пошуку інформації переважно за допомогою запитів. Ці інструменти також допомагають підготувати дані для аналізу з метою створення звітів, інформаційних панелей та візуалізації даних. Результати дають як працівникам, так і менеджерам можливості прискорювати та вдосконалювати процес прийняття рішень, підвищувати операційну ефективність, визначати нові можливості доходу, визначати ринкові тенденції, повідомляти про справжні *ключові показники ефективності (KPI)* та визначати нові можливості для бізнесу.

Поява подібних інструментів зробила своєрідну революцію в аналітиці. Якщо раніше аналізом бізнес-інформації переважно займалося досить вузьке коло спеціально підготовлених спеціалістів, тепер коло тих, хто може це робити за допомогою інструментів BI, значно розширилося, що дало змогу більшій кількості компаній та організацій забезпечити ефективне збирання та використання "великих даних" з метою управління різноманітними процесами. Також інструменти BI дають уявлення, що необхідно для досягнення таких цілей, як зростання, вирішення нагальних проблем, збір усіх даних в одному місці, прогнозування майбутніх результатів та багато іншого.

На сьогодні платформа Power BI займає одну з провідних позицій на ринку подібних систем з наступних причин (рис. 3.34): частина інструментів, наприклад Power BI Desktop можна використовувати безкоштовно, інші (Power

BI Pro та ін.) – за невелику плату; легка інтеграція з пакетом Microsoft 365 у тому числі з пакетом MS Excel; інформаційні панелі - допомагають швидко збирати, аналізувати, публікувати та ділитися діловими даними Excel; Power Platform - поєднання Power BI з Power Apps (Power Apps – це пакет програм, служб, з'єднувачів та платформа даних, яка забезпечує швидке середовище розробки програм для створення програм користувача для ділових потреб) та Power Automate (служба, яка допомагає створювати автоматизовані бізнес-процеси між часто використовуваними додатками та службами) дозволяє легко створювати бізнес-додатки та автоматизувати робочі процеси).

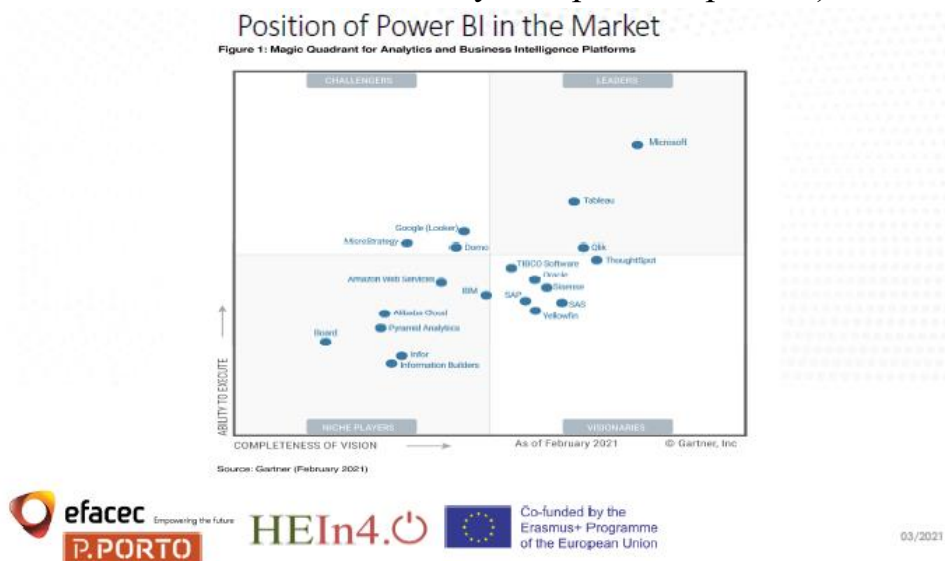


Рис. 3.34 – Позиції Power BI на ринку бізнес-платформ

На рис 3.35 представлено приклад відображення та візуалізації даних за допомогою платформи Power BI. З іншими прикладами можна познайомитися за посиланнями <https://excellab.at/power-bi-report-samples/>

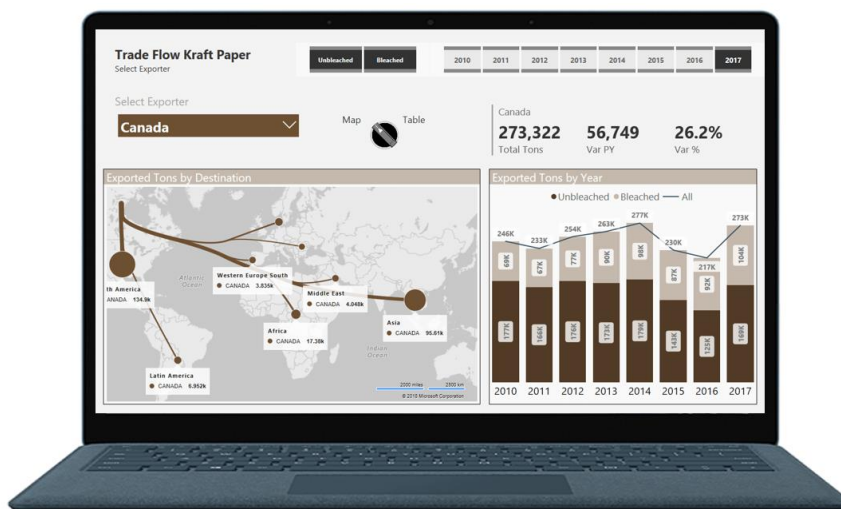


Рис. 3.35 – Приклад представлення та візуалізації даних за допомогою платформи Power BI

В якості прикладу авторами вебінару наведені результати використання платформи Power BI в умовах компанії Efacec. EFACEC Power Solutions - це найбільша португальська корпорація в галузі енергетики, машинобудування та мобільності, що має багато дочірніх компаній на різних міжнародних ринках. Група Efacec є світовим лідером на ринку інфраструктури швидкого заряджання для електромобілів.

Наприклад, за допомогою Power BI здійснюється моніторинг якості роботи співробітників. Для цього відслідковується, які замовлення виробництва склали логістичні оператори, які матеріали вони використовували та як довго вони виконували замовлення (чи матеріали добре, охайно та легкодоступно розміщені), чи завжди доставка матеріалів для виробництва здійснюється протягом короткого часу (менш ніж 48 годин) (рис. 3.36). В даному випадку КРІ цього процесу є відношення кількості виконаних замовлень до відкритих замовлень.



Рис. 3.36 – Панель інструментів



Рис. 3.37 – Результати обробки та візуалізації даних

Система відстежує кількість відкритих, закритих та постійних виробничих замовлень, в якій виробничій зоні потрібна більша кількість логістичних операторів та більше ресурсів, динаміку постачання матеріалів для потреб виробництва (рис. 3.37). Також Power BI дозволяє моніторити логістичні зупинки і можна побачити, чи були замовлення на виробництво правильно введені в ERP-систему (**Enterprise Resource Planning** - планування ресурсів підприємства). Це програмне забезпечення для управління бізнес-процесами, яке об'єднує фінанси, ланцюжки поставок, операції, звітність, виробництво, кадри і дозволяє управляти ними) (рис. 3.38). Також система дозволяє відслідковувати чи досягнуто KPI (Вимога щодо строку постачання (мета) / Строк постачання, що очікується).



Рис. 3.38 – Результати обробки та візуалізації даних

Завдяки застосуванню Power BI час реакції логістичних операторів збільшився більш ніж на 40%.

## Висновки

1. Застосування інструментів бізнес-аналітики, наприклад Power BI, є одним з важливих напрямів збирання та аналізу “великих даних”, що є запорукою для прийняття раціональних рішень з точки зору управління різноманітними процесами.
2. Поява подібних інструментів зробила своєрідну революцію в аналітиці. Якщо раніше аналізом бізнес-інформації переважно займалося досить вузьке коло спеціально підготовлених спеціалістів, тепер коло тих, хто може це робити за допомогою інструментів BI, значно розширилося, що дало змогу більшій кількості компаній та організацій забезпечити ефективне збирання та використання “великих даних” з метою управління різноманітними процесами.

### 3.8 Сучасні і майбутні мережі для Індустрії 4.0



Як відомо «Промисловий Інтернет речей» (IIoT) є однією зі складових компонент Індустрії 4.0 (рис. 3.39). Він поєднує в собі як інформаційні технології так і операційні технології (промислова автоматизація). Також питання розбудови сучасних промислових мереж тісно пов’язані з таким важливим напрямком, як кібербезпека.

## Remember our 9 technologies ...

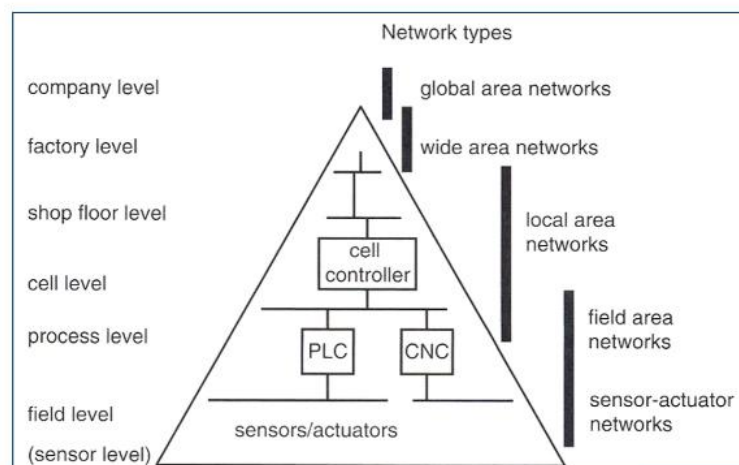


Рис. 3.39 – Роль і місце “Індустріального інтернету речей” у структурі 9 технологій, які трансформують виробничий процес

### Where do we come from ?

We were nicely organized in layers

- Sensor/Actor – Field – LAN – WAN ...



HEIn4.0

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

KU LEUVEN  
TECHNOLOGIECAMPUS GENT

Рис. 3.40 – Багаторівнева ієрархічна структура систем автоматизації виробничих процесів

Сучасні системи автоматизації виробничих процесів мають розвинену багаторівневу ієрархічну структуру і включають в себе наступні рівні, які

пов'язані між собою промисловими мережами (рис. 3.40): рівень датчиків та виконавчих механізмів; рівень програмованих мікропроцесорних контролерів; другий рівень управління технологічним процесом на базі промислових комп'ютерів; рівень управління цеху; рівень управління підприємства; рівень управління корпорацією.

## Where do we come from ?

### Glossary, in pictures

- Sensors, actuators, PLC, DCS, **connecting ...**



HEIn4.0



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme

**KU LEUVEN**  
TECHNOLOGIECAMPUS GENT

Рис. 3.41 – Основні технічні засоби автоматизації

Слід зазначити, що до промислових мереж висуваються певні вимоги, а саме: необхідність передачі невеликих обсягів даних у коротких повідомленнях; короткий час циклу; сигнали є квазідетермінованими (сигнал, закон зміни якого відомий, але один або декілька параметрів цього закону є випадковими величинами або процесами) з часом коливань затримки<sup>1</sup> (jitter) 1 мкс; данні, що передаються “живуть” лише один цикл опитування контролеру, але вони можуть бути збережені, бездротові вузли вимагають низького енергоспоживання.

<sup>1</sup> Коливання затримки (jitter) визначаються як розкид в затримці прийнятих пакетів. Пакети відправляються від передавача безперервним потоком з однаковим інтервалом між ними. Через перевантаження мережі, неправильного формування черг або помилок конфігурації цей постійний рівномірний потік може виявитися неоднорідним або затримка між пакетами може змінюватися замість того, щоб залишатися постійною.

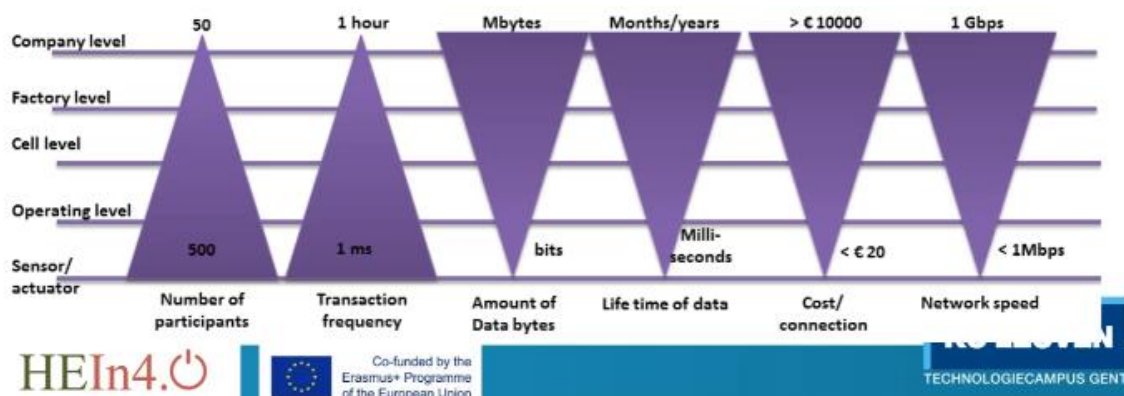


Рис. 3.42 – Параметри промислових мереж в залежності від рівня управління

В залежності від відстані передачі даних використовуються *Віддалене введення-виведення (Remote I/O)*; *Технологія Foundation Fieldbus* (цифрова, послідовна, двостороння система зв'язку, яка служить в якості базового рівня мережі в заводських або фабричних системах автоматизації); *Локальна обчислювальна мережа (Local Area Network, LAN* - комп'ютерна мережа, що покриває зазвичай відносно невелику територію або невелику групу будівель); *Глобальна обчислювальна мережа (Wide Area Network, WAN* - комп'ютерна мережа, що охоплює великі території і включає велику кількість вузлів. Глобальні мережі відрізняються від локальних тим, що глобальні мережі розраховані на необмежене число абонентів на великій географічній території).

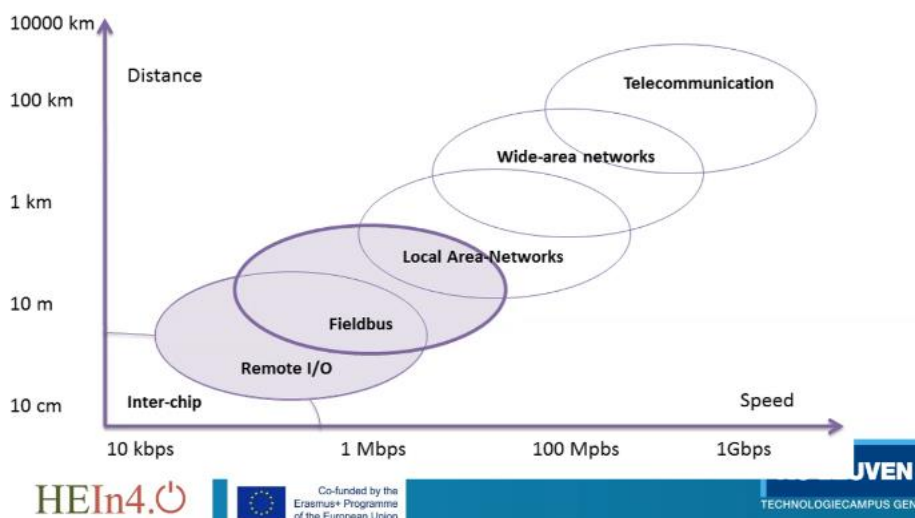


Рис. 3.42 – Види мереж в залежності від дистанції передачі даних

На сьогодні частка мереж Fieldbus (Profibus DP, Modbus-RTU, CC-Link, CAN-open), Industrial Ethernet (EtherNet/IP, Profinet, EtherCAT, Modbus TCP), Wireless (WLAN, Bluetooth) в структурі передачі промислових даних складає відповідно 30%, 64%, 6%.

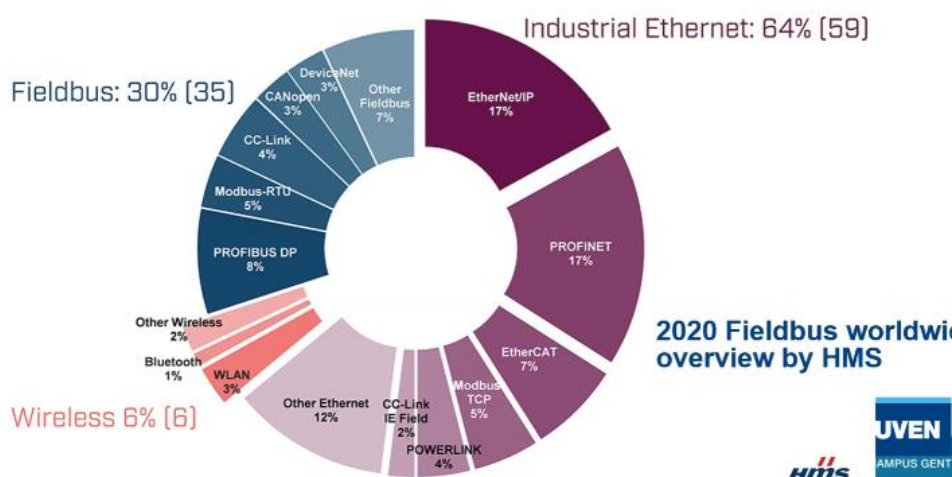


Рис. 3.43 – Частка мереж Fieldbus, Industrial Ethernet, Wireless в структурі передачі промислових даних

При класичній структурі автоматизації Інформаційні технології та Операційні технології зазвичай відокремлені. При передачі даних використовуються змішані типи мереж, кожна з яких має власне призначення та вимоги (рис. 3.44).

#### Where are we typically today?

Typical automation structure today

- IT and OT nicely separated, and local
- Mixed networks, each with their own requirements

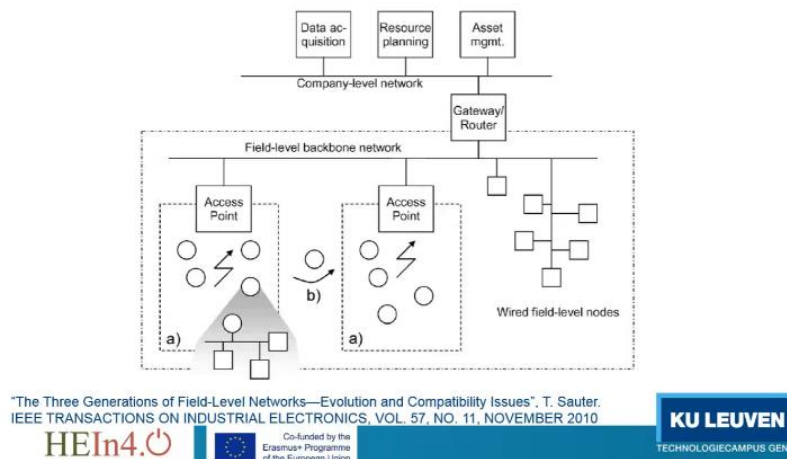


Рис. 3.44 – Реалізація багаторівневої системи управління за допомогою різного типу промислових мереж

Разом з тим, архітектура промислового інтернету речей, як вже зазначалося раніше, передбачає органічне поєднання інформаційних технологій, операційних технологій та хмарних технологій (рис. 3.45), що в свою чергу потребує розвитку нових технологій передачі даних. Розглянемо їх більш докладно.

## Near future – Some terminology

### Architectural overview of the IIoT domains

- OT (Operation Technology), "automation technology"
- IT (Information Technology)
- CT (Cloud Technology)

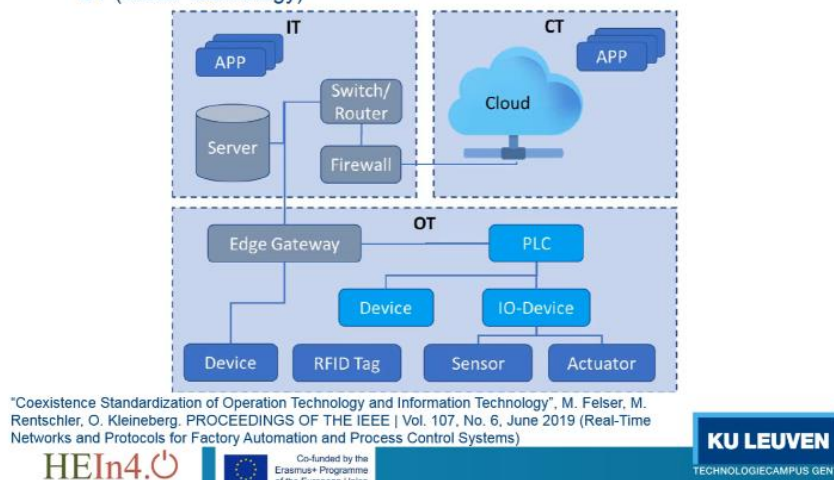


Рис. 3.45 – Архітектура промислового інтернету речей

## Однопарний Ethernet

Однопарний Ethernet (Single pair Ethernet або SPE) - це технологія, яка дозволяє використовувати для передачі даних і електроживлення тільки одну пару проводів. Дана технологія набуває все більшого значення в сфері автоматизації завдяки простоті і зменшенню ваги устаткування, скорочення часу монтажу, мінімально необхідного простору для кабелів і розподільників, наскрізної передачі даних по протоколу TCP/IP в якості альтернативи шинам або інтерфейсам живлення власної розробки більшої компактності, одночасної подачі електроживлення кінцевим пристроям і датчикам з технологією Power over Data Line (PoDL), також позитивним в SPE є те, що для її реалізації не потрібні акумуляторні або не акумуляторні батареї, що особливо важливо для захисту навколишнього середовища.

### Near future: SPE – Single Pair Ethernet

We'll see a lot of pyramids today ...

- Standard Ethernet moves down to the field level (individual devices)
- Starting from the lowest levels



HEIn4.0

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

KU LEUVEN  
TECHNOLOGIECAMPUS GENT

Рис. 3.46 – Порівняння можливостей стандартного Ethernet та SPE

На відміну від класичних Ethernet мереж, SPE за рахунок IP-взаємодії дозволяє використовувати цифрові технології також і на найнижчому рівні – рівні датчиків (рис. 3.46), що сприяє впровадженню концепції «Індустрії 4.0» і ІоТ.

### Чутливий до часу мережевий обмін даними (TSN)

Чутливий до часу мережевий обмін даними (Time-Sensitive Networking або TSN) – це стандарт передачі даних в реальному масштабі часу в детермінованих мережах Ethernet. TSN базується на трьох ключових принципах: синхронізація мережі в часі; планування трафіку; планування і резервування маршрутів передачі даних. Такі TSN мережі в майбутньому, засновані на Ethernet, дозволять здійснювати контрольовану й вимушену передачу критично важливих даних в реальному часі через стандартне обладнання. Це призведе до початку нової епохи промислових комунікацій. Таким чином, Ethernet з TSN доповнює існуючі засоби Ethernet в тому, що стосується забезпечення якості обслуговування (QoS), включаючи виділення смуги пропускання, синхронізацію, гарантію низьких значень затримки і однорідне резервування.

#### Near future: TSN – Time Sensitive Networking

A new type of pyramid (?) ...

- Data may be communicated directly to all appropriate levels
- Required properties (latency, determinism, jitter, ...) are still there, but **converged networks**

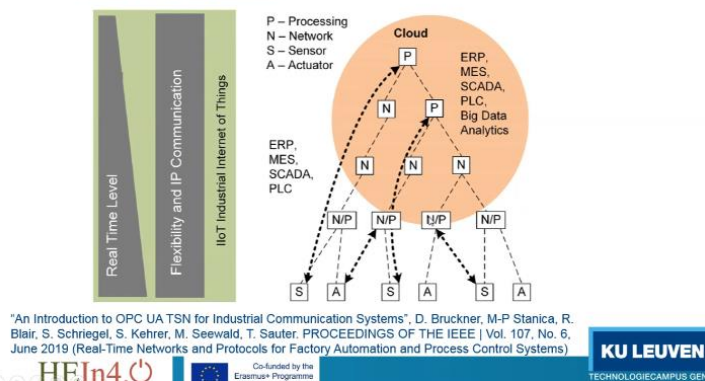


Рис. 3.47 – Структура мережевого обміну даними TSN

Пристрої «сигналізують» через мережу про свої вимоги до якості комунікації, і мережа гарантовано встановлює для них необхідний рівень QoS. Різні підключення є потоками, для яких резервується смуга пропускання завдяки виділенню ресурсів в пам'яті комутаторів Ethernet. Кожен з цих потоків може оброблятися в режимі реального часу і в результаті TSN дозволяє запускати в одній мережі кілька протоколів, що підтримують передачу даних в режимі реального часу одночасно. В цьому і полягає принципова відмінність

даної технології від існуючих зараз протоколів реального часу на основі Ethernet, що запускаються в мережі тільки поодиночі.

### Near future: TSN – Time Sensitive Networking

How to combine real-time (OT) and IP flexibility (IT)?

- Time Sensitive Networking (TSN)
- Is part of all those IEEE Ethernet standards



IEC/IEEE 60802 (TSN Industrial Automation profile) is underway ...

"An Introduction to OPC UA TSN for Industrial Communication Systems", D. Bruckner, M-P Stanica, R. Blair, S. Schriegel, S. Kehr, M. Seewald, T. Sauter. PROCEEDINGS OF THE IEEE | Vol. 107, No. 6, June 2019 (Real-Time Networks and Protocols for Factory Automation and Process Control Systems)

HEIn4.0

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

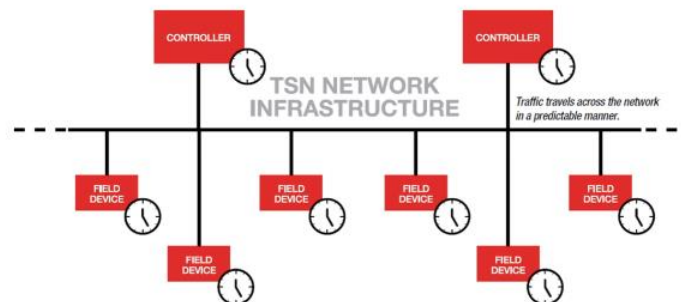
KU LEUVEN  
TECHNOLOGIECAMPUS GENT

Рис. 3.48 – Принцип роботи чутливого до часу мережевого обміну даними

### Near future: TSN – Time Sensitive Networking

How to combine real-time (OT) and IP flexibility (IT)?

- Time Sensitive Networking (TSN) has a "time aware shaper"



"TSN: The case for action now", cc-link, 2020)

HEIn4.0

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

KU LEUVEN  
TECHNOLOGIECAMPUS GENT

Рис. 3.49 – Обмін даними між контролерами та датчиками за допомогою TSN

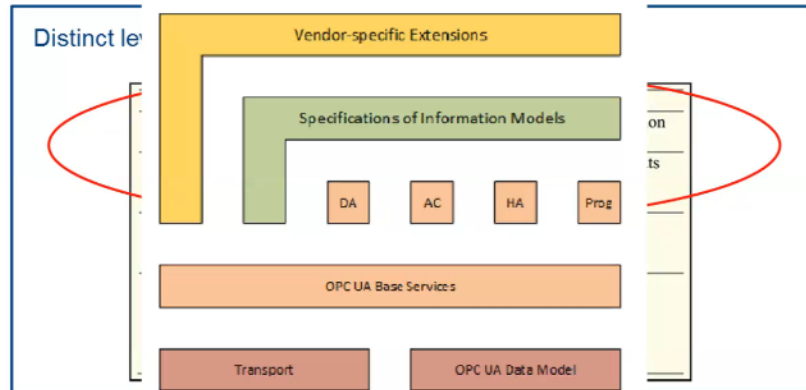
## Уніфікована архітектура відкрита платформа зв'язку

Уніфікована архітектура відкрита платформа зв'язку (Open Platform Communications Unified Architecture, або OPC Unified Architecture, або OPC UA) - це стандарт, що описує передачу даних в промислових мережах. Він забезпечує комунікацію між пристроями, будучи при цьому незалежним апаратно і від платформи, що дозволяє забезпечити обмін даними між пристроями з різними операційними системами.

## Near future: OPC-UA

### OPC UA building blocks

- Levels 2 and 3
- OPC-UA: OLE for Process Control – Unified Architecture



"An Introduction to OPC UA TSN for Industrial Communication Systems", D. Bruckner, M-P Stanica, R. Blair, S. Schriegel, S. Kehrer, M. Seewald, T. Sauter. PROCEEDINGS OF THE IEEE | Vol. 107, No. 6, June 2019 (Real-Time Networks and Protocols for Factory Automation and Process Control Systems)



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



*Рис. 3.50 – Структура мережі OPC-UA*

Сильними сторонами OPC UA є об'єктно-орієнтована інформаційна модель, яка дозволяє «переглядати» дані (в стилі web-браузера), і сервіс-орієнтована архітектура (SOA). До числа сервісів відносяться оповіщення про аварії, перегляд історії, виклик коду на пристроях. Тому OPC UA добре підходить для передачі даних на середньому і верхньому рівні АСУ. При цьому OPC UA не призначений для використання на рівні датчиків і виконавчих механізмів. Для OPC UA характерні низькі значення коливання затримки (jitter) низька імовірність втрати пакетів даних.

Даний тип технології передачі даних може реалізовуватися в комбінації з іншими стандартами, такими як TSN та PROFINET.

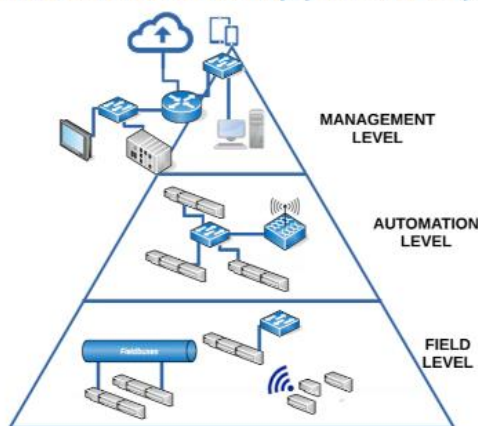
## **Бездротові рішення Wi-Fi6 та 5G**

Стандарт Wi-Fi6, також відомий як 802.11ax - це нове покоління Wi-Fi, яке дозволяє підвищити швидкість передачі даних і пропускну здатність як нових, так і вже існуючих мереж при роботі з додатками нового покоління за рахунок збільшення ефективності, гнучкості і масштабованості. Стандарт Wi-Fi6 був запропонований інститутом інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) з метою об'єднати широкі можливості і високу швидкість бездротових технологій Gigabit Ethernet з надійністю і передбачуваністю ліцензованої радіомережі.

## Near future: wireless solutions WiFi6 and 5G

Once more to the pyramids...

- Now there are wireless nodes everywhere ...
- But we still need bounded latency, jitter and very small packet loss !



"Industrial Communication Systems and Their Future Challenges: Next-Generation Ethernet, IIoT, and 5G", S. Vitturi, C. Zunino, T. Sauter, PROCEEDINGS OF THE IEEE | Vol. 107, No. 6, June 2019 (Real-Time Networks and Protocols for Factory Automation and Process Control Systems)

HEIn4.0

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

KU LEUVEN  
TECHNOLOGIECAMPUS GENT

*Рис. 3.51 – Комунікація між рівнями автоматизації за допомогою бездротових технологій*

Основними особливостями технології Wi-Fi6 є: використання квадратурної амплітудної модуляції (QAM) 1024, що дозволяє підвищити її щільність і збільшити швидкість більш ніж на 35 відсотків, планування на основі мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів (OFDMA) для зниження навантаження і затримки, більш ефективна робота при істотно нижчій індикації інтенсивності сигналу (RSSI) завдяки надійній, високоефективній передачі сигналу, більш ефективне планування і збільшення часу роботи пристрою від акумулятора завдяки функції Target Wake Time (TWT).

Таким чином, при використанні Wi-Fi6 точки доступу зможуть підтримувати більшу кількість клієнтів в середовищах з високою щільністю. Крім того, Wi-Fi6 зможе забезпечити більш передбачувану продуктивність сучасних додатків, таких як перегляд відео з роздільною здатністю 4K і 8K, додатків для спільної роботи з високою щільністю і високим дозволом, бездротового доступу в офісах і Інтернету речей (IoT).

5G - це п'яте покоління мобільного зв'язку. Цей стандарт дозволить збільшити швидкість передачі даних, скоротити затримки і підвищити гнучкість служб надання бездротового підключення до мережі. У мережах 5G передбачається теоретична пікова швидкість передачі даних, що дорівнює 20 Гбіт/с, тоді як для мереж 4G вона становить всього 1 Гбіт/с. Це забезпечить скорочення затримок, що підвищить продуктивність бізнес-додатків, а також

якість інших цифрових рішень, таких як інтернет-ігри, відеоконференції і системи безпілотного водіння.

Відмінність покоління 5G від технологій мобільного зв'язку минулих поколінь це те, що стандарт 5G орієнтується не на з'єднання з абонентом, а на передачі даних між хмарою і клієнтами. Тобто, мережі 5G є віртуальними, програмно-конфігуруються і працюють на базі хмарних технологій. Також мережа 5G дозволить користувачам мобільних пристроїв завжди залишатися на зв'язку, підключаючись до різних зовнішніх бездротових каналів і бездротових мереж всередині будівель, і для цього їм не потрібно виконувати жодних дій.

5G має загальні особливості з новим стандартом бездротового зв'язку Wi-Fi 6 (802.11ax), включаючи збільшену продуктивність. Технології 5G розширюють можливості зв'язку у віддалених сільських районах і в містах, де потреба в підключенні перевищує наявні можливості технології 4G. Технологія 5G передбачає серйозні удосконалення мережевої архітектури. Спектри радіочастот, які не використовуються в стандарті 4G, будуть задіяні в новому глобальному радіоінтерфейсу 5G New Radio, що забезпечує підвищену швидкість передачі даних - 5G.

Архітектури 5G ґрунтуються на платформах, що конфігуруються програмно, в яких управління мережевими функціями здійснюється програмним чином, а не на рівні обладнання. Сучасні рішення в області віртуалізації, хмарних технологій, а також в сфері автоматизації ІТ-та бізнес-процесів забезпечують гнучкість архітектури 5G і можливість доступу в будь-який час і в будь-якому місці. У мережах 5G можна створювати програмно-конфігуровані підмережі, так звані "мережеві сегменти" (network slices). За допомогою таких сегментів адміністратори мережі можуть визначати мережеві функції на підставі вимог користувачів і пристроїв.

У мережах 5G також можна реалізовувати цифрові рішення, в яких використовується автоматизація з машинним навчанням. Через потреби в швидкості відгуку, що обчислюється частками секунди, (наприклад, для безпілотного транспорту) в мережах 5G необхідно використовувати автоматизацію з навчанням, а в подальшому і із штучним інтелектом. Автоматизоване виділення ресурсів і випереджаюче управління трафіком і послугами дозволить скоротити витрати на інфраструктуру і підвищити ефективність мережевої взаємодії. Таким чином, технології 5G припускають не тільки настання нової ери мережевої продуктивності і швидкості передачі даних, але і розвиток нових форм цифрової взаємодії для користувачів.

Загальна структура реалізації багаторівневої системи автоматизації за допомогою нових технологій передачі даних наведена на рис. 3.52.

## Near future: the way to converged OT and IT ...

Might be in this schematic

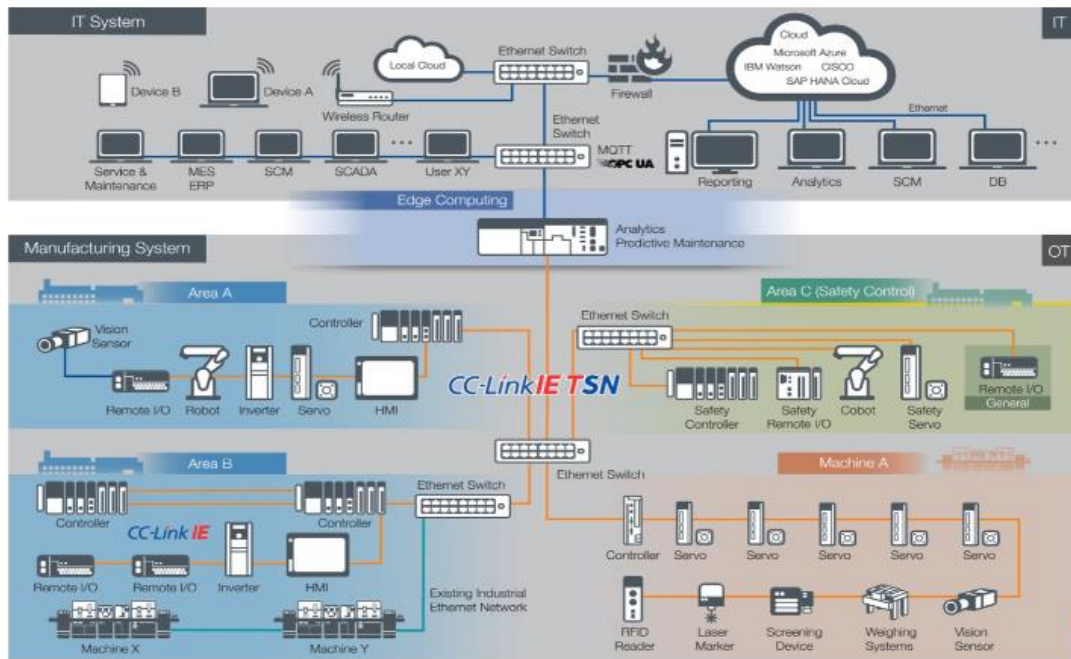


Рис. 3.52 – Реалізація багаторівневої системи автоматизації за допомогою нових технологій передачі даних

Для повноцінного використання зазначених вище нових технологій передачі даних необхідно виконати досить велику роботу стосовно стандартизації та інтеграції технологічних рішень.

Також на вебінарі значна увага була приділена питанням діагностики роботи промислових комп'ютерних мереж з використанням відповідного обладнання та програмного забезпечення.

## PB Network – Signal analysis

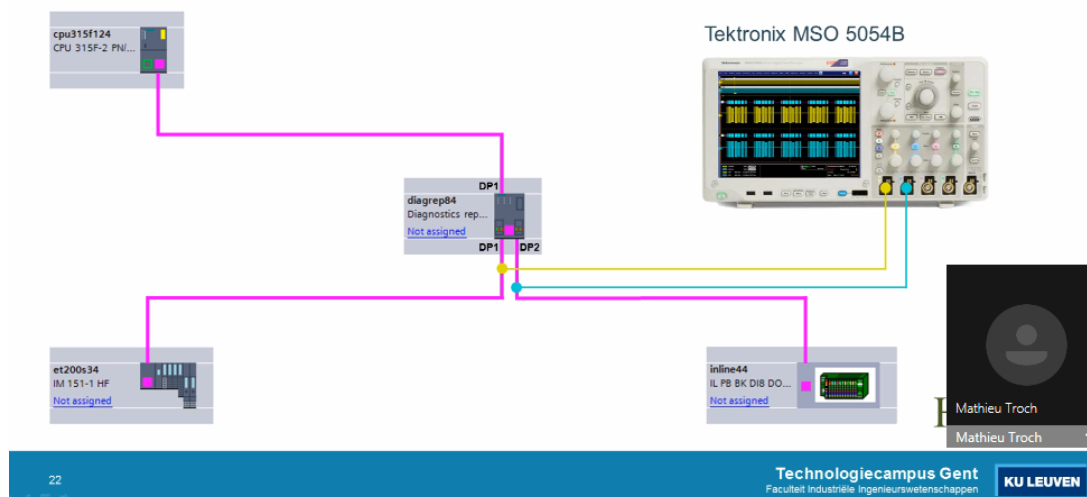
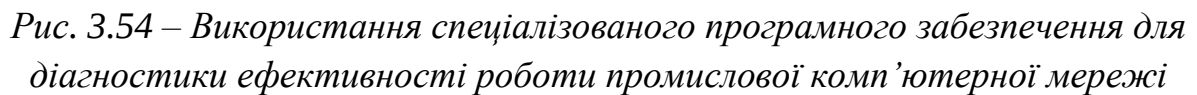


Рис. 3.53 – Апаратна діагностика стану промислової комп'ютерної мережі

Cyclic data exchange with slave 34 (0x22 HEX)



Участников: 14

Запросить управление

Фактический размер

09:46

KU LEUVEN

HEIn4.0

# Digital twins: overview and case studies

Dimitri De Schuyter (Lecturer)  
 Arne Verhoeven (Lecturer)  
 Mathieu Troch  
 Philippe Saey

Philippe Saey

Philippe Saey  
 Deelvenigend personeel

Цифровий двійник - це віртуальне уявлення виробу або виробничого процесу, яке є цифровим аналогом фізичного в реальному часі, і використовується для проведення інженерного аналізу, прогнозування і оптимізації роботи виробу або виробничої системи протягом всього життєвого циклу, перш ніж інвестувати в фізичні прототипи і ресурси. Технологія "Цифрових двійників" є однією з ключових технологій концепції "Індустрії 4.0" і сприяє її розвитку.

78

продукт або процес і позбавляють від необхідності виготовлення фізичних прототипів. Це дозволяє скоротити час розробки і підвищити якість отриманого в результаті виробу або процесу.

Концепція цифрового двійника полягає в точному моделюванні протягом усього життєвого циклу виробу або його виробництва, що досягається шляхом використання даних з датчиків, встановлених на фізичні об'єкти, щоб фіксувати продуктивність об'єкта в реальному часі, умови роботи і зміни з плином часу. Використовуючи ці дані, цифрові двійники удосконалюються і постійно оновлюються відповідно до змін фізичного аналога протягом життєвого циклу виробу. Таким чином, виникає оперативний зворотний зв'язок у віртуальному середовищі, що дозволяє компаніям постійно оптимізувати свої виробу, виробництво та підвищувати продуктивність з мінімальними витратами.

## The Digital Twin Concept

HE

- Digital representation of a physical system or process

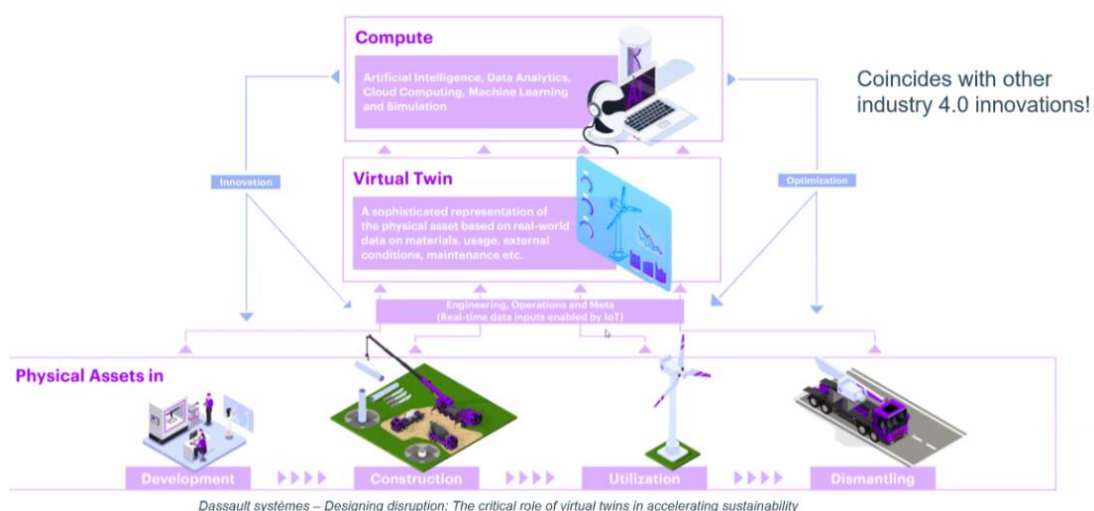
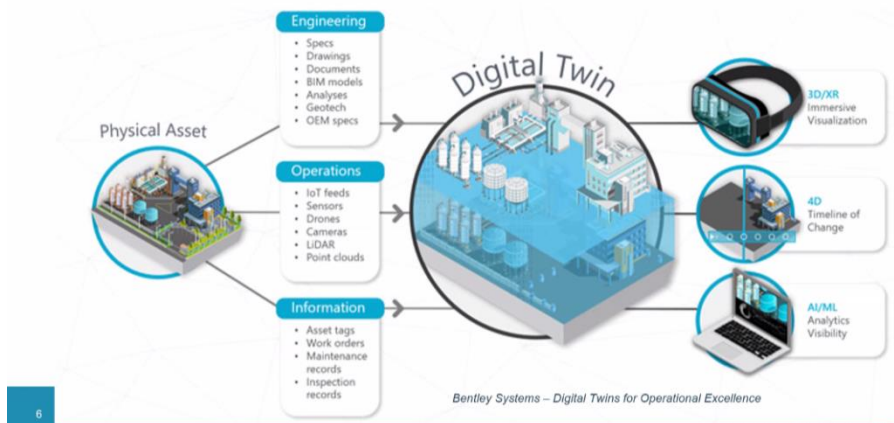


Рис. 3.55 – Концепція цифрових двійників

Область застосування цифрового двійника залежить від того, на якому етапі життєвого циклу виробу відбувається моделювання. Існують три типи цифрових

двійників: двійник виробу, двійник виробництва і двійник продуктивності. Поєднання і інтеграція цих трьох цифрових двійників в процесі спільної еволюції називається цифровим зв'язком. Цей зв'язок об'єднує дані з усіх етапів життєвого циклу виробів і виробництва.

В залежності від поставленої задачі використовують той чи інший вид цифрових двійників у виробничому середовищі.

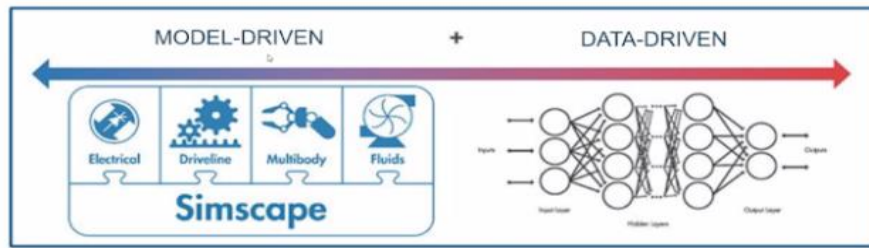
Для розробок, проектування механічних та електричних систем, планування виробництва використовують «Цифровий двійник виробу (прототип)» (DTP). Даний тип використовується для віртуальної перевірки характеристик виробу та особливостей його функціонування в реальному часі. Так би мовити забезпечує зв'язок між віртуальним і фізичним світом та дозволяє своєчасно вносити зміни в віртуальну модель, щоб наступний фізичний виріб повністю відповідав необхідним характеристикам. Неважливо, наскільки складна система або матеріали - цифрові двійники виробів допомагають успішно долати ці складнощі і приймати найоптимальніші рішення.

Для операційної діяльності, спостереження, збору даних, контрольного тестування та пошуку варіантів вирішення проблем використовується «Цифровий двійник виробництва» (DTI), який дозволяє до початку фактичного виробництва зрозуміти, наскільки добре буде функціонувати виробничий процес в заводському цеху. Моделюючи процес за допомогою цифрового двійника і аналізуючи те, що відбувається за допомогою цифрового зв'язку, компанії можуть створити методологію виробництва, яка буде ефективною при самих різних умовах. Щоб ще більше оптимізувати виробництво, можна створити цифрові двійники виробів для всього виробничого обладнання. Постійний потік актуальної інформації дає можливість прискорити виробничі операції, зробити їх більш ефективними і надійними.

Отже, використовуючи цифрові двійники продуктивності, можна:

- знайти нову можливість для розвитку;
- зрозуміти, як поліпшити віртуальну модель;
- зібрати, узагальнити та проаналізувати операційні дані;
- підвищити ефективність виробів і виробничих систем.

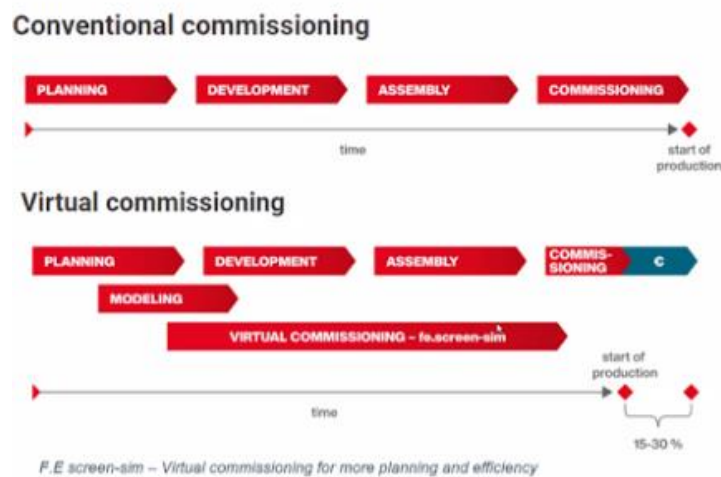
В залежності від вихідних даних для цифрового двійника розрізняють модельно-орієнтовані, в основі яких фізичні властивості систем, та орієнтовані на вимірювальні данні.



MATLAB – Modelling methods for digital twins: first principles and data driven

Рис. 3.56 – Види вхідних даних цифрових двійників

Великою перевагою цифрових двійників є можливість віртуально протестувати введення в експлуатацію виробу або виробничої системи та змодельовати їх оптимальні параметри ще до старту виробництва, що дозволяє підвищити гнучкість робочого процесу, більш оперативно вирішувати виникаючі проблеми та зменшити часові витрати усього циклу від розробки до виробництва на 15-30 %. Така гнучкість та оперативність сприяє покращенню комунікації та розумінню між споживачем та виробником.



F.E screen-sim – Virtual commissioning for more planning and efficiency

Рис. 3.57 – Види вхідних даних цифрових двійників

Для виконання віртуального тестування експлуатаційного запуску виробу необхідне програмне та апаратне забезпечення. Для різних напрямів інженерії доцільно використовувати різні програмні пакети: Siemens NX для механічного дизайну, Matlab/Simulink для дизайну систем контролю та TIA Portal - PLC програмування.

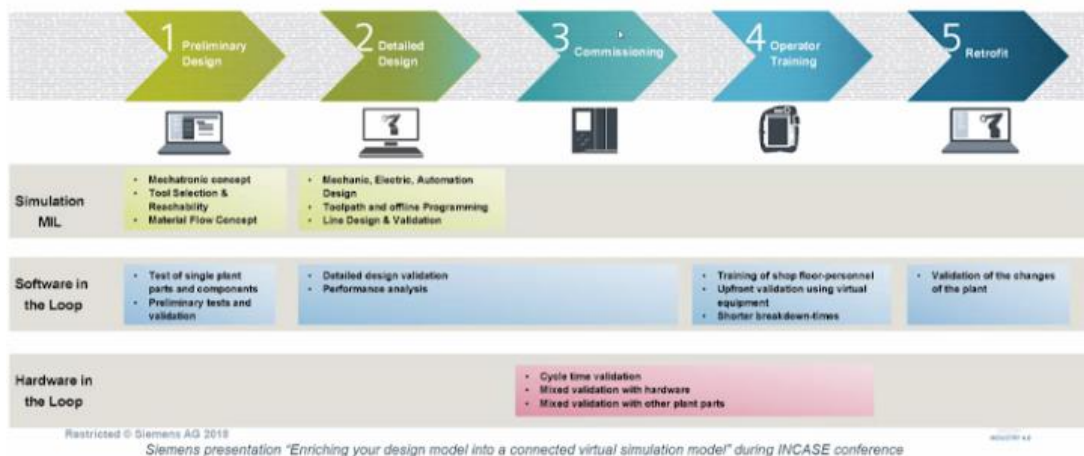


Рис. 3.58 – Види вхідних даних цифрових двійників

Авторами було докладно представлені особливості роботи з деякими провайдером цифрових близнюків (Microsoft Azure Digital Twins, Dassault systems 3D experience, Rockwell automation Emulate, 3D Siemens PLM) та на прикладах проілюстровано аспекти дизайну, підключення та віртуального введення в експлуатацію. Тематичні дослідження у Католицькому університеті Льовен включають невелику лабораторію, стенд прокатного стану та телескопи MARVEL KU Leuven (досі віртуальні).

Так показано як для створення комплексних цифрових моделей цілих середовищ застосовують Microsoft Azure Digital Twins - платформа Інтернету речей, яка дозволяє створити цифрове представлення реальних речей, місць, бізнес-процесів і людей, а також дозволяє вчасно отримувати необхідні аналітичні дані.

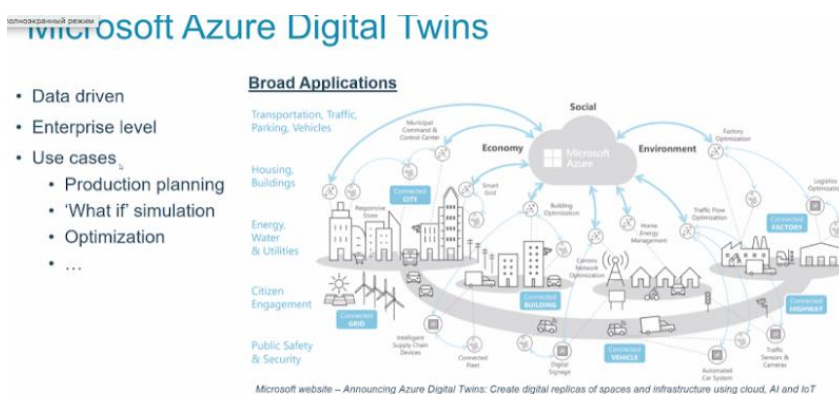


Рис. 3.59 – Структура Microsoft Azure Digital Twins

Наведено способи застосування рішення для управління життєвим циклом виробів (Siemens PLM), яка представляє собою систему управління інформацією, в якій дані, процеси, бізнес-системи і співробітники об'єднуються в єдиний інформаційний простір. Це дозволяє керувати цією інформацією упродовж усього

життєвого циклу виробу - від задуму, проектування і виробництва до технічного обслуговування і утилізації.

### Siemens Product Lifecycle Management (PLM) Software

- Digital twin solutions in the project development cycle

HEIn4.C

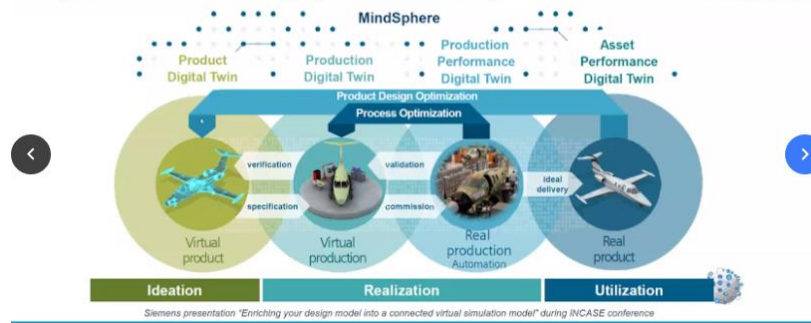


Рис. 3.60 – Рішення для управління життєвим циклом виробів (Siemens PLM)

PLM-стратегію можна розглядати і як інформаційну стратегію, і як стратегію підприємства. Як інформаційна стратегія, вона об'єднує різні системи і створює чітку структуру даних. Як стратегія підприємства, вона дозволяє глобальним організаціям працювати як єдина команда над проектуванням, виробництвом, підтримкою і виводом виробів з експлуатації, накопичуючи успішний досвід та враховуючи отриманий досвід.

## ЧАСТИНА 4

### Реалізація парадигми Індустрія 4.0 індустріальними партнерами проекту

#### 4.1 Кейс Festo

##### Біонічне мислення - натхненний природою розвиток



Одним з напрямків роботи компанії Фесто є створення Bionic Learning Network. Учасники проекту мали можливість дізнатися про особливості біонічного мислення, його функціонування і значення в технічному прогресі. Перш за все слід зазначити, що біонічне мислення - це підхід, який базується на тому, що багато вдалих технічних рішень можна знайти у природі і саме у Фесто. Він включає в себе навчання у природи шляхом пошуку можливих рішень та розуміння технологічних способів трансферу вдалого природного рішення для удосконалення існуючої технології.

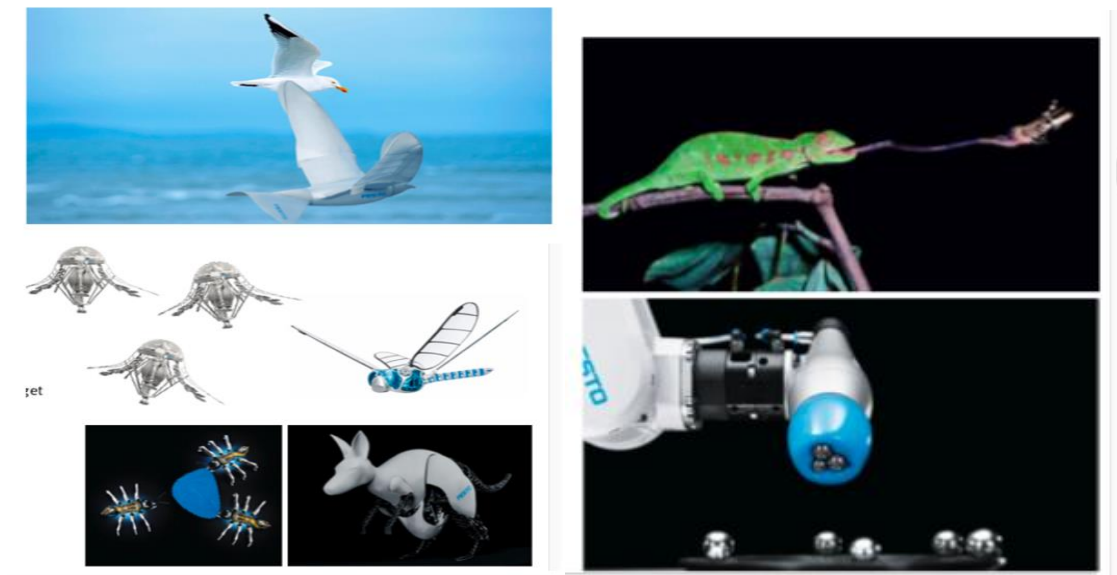


Рис. 4.1 – Приклади технічних розробок Фесто із застосуванням Біонічного мислення

Вивчення даного міждисциплінарного напрямку дозволяє студентам розвивати свою креативність, інноваційне мислення та працювати у міждисциплінарній команді. Біоніка, як структурований процес, може здійснюватися в будь-якому напрямку: інженер визначає технологічну проблему і далі разом з біологами шукає біологічні зразки для наслідування або біолог виявляє біологічне явище, яке потім технологічно реалізується за допомогою інженерів.

Біоніка є ітераційним процесом, реалізувати який можна лише за умови, що інженери, біологи, інженери-програмісти, вчені-матеріалознавці та інші фахівці тісно співпрацюють. Така команда потребує: здатності до абстракції, творчості, експертних знань, міждисциплінарності, спілкування, при цьому спільна мова та наполегливість часто стають вирішальними при прийнятті рішень.

У процесі пошуку ідей застосовують різні навчальні методи:

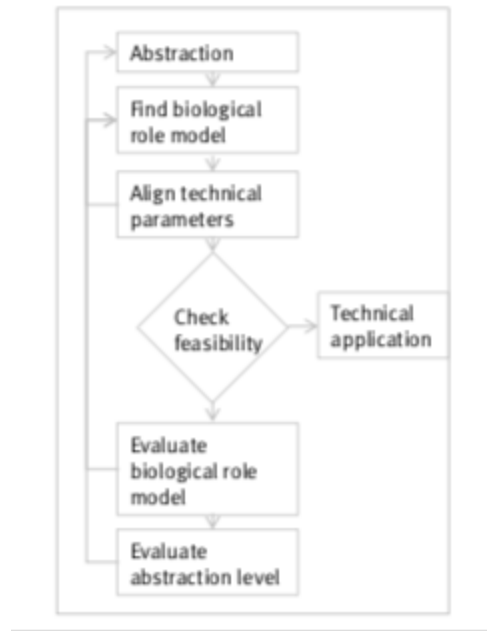
- дизайнерське мислення використовується для пошуку та об'єднання різних ідей для подальшої їх перевірки та формування задачі;
- методи мозкового штурму використовуються для заповнення прогалін у поставленій задачі;
- швидке створення прототипів, яке дозволяє перевірити концепції та ідеї всередині.

Виходячи з практики, іноді студентського проекту буває достатньо, щоб довести, чи працює якась концепція.

Часто в Фесто для керування проектами застосовують метод «SCRUM», який прийнято застосовувати для швидкого розвитку ІТ-проектів або інших проектів з високим інноваційним потенціалом.

Згідно з цією методологією:

- усі члени міждисциплінарної робочої групи вкладають усі свої сили в роботу над одним проектом;
- всі етапи роботи є вимірюваними;
- остаточне рішення з'являється в кінці проекту;
- проект починається не з чіткої та детальної специфікації кінцевого продукту, а з сюжетної лінії;



- отримання функціонального прототипу після кожної ітерації;
- після кожної ітерації оцінюється результат і визначається наступна мета, при цьому кінцева мета може змінитися протягом процесу.

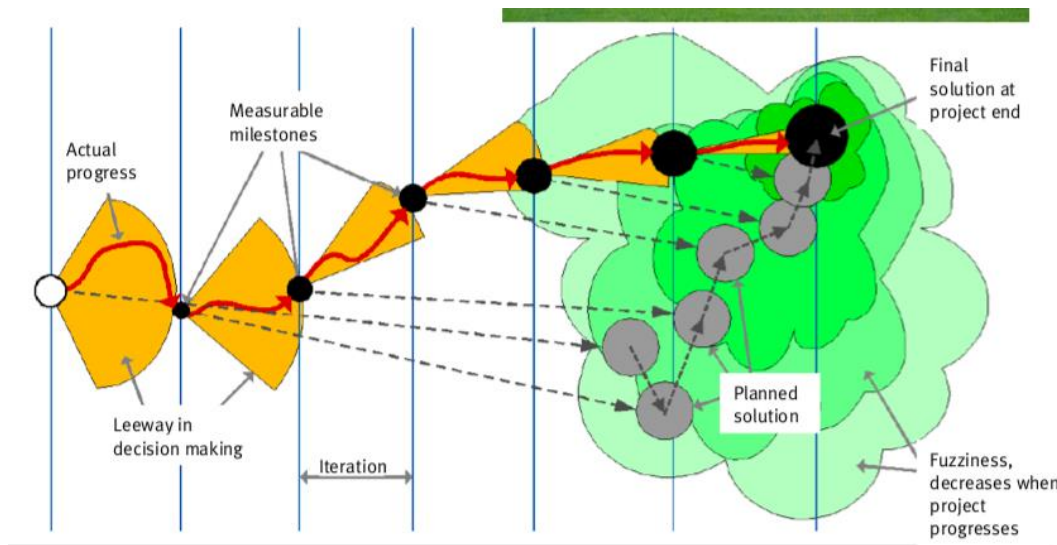


Рис. 4.2 – Методологія управління процесами «SCRUM»

Безумовною перевагою застосування такого підходу є можливість бачення та навіть тестування прототипу як членами команди, так і замовником. З SCRUM планування виконується не за 2 роки, а за 2-4 тижні. Таким чином, є можливість оперативної перевірки концепції.

Слід також зазначити, що успіх виконаного проекту залежить також від наступних прихованих факторів, які впливають на робочий процес: визначений бюджет, лабораторний простір, інструменти, правильність побудови процесів, склад робочої групи, час, свобода, відкритість, самовпевненість, прийняття можливості невдачі, готовність ризикувати, терпіння, толерантність до розладів та віра у проект.

Отже, в результаті проведеного семінару учасники змогли ознайомитися з функціонуючою в умовах Фесто міждисциплінарною формою навчання Bionic Learning Network та зрозуміти за рахунок яких інструментів це сприяє розвитку нових перспектив та інновацій. Детально розглянуто методи навчання, які застосовуються компанією та як це сприяє здобуттю певних компетентностей та навичок у фахівців, які відповідають викликам сучасних світових концепцій розвитку промисловості Індустрія 4.0 та Сталий розвиток.

## 4.2 Інновації та технології в контексті Індустрії 4.0 у Volvo



Промисловий партнер проекту Volvo Cars Gent надав інформацію, як саме запроваджуються інновації в діяльність компанії, яку роль вони відіграють в контексті парадигми Індустрія 4.0 та наведено практичні кейси підтримки сталого розвитку підприємством через застосування новітніх технологій.

Перш за все, слід зазначити, що під інноваціями розуміють таке поняття як «нова ідея», креативне рішення або нове уявлення формалізоване в вигляді пристрою або методу, який забезпечує більшу ефективність продукту, процесу, сервісу, технології або бізнес моделі і є доступним для ринку, правління та суспільства.

Інновації залучають у діяльність з метою:

- створення та розвитку нових ринків;
- для того щоб виділитися серед конкурентів;
- для підвищення привабливості для користувачів і залучення кращих спеціалістів.

В цілому, компанія приділяє багато уваги розвитку працівників та застосовує цілісний підхід до командної роботи. В роботі сучасного підприємства надзвичайно важливими є комунікація та здатність запроваджувати найкращі практики, задля чого компанія приділяє значну увагу розвитку певного мислення та культури співробітників.

Компанія приділяє багато уваги потребам людини у сучасному світі, що проявляється як у турботі про безпеку та комфорт людини при користуванні продуктами компанії, так і в цілому орієнтацією діяльності відповідно до парадигми сталого розвитку та збереженню навколишнього середовища.



До інновацій, які застосовуються компанією в виробничих процесах та технологіях відносяться: бази даних, застосування віртуальної реальності для підготовки співробітників, засоби для дистанційної роботи та 3д-друк для виготовлення деталей та інструментів.

## PROJECTS



В умовах інтенсивної діджиталізації виробничого процесу змінюються як внутрішні так і зовнішні особливості роботи підприємства. Тому в компанії функціонує «Розумна фабрика для Volvo», основною метою роботи якої є застосування нових сучасних технологій для підвищення продуктивності, виключення робіт, які не створюють цінностей, та підвищення ресурсоефективності.

В умовах діючої фабрики цифрову трансформацію розглядають як мандрівку (шлях), а не пункт призначення. До задач роботи фабрики входять формування прозорості та відкритості компанії для співробітництва, розуміння принципово відмінних компетентностей, на які буде створюватися попит у

майбутньому, і сприяння їх формуванню у співробітників або залучення нових спеціалістів.

Швидкі темпи розвитку технологій та їх впровадження вимагають гнучкої зміни бізнес-моделей та своєчасної співпраці з аналітичним та ІТ – відділом. В таких умовах для підприємства дуже важливо приділяти увагу як внутрішній так і зовнішній інтеграції нових впроваджень.



Академія розумної фабрики Volvo це кібер-захищений об'єкт, який використовується для:

- дослідження та вивчення нових технологій;
- пілотного тестування шляху впровадження нових технологій у виробничий процес та бізнес моделі;
- підвищення обізнаності співробітників.

Найрозповсюдженими цифровими технологіями на сьогодні є доповнена та віртуальна реальності, які використовуються для наступних задач:

- віртуальний огляд виробництва - розробка макетів, віртуальне обладнання;
- розумне виробництво - розробка інструкцій для навчання, віртуальні зустрічі;
- розумне обслуговування – віддалене асистування, інструкції з обслуговування обладнання та розробка прогнозів та рекомендацій щодо його стану та роботи.

Для інспекції виробництва широке застосування набули роботи-дрони, застосування яких дозволяє зекономити енергетичні, людські та матеріальні ресурси. Також роботи застосовуються для допомоги у виконанні адміністративної роботи, яка повторюється час від часу.



Наведено приклади функціонування блокчейну в умовах Volvo, а саме на прикладі доставки та перевезення різних матеріалів між підприємствами Volvo. Так встановлення датчиків та супроводження точною інформацією всіх стадій перевезень дозволяє керувати процесами доставки та підвищити точність у комунікації між замовником та виробником.

