

**Interreg
Danube Region**



Co-funded by
the European Union

DRWO4.0



Industry 4.0 Transformation Model

Interreg
Danube Region



Co-funded by
the European Union

A green wavy line graphic above the text DRWO4.0.
DRWO4.0

DRWO4.0

Модель трансформації
деревообробної промисловості Дунайського
регіону до Промисловості 4.0
(O3.1)

Зміст

Резюме.....	5
Вступ.....	6
Методологія процесу трансформації.....	9
Аналіз ланцюга створення вартості (Value Chain Analysis, VCA)	9
Структура моделі VCA.....	11
Підхід ланцюга створення вартості (VCA)	12
Модель зрілості (шкала від 0 до 3).....	13
VCA у країнах-учасниках проєкту DRWO4.0	14
Напрямок впровадження Lean (ощадливе виробництво).....	17
Напрямок Digital (цифровізація).....	18
Напрямок Green (зелене виробництво).....	19
CULIS у країнах-учасниках проєкту DRWO4.0.....	19
Застосування VCA та методології CULIS у деревообробній промисловості.....	21
Застосування VCA та методології CULIS на малих підприємствах	22
Застосування VCA та методології CULIS на середніх підприємствах.....	23
Застосування VCA та методології CULIS на великих підприємствах	24
Основна перешкода на шляху до Промисловості 4.0	25
Створення умов для впровадження Промисловості 4.0: погляд з боку політики та компаній.....	26
Підхід до трансформації на рівні державної політики.....	26
Трансформація на рівні підприємства	26
Важливість людського капіталу для трансформації у Промисловість 4.0.....	28
Висновки.....	30
Глосарій.....	32

Список рисунків

Рисунок 1 Інфографіка VCA	10
Рисунок 2 Повна модель життєвого циклу продукції лісового та деревообробного сектору (Németh 2008)	11
Рисунок 3 Інфографіка CULIS.....	15
Рисунок 4 Логіка CULIS.....	16
Рисунок 5 Витяг з напрямку Lean (методологія CULIS)	17
Рисунок 6 Витяг з напрямку «Цифровізація» (методологія CULIS).....	18

Рисунок 7 Витяг з напрямку Green (методологія CULIS).....	19
Рисунок 8 Впровадження VCA/CULIS — мале підприємство	23
Рисунок 9 Впровадження VCA/CULIS — середні підприємства	23

Грантова угода DRP0200218

Програма	Дунайська Регіональна програма (INTERREG VI B)
Акронім проекту	DRWO4.0
Назва проекту	DRWO4.0: Модель переходу деревообробної промисловості Дунайського регіону до промисловості 4.0”
Веб-сайт проекту	https://interreg-danube.eu/projects/drwo40
Дата початку проекту	01/02/2024
Дата завершення проекту	31/03/2027
Тривалість проекту	27 місяців
Рівень поширення документу	Публічний
Дата подання документу	Березень 2026
Підготовлено	CULMENA, CICC
Затверджено	SECOM

Резюме

У цьому документі представлено комплексну рамкову модель підтримки трансформації до Промисловості 4.0 у лісовому й деревообробному секторі з особливим акцентом на Дунайський регіон та країни-учасниці проєкту DRWO4.0. Автори поєднують аналітичні методи з практичними висновками, щоб оцінити поточний рівень трансформації, виявити ключові бар'єри та окреслити умови для впровадження змін на рівні державної політики та окремих підприємств.

В основі аналізу лежать дві взаємодоповнювальні методології: аналіз ланцюга створення вартості (**VCA**) та модель **CULIS**.

- **Підхід VCA** дає змогу всебічно дослідити галузь — від заготівлі сировини до збуту готової продукції. Він допомагає виявити етапи, де створюється додана вартість, а де виникають неефективність чи технологічні розриви. Завдяки структурованій моделі VCA та єдиній системі оцінювання можна порівнювати цифрову, організаційну та технологічну зрілість підприємств різного масштабу в різних країнах.
- Методологія CULIS доповнює цей аналіз, перевіряючи готовність бізнесу до змін за трьома напрямками: ощадливе управління (**Lean**), цифровізація (**Digital**) та екологічна ефективність (**Green**).

Документ враховує специфіку підприємств залежно від їхнього розміру. Великі компанії мають кращі передумови для впровадження технологій Промисловості 4.0. Натомість малий та середній бізнес стикається зі структурними обмеженнями: браком коштів, дефіцитом фахівців та обмеженим доступом до інструментів підтримки.

Головною перешкодою для всіх типів підприємств залишається **фінансування**. Проблема полягає не стільки у відсутності програм, скільки в їхній низькій доступності, складних бюрократичних процедурах, вимогах щодо співфінансування та недостатній спроможності компаній розробляти якісні проєкти. Щоб подолати ці виклики, автори визначають умови успішного переходу до Промисловості 4.0:

- **На рівні політики:** необхідні узгоджені стратегії, галузеві фінансові інструменти, зміцнення інноваційних екосистем та системна підтримка сектору.
- **На рівні підприємств:** важливо мати чітку стратегію трансформації, впроваджувати зміни поетапно та інтегрувати цілі Lean, Digital і Green.

Ключовий висновок звіту — **визначальна роль людського потенціалу**. Розвиток навичок, фахова підготовка та управлінська компетентність є критичними факторами успіху. Інвестиції в людей мають таку ж вагу, як і інвестиції в технології.

Документ доводить: трансформація лісового сектору потребує цілісного підходу. Поєднання методологій VCA та CULIS, розвиток кадрового капіталу, полегшення доступу до капіталу та синергія між державою і бізнесом дозволять суттєво підвищити конкурентоспроможність та сталість лісового сектору Дунайського регіону.

Вступ

Мета проєкту DRWO4.0 — покращити стан лісового сектору Дунайського регіону через перехід до Промисловості 4.0. В основі проєкту — розробка на транснаціональному рівні практичної, гнучкої та відтворюваної моделі трансформації, яка слугуватиме інструментом розвитку галузі згідно з принципами Промисловості 4.0.

Європейська лісова та деревобробна галузь відіграють стратегічну роль у розвитку біоекономіки та сільських територій. Проте сьогодні вона стикається з безпрецедентними викликами: зміною клімату, жорсткими вимогами до збереження біорізноманіття та нестабільністю ланцюгів постачання. У таких умовах інструменти Промисловості 4.0 — від інтернет-речей (IoT) та телематики до цифрових двійників і аналітичних платформ — стають не просто технологічною опцією, а стратегічною необхідністю. Вони забезпечують прозорість, циркулярність та високу додану вартість продукції.

Чому трансформація необхідна саме зараз? Сучасні виклики формують чіткий запит на технологічне оновлення:

- Кліматичні ризики та моніторинг: Посухи, шкідники та пожежі потребують безперервного моніторингу, систем раннього попередження та сценарного планування. Цифрові двійники та системи дистанційного зондування дають змогу прогнозувати ризики та оперативно реагувати на них.
- Регуляторні вимоги ЄС: Стратегія ЄС щодо лісів до 2030 року та Європейський зелений курс вимагають точного звітування про походження деревини, підтвердженні ланцюгів постачання та звітності протягом усього життєвого циклу продукції. Цифрова простежуваність гарантує прозорість усього ланцюга постачання.
- Ринкові можливості для продукції з високою доданою вартістю: Виробництво конструкційних деревних матеріалів та сучасних біопродуктів потребує точного добору сировини та суворого контролю технологічних процесів. Промисловість 4.0 забезпечує стабільність технічних характеристик такої продукції.
- Стійкість ланцюгів постачання: Фрагментованість сектору (велика кількість дрібних власників і підрядників) потребує єдиних цифрових платформ для координації та прозорої логістики. Цифрові платформи та телематика забезпечують таку прозорість.

Впровадження технологій Промисловості 4.0 стає потужним рушієм прогресу в лісовому секторі. Інтегруючи датчики та сучасну аналітику в роботу заводів і переробних ліній, компанії отримують більше матеріалу з кожного кубометра деревини, одночасно зменшуючи кількість відходів. Це приносить як економічну, так і екологічну вигоду. Водночас прогнозний ремонт на основі постійного моніторингу стану обладнання підвищує надійність роботи дорогих агрегатів, подовжує термін їхньої служби та зменшує кількість витратних збоїв.

Переваги виходять далеко за межі виробничих цехів. Підключене лісозаготівельне обладнання та транспортні парки, оснащені телематикою, дозволяють розумніше планувати логістику. Це скорочує кількість зайвих поїздок, знижує споживання пального та обсяг викидів — такі вдосконалення часто окупаються за короткий час. Разом із підвищенням ефективності цифрові рішення для простежуваності (наприклад, QR-коди або RFID-мітки, пов'язані із захищеними платформами даних) посилюють прозорість ланцюга постачання. Це не лише зміцнює довіру клієнтів, а й відкриває виробникам доступ до преміальних ринків та дозволяє відповідати дедалі суворішим вимогам до сталого походження сировини.

Не менш важливою є роль цифрових інструментів у зміцненні стійкості. За допомогою цифрових двійників і дистанційного зондування лісгосподарі можуть ефективніше планувати цикли заготівлі, моделювати різні сценарії та проактивно реагувати на ризики, як-от спалахи розмноження шкідників чи лісові пожежі. Отже, Промисловість 4.0 — це не просто автоматизація чи економія коштів. Це розбудова інтелектуальної, сталої та готової до викликів майбутнього лісової галузі.

Огляд технологій Промисловості 4.0¹

Промисловість 4.0 — це докорінна трансформація промисловості через впровадження передових цифрових технологій. Поєднуючи промисловий Інтернет речей (IIoT), штучний інтелект, аналітику великих даних та робототехніку, підприємства створюють інтелектуальне виробниче середовище. Це дозволяє суттєво наростити продуктивність, швидше адаптуватися до змін ринку, приймати обґрунтовані управлінські рішення та виготовляти продукцію за індивідуальними замовленнями.

В основі цього процесу лежить здатність збирати величезні масиви даних та аналізувати їх за допомогою штучного інтелекту (ШІ). Підприємства отримують інформацію не лише від верстатів, а й із зовнішнього середовища: відгуки клієнтів впливають на розробку нових продуктів, а прогнози погоди чи дані про трафік допомагають оптимізувати логістику деревини. Алгоритми машинного навчання аналізують ці потоки в реальному часі, що дозволяє автоматизувати складні процеси та робити ланцюги постачання максимально гнучкими.

Ще одна визначальна риса трансформації — повна інтеграція інформаційних потоків:

- Горизонтальна інтеграція цифровим способом з'єднує виробничі процеси між різними підприємствами та підрозділами. Це гарантує, що всі ланки ланцюга постачання працюють узгоджено.
- Вертикальна інтеграція поєднує всі рівні організації: від датчика на виробничому майданчику до кабінету стратегічного керівника. Завдяки цьому зникає ізолюваність відділів, а розробка (R&D), контроль якості та маркетинг спираються на актуальні виробничі дані.

Інфраструктурною основою для цих інновацій є хмарні обчислення. Хмарні рішення дозволяють зберігати й обробляти гігантські обсяги інформації, забезпечуючи

¹ <https://www.sap.com/industry-4-0>

взаємодію машин, цифрових платформ і працівників у реальному часі, незалежно від їхнього місцеперебування.

Новітні технології, як-от доповнена реальність (AR), змінюють взаємодію людини з технікою. Використовуючи смарт-окуляри або планшети, працівники бачать цифрові підказки (показники датчиків, схеми ремонту чи навчальні відео) безпосередньо поверх реального обладнання. Це підвищує безпеку праці та якість сервісного обслуговування.

Промисловий Інтернет речей (IIoT) є однією з визначальних технологій Промисловості 4.0. Оснащуючи машини, роботи, продукцію та обладнання датчиками, підприємства отримують інформацію про стан, продуктивність і місцезнаходження в режимі реального часу. Це підвищує ефективність управління ланцюгами постачання, забезпечує превентивне технічне обслуговування, прискорює розроблення продукції та вдосконалює управління запасами.

Адитивне виробництво перетворилося з інструменту прототипування на повноцінний виробничий метод, зокрема у формі 3D-друку. Технологія перетворилася на повноцінний метод виготовлення деталей на замовлення. Використання металів, полімерів та навіть деревних філаментів дозволяє відмовитися від величезних складів і виготовляти компоненти безпосередньо на місці.

Автономні роботи, на відміну від попередніх поколінь, поєднують датчики, штучний інтелект і машинний зір, що дозволяє адаптуватися до змін середовища та виконувати складні завдання з мінімальним втручанням людини. Дрони для інвентаризації, мобільні роботи для переміщення матеріалів та інші рішення підвищують точність, ефективність і безпеку виробничих процесів.

Цифрові двійники - це віртуальні копії реальних машин чи систем. Вони дозволяють тестувати різні сценарії роботи та прогнозувати збої в цифровому середовищі, не ризикуючи реальним обладнанням.

Оскільки обсяги даних і рівень зв'язності зростають, критичного значення набуває кібербезпека. Для захисту інтелектуальної власності та безперервності виробництва підприємства впроваджують архітектуру «нульової довіри» (Zero Trust) та використовують блокчейн для захисту транзакцій. Це гарантує стабільну роботу лісопромислового комплексу навіть у разі зовнішніх кіберзагроз.

Методологія процесу трансформації

Трансформація лісового та деревообробного сектору потребує таких методологічних підходів, що дозволяють водночас розв'язувати поточні операційні завдання та долати виклики довгострокової сталості. Оскільки ця галузь критично залежить від природних ресурсів, енергоспоживання та багатоетапних виробничих циклів, обрані методи мають забезпечувати цілісне розуміння того, як створюється вартість, і пропонувати реальні, масштабовані кроки для вдосконалення.

Партнери проєкту DRWO4.0 обрали основою для аналізу методологію ланцюга створення вартості (Value chain analysis VCA). Цей інструмент дозволяє структурувати уявлення про те, як генерується та розподіляється додана вартість у межах виробничих систем. Орієнтуючись на зв'язки між процесами та видами діяльності, VCA дає змогу системно дослідити організаційну структуру й потоки продукції, не нав'язуючи при цьому заздалегідь визначених рішень. Завдяки цьому він є оптимальним діагностичним методом для виявлення потенціалу розвитку в деревообробній промисловості.

Щоб перетворити результати аналізу на конкретні дії, партнери доповнили цей підхід методологією CULIS. Її інтегрована структура, що спирається на принципи Lean (ощадливість), Digital (цифровізація) та Green (екологічність), дозволяє підприємствам гармонійно поєднувати операційну ефективність, технології та екологічну сталість. Важливо, що методологія передбачає вибіркове та модульне застосування: компанії можуть зосередитися на тих елементах, які є найактуальнішими для їхньої специфіки та поточного рівня розвитку.

У синергії VCA та методологія CULIS формують взаємодоповнювальний підхід, де глибоке аналітичне розуміння тісно переплітається з практичними змінами. Така комбінація створює надійний фундамент для пошуку точок зростання та впровадження точкових заходів на підприємствах будь-якого масштабу й складності. Саме цей підхід став базою для подальшого аналізу того, як трансформується лісопромисловий комплекс.

Аналіз ланцюга створення вартості (Value Chain Analysis, VCA)

Аналіз ланцюга створення вартості (Value Chain Analysis, VCA) — це структурований підхід до дослідження лісової та меблевої промисловості з акцентом на сталий розвиток і цифрову трансформацію. Методологія базується на класичних концепціях ланцюга вартості та оцінюванні життєвого циклу продукції. Вона розглядає деревообробку як стратегічний сектор, що відіграє ключову роль у переході до циркулярної економіки. Завдяки здатності деревини довгостроково утримувати вуглець та придатності до вторинного перероблення, продукція галузі є критично важливою для досягнення кліматичної нейтральності.

Головна ідея моделі полягає в тому, що вартість створюється крок за кроком — від заготівлі сировини до моменту, коли виріб відпрацював свій термін. Такий аналіз виходить за межі суто грошових показників. Він враховує технології та екологію: наприклад, чи споживає виробництво мало енергії, які цифрові інструменти використовує та чи повертаються ресурси в повторний обіг. Усе це допомагає побачити повну картину того, як у секторі народжується й зростає додана вартість.



Рисунок 1 Інфографіка VCA

Модель VCA поєднує схему створення вартості з оцінкою рівня зрілості. Це допомагає точно визначити, наскільки компанія цифровізована та чи готова вона працювати за принципами безвідходного виробництва. Прив'язка технологічних і екологічних чинників до конкретних етапів ланцюга вартості забезпечує порівнюваність результатів між країнами та підприємствами різного типу з урахуванням структурних особливостей сектору.

Насамперед модель допомагає оцінити реальний стан і перспективи розвитку меблевих компаній. Це особливо важливо для мікро- та малих підприємств, яких у цій сфері більшість. Коли ми бачимо сильні й слабкі сторони або розуміємо, чого саме не вистачає на кожному етапі, стає зрозуміло, куди вкладати ресурси для модернізації. Це стає основою для розробки дієвих програм підтримки та державних рішень, що справді допоможуть лісопромислому комплексу.

Структура моделі VCA

Модель формує гнучку європейську рамку для оцінювання цифрової та циркулярної зрілості виробничих ланцюгів у деревинному секторі. У межах проєкту DRWO4.0 її застосували до меблевого виробництва (NACE C31). Попри те, що емпіричну перевірку проводили саме в меблевій галузі, аналітична структура моделі є універсальною. Це дозволяє впроваджувати її в будь-якому іншому підсекторі деревообробної промисловості.

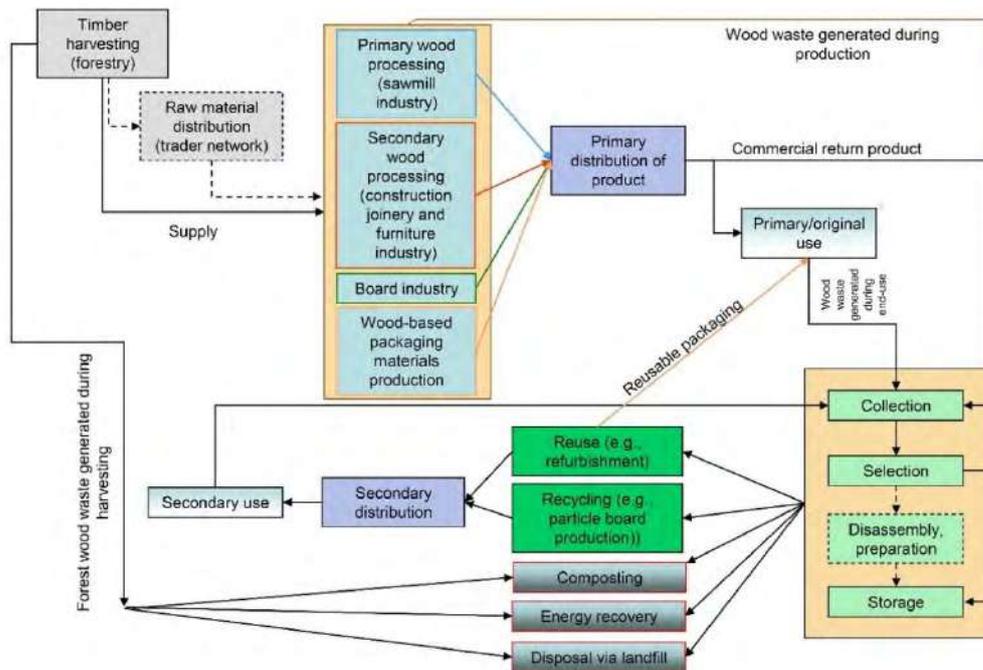


Рисунок 2 Повна модель життєвого циклу продукції лісового та деревообробного сектору (Németh 2008)

Модель охоплює послідовні етапи ланцюга вартості: Вхідні ресурси → Первинна переробка → Вторинна переробка → Дистрибуція та збут → Використання → Завершення життєвого циклу, а також п'ятьм оцінювання (Цифрове проєктування, Автоматизація процесів, Контроль якості та простежуваність, Цифровізація логістики, Сталість і циркулярність) становлять універсальні елементи, характерні для різних сегментів деревинної промисловості, зокрема для:

- лісопиляння та первинної деревообробки;
- виготовлення конструкційних деревних матеріалів;
- виробництва деревинних плит;
- столярних та теслярських робіт;
- виготовлення дерев'яного пакування та піддонів.

Принцип адаптивності

Модель зберігає єдину логіку оцінки, але дозволяє «підлаштувати» окремі параметри під конкретну галузь:

- Етапи ланцюга вартості: наприклад, можна включити лісоуправління як початкову ланку.
- Інтерпретація драйверів: у лісопилянні основний акцент може бути на системах контролю вологості.
- Індикатори зрілості: їх підбирають відповідно до конкретних виробничих технологій.
- Розмір підприємства: модель враховує структуру конкретного підсектору.

Такий підхід робить модель водночас і перевіреним прикладом для меблевої галузі (NACE C31), і універсальним шаблоном для інших деревообробних виробництв. Це особливо цінно для секторів, де домінують малі та середні підприємства (МСП), які мають схожі виклики у цифровізації та сталому розвитку. Модель допомагає порівнювати результати між країнами, виявляти «слабкі ланки» та формувати спільні рекомендації на рівні ЄС.

Структуру моделі визначають два взаємопов'язані компоненти:

- Аналіз ланцюга вартості, який прив'язує дослідження до реальних виробничих процесів.
- Модель оцінювання зрілості, що визначає поточний стан та потенціал цифровізації та циркулярності.

Окрему увагу ми приділили потребам мікро- та малих підприємств. Хоча вони часто обмежені в ресурсах та фахових знаннях, саме ці компанії є основою європейської виробничої екосистеми, тому модель адаптована під їхні реальні можливості.

Підхід ланцюга створення вартості (VCA)

Модель використовує універсальну структуру ланцюга створення вартості, яку легко адаптувати до різних галузей. Для проекту DRWO4.0 ми розділили цей ланцюг на шість основних етапів:

- Вхідні ресурси
- Первинна переробка
- Вторинна переробка
- Дистрибуція та збут
- Етап використання
- Завершення життєвого циклу

Ця схема відображає типовий шлях продукту в промисловості. За потреби її можна доповнити сервісним обслуговуванням, ремонтом або системами повернення товару. Така уніфікація дозволяє порівнювати різні підприємства та навіть цілі галузі між собою, адже ми аналізуємо цифровізацію в межах єдиної логіки процесів.

Модель зрілості (шкала від 0 до 3)

Рівень цифровізації та готовність до впровадження принципів циркулярної економіки оцінюють за п'ятьма ключовими драйверами:

Рівень цифровізації та готовність до впровадження принципів циркулярної економіки оцінюють за п'ятьма ключовими драйверами:

- цифрове проектування (CAD/CAM);
- автоматизація процесів (інтеграція CNC/ERP);
- контроль якості та простежуваність;
- цифровізація логістики та дистрибуції;
- сталість і циркулярність.

Зрілість визначають за гармонізованою шкалою від 0 до 3. Для кожного драйвера ми фіксуємо два показники: поточний стан і реальний потенціал, якого підприємство може досягти за 5 років. Різниця між ними показує «розрив розвитку» та допомагає визначити, куди саме спрямувати зусилля для модернізації.

Система оцінювання передбачає чотири рівні:

Рівень 0: Відсутність цифрових систем та циркулярних практик

- Усі процеси виконують вручну, документація — лише паперова.
- Цифрові інструменти для планування чи контролю якості не використовують.
- Ресурсами керують лише тоді, коли виникають проблеми; системної роботи з відходами немає.
- Питання переробки продукції після використання взагалі не розглядають.

Рівень 1: Початкове впровадження окремих інструментів

- Є розрізнені програми (наприклад, проста CAD-програма або окрема бухгалтерія), які не пов'язані між собою.
- Інструменти використовують окремі фахівці, а не вся компанія системно.
- Підприємство розуміє важливість екології, але ще не має чіткого плану дій.
- Дані збирають мінімально, обмін інформацією відбувається переважно «з рук у руки».

Рівень 2: Часткова інтеграція та автоматизація

- Системи починають «спілкуватися» (наприклад, дані з конструкторського відділу частково передаються на верстати).
- В окремих цехах чи відділах робочі процеси вже автоматизовані.
- Компанія стежить за відходами та споживанням енергії, щоб працювати ефективніше.
- Дані збирають регулярно, хоча аналізують їх здебільшого вручну.
- З'являються перші кроки до циркулярності: переробка відходів або прийом вживаних матеріалів.

Рівень 3: Розвинені інтегровані системи

- Усі етапи — від ідеї до продажу — об'єднані в єдину цифрову мережу.
- Потоки даних у реальному часі допомагають керівництву приймати рішення.
- Використовують прогностичний ремонт обладнання та адаптивне управління.
- Циркулярність закладена вже на етапі дизайну: речі легко розібрати для переробки, шлях кожного матеріалу можна відстежити.
- Цифрові платформи пов'язують компанію з постачальниками та клієнтами в одну екосистему.

Оцінювання відбувається через структуроване самооцінювання. Це зручно і реально навіть для маленьких фірм. Партнери проєкту DRWO4.0 супроводжують цей процес, допомагаючи підприємствам залучати експертів для отримання об'єктивної картини.

Підхід VCA — це не просто аналіз, а стратегічний інструмент. Він перетворює цифри на конкретні пріоритети та створює доказову базу для розробки рекомендацій як на національному, так і на європейському рівнях. Апробація моделі в меблевому секторі підтвердила: вона є чудовим шаблоном для цифрової та «зеленої» трансформації всієї промисловості.

VCA у країнах-учасниках проєкту DRWO4.0

Підхід VCA впровадили в усіх країнах-партнерах за єдиною методикою. Основну увагу зосередили на **виробництві меблів (NACE C31)** як найбільш показовому сегменті деревообробної промисловості. Кожен партнер проєкту виконав такі кроки:

- провів інтерв'ю з 3–5 малими та середніми меблевими підприємствами (МСП);
- проаналізував національну статистику та галузеві звіти;
- сформував карту ланцюга створення вартості за спільним шаблоном;
- оцінив рівень зрілості за п'ятьма ключовими драйверами.

Усі національні звіти ми узагальнили, щоб виявити спільні закономірності, розриви в розвитку та реальний потенціал для трансформації. Результати вказують на кілька важливих тенденцій у європейській деревообробній промисловості.

Щодо цифровізації логістики та збуту, ситуація дуже різниться залежно від країни. Підприємства, орієнтовані на експорт, використовують значно сучасніші цифрові практики. Ті ж, хто працює переважно на внутрішній ринок, часто досі координують процеси вручну. Попри скромні поточні показники, більшість країн вважає цифрову логістику ключем до конкурентоспроможності. Великий розрив між теперішнім станом і планами на майбутнє свідчить про високу готовність бізнесу до змін у цій сфері.

Контроль якості та простежуваності діє майже всюди, але він залишається переважно ручним або лише частково автоматизованим. Високі оцінки потенційного розвитку підтверджують: бізнес розуміє стратегічну важливість цифрових систем якості. Головна перешкода тут — не відсутність технологій, а брак грошей на інвестиції та внутрішніх фахівців для впровадження змін.

Автоматизація та інтеграція систем - це найбільш критична зона. Хоча верстати з ЧПК (CNC) використовують майже всі, їхня інтеграція з системами управління (ERP) залишається слабкою. Зв'язок між ERP (управління ресурсами) та CRM (робота з клієнтами) — одна з найслабших ланок. Водночас підприємства мають реалістичні очікування щодо прогресу і вважають повну інтеграцію інформаційних систем своїм головним пріоритетом.

Сталість і циркулярність - тут зафіксували найнижчий рівень зрілості. Наразі компанії впроваджують лише базові рішення — наприклад, стежать за енергоспоживанням або сортують відходи. Підходи до «зеленої» економіки суттєво відрізняються в різних країнах. Попри загальний оптимізм, принципи циркулярності ще не стали частиною щоденної роботи й напряду залежать від того, наскільки підприємство просунулося в цифровізації.

Аналіз підтверджує спільне бачення регіону: попри нинішній невисокий рівень цифрової зрілості меблевого сектору, всі напрями мають значний і реалістичний потенціал розвитку. Основні виклики лежать у площині об'єднання систем, інвестиційної спроможності та навчання персоналу, а не у відсутності самих технологій.

Методологія CULIS

Методологія CULIS — це оригінальний інтегрований підхід до трансформації бізнесу, що поєднує принципи ощадливого виробництва (Lean), цифрову трансформацію (Digital) та елементи екологічної промисловості (Green). Розроблена у 2018 році як універсальна модель, вона підходить для будь-яких організацій: від промислових і сервісних компаній до державних та освітніх установ. Найбільшу цінність методологія приносить у проектах, орієнтованих на сталий розвиток, цифровізацію та побудову конкурентоспроможних бізнес-моделей.

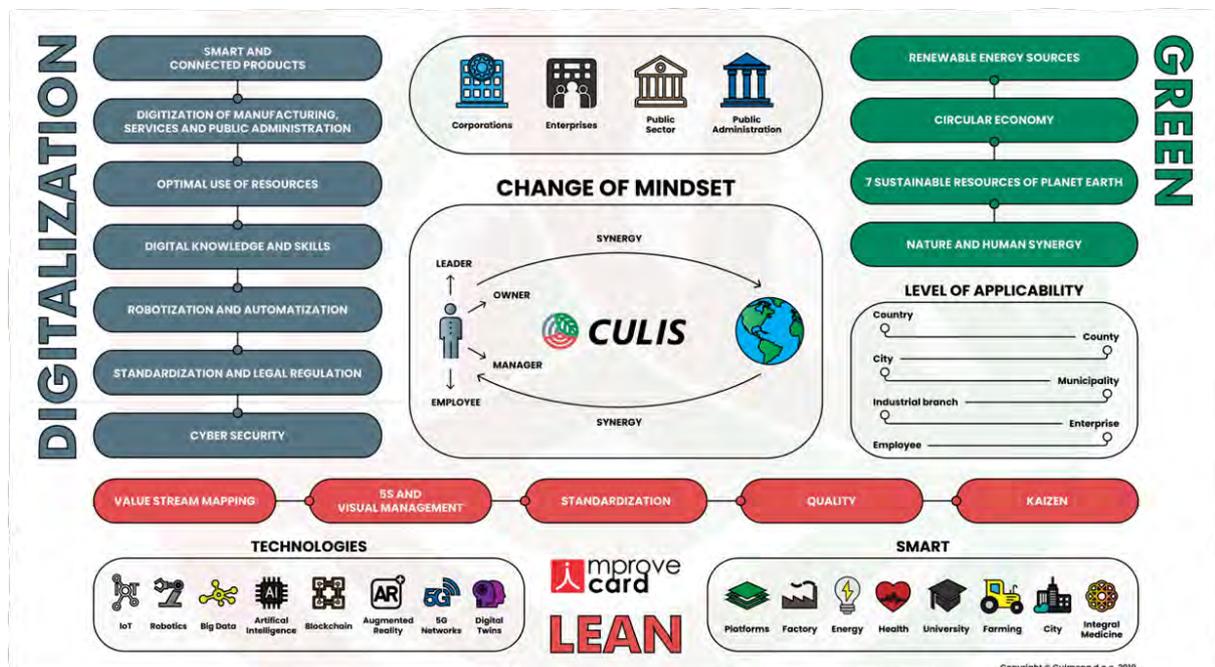


Рисунок 3 Інфографіка CULIS

Успішне впровадження CULIS починається з оптимізації та чіткої структуризації процесів. Далі додаються цифрові технології, які дозволяють вимірювати показники, вести моніторинг і краще керувати ресурсами. Хоча методологія охоплює й технічні аспекти? такі як картування ICT-інфраструктури, сумісність систем та цифрові інструменти контролю якості, її головний акцент зміщено на людський фактор.

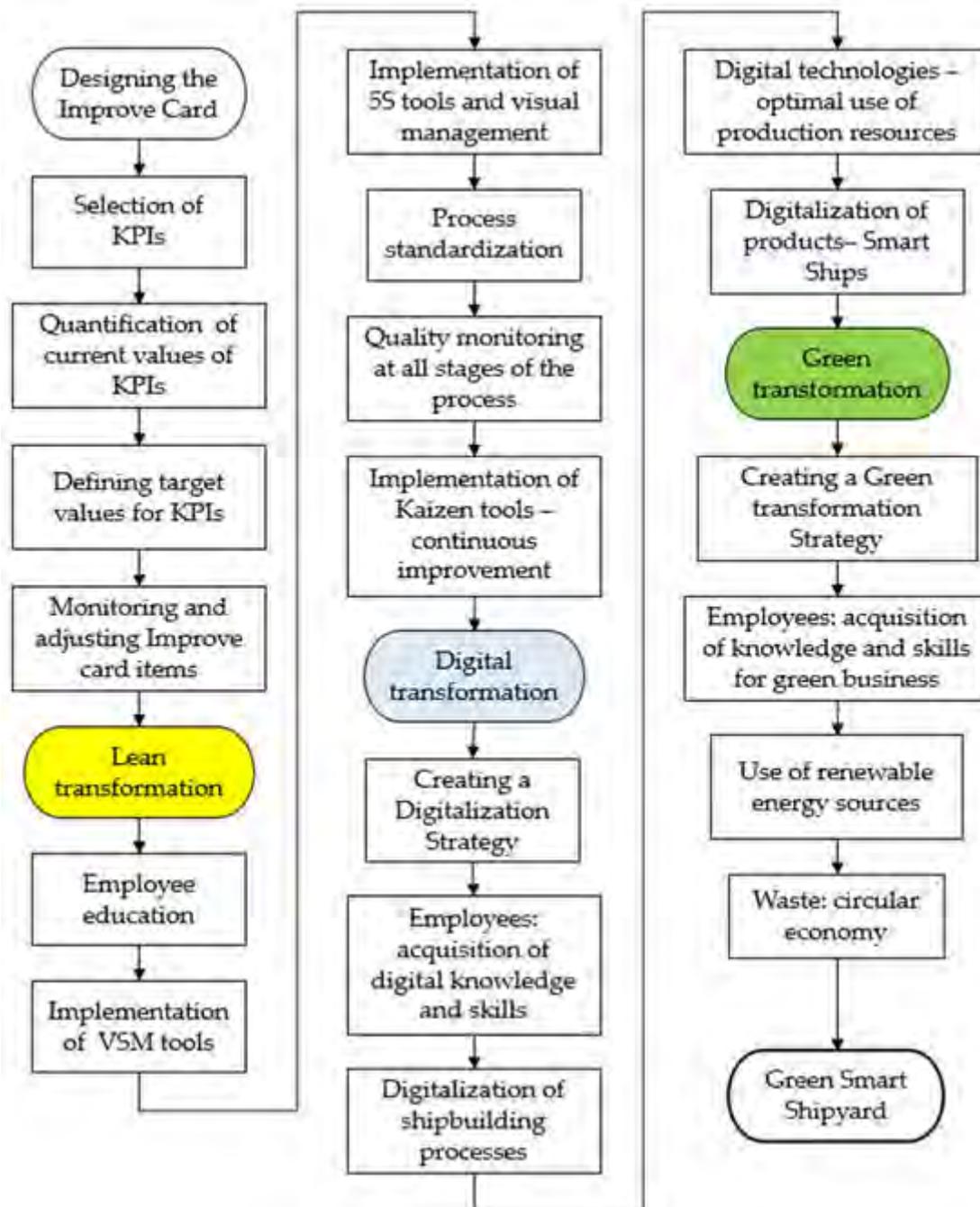


Рисунок 4 Логіка CULIS

У центрі CULIS - людина (працівник, експерт або керівник), чия роль стає вирішальною для прийняття та впровадження змін. Методологія наголошує на розвитку компетенцій, зміні мислення та розбудові такої організаційної культури, де цінують навчання, співпрацю та відкритість до інновацій. Саме такий підхід дозволяє швидше, легше та надійніше впроваджувати нові рішення на практиці.

Отже, CULIS — це трансформаційна модель, що об'єднує процеси, технології та людей, щоб створювати гнучкі, конкурентні та сталі організації. У наступному розділі ми детальніше розглянемо три «кити» цієї методології — Lean, Green та Digital, через які її принципи втілюються в життя.

Напрямок впровадження Lean (ощадливе виробництво)

Впровадження ошадливого виробництва — це початковий етап трансформації. На цій стадії ми оптимізуємо процеси, усуваємо втрати та створюємо стабільний фундамент для подальшого розвитку організації. Весь фокус тут — на людях, потоках створення вартості та безперервному вдосконаленні. Це дає швидкі й відчутні результати: зростає продуктивність, скорочуються цикли виробництва та зменшуються витрати. Оскільки принципи Lean можна застосувати всюди, де є процеси, успіх залежить від розміру компанії, її культури, обсягу наявних втрат та цілей, яких прагне досягти керівництво.



Рисунок 5 Витяг з напрямку Lean (методологія CULIS)

Як показано на фрагменті методології CULIS (рис. 5), основну увагу ми приділяємо ключовим інструментам ошадливого виробництва, що є базою будь-якої успішної трансформації:

- Картування потоку створення вартості (VSM);
- Система 5S та візуальне управління;
- Стандартизація;
- Управління якістю;
- Підхід Kaizen (безперервне вдосконалення).

Коли ці інструменти працюють разом, процеси стають прозорими, стабільними та передбачуваними. Ефект проявляється не лише у зменшенні відходів чи браку, а й у більшій залученості працівників, кращій комунікації та здатності швидше розв'язувати проблеми. Отже, Lean працює не тільки на технічному рівні — він поступово змінює мислення в організації. Замість того, щоб фокусуватися на окремих завданнях, люди починають бачити весь потік створення вартості. Таке зміщення акцентів дозволяє сприймати вдосконалення не як разові акції, а як постійний процес, що природно веде компанію до високої ефективності та сталого зростання.

Напрямок Digital (цифровізація)

Напрямок цифровізації — це фундамент сучасного бізнесу та невід’ємна складова методології CULIS. Він забезпечує доступ до інформації в реальному часі, допомагає краще координувати процеси та швидше приймати рішення. У центрі уваги перебувають працівники, які опановують сучасні технології, а також трансформація продуктів, послуг та організаційних структур задля більшої зв’язності, прозорості та ефективності. У такий спосіб цифровізація об’єднує горизонтальні та вертикальні процеси в компанії, розвиває цифрові навички персоналу та створює умови для роботизації, автоматизації та появи «розумних» продуктів.



Рисунок 6 Витяг з напрямку «Цифровізація» (методологія CULIS)

Щоб досягти таких результатів на практиці, підприємства впроваджують різноманітні цифрові інструменти та системи, як показано на рисунку 6. До найважливіших належать::

- IoT — Інтернет речей;
- Хмарні обчислення (Cloud computing);
- Робототехніка;
- Аналітика великих даних (Big Data);
- Доповнена реальність (AR);
- Віртуальна реальність (VR);
- Цифровий двійник (Digital twin);
- Смарт-планування;
- Системи MES + MRP + ERP;
- 5G;
- Кібербезпека;
- Штучний інтелект.

Отже, цифровізація змінює не лише технології, а й те, як організація мислить, спілкується та приймає рішення. Коли дані доступні миттєво, процеси взаємопов’язані, а працівники готові використовувати сучасні інструменти, компанія починає працювати швидше, розумніше та безпечніше, ніж будь-коли раніше. На цьому етапі стає зрозуміло: цифровізація — це не просто допоміжна функція, а сила, що докорінно перебудовує бізнес і відкриває можливості, які колись здавалися далекими, а тепер стають стандартом.

Напрямок Green (зелене виробництво)

Напрямок **зеленого виробництва** в методології CULIS орієнтує бізнес на відповідальне управління ресурсами та впровадження технологій, що зменшують шкоду для довкілля. Основна увага приділяється не лише економії енергії, а й раціональному використанню матеріалів, скороченню викидів та циркулярному підходу до експлуатації ресурсів. Це дозволяє створювати сталі процеси, які в довгостроковій перспективі підвищують ефективність всієї організації. Крім екологічних переваг, ініціативи зеленого виробництва сприяють розвитку соціально відповідального бізнесу, зміцнюють репутацію компанії та допомагають відповідати сучасним стандартам сталості.

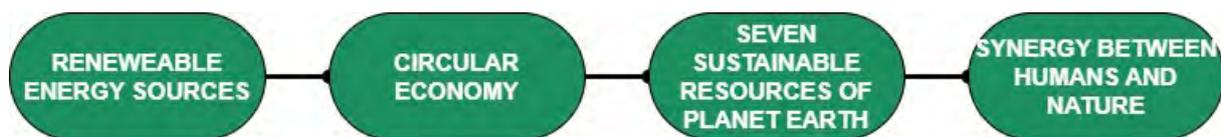


Рисунок 7 Витяг з напрямку Green (методологія CULIS)

Як показано на рисунку 7, підхід до зеленого виробництва охоплює ключові сфери сталого розвитку:

- Відновлювані джерела енергії;
- Циркулярна економіка;
- Сім сталих ресурсів планети Земля (вода, ґрунт, біомаса, повітря, сонячна енергія, вітер та геотермальні відновлювані джерела тепла);
- Синергія людини та природи.

Зрештою, «зелене виробництво» — це не просто набір екологічних ініціатив, а особливий спосіб мислення. Він дозволяє організаціям перетворювати витрати на заощадження, виклики — на нові можливості, а принципи сталого розвитку — на справжню конкурентну перевагу.

CULIS у країнах-учасниках проєкту DRWO4.0

Методологію CULIS протестували та впровадили в межах проєкту DRWO4.0 через «Звіт про оцінку базового стану» (Baseline Status Assessment Report). Цей документ дає повне уявлення про поточну ситуацію в лісопромисловому комплексі країн-партнерів: аналізує виробничі потужності, доступність ресурсів та економічну значущість сектору. Водночас звіт оцінює готовність галузі до переходу на рейки Промисловості 4.0, виявляючи прогалини в інфраструктурі, інвестиціях, навичках та технологіях. Щоб подолати ці бар'єри, партнери розробили **Транснаціональний план дій**, який містить конкретні рекомендації щодо модернізації та нарощування потенціалу згідно зі стандартами I4.0.

Аналіз ощадливого, цифрового та зеленого виробництва через призму CULIS показав кілька важливих речей. Ці три напрями нерозривно пов'язані: успіх в одному автоматично підштовхує розвиток інших.

- **Ощадливе виробництво (Lean):** ситуація в регіоні дуже строката, особливо на мікро- та малих підприємствах. Це свідчить про те, що бізнесу бракує знань, тренінгів та підтримки — як з боку держави, так і через міжнародну співпрацю. Важливо впроваджувати принципи Lean ще на етапі навчання, щоб формувати культуру постійного вдосконалення. Саме вона стає фундаментом для подальшої цифровізації та «зелених» змін.
- **Цифрова трансформація:** великі компанії йдуть попереду, тоді як малий бізнес ризикує безнадійно відстати. Щоб цього не допустити, потрібно інвестувати в цифрову мережу, розвивати навички персоналу та налагоджувати партнерство між державою і бізнесом. Технології не лише роблять компанії сильнішими на ринку, а й допомагають краще впроваджувати ощадливі методи роботи.
- **Зелене виробництво:** рівень екологічності також сильно залежить від розміру фірми та країни. Для руху вперед малим компаніям потрібна адресна допомога, а великим — стимули для впровадження «зелених» інновацій. Ключовими рушіями тут виступають цифровізація та ефективність, здобута завдяки ощадливому виробництву.

Підсумок аналізу однозначний: точкою відліку має бути ощадливе виробництво. Воно дозволяє навести лад у процесах і прибрати все зайве. І вже на цей підготовлений ґрунт варто накладати цифрові та екологічні стратегії. Саме тому Lean став однією з головних тем під час навчання фахівців у межах проєкту DRWO4.0.

Застосування VCA та методології CULIS у деревообробній промисловості

Системний підхід до трансформації критично важливий для деревообробки. Це галузь зі складними процесами, яка сильно залежить від природної сировини, матеріалів та енергії. Виробництво тут зазвичай має багато етапів, якість деревини постійно змінюється, а всі ланки — від заготівлі до збуту — тісно пов'язані між собою. Тому покращувати окремі ділянки недостатньо. Щоб справді покращити результати, потрібне цілісне розуміння того, як створюється, передається та втрачається вартість у межах усієї системи.

У такій ситуації аналіз ланцюга створення вартості (VCA — Value Chain Analysis) стає основним інструментом дослідження. Вивчаючи рух матеріалів та зв'язки між процесами, VCA дозволяє крок за кроком виявити зони, які потребують змін. Аналіз чітко підсвічує неефективність, «вузькі місця» та втрати ресурсів. Він також вказує на екологічні виклики: надмірне споживання енергії, зайві відходи або низьку циркулярність. Зрештою, VCA дає відповідь на головне питання: які саме ланки потребують втручання і які процеси найбільше гальмують загальний розвиток.

Висновки з аналізу ланцюга вартості стають фундаментом для подальших дій. Саме на цьому етапі ми підключаємо методологію CULIS. Вона працює як гнучка база, що перетворює аналітику на практичні кроки. CULIS не змушує впроваджувати все й одразу — її три «кити» (Lean, Digital та Green) можна використовувати модульно, обираючи лише те, що потрібно конкретному підприємству за результатами VCA:

Елементи ощадливого виробництва (Lean) зазвичай впроваджують там, де процеси нестабільні, є неефективність або втрати. Це допомагає стандартизувати роботу, оптимізувати потоки та покращити виробничу дисципліну.

Цифрові елементи (Digital) додають там, де бракує прозорості, даних або зв'язку між процесами. Це дозволяє краще координувати роботу, вести моніторинг і приймати зважені рішення.

«Зелені» елементи (Green) спрямовані на ефективність ресурсів, енергоспоживання, зменшення викидів та впровадження циркулярних практик. Це гарантує, що зміни відповідають екологічним особливостям деревообробної галузі.

Поєднання VCA та CULIS робить трансформацію зрозумілою та прив'язаною до реальних проблем на виробництві. Аналітична точність у парі з вибіркоким застосуванням ощадливих, цифрових та зелених інструментів гарантує: зміни будуть доречними та підходять під конкретний контекст підприємства. Такий підхід допомагає стабільно рости, не перевантажуючи компанію зайвою складністю.

Модель не вимагає жорсткого поділу на малий, середній чи великий бізнес. Навпаки, вона дозволяє гнучко підбирати масштаб і глибину змін, орієнтуючись на складність конкретної організації та її реальні потреби в розвитку.

Застосування VCA та методології CULIS на малих підприємствах

Малі деревообробні підприємства зазвичай працюють в умовах обмежених ресурсів, а їхні власники та працівники безпосередньо занурені в щоденну роботу на виробництві. Організація таких компаній переважно проста, а робочі процеси розвиваються поступово й інтуїтивно — часто без формальних стандартів чи системного контролю результатів. Водночас такі підприємства мають вагому перевагу в динамічному середовищі деревообробки: вони дуже гнучкі та здатні миттєво приймати рішення.

У таких умовах **аналіз ланцюга створення вартості (VCA — Value Chain Analysis)** використовують у спрощеному вигляді. Головна мета — отримати чітку картину основних процесів, руху матеріалів та ключових дій, що приносять прибуток. Для малого бізнесу роль **VCA** полягає у виявленні найбільш критичних вад та ділянок, які варто покращити, не перевантажуючи компанію складною аналітикою.

Критичну неефективність визначають через систему оцінювання, яка поєднує:

- **Аналіз матеріальних потоків** — дослідження того, де виникають втрати сировини, надлишкові запаси або «вузькі місця»;
- **Картування часу процесів** — пошук операцій, що тривають занадто довго порівняно з цінністю, яку вони створюють;
- **Оцінку використання ресурсів** — аналіз простоїв обладнання, ефективності роботи персоналу та структури споживання енергії;
- **Відстеження випадків браку** — аналіз ділянок, де найчастіше виникають дефекти, переробки або скарги клієнтів;
- **Порівняльний підрахунок рівня зрілості** — визначення найбільших розривів між поточним станом (0–3) та реальним потенціалом (0–3) за п'ятьма ключовими драйверами.

Для малих підприємств таку оцінку проводять спільно з керівництвом через структуровані інтерв'ю та воркшопи за підтримки фахівців проєкту **DRWO4.0**. Ми фокусуємося на визначенні лише 2–3 ділянок, покращення яких дасть найбільший ефект. Це дозволяє врахувати обмежені ресурси та організаційні можливості компанії, не вимагаючи від неї тотальної оптимізації всього й одразу.

Приклад: Невеликий виробник меблів може виявити такі критичні проблеми:

- Надмірні втрати матеріалу під час розкрою (Драйвер: Автоматизація процесів; поточний стан: 0, потенціал: 2);
- Ручне відстеження замовлень, що призводить до затримок поставок (Драйвер: Цифровізація логістики; поточний стан: 0, потенціал: 2);
- Відсутність документації з контролю якості, що закриває вихід на преміальні ринки (Драйвер: Контроль якості та простежуваність (traceability); поточний стан: 1, потенціал: 3).

Спираючись на ці висновки, впровадження методології CULIS на малих деревообробних підприємствах розпочинається не з високих технологій, а зі стабілізації процесів та поступової зміни підходу до роботи. Основна увага приділяється базовим принципам ощадливого виробництва (Lean), простим

цифровим інструментам та засадам сталого управління ресурсами. Такий підхід дозволяє впроваджувати покращення відповідно до можливостей компанії, зберігаючи при цьому стабільність її роботи.

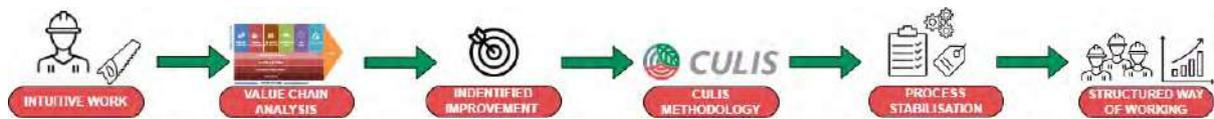


Рисунок 8 Впровадження VCA/CULIS — мале підприємство

У межах цієї моделі CULIS допомагає малим підприємствам галузі перейти від переважно реактивного стилю роботи (реагування на проблеми, що вже сталися) до системного управління процесами. При цьому особливий наголос робиться на професійному розвитку команди, глибокому розумінні виробничих процесів та довгостроковій сталості як фундаменти для подальшого зростання.

Застосування VCA та методології CULIS на середніх підприємствах

Середні деревообробні підприємства зазвичай перебувають на етапі переходу: від суто операційного керування «в ручному режимі» до системно організованого виробництва. Вони мають більше персоналу, ширший асортимент та складніші технології, проте часто зберігають ознаки неформального управління, а їхні процедури стандартизовані лише частково. Саме це поєднання швидкого зростання та ускладнення процесів на фоні низької прозорості є одним із головних викликів для такого бізнесу.

За таких умов **аналіз ланцюга створення вартості (VCA — Value Chain Analysis)** стає надійним інструментом, що пояснює, як створюється та передається вартість між відділами та етапами виробництва. Досліджуючи рух матеріалів, взаємозв'язки між процесами та зони відповідальності, VCA допомагає виявити прогалини в координації, відхилення в показниках та приховану неефективність. Аналіз дозволяє керівництву побачити всю виробничу систему як на долоні та визначити пріоритетні напрями вдосконалення.



Рисунок 9 Впровадження VCA/CULIS — середні підприємства

Спираючись на ці дані, методологія CULIS допомагає середнім підприємствам зміцнити структуру управління та зробити процеси прозорими. На відміну від малого бізнесу, де першочерговим завданням є стабілізація роботи, середнім компаніям потрібні чітко розподілені ролі, вимірювані цілі та системний моніторинг показників на всіх рівнях. Саме тому принципи Lean, цифрові інструменти (Digital) та «зелені» практики (**Green**) тут стають не просто окремими заходами, а частиною єдиної операційної моделі.

Ключовий аспект такої трансформації — зміна управлінського мислення. Увага зміщується з реактивного розв'язання проблем на проактивне управління, планування та прийняття рішень на основі реальних даних. Це формує культуру відповідальності, де цілі та показники ефективності зрозумілі кожному. Як результат — співпраця між виробництвом, логістикою, технічними службами та керівництвом стає злагодженою.

У цьому контексті CULIS виступає сполучною ланкою, що об'єднує організаційну структуру, технології та стає управління ресурсами. Поступово впроваджуючи стандартизацію, цифрову підтримку процесів та ощадливе ставлення до енергії та матеріалів, середні підприємства створюють надійний фундамент для розвитку, стають конкурентнішими та готуються до складніших етапів цифрової та екологічної трансформації.

Застосування VCA та методології CULIS на великих підприємствах

Великі деревообробні підприємства вирізняються високою складністю структури, численним персоналом, технологічно вимогливими процесами та глибокою інтеграцією з постачальниками й ринками. Виробництво тут зазвичай розподілене між кількома заводами або лініями, а діяльність підпорядкована чітким регуляторним, екологічним та ринковим вимогам. У такому середовищі виклики пов'язані вже не зі стабільністю базових операцій, а з їхньою координацією, оптимізацією та довгостроковою сталістю всієї системи.

У цих умовах аналіз ланцюга створення вартості (VCA — Value Chain Analysis) використовують як комплексний аналітичний інструмент, що забезпечує прозорість складних і взаємопов'язаних ланцюгів. Досліджуючи потоки матеріалів, інформації та енергії між різними підрозділами й зовнішніми партнерами, VCA дозволяє виявити системну неефективність, прогалини в координації та потенціал для вдосконалення, які неможливо помітити на рівні окремих відділів. Такий аналіз допомагає змінити фокус із локальної оптимізації на цілісне розуміння роботи всієї системи та створення вартості в ній..



Рисунок 3 Впровадження VCA/CULIS — великі підприємства

Спираючись на ці дані, методологія CULIS перетворює висновки аналізу на стратегію комплексної трансформації. На великих підприємствах складові Lean, Digital та Green більше не розглядають як окремі ініціативи — вони стають частинами єдиної системи управління. Принципи Lean забезпечують стандартизацію та стабільність процесів у масштабах усієї організації; цифрові рішення (Digital) дають доступ до даних у реальному часі та просунутої аналітики, а «зелені» практики (Green) відповідають за енергоефективність, управління ресурсами та екологічний вплив у межах усього ланцюга вартості.

Ключові зміни відбуваються на рівні вищого керівництва. Увага зміщується з оптимізації окремих функцій на управління ефективністю всієї системи виробництва та постачання, включно з логістичними мережами та ринками збуту. Прозорість, простежуваність

(traceability) та підзвітність стають центральними принципами менеджменту, що опирається на прийняття рішень на основі даних та інтегровані цифрові платформи.

Завдяки поєднанню VCA та методології CULIS великі деревообробні підприємства здатні об'єднати високий рівень автоматизації, цифрову інфраструктуру та екологічні технології в цілісну й сталу бізнес-модель. Такий інтегрований підхід створює міцний фундамент для довгострокової конкурентоспроможності, дотримання нормативних вимог та здатності адаптуватися до майбутніх змін на ринку чи в технологіях.

Основна перешкода на шляху до Промисловості 4.0

Згідно з «Транснаціональним планом дій DRWO4.0 щодо вдосконалення лісопромислового комплексу Дунайського регіону відповідно до стандартів I4.0» (O1.1), у всіх країнах-учасницях саме питання фінансування визнано ключовим бар'єром для трансформації. Це спостерігається попри наявність численних європейських та національних фінансових інструментів. Аналіз свідчить, що теоретично лісова галузь має доступ до широкого спектра грантів та програм, таких як: Horizon Europe, ERDF, EAFRD, LIFE, Digital Europe, Interreg, InvestEU, фонди IPA, а також національні схеми відновлення та інновацій. Ці ресурси спрямовані на цифровізацію, автоматизацію, сталий розвиток і навчання персоналу — тобто на всі напрями, необхідні для впровадження I4.0.

Такі країни, як Австрія, Хорватія, Румунія, Словенія та Чехія, мають відносно зрілі екосистеми підтримки. Вони включають Центри цифрових інновацій (Digital Innovation Hubs), кластерні об'єднання та спеціальні інструменти для малого й середнього бізнесу (SME), що полегшують доступ до капіталу та знижують інвестиційні ризики. Натомість у Боснії і Герцеговині, Молдові, Україні та частині Угорщини ландшафт фінансування фрагментований, нерегулярний або занадто загальний. Тут підприємства часто змушені покладатися на ситуативні запити, програми міжнародних донорів або загальні інноваційні конкурси, не адаптовані до потреб лісової й деревообробної промисловості.

Спільною проблемою для всього регіону є те, що малий та середній бізнес (SME) часто не може скористатися наявним фінансуванням через складні процедури подання заявок, вимоги щодо співфінансування, обмежені адміністративні ресурси, брак навичок у розробці проєктів або недостатню обізнаність про відповідні програми. У кількох країнах фінансування виділяють переважно на наукові дослідження, сталий розвиток або загальну цифровізацію, тоді як цільова підтримка впровадження Промисловості 4.0 у лісовому секторі залишається обмеженою.

Отже, хоча на рівні ЄС та окремих держав можливостей для фінансування трансформації чимало, основний бар'єр криється не у відсутності фінансових інструментів, а у їхній низькій доступності, відсутності галузевої специфіки та невмінні малого бізнесу ефективно залучати ці ресурси. Щоб подолати ці труднощі, критично важливо посилити консультативну підтримку, спростити механізми подання заявок, навчити компанії готувати проєктну документацію та створити схеми фінансування, орієнтовані саме на потреби лісопромислової галузі.

Створення умов для впровадження Промисловості 4.0: погляд з боку політики та компаній

Підхід до трансформації на рівні державної політики

На рівні державної політики перехід до Промисловості 4.0 у лісовому секторі слід розглядати як частину ширшої стратегії з підвищення конкурентоспроможності, сталого розвитку та розбудови циркулярної біоекономіки. Політики відіграють унікальну роль у створенні умов, за яких компанії можуть модернізуватися та ефективно співпрацювати.

Головним пріоритетом є розробка сприятливої нормативної бази та системи стимулів. Політика, що заохочує цифрову простежуваність (traceability), обмін даними та впровадження стандартів сертифікації, допомагає галузі відповідати світовим екологічним вимогам і водночас відкриває доступ до преміальних ринків. Такі інструменти, як податкові пільги, гранти або інноваційні ваучери, дозволяють знизити інвестиційні бар'єри для малих і середніх підприємств та дрібних лісовласників, які зазвичай не мають ресурсів на самостійне впровадження нових технологій.

Іншим важливим важелем є розвиток цифрової інфраструктури та стандартів сумісності систем. Інвестиції у широкосмуговий зв'язок у сільських регіонах, створення платформ даних для управління ресурсами та розробка протоколів для міжмашинної взаємодії (machine-to-machine communication) формують «технологічний хребет» для переходу на рейки Промисловості 4.0.

Не менш важливими є інвестиції в людський капітал. Державні програми підготовки, оновлені навчальні плани та ініціативи з перекваліфікації працівників гарантують, що нове покоління фахівців зможе впевнено працювати з цифровими інструментами. Крім того, державні органи можуть сприяти створенню екосистем співпраці, об'єднуючи промисловість, науку та постачальників технологій для випробовування рішень у пілотних проектах.

Нарешті, державна політика має стимулювати інтеграцію на рівні всієї системи. Це означає не лише підтримку технологій у межах окремих компаній, а й сприяння співпраці вздовж усього ланцюга вартості. Це дозволить стейкхолдерам обмінюватися даними, узгоджувати інтереси та створювати спільну цінність.

Трансформація на рівні підприємства

Для компаній підхід до переходу на рейки Промисловості 4.0 має поєднувати стратегічні амбіції з практичним втіленням. Бізнес фокусується на конкретних результатах, управлінні ризиками та організаційних змінах.

Першим кроком є розробка чіткої цифрової стратегії. Це вимагає визначення бізнес-цілей — чи то підвищення ефективності, покращення простежуваності (traceability) продукції, диверсифікація у біопродукти чи задоволення нових запитів клієнтів — та їх узгодження з «дорожньою картою» цифровізації. Швидкі перемоги, як-от впровадження прогнозного обслуговування (predictive maintenance) або телематики в автопарках, дозволяють отримати перші результати та дають імпульс для складніших ініціатив — наприклад,

створення цифрових двійників (digital twins) або повноцінних інтегрованих платформ для всього ланцюга вартості.

Критично важливою є сильна лідерська позиція керівництва. Топменеджери мають стати ідейними натхненниками трансформації, виділяти ресурси та роз'яснювати стратегічну важливість цифровізації всій організації. Ця підтримка має доповнюватися культурою змін, де працівників заохочують освоювати нові практики, пропонувати ідеї та експериментувати з цифровими рішеннями без страху перед помилками.

Розвиток персоналу — ще один наріжний камінь. Компаніям потрібно інвестувати в навчання та підвищення кваліфікації, щоб оператори, техніки та менеджери могли інтерпретувати дані, користуватися новими інструментами та адаптуватися до цифрових робочих процесів. Це допомагає подолати людські бар'єри, такі як опір змінам та дефіцит навичок.

На операційному рівні компаніям варто впроваджувати зміни поступово, забезпечуючи можливість подальшого масштабування. Пілотні проекти — це ефективний спосіб протестувати нові технології, довести їхню цінність і вдосконалити процес впровадження перед розгортанням на рівні всього підприємства чи ланцюга вартості. Партнерство з постачальниками технологій, університетами чи іншими компаніями дозволяє знизити ризики та витрати, а участь у загальногалузевих ініціативах гарантує відповідність сучасним стандартам.

Нарешті, компанії мають впровадити механізми вимірювання та зворотного зв'язку. Відстежуючи ключові показники ефективності (KPI), як-от приріст продуктивності, скорочення відходів, тривалість простоїв або вуглецевий слід, бізнес може оцінювати прогрес, обґрунтовувати подальші інвестиції та постійно вдосконалювати свій шлях трансформації.

Підсумовуючи: підхід на рівні політики фокусується на створенні сприятливого середовища (стандарти, стимули, навички, інфраструктура), тоді як підхід на рівні компанії наголошує на лідерстві, культурі, готовності персоналу та прагматичному впровадженні. Разом ці перспективи гарантують, що перехід до Промисловості 4.0 буде не лише технологічно можливим, а й соціально прийнятним, економічно вигідним та екологічно сталим.

Важливість людського капіталу для трансформації у Промисловість 4.0

Перехід до Промисловості 4.0 у лісовому секторі неможливо звести лише до технологічних питань. Хоча сенсори, аналітика та цифрові платформи є видимим фасадом інновацій, саме людський вимір зрештою визначає успіх чи невдачу. Без сильного лідерства, залучених працівників та культури навчання навіть найсучасніші технології не зможуть реалізувати свій потенціал.

Лідерська позиція є вирішальним фактором. Промисловість 4.0 вимагає глибокої зміни мислення: лідери на всіх рівнях — від політиків до керівників компаній — мають чітко пояснити, чому трансформація необхідна, і втілювати це бачення у конкретних діях. Це передбачає не лише фінансування цифровізації, а й інвестиції в довгострокову розбудову потенціалу, щоб організації та галузь загалом були готові до постійної адаптації. Лідери також повинні демонструвати відкритість до інновацій, заохочувати крос-функціональну співпрацю та створювати атмосферу психологічної безпеки, яка дозволяє працівникам експериментувати та вчитися.

Не менш важливою є культурна трансформація всередині організацій. Традиційні рутинні процеси, ієрархічні структури та методи роботи часто суперечать гнучким, базованим на даних та колективним підходам, яких вимагає Промисловість 4.0. Управління змінами стає основним завданням: компанії та інституції повинні свідомо плекати культуру, де цінують експерименти, підтримують безперервне навчання та стимулюють міжгалузеву співпрацю. Така культурна зміна потребує часу, але вона необхідна, щоб цифровізація стала природною частиною щоденної роботи, а не чимось нав'язаним ззовні.

Підвищення кваліфікації персоналу посідає центральне місце в цій трансформації. Працівники всіх рівнів потребують навчання, щоб розуміти та інтерпретувати цифрові дані, працювати з передовими інструментами та усвідомлювати себе активними учасниками інноваційного процесу. Для операторів або підрядників це може означати опанування систем прогнозного обслуговування чи телематичних платформ. Для менеджерів — розвиток здатності приймати рішення на основі даних та інтегрувати цифрові рішення у стратегічне планування. Підвищення кваліфікації не лише усуває дефіцит навичок, а й допомагає подолати опір змінам, оскільки працівники відчують, що нові технології дають їм нові можливості, а не загрожують їхнім робочим місцям.

Організаційна готовність також залежить від виявлення та подолання бар'єрів. Технічні перешкоди, як-от застаріла інфраструктура та фрагментовані системи даних, можуть сповільнювати прогрес. Культурні бар'єри часто проявляються як опір змінам у галузях із давніми традиціями. Фінансові бар'єри особливо гостро відчуває малий та середній бізнес, якому може бракувати ресурсів для інвестицій у сучасне обладнання без зовнішньої підтримки. Людські бар'єри, зокрема брак цифрових навичок або страх перед витісненням людей машинами, можуть підірвати процес впровадження, якщо на них не відповісти стратегіями інклюзивного переходу.

Подолання цих викликів потребує скоординованих дій як на рівні державної політики, так і на рівні компаній. Уряди та галузеві органи можуть підтримувати

програми навчання та спільні ініціативи, що знижують ризики й витрати для менших гравців. На рівні компаній пілотні проекти та демонстраційні кейси можуть стати відчутним доказом переваг, допомагаючи розбудувати довіру та темп змін. Поєднуючи політичну підтримку, співпрацю та організаційні реформи, сектор може гарантувати, що людський потенціал розвиватиметься синхронно з технологічними можливостями.

Зрештою, перехід до Промисловості 4.0 у лісовому секторі — це настільки ж соціальне та інституційне зрушення, наскільки й технологічне. Здатність вести за собою, вчитися та адаптуватися визначить, чи стане цифровізація рушієм стійкості та сталого розвитку.

Висновки

Модель трансформації DRWO4.0 пропонує структуровану та практичну базу для підтримки переходу лісової промисловості до Промисловості 4.0. Вона поєднує стратегічні й операційні аспекти змін, а завдяки використанню концепції ланцюга створення вартості, оцінки зрілості та інтегрованих методологій, відповідає потребі сектору в системному та адаптивному підході до модернізації.

В основі моделі лежить аналіз **ланцюга створення вартості (VCA)**. Він дозволяє компаніям і політикам розглядати трансформацію не як набір ізольованих технологічних оновлень, а як скоординовані дії у взаємопов'язаних сферах: від лісогосподарських операцій та логістики до переробки, виробництва та збуту. Структурована модель VCA допомагає визначити етапи, на яких створюється основна цінність, виявити джерела неефективності та зрозуміти, де цифровізація, ощадливі практики (Lean) та заходи зі сталого розвитку дадуть найбільший результат.

Модель зрілості, заснована на чіткій та інтуїтивно зрозумілій шкалі від 0 до 3, перетворює стратегічні амбіції на вимірюваний прогрес. Вона дозволяє організаціям оцінити свій поточний рівень готовності, порівняти себе з конкурентами та визначити реалістичні шляхи трансформації. Важливо, що цей підхід визнає: компанії стартують з різних позицій, а Промисловість 4.0 — це поступовий шлях, а не одноразовий стрибок.

Інтеграція методології **CULIS**, побудованої навколо трьох стовпів — ощадливості (Lean), цифровізації (Digital) та екологічності (Green) — зміцнює модель, пов'язуючи операційну досконалість із цифровими та екологічними цілями:

- Lean: забезпечує стабілізацію та оптимізацію процесів перед впровадженням цифровізації.
- Digital: підвищує прозорість, ефективність та якість прийняття рішень.
- Green: інтегрує ресурсоефективність, циклічність та екологічну відповідальність у повсякденну діяльність.

Модель однаково ефективна для малих, середніх (**МСП**) та великих підприємств. Для **МСП** модель підтримує інкрементальну (поступову) трансформацію через цілеспрямовані покращення та пілотні проекти, що знижує ризики та інвестиційний тиск. Для **великих підприємств** вона дозволяє впроваджувати більш інтегровані, масштабовані рішення на основі даних у складних ланцюгах вартості.

Успішна трансформація залежить не лише від процесів усередині заводу. Заходи на рівні державної політики відіграють вирішальну роль у забезпеченні стратегічного напрямку, фінансових стимулів, розвитку навичок та платформ для співпраці.

Взаємодія між політикою та зусиллями на рівні компаній є необхідною для досягнення тривалого ефекту.

Модель підкреслює центральну роль **людського потенціалу**. Трансформацію здійснюють люди: лідери, які задають напрямок; менеджери, які керують змінами; та працівники, які впроваджують нові методи роботи. Інвестиції в навички, управління змінами та організаційну культуру є настільки ж важливими, як і інвестиції в технології.

На завершення, ця модель трансформації пропонує комплексний, але практичний підхід до впровадження Промисловості 4.0 у лісовій промисловості. Завдяки поєднанню аналізу ланцюга створення вартості, оцінки зрілості, методологій «ощадливий-цифровий-зелений», диференційованих шляхів розвитку підприємств, а також підтримувальної політики та людського капіталу, вона закладає міцний фундамент для сталої, конкурентоспроможної та екологічної трансформації всього сектору.

Глосарій

Система 5S (5S System)

Методологія організації робочого місця, що складається з п'яти етапів (Sort — Сортування, Set in order — Дотримання порядку, Shine — Утримання в чистоті, Standardise — Стандартизація, Sustain — Самовдосконалення), спрямованих на підвищення ефективності, безпеки та прозорості. Система 5S слугує базовим інструментом для стандартизації та візуального управління (visual management).

Адитивне виробництво (Additive Manufacturing)

Метод виробництва, що створює об'єкти шар за шаром на основі цифрових моделей, зазвичай відомий як 3D-друк. У контексті деревообробної промисловості адитивне виробництво дозволяє швидко створювати прототипи (rapid prototyping), виготовляти індивідуальні компоненти та впроваджувати виробництво за запитом, що знижує складські витрати й уможливорює моделі розподіленого виробництва.

Штучний інтелект (Artificial Intelligence / AI)

Комп'ютерні системи, здатні виконувати завдання, що зазвичай потребують людського інтелекту, як-от розпізнавання образів (pattern recognition), прийняття рішень та прогнозний аналіз. У застосунках Промисловості 4.0 ШІ аналізує виробничі дані для оптимізації процесів, прогнозування відмов обладнання та підтримки контролю якості через автоматизоване виявлення дефектів.

Доповнена реальність (Augmented Reality / AR)

Технологія, що накладає цифрову інформацію на фізичні об'єкти або середовища; зазвичай її переглядають через смарт-окуляри або мобільні пристрої. У виробничому контексті AR підтримує процедури технічного обслуговування, навчальні програми та інспекції якості, надаючи візуальні підказки та дані в реальному часі.

Оцінка базового стану (Baseline Status Assessment)

Систематичне оцінювання поточних умов, можливостей і рівнів ефективності в організації чи секторі, що слугує точкою відліку для вимірювання прогресу трансформації. «Звіт про оцінку базового стану DRWO4.0» документує готовність лісової галузі до Промисловості 4.0 у країнах-учасницях.

Аналітика великих даних (Big Data Analytics)

Процес дослідження великих і складних наборів даних для виявлення закономірностей, кореляцій та інсайтів, що допомагають у прийнятті рішень. У лісовій промисловості аналітика великих даних підтримує прогнозування попиту,

оптимізацію ланцюгів постачання, прогнозування якості та підвищення ефективності використання ресурсів.

Біоекономіка (Bioeconomy)

Економічна модель, заснована на сталому виробництві та переробці відновлюваних біологічних ресурсів у продукти, енергію та послуги. Лісова промисловість відіграє центральну роль у біоекономіці через стале виробництво деревини, біоматеріали та зберігання вуглецю.

CAD/CAM (Комп'ютерне проєктування / Комп'ютерне виробництво)

Програмні системи, що дозволяють створювати цифрові проєкти виробів (CAD) та безпосередньо перетворювати їх на інструкції для верстатів з ЧПК (CAM). Інтеграція CAD/CAM є фундаментальним рушієм цифрової зрілості у виробництві меблів та дерев'яних виробів.

Ланцюг постачання / Простежуваність (Chain-of-Custody)

Документація, що відстежує шлях деревної продукції від лісу до кінцевого споживача, підтверджуючи стале походження та дотримання законодавства. Цифрові системи Chain-of-Custody покращують прозорість, підтримують схеми сертифікації (наприклад, FSC, PEFC) і забезпечують доступ до преміальних ринків, що вимагають підтвердження сталості.

Циркулярна економіка / Циклічність (Circular Economy / Circularity)

Економічна модель, спрямована на мінімізацію відходів та максимізацію повторного використання, переробки та сталого споживання ресурсів протягом усього життєвого циклу продукту.

Хмарні обчислення (Cloud Computing)

Надання обчислювальних послуг (зберігання, обробка, програмне забезпечення) через інтернет, а не через локальні сервери чи персональні пристрої. Хмарна інфраструктура дозволяє обмінюватися даними в реальному часі між розподіленими виробничими майданчиками, підтримує платформи для співпраці та забезпечує масштабований доступ до передових технологій, таких як ШІ та IoT.

ЧПК / CNC (Числове програмне керування / Computer Numerical Control)

Автоматизовані верстати, керовані комп'ютерними програмами, що виконують точні операції з різання, свердління, фрезерування та формування. Технологія CNC є основним елементом автоматизації процесів у деревообробці, забезпечуючи стабільну якість, складну геометрію та ефективне використання матеріалу.

Методологія CULIS (CULIS Methodology)

Інтегрована методологія трансформації, що поєднує ошадливе управління (Lean), цифровізацію (Digital) та «зелені» принципи (Green). CULIS функціонує як модель впровадження, що перетворює аналітичні висновки з Аналізу ланцюга створення вартості (Value Chain Analysis) на цілеспрямовані, поетапні та контекстуально специфічні заходи з трансформації.

Кібербезпека (Cybersecurity)

Захисні заходи та технології, розроблені для забезпечення цифрових систем, мереж і даних від несанкціонованого доступу, кібератак та зломів. Оскільки Промисловість 4.0 підвищує рівень мережевої взаємодії, кібербезпека стає необхідною для захисту інтелектуальної власності, безперервності операційних процесів та довіри клієнтів.

Кіберфізичні системи (Cyber-Physical Systems)

Інтегровані системи, що пов'язують фізичне виробниче обладнання з цифровими системами моніторингу та управління, забезпечуючи обмін даними в реальному часі та автономне прийняття рішень. Кіберфізичні системи становлять технологічну основу розумного виробництва (smart manufacturing) та Промисловості 4.0.

Центр цифрових інновацій (Digital Innovation Hub / DIH)

Організація підтримки, яка допомагає компаніям (зокрема МСП) отримати доступ до цифрових технологій, експертних знань, випробувальних потужностей та можливостей фінансування. DIH відіграють критичну роль у зниженні бар'єрів для впровадження Промисловості 4.0, надаючи консультаційні послуги, підтримку пілотних проєктів та налагоджуючи зв'язки в екосистемі.

Цифрова простежуваність (Digital Traceability)

Здатність відстежувати та документувати повну історію, місцезнаходження та характеристики продуктів, матеріалів або компонентів упродовж усього ланцюга створення вартості за допомогою цифрових технологій (QR-коди, RFID, блокчейн). Цифрова простежуваність підтримує контроль якості, дотримання нормативних вимог, практики циркулярної економіки та прозорість для споживачів.

Цифровий двійник (Digital Twin)

Віртуальне представлення фізичного активу, процесу або системи, яке постійно оновлюється за допомогою даних у реальному часі. Цифрові двійники дозволяють проводити симуляцію, оптимізацію та прогнозний аналіз без втручання в реальні операційні процеси.

Цифровий стовп / Напрямок цифровізації (Digitalisation Pillar)

Один із трьох основних стовпів методології CULIS, зосереджений на використанні цифрових технологій для підвищення прозорості процесів, зв'язності, доступності даних і покращення прийняття рішень в організаціях та ланцюгах створення вартості.

DRWO4.0 (Danube Region Wood Industry Transformation Model towards Industry 4.0)

Транснаціональний проєкт Interreg Danube, спрямований на розробку придатної для застосування, адаптивної та відтворюваної моделі трансформації до Промисловості 4.0, спеціально розробленої для лісової промисловості Дунайського регіону. Проєкт поєднує аналіз ланцюга створення вартості, розбудову потенціалу, пілотні середовища та політичні рекомендації для підтримки цифрової та сталої трансформації в країнах-учасницях.

Управління завершенням життєвого циклу (End-of-Life Management)

Заключний етап ланцюга створення вартості продукту, що охоплює утилізацію, вторинну переробку, повторне використання, відновлення виробництва або рекуперацію енергії. Ефективне управління завершенням життєвого циклу є центральним елементом принципів циркулярної економіки та потребує врахування конструктивних особливостей, документації матеріалів та систем зворотного прийому продукції, інтегрованих у ланцюг створення вартості.

Планування ресурсів підприємства (Enterprise Resource Planning / ERP)

Інтегровані програмні системи для управління основними бізнес-процесами, включно з плануванням виробництва, управлінням запасами, закупівлями, продажами, фінансами та людськими ресурсами. Інтеграція ERP є критично важливою віхою в цифровій зрілості, що дозволяє приймати рішення на основі даних та координувати роботу різних підрозділів.

Лісова промисловість / Лісовий сектор (Forest-Based Industry / Forest-Based Sector)

Галузі, що переробляють деревину та недеревну лісову продукцію, включаючи лісогосподарські операції, лісопиляння, виробництво деревних плит, виготовлення меблів, целюлозно-паперове виробництво та розробку біопродуктів. Сектор відіграє стратегічну роль у біоекономіці, зберіганні вуглецю та забезпеченні зайнятості в сільській місцевості.

Горизонтальна інтеграція (Horizontal Integration)

Цифрове поєднання та координація процесів у різних функціональних сферах, об'єктах або організаціях на одному рівні ланцюга створення вартості (наприклад, зв'язок між кількома виробничими майданчиками, координація з

постачальниками). Горизонтальна інтеграція забезпечує синхронізацію операцій, видимість спільних даних та колективне планування.

Зелений напрям (Green Pillar)

Один із трьох основних стовпів методології CULIS, що охоплює ресурсоефективність, енергоспоживання, скорочення викидів та принципи циркулярної економіки. Зелений стовп забезпечує узгодженість заходів із трансформації з цілями сталого розвитку.

Промисловість 4.0 (Industry 4.0)

Трансформація промислових систем через інтеграцію передових цифрових технологій, таких як промисловий інтернет речей (IIoT), аналітика даних, автоматизація та штучний інтелект. Промисловість 4.0 сприяє підвищенню продуктивності, простежуваності, стійкості та сталому створенню вартості в промислових ланцюгах.

Промисловий інтернет речей (Industrial Internet of Things / IIoT)

Мережа підключених сенсорів, машин та пристроїв, які збирають дані та обмінюються ними в промислових середовищах. IIoT дозволяє здійснювати моніторинг роботи обладнання в реальному часі, прогностичний ремонт, автоматизований контроль якості та оптимізацію виробничих процесів на основі безперервних потоків даних.

Інтероперабельність / Здатність до взаємодії (Interoperability)

Здатність різних цифрових систем, платформ та технологій обмінюватися даними та безперешкодно працювати разом. Інтероперабельність є важливою для трансформації до Промисловості 4.0, оскільки вона дозволяє інтегрувати різноманітні програмні додатки, обладнання та організаційні межі.

Кайдзен (Kaizen)

Підхід до безперервного вдосконалення, заснований на поступових змінах та активному залученні працівників. Kaizen функціонує одночасно як культурний принцип і як операційна практика, що підтримує довгострокове покращення показників та організаційне навчання. Lean

Оцінка життєвого циклу (Life Cycle Assessment / LCA)

Систематична методологія оцінювання впливу продукту, процесу або послуги на довкілля протягом усього життєвого циклу: від видобутку сировини до виробництва, використання та утилізації після завершення терміну експлуатації. LCA підтримує науково обґрунтоване покращення показників сталості та прийняття рішень щодо дизайну в межах циркулярної економіки.

Машинне навчання (Machine Learning)

Підгалузь штучного інтелекту, що дозволяє системам вчитися на основі закономірностей у даних та покращувати результативність без явного програмування. У виробництві машинне навчання підтримує прогнозування якості, оптимізацію процесів, прогнозування попиту та виявлення аномалій.

Модель зрілості (Maturity Model)

Структура оцінювання, що використовується для визначення поточного та потенційного рівня цифрової та циркулярної зрілості підприємств. Зрілість вимірюється за допомогою гармонізованої системи балів, що дозволяє порівнювати компанії різних розмірів і країн, а також допомагає виявити реальні розриви у розвитку.

Оцінка зрілості (Maturity Scoring / шкала 0–3)

Система балів у межах моделі зрілості для оцінювання готовності до трансформації, де 0 означає відсутність цифрових або циркулярних практик, а 3 — повністю інтегровані та передові системи. Різниця між поточним і потенційним балами вказує на розрив у розвитку (development gap).

Система управління виробництвом (Manufacturing Execution System / MES)

Програмне забезпечення, яке в реальному часі моніторить, відстежує та контролює виробничі процеси безпосередньо в цеху. MES заповнює прогалину між системами ERP (рівень планування) та фізичним виробничим обладнанням (операційний рівень), забезпечуючи видимість незавершеного виробництва, стану верстатів та показників ефективності.

Класифікація NACE (NACE Classification)

Статистична класифікація видів економічної діяльності в Європейському Союзі (Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne). Код NACE C31 безпосередньо стосується «Виробництва меблів», що було основним сектором для впровадження аналізу ланцюга створення вартості (VCA) у проєкті DRWO4.0.

Пілотне середовище (Pilot Environment / PE)

Контрольоване реальне середовище для тестування, де нові технології, методології або бізнес-моделі впроваджуються та оцінюються перед ширшим застосуванням. Проєкт DRWO4.0 створив транскордонні пілотні середовища для демонстрації практичного застосування рішень Промисловості 4.0 у лісовому секторі.

Прогнозне обслуговування (Predictive Maintenance)

Стратегії технічного обслуговування, засновані на безперервному моніторингу стану та аналізі даних, що дозволяють передбачати відмови обладнання до їх виникнення. Прогнозне обслуговування скорочує незаплановані простої, подовжує термін служби активів та оптимізує графіки робіт порівняно з реактивними підходами або підходами, базованими на часових інтервалах.

Первинна обробка (Primary Processing)

Початкова трансформація сировини в напівфабрикати. У лісовому ланцюзі створення вартості первинна обробка зазвичай включає такі операції, як розпилування колод на пиломатеріали, оциліндрування, сушіння, а також первинне сортування деревини.

Стандартизація процесів (Process Standardisation)

Встановлення послідовних, задокументованих процедур для виконання повторюваних завдань або операцій. Стандартизація зменшує варіативність, підтримує стабільність якості, полегшує навчання персоналу та створює стійку основу, необхідну для успішної автоматизації та цифровізації.

QR-код / RFID (Radio-Frequency Identification / Радіочастотна ідентифікація)

Технології цифрової ідентифікації для відстеження продукції та забезпечення простежуваності. QR-коди зберігають інформацію, доступну через сканування смартфоном, тоді як мітки RFID використовують радіохвилі для автоматичної ідентифікації. Обидві технології підтримують документацію ланцюга постачання (chain-of-custody), управління запасами та системи відстеження в циркулярній економіці.

Вторинна обробка (Secondary Processing)

Етапи ланцюга створення вартості, на яких напівфабрикати перетворюються на готову продукцію. У меблевому виробництві вторинна обробка включає збирання, оздоблення поверхонь, оббивку, контроль якості та пакування для підготовки виробів до розповсюдження та продажу.

Сенсорні технології / Датчики (Sensor Technology)

Пристрої, що виявляють та вимірюють фізичні властивості (температуру, вологість, тиск, вібрацію тощо) і перетворюють їх на цифрові сигнали. Інтеграція сенсорів забезпечує моніторинг у реальному часі, автоматизований контроль якості та збір даних, необхідних для застосувань Промисловості 4.0 у деревообробці.

Симуляція / Моделювання (Simulation)

Використання цифрових моделей для відтворення реальних процесів, систем або сценаріїв з метою аналізу, тестування та оптимізації. Симуляція дозволяє проводити

безпечні експерименти з параметрами виробництва, плануванням приміщень або конфігураціями ланцюга постачання перед впровадженням фізичних змін.

Розумне виробництво (Smart Manufacturing)

Виробничі системи, що використовують передові цифрові технології (IoT, ШІ, аналітику даних) для створення адаптивних операцій із самооптимізацією. Розумне виробництво забезпечує реагування на зміни умов у реальному часі, автономне прийняття рішень та безперервне вдосконалення показників.

SME (Small and Medium-sized Enterprise)

Підприємства, що визначаються за кількістю працівників та фінансовими порогами, які варіюються залежно від регіону, але зазвичай включають компанії з кількістю працівників менше 250 осіб. **МСП** домінують у європейському секторі виробництва меблів та деревообробки й стикаються зі специфічними викликами під час впровадження **Промисловості 4.0**, пов'язаними з ресурсами, навичками та доступом до підтримки.

Прозорість ланцюга постачання (Supply Chain Transparency)

Видимість та доступність інформації про продукти, процеси та транзакції в усьому ланцюгу постачання — від сировини до кінцевих споживачів. Цифрові технології забезпечують підвищену прозорість, що підтримує верифікацію сталості, управління ризиками та довіру стейкхолдерів.

Телематика (Telematics)

Технологія, що поєднує телекомунікації та інформатику для передачі даних від віддаленого обладнання або транспортних засобів. У лісовому господарстві та логістиці деревини телематика підтримує управління автопарком, оптимізацію маршрутів, моніторинг паливної ефективності та координацію операцій із заготівлі й транспортування.

Транснаціональне співробітництво (Transnational Cooperation)

Спільна діяльність за участю партнерів із кількох країн, спрямована на досягнення спільних цілей. Проєкт DRWO4.0 використовує транснаціональне співробітництво для обміну знаннями, розробки гармонізованих методологій та створення відтворюваних рішень, застосованих у різних контекстах Дунайського регіону.

Підвищення кваліфікації (Upskilling)

Процес навчання працівників новим навичкам або вдосконалення наявних компетенцій для відповідності мінливим вимогам роботи. У контексті Промисловості 4.0 підвищення кваліфікації зосереджене на цифровій грамотності, інтерпретації

даних, експлуатації технологій та адаптивних здібностях до вирішення проблем, що є необхідними для сучасних виробничих середовищ.

Ланцюг створення вартості (Value Chain)

Повна послідовність заходів, необхідних для створення та доставки продукту чи послуги: від початкових ресурсів через виробництво, розповсюдження та використання до управління завершенням життєвого циклу. Мислення в категоріях ланцюга створення вартості наголошує на розумінні взаємозалежностей, оптимізації продуктивності на рівні системи та визначенні етапів, де цінність створюється або втрачається.

Аналіз ланцюга створення вартості (Value Chain Analysis / VCA)

Структурований аналітичний підхід, що використовується для вивчення всього ланцюга створення вартості лісової промисловості — від надходження сировини до етапів завершення життєвого циклу. VCA ідентифікує діяльність, що створює цінність, неефективність, прогалини в трансформації та потенціал розвитку, пов'язаний із цифровізацією, сталістю та організаційною ефективністю.

Потік цінності (Value Stream)

Конкретна послідовність процесів та дій, необхідних для надання певного продукту чи послуги клієнту. Картування потоку цінності, основний інструмент Lean, візуалізує ці потоки для виявлення втрат, «вузьких місць» та можливостей для вдосконалення.

Картування потоку цінності (Value Stream Mapping / VSM)

Інструмент ощадливого виробництва (Lean), що використовується для візуального відображення потоків матеріалів та інформації через процеси створення цінності. VSM підтримує виявлення «вузьких місць», неефективності та можливостей для вдосконалення в ланцюгу створення вартості.

Вертикальна інтеграція (Vertical Integration)

Цифрове поєднання різних ієрархічних рівнів у межах організації, що пов'язує операції на виробничому майданчику з системами управління та рівнями стратегічного планування. Вертикальна інтеграція забезпечує потік інформації в реальному часі від виробничого обладнання до звітних панелей керівництва, підтримуючи прийняття рішень на основі даних на всіх організаційних рівнях.

Візуальне управління (Visual Management)

Набір практик, що використовують візуальні інструменти для передачі статусу процесів, показників ефективності та проблем у чіткій і доступний спосіб. Візуальне управління підтримує прозорість, швидше прийняття рішень та ефективне вирішення проблем у середовищах Lean.

Втрати (Waste)

У методології Lean — будь-яка діяльність або споживання ресурсів, що не додають цінності з точки зору клієнта. Сім класичних типів втрат включають: надвиробництво, очікування, транспортування, надлишкову обробку, зайві запаси, непотрібні рухи та дефекти. У сучасній практиці Lean часто додають восьмий тип втрат — недовикористаний людський потенціал.

Архітектура нульової довіри (Zero Trust Architecture)

Концепція кібербезпеки, яка вимагає суворої перевірки ідентичності кожної особи та пристрою, що намагаються отримати доступ до мережевих ресурсів, незалежно від того, перебувають вони всередині чи зовні організаційного периметра. Принципи Zero Trust стають дедалі важливішими в міру розширення мережевих зв'язків та обміну даними в Промисловості 4.0.