

Кафедра технологій меблів та виробів з деревини

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

на тему: “Дослідження екологічного сліду ТзОВ “Мілвуд”

Виконав: студент VI курсу,
групи ДМТ-62м
Спеціальності 187 “Деревообробні
та меблеві технології”

Бучин В.М.

(прізвище та ініціали)

Керівники Кійко О.А., Ільків М.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Мушаківський Р.Б.

(прізвище та ініціали)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут	Деревообробних технологій і дизайну
Кафедра	Технологій меблів та виробів деревини
Освітньо-кваліфікаційний рівень	Магістр
Спеціальність	187 "Деревообробні та меблеві технології"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф.

Кійко О.А.

"10" 06 2025 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бучин Віталій Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження екологічного сліду ТзОВ "Мілвуд"

Керівники роботи: Кійко О.А., д.т.н., професор; Ільків М.М.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від 10.06.25 року № C-344

2. Строк подання студентом роботи 10.12.2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Відомості із підприємства про виробничий та технологічні процеси: номенклатуру сировини та асортимент продукції, перелік виробничого обладнання, споживання електроенергії та сировини на виготовлення одиниці продукції, площа виробничих та офісних приміщень.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вступ 2. Теоретичні основи оцінювання екологічного сліду підприємства, 3. Аналіз діяльності підприємства та методика розрахунку екологічного сліду підприємства, 4. Визначення екологічного сліду підприємства, 5. Шляхи оптимізації екологічного сліду підприємства, Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) процесів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

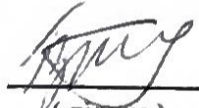
7. Дата видачі завдання 15 липня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ. Теоретичні основи оцінювання екологічного сліду підприємства	30.09.25 р.	
2.	Аналіз діяльності підприємства та методика розрахунку екологічного сліду підприємства	30.10.25 р.	
3.	Визначення екологічного сліду підприємства	30.11.25 р.	
4.	Шляхи оптимізації екологічного сліду підприємства. Висновки	5.12.25 р.	
5.	Оформлена робота	10.12.25 р.	

Студент

Керівники роботи


 Бучин В.М.
 (прізвище та ініціали)


 Кійко О.А.
 (прізвище та ініціали)


 Ільків М.М.
 (прізвище та ініціали)

З М І С Т

Анотація	
Вступ	7
1. Теоретичні основи оцінювання екологічного сліду підприємства	9
1.1. Сутність та еволюція поняття “екологічний слід”	9
1.1.1. Визначення екологічного сліду у світових наукових школах	11
1.1.2. Межі та одиниці вимірювання екологічного сліду	12
1.1.3. Переваги та обмеження методології екологічного сліду	14
1.2. Специфіка деревообробної галузі та передумови оцінки екологічного сліду підприємств	15
1.2.1. Загальна характеристика деревообробної галузі України	15
1.2.2. Екологічні виклики та ризики деревообробної галузі	17
1.2.3. Європейські підходи та вимоги до сталості деревообробки	19
1.3. Теоретичні підходи до оцінки екологічної ефективності деревообробних підприємств	21
1.3.1. Концепція циркулярної економіки як методологічна основа оцінювання	21
1.3.2. Ресурсоефективність як ключовий критерій екологічної ефективності	22
1.3.3. Підходи “Zero waste” у контексті відходів деревини	22
1.3.4. Принципи екодизайну виробів з деревини та деревних матеріалів	24
1.4. Система нормативного забезпечення оцінки екологічного сліду	25
1.4.1. Національне законодавство України (ключові акти та їх роль)	26
1.4.2. Вимоги Європейського Союзу і міжнародні регламенти	27
1.5. Методи оцінювання екологічного сліду виробничих підприємств	28
1.5.1. Метод Global Footprint Network (Ecological Footprint)	28
1.5.2. Стандарти серії ISO 14000 та їх застосування	30
1.5.3. LCA як комплексний підхід до оцінки впливу (Life Cycle Assessment)	32
1.5.4. GHG Protocol для розрахунку вуглецевого сліду	35
1.6. Висновки	37

2.	Характеристика діяльності підприємства та методика розрахунку екологічного сліду підприємства	39
2.1.	Характеристика діяльності підприємства	39
2.2.	Методика розрахунку екологічного сліду	40
3.	Розрахунок поточного екологічного сліду ТзОВ “Мілвуд”	43
3.1.	Розрахунок екологічного сліду від технологічного процесу виготовлення клеєного конструкційного бруса	43
3.1.1.	Розрахунок площі землі прямого користування для виготовлення 1 м ³ конструкційного бруса	43
3.1.2.	Розрахунок екологічного сліду від процесу транспортування круглих лісоматеріалів для виготовлення 1 м ³ клеєного конструкційного бруса	44
3.1.3.	Розрахунок екологічного сліду від генерування електроенергії, яка необхідна для забезпечення роботи основного технологічного обладнання та освітлення виробничих приміщень для виготовлення 1 м ³ клеєного конструкційного бруса	46
3.1.4.	Розрахунок екологічного сліду від процесу сушіння пиломатеріалів, необхідних для виготовлення 1 м ³ клеєного конструкційного бруса	47
3.2.	Розрахунок екологічного сліду від процесу виробництва технологічної тріски із відходів основного виробництва	49
3.3.	Розрахунок екологічного сліду від опалювання виробничих приміщень	50
3.4.	Розрахунок екологічного сліду від генерування електроенергії для забезпечення роботи офісних приміщень	51
3.5.	Використання води	51
3.6.	Висновки	52
4.	Шляхи оптимізації екологічного сліду підприємства	54
	Загальні висновки	55
	Список використаних джерел	56

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена комплексному дослідженню екологічного сліду ТзОВ “Мілвуд”, яке спеціалізується на виготовленні клеєного конструкційного бруса та технологічної тріски. У роботі обґрунтовано актуальність застосування методології Ecological Footprint для оцінки впливу деревообробних підприємств на довкілля, враховуючи сучасні вимоги ресурсоефективності, принципи циркулярної економіки та європейські підходи до сталості виробництва.

Метою дослідження є визначення величини екологічного сліду підприємства на основі аналізу виробничих процесів, структури споживання сировини, електроенергії, теплової енергії, води та здійснення логістичних операцій, а також розроблення практично обґрунтованих шляхів зменшення антропогенного навантаження.

У роботі проведено детальний аналіз технологічних процесів підприємства, здійснено розрахунки екологічного сліду для основних видів діяльності: доставки сировини, генерації електроенергії для технологічного обладнання та офісу, сушіння пиломатеріалів, виробництва технологічної тріски, опалювання приміщень та споживання води. Розрахунки виконано у глобальних гектарах відповідно до підходів Global Footprint Network, що дозволило визначити ключові чинники формування екологічного навантаження.

Отримані результати дали змогу сформулювати комплекс рекомендацій щодо оптимізації екологічного сліду підприємства, включно з підвищенням енергоефективності технологічного обладнання, модернізацією систем теплогенерації, удосконаленням системи поводження з відходами. Запропоновані заходи мають практичну цінність, оскільки дозволяють знизити споживання ресурсів, скоротити викиди та покращити екологічну стійкість виробництва.

Результати дослідження можуть бути використані ТзОВ “Мілвуд” та іншими підприємствами деревообробної галузі, у наукових дослідженнях, пов’язаних з оцінкою екологічного впливу промислового виробництва.

ВСТУП

Сучасний розвиток деревообробної галузі в Україні відбувається в умовах зростаючого суспільного запиту на екологічно відповідальне виробництво, підвищені вимоги до сталості лісокористування та посилення інтеграційних процесів із Європейським Союзом. У центрі уваги опиняється необхідність оцінки реального впливу підприємств на довкілля, що дозволяє визначити рівень ефективності використання сировинних ресурсів, теплової та електричної енергії і води. Одним з найінформативніших підходів до такої оцінки є аналіз екологічного сліду діяльності підприємства.

Актуальність теми зумовлена потребою переходу деревообробної промисловості до моделей сталого виробництва, що ґрунтуються на принципах циркулярної економіки, раціональному використанні лісових ресурсів та мінімізації викидів і відходів. Оцінка екологічного сліду підприємства дозволяє не лише кількісно визначити вплив на довкілля, але й сформулювати науково обґрунтовані рекомендації для підвищення енергоефективності та екологічної результативності виробництва. Для ТзОВ “Мілвуд”, як одного з представників деревообробної галузі регіону, проведення такого дослідження особливо важливе у контексті адаптації до європейських стандартів екологічного менеджменту та розроблення стратегії сталого розвитку.

Актуальність теми. Сучасний світ перебуває на етапі глобальної трансформації підходів до виробництва та споживання природних ресурсів. В умовах кліматичних змін та виснаження біорізноманіття, екологічна відповідальність бізнесу стає не просто етичним вибором, а необхідною умовою виживання на ринку. Особливо це стосується деревообробної галузі, яка безпосередньо взаємодіє з лісовими екосистемами.

Для українських підприємств, зокрема ТзОВ “Мілвуд”, інтеграція в європейський економічний простір вимагає адаптації до нових, більш жорстких стандартів. Ключовим орієнтиром у цьому питанні є “Європейський зелений курс” (The European Green Deal). Ця стратегія ЄС передбачає скорочення викидів парникових газів, перехід до ресурсоефективної та сталої економіки, покращення якості життя населення та захист довкілля. Оскільки, “Зелений курс” є невід’ємною складовою євроінтеграції та стратегії повоєнної відбудови України, питання екологічного сліду продукції та прозорості ланцюгів постачання набувають критичного значення для українських підприємств.

Окремої уваги заслуговує впровадження регламенту EUDR (EU Deforestation Regulation), який забороняє вихід на ринок ЄС товарів,

виробництво яких призвело до знеліснення або деградації лісів. Таким чином, розрахунок та мінімізація екологічного сліду стає для ТзОВ “Мілвуд” не лише інструментом збереження довкілля, але й “перепусткою” на високомаржинальні ринки країн Євросоюзу, де споживачі та партнери вимагають підтвердження сталого походження деревини та збереження біорізноманіття.

Об’єктом дослідження є виробничий процес деревообробного підприємства ТзОВ “Мілвуд”.

Предметом дослідження є екологічний слід від діяльності деревообробного підприємства ТзОВ “Мілвуд”.

Метою роботи є дослідження поточного екологічного сліду від діяльності ТзОВ “Мілвуд” та розробка практичних рекомендацій щодо його зменшення для підвищення екологічної безпеки виробництва та забезпечення конкурентоспроможності продукції на ринках ЄС.

Для досягнення мети необхідно виконати такі **завдання**:

- проаналізувати сутність поняття “екологічний слід” в контексті вимог “Європейського зеленого курсу” та регламенту EUDR;
- оцінити поточний стан виробничого процесу ТзОВ “Мілвуд” та його вплив на навколишнє середовище;
- провести розрахунок екологічного сліду від діяльності підприємства (аналіз енергоспоживання, ресурсоефективності, відходів, викидів парникових газів та води);
- надати та обґрунтувати заходи щодо мінімізації екологічного сліду від діяльності підприємства.

1. Теоретичні основи оцінювання екологічного сліду підприємства

1.1. Сутність та еволюція поняття “екологічний слід”

Концепція екологічного сліду (Ecological Footprint) належить до найпоширеніших інтегральних індикаторів оцінювання впливу людини, підприємства чи території на навколишнє середовище. Її сутність полягає у вимірюванні площі біологічно продуктивних земель і акваторій, необхідних для забезпечення споживання ресурсів та поглинання відходів, передусім вуглецю. Цей показник дає змогу співвіднести рівень антропогенного тиску із здатністю екосистем відновлювати ресурси та асимілювати відходи (biocapacity).

Ідею екологічного сліду сформували М. Вакернагел і В. Ріс у 1990-х роках в Університеті Британської Колумбії [1]. Їхня мета полягала в тому, щоб створити індикатор, зрозумілий для політиків, громади та бізнесу, який би показував перевищення антропогенних потреб над доступними природними можливостями планети. Вони запропонували порівнювати споживання населення з “екологічною ємністю Землі”, переводячи ресурси та відходи у площу глобальних гектарів за допомогою спеціальних еквівалентних факторів.

Уже в 2000-х роках концепція стала основою для глобальних звітів WWF “Living Planet Report”, аналізів сталого розвитку міст, країн і підприємств. Її почали застосовувати для оцінки стратегій декарбонізації, ресурсоефективності та політики переходу до циркулярної економіки.

Екологічний слід безпосередньо пов'язаний з концепцією сталого розвитку, адже дозволяє кількісно оцінити, чи відповідає рівень споживання ресурсів екосистемним можливостям Землі. Якщо антропогенний тиск перевищує біологічну ємність, виникає явище екологічного дефіциту (ecological overshoot). За даними Global Footprint Network, людство вже понад 40 років живе “в кредит”, використовуючи більше ресурсів, ніж здатна відтворити планета щороку.

Також екологічний слід тісно корелює з підходом “планетарних меж” [2], що визначає критичні пороги екосистемної стабільності. Індикатор екологічного сліду дозволяє зрозуміти масштаб порушення меж таких сфер, як зміна клімату, землекористування та біорізноманіття.

Незважаючи на широке застосування, екологічний слід часто критикують за методологічні обмеження:

- він надмірно зводить (агрегує) різні за своєю природою види впливу на довкілля до однієї спільної одиниці виміру – площі біологічно продуктивної землі;
- метод не охоплює низку ключових екологічних аспектів таких як токсичність, евтрофікацію (збагачення водойм біогенними елементами), кислотність, використання води;
- перерахунок забруднень у площу землі інколи спрощує реальні екологічні процеси;
- результати залежать від численних допущень та середніх коефіцієнтів.

Тому, дуже часто використовують альтернативні або доповнювальні індикатори:

- **LCA (Life Cycle Assessment)** – повний аналіз життєвого циклу продукції [3, 4], що оцінює впливу у таких категоріях як:
 - **GWP (Global Warming Potential)** – це потенціал глобального потепління, один із ключових індикаторів у кліматології та екологічній оцінці. GWP показує, наскільки сильним є парниковий ефект певного газу порівняно з CO₂ за визначений період часу (найчастіше 20, 100 або 500 років);
 - **AP (Acidification Potential)** – це один із стандартних показників методології LCA, який вимірює здатність забруднювальних речовин спричиняти кислотні опади та підкислення ґрунтів, прісних водойм, лісових екосистем. Цей індикатор оцінює емісії речовин, що утворюють у довкіллі кислоти: SO₂ (діоксид сірки), NO_x (оксиди азоту), NH₃ (аміак), HCl (хлористий водень), HF (фтороводень);
 - **Eutrophication (евтрофікація)** – це екологічний процес надмірного збагачення водних екосистем азотом (N) і фосфором (P), що призводить до бурхливого росту водоростей та водних рослин, порушуючи природну рівновагу водойм.
- **MFA (Material Flow Analysis)** – це систематичний підхід до кількісного оцінювання потоків і запасів матеріалів у межах заданої системи (підприємства, галузі, регіону, країни) [5]. Метою MFA є:
 - **Оцінити ресурсоефективність:** визначає, які матеріали витрачаються неефективно.
 - **Виявити втрати та відходи:** показує точки, де матеріали втрачаються або перетворюються на відходи.
 - **Підтримати циркулярну економіку:** допомагає планувати повторне використання та переробку ресурсів.
 - **Виконати екологічний аналіз:** MFA може інтегруватися з LCA для оцінки впливу матеріалів на довкілля.
- **EPI (Environmental Performance Index)** – це комплексний індекс, який оцінює стан навколишнього середовища країни та ефективність її

політики у сфері охорони довкілля [6]. Даний індекс включає ключові показники за двома групами:

- **Екологічні результати (Environmental Health)** – вплив на здоров'я населення через забруднення повітря, води, токсичні хімічні речовини.
- **Екосистемна стійкість (Ecosystem Vitality)** – стан біорізноманіття, лісового покриву, викидів парникових газів, використання енергії та ресурсів.

Кожен показник нормалізується, зважується і агрегується у загальний бал від 0 до 100. Вищий бал означає кращу екологічну ефективність.

- **Carbon Footprint** – це кількість парникових газів (ПГ), що виділяються безпосередньо або опосередковано внаслідок діяльності людини, організації, продукту або процесу, зазвичай виражена в СО₂-еквівалентах (СО₂e) [7].

- **Water Footprint** – це загальний обсяг води, спожитої та забрудненої в процесі виробництва товарів чи надання послуг, включаючи пряме та непряме використання води, виражене в кубометрах (м³) [8].

1.1.1. Визначення екологічного сліду у світових наукових школах

У світовій науковій літературі поняття «екологічний слід» трактується неоднозначно залежно від школи та дослідницької традиції.

У північноамериканській школі (Wackernagel, Rees), екологічний слід – це площа біопродуктивної території та акваторії, необхідної для виробництва ресурсів, які споживає населення або організація, та для поглинання генерованих відходів.

Європейська школа екологічної економіки (Baumgärtner, Binder, Hubacek), поняття екологічного сліду розглядає як індикатор: антропогенного тиску на екосистеми, рівня перевищення біологічної ємності, показника ефективності переходу до циркулярної економіки.

Азійські дослідницькі центри (Bai, Nagendra, Sharifi) особливу увагу приділяють: регіональним диспропорціям, урбаністичним екологічним слідам, інтеграції екологічного сліду у стратегіях планування мегаполісів.

Міжнародні організації, такі як World Wildlife Fund (WWF) та Global Footprint Network (GFN), застосовують екологічний слід як глобальний індикатор сталого розвитку, регулярно публікуючи міжнародні рейтинги та порівняльні дослідження.

Об'єднувальним фактором усіх наукових шкіл є розуміння екологічного сліду як показника, що відображає дисбаланс між економічною діяльністю та екосистемною стійкістю.

1.1.2. Межі та одиниці вимірювання екологічного сліду

Головною особливістю методології визначення екологічного сліду є використання глобального гектара – умовної одиниці площі з середньою світовою продуктивністю.

До складу екологічного сліду включають шість основних категорій територій [9] (рис. 1):

Орні землі – використовують для вирощування продовольства та волокон (зернові культури, овочі, бавовна тощо). При розрахунку екологічного сліду враховують врожайність, площу сільськогосподарських земель і експортно-імпортні баланси.

Пасовища – площі для випасу худоби та виробництва м'яса, молока, шерсті. При розрахунку екологічного сліду враховують ефективність годівлі та продуктивність пасовищ.

Землі покриті лісовою рослинністю – використовують для виробництва деревини та інших лісових продуктів. При розрахунку екологічного сліду враховують обсяг споживаної деревини і здатність відновлення лісів.

Рибальські угіддя – площі водойм, необхідні для вирощування, вилову риби та водних біоресурсів. При розрахунку екологічного сліду враховують природну продуктивність і сталий рівень вилову.

Забудовані території – площі, зайняті містами, інфраструктурою, дорогами, промисловими зонами. При розрахунку екологічного сліду враховують вплив на екологічну продуктивність через втрату біологічно активних земель.

Поглинання CO₂ (лісові еквіваленти) – площі лісів, необхідні для асиміляції викидів CO₂, що виникають при спалюванні викопного палива. Цей компонент екологічного сліду визначає “внесок” у глобальне потепління.

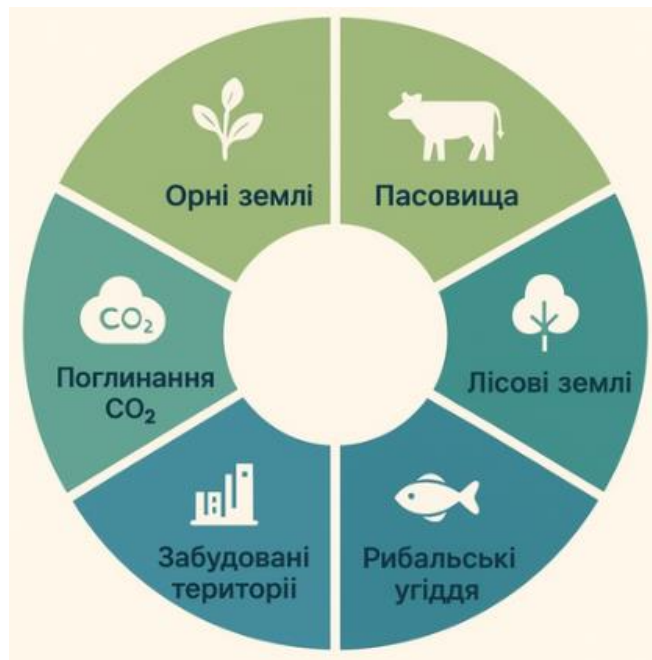



Рис. 1. Основні категорії територій, які входять складу екологічного сліду
 Інформацію про можливі межі оцінювання екологічного сліду зведено у таблицю 1.

Таблиця 1. Межі оцінювання екологічного сліду

Умовне позначення	Назва	Опис
	Глобальні	Оцінка здійснюється для людства в цілому, що дозволяє визначити загальний “екологічний борг” планети. Використовується для глобальних порівнянь: біологічна ємність планети – людський слід
	Національні	Оцінюють екологічний слід країни порівняно з її біологічною ємністю. Дозволяє виявляти країни з надмірним споживанням ресурсів, що перевищує власні природні можливості. Дані використовуються для національних політик сталого розвитку та інтегруються в звітність урядів.
	Регіональні	Оцінюють екологічний слід міста, області або регіонів країни. Важливо для міського планування, управління водними та енергетичними ресурсами, визначення зон із високим навантаженням на екосистеми.
	Корпоративні	Екологічний слід підприємства визначають на основі корпоративних стандартів звітності. Мета: оцінка ресурсоефективності, вплив на довкілля та інтеграція у стратегії корпоративної сталості. Для деревообробної промисловості це

		включає: споживання деревини та матеріалів, енергетичний слід, відходи та викиди CO ₂ , локальні екологічні ризики.
	Продуктові	Екологічний слід конкретного продукту або послуги визначається від виробництва сировини до утилізації (cradle-to-grave) або від виробництва до споживання (cradle-to-gate).

1.1.3. Переваги та обмеження методології екологічного сліду

Методологія екологічного сліду є одним з найбільш відомих інструментів оцінки антропогенного впливу на навколишнє середовище. Її цінність полягає у здатності перетворювати комплексні екологічні процеси на один інтегральний показник, зрозумілий для широкого кола користувачів – від громадськості до урядових структур. Однак екологічний слід має як значні переваги, так і певні методологічні обмеження, що формує “замкнений цикл” оцінки: від простоти – до втрат деталізації, від масштабності – до специфічних недоліків [10, 11, 12].

Переваги методології екологічного сліду:

1. Інтегральність. Екологічний слід об’єднує різні типи впливу людини на довкілля – використання земель, водних ресурсів, лісів, енергетики, поглинання CO₂ у єдиний показник, вимірний у глобальних гектарах. Це у свою чергу дозволяє аналізувати комплексну картину екологічного навантаження, порівнювати різні види споживання ресурсів в одному вимірі та робити узагальнені стратегічні висновки.

2. Порівнюваність результатів. Ключовою перевагою є використання глобального гектара – стандартизованої одиниці, що враховує продуктивність земель різних типів. Це забезпечує можливість коректних порівнянь між різними державами, аналіз екологічної ефективності регіонів та можливість зіставляти дані різних підприємств та секторів.

3. Комунікаційна прозорість. На відміну від складних індексів та багатовимірних моделей, екологічний слід легко інтерпретується: “скільки біологічно продуктивної площі потрібно для забезпечення споживання та поглинання викидів?” Завдяки цьому показник зрозумілий не лише науковцям, а й владі, бізнесу, громадськості; легко використовується у

публічній комунікації, медіа, освітніх програмах; дозволяє наочно демонструвати масштаби екологічного перевантаження.

4. Політична та стратегічна застосовуваність. Екологічний слід активно використовується WWF (Living Planet Report), ООН (індикатори сталого розвитку), ЄС (планування ресурсоефективності та циркулярної економіки), національними урядами при формуванні політики сталого розвитку. Все це робить екологічний слід практичним інструментом прийняття рішень, а не лише академічною моделлю.

5. Виявлення дефіциту біологічної ємності. Методологія дозволяє фіксувати момент, коли попит на ресурси перевищує здатність екосистем їх відновлювати. Це надзвичайно важливо для визначення “дня екологічного боргу” (Earth Overshoot Day); оцінки екологічної стійкості країни, регіону або підприємства; формування політики щодо зменшення споживання ресурсів та викидів.

Обмеження методології екологічного сліду:

1. Спрощення складних екологічних процесів. Екологічний слід не враховує токсичність речовин, деградацію ґрунтів, втрату біорізноманіття, локальні екологічні ризики. Це робить його менш точним порівняно з LCA.

2. Пріоритет CO₂ над іншими видами впливу. Більша частка екологічного сліду – це вуглецевий слід, тому інші впливи “маскуються” за викидами CO₂.

3. Недостатнє охоплення водних та азотних процесів. Екологічний слід не здатний повноцінно відображати водний стрес (на відміну від Water Footprint) та азотні і фосфорні цикли (важливо для агросектору).

4. Регіональна нерівномірність біологічної ємності. Екологічний слід припускає усереднення продуктивності екосистем, що може не відображати реальної різниці між регіонами.

Таким чином, екологічний слід формує замкнену логічну модель, де переваги – це простота, інтегральність, політична застосовність, а обмеження – це втрата деталізації, залежність від усереднення і обмежена точність.

1.2. Специфіка деревообробної галузі та передумови оцінки екологічного сліду підприємств

Деревообробна промисловість є важливою складовою лісового сектору економіки. Галузь включає комплекс виробничих процесів від первинної обробки деревини до виробництва продукції з високою доданою вартістю: меблеві вироби, столярно-будівельні вироби, конструкційні елементи та дерев'яні будинки, плитних матеріалів. Підвищена ресурсозалежність і багатоетапність технологій створюють потребу у системному управлінні

екологічними аспектами виробництва та оцінці екологічного сліду як окремих видів продукції так і підприємства в цілому.

1.2.1. Загальна характеристика деревообробної галузі України

Деревообробна промисловість України є частиною лісопромислового комплексу, що включає лісове господарство, лісозаготівлю, деревообробку, целюлозно-паперову та лісохімічну промисловість. Вона охоплює підприємства, які здійснюють механічну та хіміко-механічну обробку деревини, виготовлення будівельних матеріалів, меблів, столярних виробів, дерев'яних конструкцій.

Станом на 2024 рік у галузі працювало понад 26 тисяч компаній, з яких понад 11800 – у меблевому секторі. Галузь забезпечує близько 3,6% загального обсягу промислової продукції країни, а її внесок у податкові надходження у 2025 році сягнув 17,7% від зведеного бюджету за 10 місяців, що свідчить про її стратегічну важливість для економіки. У структурі експорту України продукція деревообробки завжди має позитивне сальдо: у 2024 році експорт виробів з деревини та паперу склав близько 1,4 млрд дол. США у той час, коли імпорт становив лише близько 217,1 млн дол. США [13].

Структурно деревообробна галузь поділяється на такі основні сегменти:

- **Лісопиляння** (лісопилне виробництво) є базовою ланкою деревообробної галузі, що виготовлення пиломатеріалів шляхом розкрою круглих лісоматеріалів на сортименти із заданими характеристиками. Основна сировина – хвойні породи (сосна та смерека), а також твердолистяні (дуб, бук, ясен).
- **Виробництво клеєних матеріалів** охоплює виготовлення фанери, стружкових плит (СП), деревоволокнистих плит (MDF, HDF), OSB, клеєного бруса. Ці матеріали є основою для меблевої, будівельної та столярної промисловості. За період з 2011 по 2020 рік виробництво фанери залишалося стабільним – 170–180 тис. м³ на рік, а виробництво СП зменшилося з 2,7 млн м³ до 2,2 млн м³.
- **Виробництво готових виробів з деревини** охоплює широкий спектр продукції – від столярно-будівельних виробів (вікна, двері, сходи, підлогові покриття) до виробництва меблів та дерев'яного домобудівництва. Цей сегмент є найбільш диверсифікованим і має високу додану вартість.

Кожен із цих сегментів має власну специфіку, регіональну концентрацію, технологічні особливості та експортні орієнтації.

Війна значним чином вплинула на лісовий сектор і деревообробну галузь зокрема. По-перше, бойові дії і окупація призвели до значних втрат лісових ресурсів: у результаті лісових пожеж на площі близько 300 тис. га. Було знищено близько 83 млн м³ деревини, а також близько 20 % українських лісів є недоступними для ведення лісогосподарської діяльності через окупацію або

замінування [13]. По-друге, багато лісозаготівельних і деревообробних підприємств були зруйновані або змушені припинити діяльність. По-третє, попри різке падіння внутрішнього попиту на деревину у перший рік війни, до 2024 року він майже відновився: обсяг споживання досяг майже довоєнним показникам у 2018–2021 рр. Водночас обсяги заготівлі істотно зменшилися через окупацію частини лісгоспів, проблеми з логістикою та замінування лісових територій [14].

Попри виклики війни, перспективи деревообробної галузі України оцінюють позитивно. По-перше, країна володіє значним нереалізованим потенціалом: приріст запасів деревини ≈ 35 млн м³ на рік і велика площа лісів (в тому числі сертифіковані під FSC) створюють ресурсну базу для розвитку. По-друге, масштабне відновлення зруйнованого житлового фонду потребує величезних обсягів деревини та меблів – потреби оцінюються у 83,7 млрд дол. США у період 2025–2035 років [13]. Це означає зростаючий внутрішній попит на продукцію деревообробної та меблевої промисловості. Крім того, посилення інтеграції з ЄС і розвиток європейських стандартів (включаючи заборону експорту необробленої деревини) стимулюють модернізацію підприємств та переходу до продукції з високою доданою вартістю.

Таким чином, за умови стабілізації безпекової ситуації та здійснення державної підтримки галузі (усунення логістичних бар'єрів, інвестиції у лісокультурні проекти і переробку), деревообробний сектор України має реальні шанси на поступове зростання і відновлення до довоєнних обсягів виробництва.

1.2.2. Екологічні виклики та ризики деревообробної галузі

Специфіка деревообробної промисловості формується поєднанням технологічних, сировинних і екологічних чинників, які прямо впливають на масштаб та структуру екологічного сліду підприємств. Екологічні аспекти виникають на всіх етапах ланцюга створення доданої вартості – від заготівлі деревини до виготовлення кінцевих виробів та утилізації відходів.

Деревообробна галузь використовує відновлювану сировину, однак екологічна стійкість ресурсної бази залежить від дотримання принципів сталого лісокористування. Уже на етапі заготівлі формується значна частина екологічного сліду підприємства, оскільки мають місце такі впливи [15]:

- **Ерозія та ущільнення ґрунту.** Через відсутність деревного покриву ґрунт стає схильним до ерозії. Машини, що використовуються на лісовому ґрунті, можуть його ущільнювати, що погіршує умови для “підземного” життя та знижує здатність рослин проникати корінням у ґрунт.
- **Втрата та фрагментація середовища проживання.** Заготівля деревини може призвести до втрати біорізноманіття шляхом знищення,

порушення або фрагментації середовищ існування, або безпосереднього впливу на види тварин. Це особливо актуально при розчищенні великих ділянок лісу, залишаючи землю голою та позбавленою складних рослинних структур, на які покладаються багато видів для притулку, їжі та розмноження.

- **Порушення водного циклу.** Деревина та ліси регулюють водний цикл поглинаючи та вивільняючи воду через коріння та листя. Їхня відсутність може призвести до серйозних наслідків через нестачу утримання води та збільшення стоку, що спричиняє повені, ерозію та посуху.

- **Вплив місцеві громади.** Багато місцевих громад залежать від лісів для свого існування, культурних практик та ресурсів. Нераціональна заготівля деревини може порушити спосіб життя цих громад та призвести до конфліктів щодо землі та ресурсів.

Виробництво пиломатеріалів та плитних матеріалів є енергоємним процесом, що безпосередньо впливає на довкілля. Рівень споживання енергії залежить від типу продукції та технології, проте ключовими споживачами є процеси розпилювання та сушіння деревини. При цьому обсяги викидів парникових газів є ключовим показником екологічного впливу виробництва. Вони значно варіюються залежно від продукту, регіону та використовуваних технологій. Основні джерела викидів – це спалювання викопного палива для енергетичних потреб та використання допоміжних матеріалів, таких як клеї та фарби. Детальний аналіз джерел виявив, що основними джерелами викидів, окрім споживання електроенергії з мережі, є допоміжні хімічні компоненти. Аналіз даних з японського дослідження показує, що на клеї може припадати до 27% від загального обсягу викидів парникових газів при виготовленні фанери [16]. Це підкреслює, що допоміжні хімічні компоненти можуть мати співмірний вплив з енергоспоживанням і є критично важливою сферою для екологічної оптимізації.

Окрім енергоспоживання та викидів в атмосферу, створюються ризики хімічного забруднення води та ґрунту, а також утворення відходів. Стічні води формуються переважно зі стоків з майданчиків для зберігання колод. Ці стоки можуть містити органічні речовини. Під час виробництва утворюється значна кількість твердих відходів, таких як кора, обрізки та тирса. Якщо ці відходи не повертають назад у виробничий чи технологічний процес виготовлення продукції, вони можуть потенційно становити дуже серйозну загрозу довкіллю. Ще одним екологічним викликом виробничих процесів, особливо під час гарячого пресування плит, є виділення формальдегіду та інших летючих органічних сполук.

Виробництво готових виробів з деревини є енергоємним процесом, екологічний слід якого виходить далеко за межі виробничого цеху. Від

сушіння деревини до транспортування готової продукції споживається значна кількість енергії, що призводить до викидів парникових газів. Транспортування є одним з ключових джерел екологічного навантаження в життєвому циклі дерев'яних виробів. Перевезення пиломатеріалів та плитних матеріалів до виробничих підприємств і, нарешті, готової продукції до кінцевих споживачів потребує значної кількості викопного палива. Наслідками транспортної логістики є:

- **Викиди парникових газів.** Дорожній транспорт, що використовується для перевезення деревини, відповідає майже за половину загальних викидів парникових газів у ланцюгу постачання.
- **Забруднення довкілля.** Викиди сполук азоту та фосфору від роботи двигунів внутрішнього згоряння спричиняють закислення ґрунтів та евтрофікацію водойм.
- **Інші впливи.** Транспортування також створює шумове забруднення та має негативний вплив на земельні й водні ресурси вздовж транспортних маршрутів.

Технологічний процес виготовлення готових виробів з деревини та деревинних матеріалів потребує споживання великої кількості електроенергії. Згідно з наявними даними, саме технологічні процеси є домінуючим у формуванні вуглецевого сліду галузі: на викиди, пов'язані з виробництвом, припадає 55% усіх викидів парникових.

Для покращення властивостей та довговічності виробів з деревини, широко застосовують різноманітні хімічні речовини – клеї, лакофарбові матеріали та консерванти. Хоча вони виконують важливі функції, їх використання та подальша утилізація створюють значні екологічні ризики [17]. Найбільш поширеними в деревообробці є фенолформальдегідні та карбамідоформальдегідні клеї, проте незважаючи на їхню ефективність, вони можуть виділяти небезпечні речовини, зокрема формальдегід. Навіть затверджувачі, що використовують у клейових системах, можуть викликати подразнення або пошкодження шкіри, очей, легенів та печінки при контакті чи вдиханні. Лакофарбові матеріали, які застосовують для формування захисно-декоративних покриттів, що захищають деревину від вологи, механічних пошкоджень та біологічного руйнування, зазвичай містять леткі органічні сполуки. Ці сполуки випаровуються в атмосферу під час нанесення та висихання покриттів і становлять серйозну екологічну проблему, оскільки сприяють забрудненню повітря та становлять ризики для здоров'я людини. Основна ж екологічна загроза, яка пов'язана з консервантами, виникає на етапі утилізації. Деревина з будівельних майданчиків, оброблена хімічними засобами для захисту від гниття та шкідників, може все ще містити високий рівень токсичних речовин. Їх потрапляння у ґрунти та воду створює довгострокову загрозу для екосистем.

Окрім того існує великий екологічний ризик, який пов'язаний із відходами, що формуються під час перетворення матеріалів у готові деталі та складальні одиниці. Дуже часто, в залежності від оброблювального матеріалу, об'єм відходів може перевищувати половину об'єму вихідного матеріалу – це вражаючий показник. Одним з найпоширеніших способів використання відходів є їх спалювання для отримання теплової енергії, однак цей процес також пов'язаний із серйозними екологічними ризиками, ключовим з яких є викиди диму та забруднюючих речовин в атмосферу.

Таким чином, хоча деревина має значні переваги як відновлюваний ресурс, що зберігає вуглець, її технологічний процес виготовлення виробів з неї створює серйозні екологічні виклики. Для об'єктивної оцінки необхідно відмовитися від спрощених "зелених" ярликів на користь кількісного аналізу.

1.2.3. Європейські підходи та вимоги до сталості деревообробки

Сталість у лісопереробці/деревообробці є ключовим аспектом європейської політики, спрямованої на збереження лісів, зменшення незаконної заготівлі деревини та забезпечення екологічної відповідальності. Основні інструменти включають добровільні схеми сертифікації, такі як FSC (Forest Stewardship Council) та PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification), а також обов'язкові регуляції, як EU Timber Regulation (EUTR). Ці підходи регулюють заготівлю, переробку та торгівлю деревиною на усіх ланках виробничого процесу, сприяючи стійкому розвитку галузі. У Європі вони допомагають боротися з деградацією лісів і підтримують економіку, забезпечуючи відповідність міжнародним стандартам.

FSC є піонером у сертифікації лісів, встановлюючи стандарти відповідального лісокористування. Сертифікація охоплює лісогосподарське управління та ланцюг постачань, гарантуючи, що деревина походить з екологічно стійких джерел. Вимоги включають збереження біорізноманіття, захист прав місцевих громад та економічну життєздатність. У Європі FSC тісно пов'язаний з EUDR (Regulation on Deforestation), допомагаючи компаніям демонструвати законність і сталість деревини. Стандарти FSC більш жорсткі, ніж у інших схемах, і передбачають незалежний аудит для підтвердження відповідності [18].

PEFC є міжнародною системою, що підтримує національні стандарти сталого лісокористування. У Європі вона охоплює вимоги до біорізноманіття, здоров'я лісів та соціальних аспектів, таких як права працівників. Сертифікація включає ланцюг постачань і дозволяє використовувати місцеві норми, роблячи її доступнішою для малих підприємств. PEFC також інтегрується з EUDR, забезпечуючи відповідність критеріям стійкості та зменшення викидів парникових газів. Оновлений стандарт PEFC ST 1003:2024 посилює вимоги до біорізноманіття та захисту ґрунтів [19].

EUTR (Regulation (EU) No 995/2010) є обов'язковим законодавством ЄС, що забороняє ввезення незаконної деревини та виробів з неї на ринок ЄС. Вимоги включають систему належної перевірки (Due Diligence System), де імпортери повинні оцінювати ризики та забезпечувати відстежуваність деревини. З 2023 року EUTR еволюціонує в EUDR (Regulation on Deforestation), що розширює вимоги до стійкості, забороняючи продукти, пов'язані з вирубкою лісів [20].

Європейські підходи до сталості лісопереробки поєднують добровільні (FSC, PEFC) та обов'язкові (EUTR/EUDR) інструменти для забезпечення екологічної відповідальності. Вони сприяють збереженню лісів, зменшенню незаконної торгівлі та стійкому розвитку галузі. Для підприємств важливо інтегрувати ці стандарти для відповідності з EU регуляціями та ринковими вимогами.

1.3. Теоретичні підходи до оцінки екологічної ефективності деревообробних підприємств

Сутність екологічної ефективності полягає у досягненні максимального економічного результату при мінімальному негативному впливі на довкілля та оптимальному використанні природних ресурсів (LCA, матеріальних потоків, екологічного сліду тощо). Оцінювання екологічної ефективності деревообробних підприємств ґрунтується на міждисциплінарних теоретичних підходах, які включають екологічну економіку, управління ресурсами, екодизайн, концепції сталого розвитку та циркулярної економіки. У деревообробній галузі оцінка екологічної ефективності підприємства є особливо актуальною через залежність виробничих процесів від лісового ресурсу, енергоємність технологій та утворення значного обсягу відходів деревини.

1.3.1. Концепція циркулярної економіки як методологічна основа оцінювання

Циркулярна економіка (Circular Economy) – одна з найважливіших парадигм, що визначає підхід до оцінювання екологічної ефективності промислових підприємств у ЄС та світі. На відміну від лінійної моделі “взяти – виробити – викинути”, циркулярна модель орієнтується на продовження життєвого циклу матеріалів, повторне використання продуктів, мінімізацію відходів та відновлення ресурсів (рис. 2).

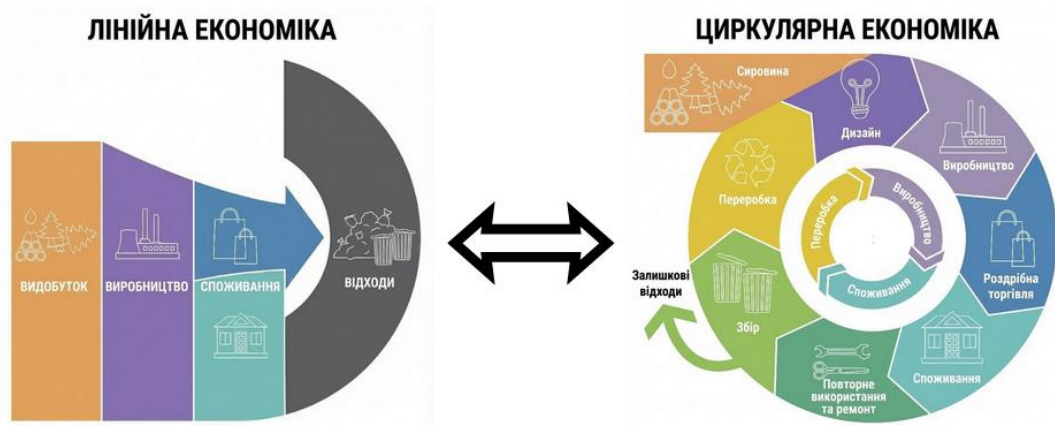


Рис. 2. Моделі лінійної та циркулярної економіки деревообробної галузі
Для деревообробної галузі ключовими елементами циркулярної економіки є:

- максимальне використання деревної сировини шляхом глибокої переробки;
- створення замкнених матеріальних потоків, коли побічні продукти стають новою сировиною;
- продовження життєвого циклу деревинних виробів через ремонтпридатність, повторне застосування, рекуперацію;
- повернення біогенних відходів у природний цикл через компостування або енергетичне використання.

У практиці оцінювання екологічної ефективності циркулярний підхід реалізується через низку методів: аналіз матеріальних потоків (MFA), оцінка життєвого циклу (LCA), індикатори circularity rate, матеріальних втрат, коефіцієнти повторного використання деревини, частки переробленої сировини у виробництві. У ЄС відповідні критерії інтегровані в політику EU Circular Economy Action Plan [21].

1.3.2. Ресурсоефективність як ключовий критерій екологічної ефективності

Ресурсоефективність (Resource Efficiency) відображає здатність підприємства виготовляти продукцію з мінімальними витратами природних матеріалів, енергії та води. Для деревообробних підприємств це охоплює:

- коефіцієнт виходу готової продукції з 1 м³ круглої деревини;
- ефективність процесу сушіння деревини, що суттєво впливає на енергоспоживання;
- скорочення втрат при виконанні технологічних операцій на етапах розкрою та механічної обробки;
- оптимізацію логістики.

У європейській практиці управління ресурсоефективністю базується на комплексі аналітичних інструментів, які еволюціонували від окремих показників до інтегрованих систем оцінки. Базовими індикаторами є:

- Material Efficiency Indicators (MEI);
- Energy Efficiency Indicators (EEI);
- Water Footprint Assessment (WFA);
- Material Intensity per Service Unit (MIPS).

Водночас, у рамках реалізації “Європейського зеленого курсу”, ці інструменти сьогодні інтегруються в єдину методологію Оцінки життєвого циклу (Life Cycle Assessment – LCA) та стандарт Product Environmental Footprint (Екологічний слід продукту), що дозволяє комплексно оцінити вплив продукту на довкілля. Для підприємств деревообробки ресурсоефективність є індикатором конкурентоспроможності, оскільки вартість деревної сировини та енергії має тенденцію до зростання, а європейське законодавство (зокрема, EUDR) стимулює максимально раціональне використання лісових ресурсів.

1.3.3. Підходи “Zero waste” у контексті відходів деревини

Концепція “Zero waste” (нуль відходів) для сучасної промисловості базується на принципі максимально ефективного використання ресурсів і повного виключення неперероблюваних відходів із виробничого циклу. У деревообробній галузі це особливо актуально, оскільки близько 30 - 50 % первинної деревини та деревинних матеріалів традиційно у результаті механічної обробки перетворюється на відходи.

Країни з розвинутою деревообробкою, як Німеччина та Австрія, практикують повну утилізацію тирси та стружки для енергетичних цілей та виробництва композитних матеріалів. В використання відходів деревообробки наближається до 95% [22]. В Україні аналогічні практики ще розвиваються, але провідні підприємства вже застосовують системи переробки відходів на пелети та СП.

Ключові принципи “Zero waste” для деревообробних підприємств включають:

- **Використання відходів як сировини.** Тирса, стружка і обрізки деревини можуть використовуватися для виробництва СП, MDF, HDF. Частина відходів може бути використана для виробництва меблевих наповнювачів або ізоляційних матеріалів. Реалізація використання відходів дозволяє значно зменшити потребу у деревині та знизити екологічний слід виробництва.

- **Перетворення відходів у біопаливо та енергетичні ресурси.** Відходи, які неможливо використати для виробництві конструкційних матеріалів, можна використати для виготовлення паливної продукції (пелети та брикети) або безпосередньо використовувати у системах когенерації для отримання теплової та електричної енергії. Це забезпечує заміщення викопного палива та залежність від невідновлюваних ресурсів.

Використання побічних продуктів у виробництві композитних матеріалів.

- **Оптимізація технологічних процесів.** Планування розкрою та обробки деревини із мінімізацією обрізків і втрат за допомогою автоматизованих систем контролю та впровадження ресурсозберігаючих технологій сушіння.

- **Логістика та планування виробництва.** Використання “just-in-time” підходів для закупівлі і використання сировини та провадження внутрішньозаводських циклів переробки, коли відходи одного процесу автоматично стають сировиною для іншого.

Для оцінки ефективності заходів для досягнення цілей концепції “Zero waste” використовують такі індикатори [23]:

- **Частка відходів, що повертаються в цикл виробництва.** Даний індикатор визначає, який обсяг деревини або побічної продукції повторно використовується у виробництві.

- **Коефіцієнт утилізації деревних решток.** Індикатор показує ефективність перетворення відходів на вторинну продукцію.

- **Обсяг заміщення первинної сировини переробленою.** Індикатор визначає частку вторинної деревини у загальному матеріалопотоці підприємства.

- **Енергетична цінність відходів.** Індикатор показує, яку кількість енергії можна отримати при перетворенні відходів на біопаливо.

- **Вуглецевий слід вторинної продукції.** Індикатор дозволяє оцінити скорочення викидів CO₂ за рахунок повторного використання або переробки деревних відходів.

1.3.4. Принципи екодизайну виробів з деревини та деревних матеріалів

Екодизайн (Eco-design) – це системний інженерний та управлінський підхід, інтегрований у процес розробки продукції, метою якого є покращення екологічних характеристик виробу протягом усього його життєвого циклу. У контексті циркулярної економіки екодизайн фокусується не лише на мінімізації негативного впливу (викидів, відходів), а й на забезпеченні ремонтпридатності, довговічності та можливості повної переробки (рециклінгу) матеріалів після завершення експлуатації [24]. У деревообробній галузі екодизайн стає ключовим інструментом підвищення екологічної ефективності підприємств, зменшення відходів та підвищення конкурентоспроможності продукції на ринку.

До ключових принципів екодизайну виробів з деревини та деревних матеріалів відносяться такі:

- **Використання сталих та сертифікованих лісових ресурсів (FSC, PEFC).** Сертифікована деревина гарантує легальне походження,

стале управління лісами та збереження біорізноманіття. Використання сертифікованих матеріалів підвищує екологічну привабливість продукції на європейському та світовому ринку.

- **Довговічність та ремонтпридатність виробів.** Проектування виробів із можливістю ремонту та розбирання зменшує потребу в нових ресурсах. Застосування модульного підходу дозволяє замінювати лише зношені елементи, а не весь виріб.

- **Мінімізація використання токсичних лакофарбових матеріалів.** Використання екологічно чистих фарб, лаків, клеїв з низьким вмістом летких органічних сполук сприяє покращенню умов праці на виробництві та зменшенню негативного впливу на довкілля під час експлуатації та утилізації.

- **Зниження матеріаломісткості виробів.** Оптимізація конструкції та товщини елементів без втрати міцності та функціональності. Використання CAD/CAM технологій дозволяє максимально ефективно використовувати деревину та зменшити обсяг відходів.

- **Проектування виробів для повторного використання та переробки.** Врахування можливості розбирання та утилізації компонентів. Використання стандартних з'єднань та матеріалів, що легко переробляються, підвищує циклічність матеріалів у виробництві.

- **Використання вживаної деревини.** Інтеграція переробленої деревини або деревних відходів у виробничий процес зменшує залежність від первинних лісових ресурсів і сприяє зменшенню екологічного сліду продукції.

Методи оцінки екологічного дизайну виробів з деревини є такими:

- **Екологічний профіль продукту (EPD).** Містить дані про вплив продукту на довкілля протягом усього життєвого циклу та забезпечує прозорість інформації для споживачів та корпоративної звітності.

- **Оцінка життєвого циклу (LCA).** Аналіз впливу на довкілля на всіх етапах: заготівля, виробництво, транспортування, експлуатація, утилізація, дозволяє визначити “гарячі точки” ресурсоспоживання та викидів і знайти шляхи оптимізації.

- **Індикатори CO₂-footprint та біогенного вуглецю.** Вимірювання вуглецевого сліду продукції, включаючи накопичений у деревині біогенний вуглець, дозволяє оцінити внесок виробів у зменшення викидів парникових газів.

- **Індекс повторної утилізації (Recyclability Index).** Визначає частку компонентів виробу, придатних для повторного використання або переробки та сприяє інтеграції продукції у циркулярну економіку.

Впровадження екодизайну у виробництво виробів з деревини та деревних матеріалів дозволяє не лише зменшити негативний вплив на довкілля, а й

підвищити економічну ефективність підприємства, створити конкурентну продукцію на міжнародному ринку та забезпечити відповідність європейським нормам та регламенту Ecodesign for Sustainable Products Regulation (Directive EC 2024/1781) [25].

1.4. Система нормативного забезпечення оцінки екологічного сліду

Надійна оцінка екологічного сліду підприємства чи продукту повинна спиратися на чітку систему нормативно-правових актів і стандартів – як національних, так і міжнародних. Оцінка екологічного сліду має корелювати з існуючими вимогами з охорони довкілля, лісокористування, контролю викидів і управління відходами. Нормативні акти визначають: перелік обов'язкових показників (емісії в повітря, скиди у воду, утворення відходів, площа вирубки/відновлення лісів тощо), процедури звітності та вимоги до оцінки впливу на довкілля. Для деревообробних підприємств це означає, що методика підрахунку екологічного сліду повинна інтегрувати дані із дозвільних процедур, реєстрів викидів, лісогосподарської документації та сертифікацій ланцюга постачання.

1.4.1. Національне законодавство України (ключові акти та їх роль)

Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища” – закладає загальні права, обов'язки та принципи державної екологічної політики; необхідний для визначення правового контексту екологічної звітності.

Закон “Про охорону атмосферного повітря” – встановлює вимоги до моніторингу і обмежень шкідливих викидів в атмосферу; джерело норм для розрахунку вуглецевого та парникового компонентів екологічного сліду.

Закон України “Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів” – встановлює обов'язкову систему обліку викидів для підприємств, що є значними джерелами парникових газів, із чіткими вимогами до методик, звітності та незалежної верифікації. Він створює фундамент для національної системи MRV, необхідної для інтеграції України до кліматичної політики ЄС та впровадження механізмів, сумісних із європейськими регуляціями.

Лісовий кодекс України – регулює правовідносини у сфері лісокористування (вирубки, відтворення, охорона лісів), необхідний для врахування впливу ланцюга постачання деревини і зміни покриття земель.

Закон “Про оцінку впливу на довкілля” – визначає процедури ОВД, обов'язкові вимоги до оцінки ризиків і впливів масштабних виробничих проєктів; результати ОВД часто використовують як первинні дані для оцінки екологічного сліду.

Закон України “Про управління відходами” – імплементує європейську п’ятиступеневу ієрархію поводження з відходами. Визначає правила класифікації, обліку та отримання статусу “побічного продукту”, що є необхідним для реалізації стратегії Zero Waste.

Закон України “Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення” – впроваджує систему інтегрованих довкіллевих дозволів на основі Найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ/ВАТ). Це змінює підхід до оцінки впливу великих деревообробних підприємств, переходячи від контролю “на трубі” до контролю ефективності всього циклу виробництва.

При розрахунку екологічного сліду необхідно спиратися на офіційні реєстри викидів (MRV), дозволи на спецводокористування та викиди, інтегровані довкіллеві дозволи та звіти про управління відходами, забезпечуючи чітку документацію джерел даних та їх відповідність національним класифікаторам.

1.4.2. Вимоги Європейського Союзу і міжнародні регламенти

Європейський “European Green Deal” встановлює політичну ціль досягнення кліматичної нейтральності до 2050 р., прискорює регулювання щодо енерго- та ресурсоефективності, відновлення природи і боротьби з вирубкою лісів; є орієнтиром для трансформації промислових вимог і нормативів, що впливає на методи звітування й показники екологічного сліду.

Регламент (EU) 2018/841 (LULUCF) та його зміни (наприклад, Regulation (EU) 2023/839) регламентують включення викидів і поглинань парникових газів внаслідок земельного використання, зміни у землекористуванні та лісах; важливі для розрахунків вуглецевої компоненти екологічного сліду, зокрема коли виробництво пов’язане зі зміною покриву земель чи управлінням лісами.

Регламент (EU) 2023/1115 – EUDR (Deforestation Regulation) встановлює вимоги до розміщення на ринку ЄС товарів, пов’язаних з вирубкою чи деградацією лісів (включно з деревиною та товарами з деревини). Для експортерів і трейдерів деревини та виробів з деревини з України це означає необхідність надання доказів відсутності вирубки/деградації в походженні сировини та суворої простежуваності ланцюга постачання. EUDR прямо впливає на компоненти оцінки екологічного сліду, пов’язані з втратою біомаси і вуглецевими втратами.

Регламент (EU) 2024/1781 (Ecodesign for Sustainable Products Regulation) встановлює жорсткі вимоги до екологічності товарів, що вводяться в обіг на ринку ЄС. Для деревообробної галузі він запроваджує обов’язкові критерії довговічності, ремонтпридатності, вмісту перероблених матеріалів, а також вимогу створення Цифрового паспорта продукту (Digital Product Passport), що робить прозорість екологічного сліду юридичною умовою доступу на ринок.

Директива (EU) 2022/2464 (Corporate Sustainability Reporting Directive) впроваджує нові європейські стандарти звітності зі сталого розвитку (ESRS). Вона вимагає від компаній (та їхніх постачальників у ланцюгу вартості) розкривати дані не лише про власні викиди, а й про вплив на біорізноманіття та екосистеми, що переводить розрахунок екологічного сліду з розряду добровільних ініціатив у площину обов'язкової фінансової та нефінансової звітності.

При розрахунку екологічного сліду експортоорієнтованих продуктів українським підприємствам необхідно інтегрувати дані про походження сировини (відповідно до EUDR), враховувати поглинальну здатність лісів (методологія LULUCF) та готувати інформаційну базу для створення Цифрового паспорту продукту (ESPR). Звітність повинна формуватися з урахуванням стандартів CSRD, що забезпечить верифікованість екологічних заяв на ринку ЄС.

1.5. Методи оцінювання екологічного сліду виробничих підприємств

Оцінювання екологічного сліду підприємства спирається на комплекс наукових підходів, стандартизованих методик і міжнародних протоколів, які дають змогу вимірювати вплив підприємства на довкілля у кількісних показниках. Для деревообробної промисловості, як однієї з найбільш ресурсозалежних галузей, ці підходи мають критичне значення, адже дозволяють оцінити навантаження на біоресурси, викиди парникових газів, утворення відходів, використання енергії та води. У цьому розділі представлено основні підходи, що широко визнаються у міжнародній практиці.

1.5.1. Метод Global Footprint Network (Ecological Footprint)

Методологія Ecological Footprint (Екологічний слід), розроблена Global Footprint Network (GFN), є одним із найбільш відомих глобальних індикаторів оцінювання антропогенного тиску на природні ресурси [26]. Її основою є порівняння обсягів споживання біологічно продуктивних ресурсів та утворення відходів з екологічною спроможністю планети або конкретної території забезпечувати ці потреби. Результати вимірюються у глобальних гектарах – стандартизованій одиниці, що враховує продуктивність різних типів екосистем.

На рівні підприємства екологічний слід показує площу біологічно продуктивних земель і водних ресурсів, необхідних для отримання використаних матеріалів, виробництва енергії, забезпечення логістики та поглинання викидів. Це дає змогу оцінити інтенсивність використання

природних ресурсів та визначити можливості для підвищення ефективності виробництва.

Ключовими елементами методології Ecological Footprint є такі: біологічна ємність, екологічний слід виробництва та вуглецевий компонент.

Біологічна ємність відображає здатність екосистем відновлювати біомасу, забезпечувати виробництво ресурсів і поглинати викиди, зокрема CO₂. Він оцінюється за такими параметрами: продуктивність сільськогосподарських, лісових і рибних угідь; природна швидкість регенерації ресурсів; ступінь антропогенного навантаження на територію. Біологічна ємність є базовим орієнтиром для оцінки того, чи перебуває діяльність підприємства в межах екологічної стійкості.

Екологічний слід виробництва (production footprint) визначає сумарний вплив діяльності підприємства на природні ресурси. Він охоплює: споживання енергії (електроенергії, природного газу, біомаси); використання матеріалів і сировини (деревини, хімічних компонентів, води); землекористування (вирубка лісу, зайняті площі під виробничі об'єкти); утворення відходів та їх подальше поводження; використання водних ресурсів. Усі ці компоненти переводяться у площу біологічно продуктивних угідь, необхідних для відтворення ресурсів та поглинання забруднення.

Вуглецевий компонент становить найбільшу частку екологічного сліду у промисловості – це площа лісів, яка потрібна для поглинання CO₂, що виникає внаслідок: спалювання енергоресурсів; транспортування та логістичних операцій; технологічних процесів виробництва; деградації деревини або відходів. Визначення цього компонента є важливим для деревообробних підприємств, де викиди від сушіння деревини, спалювання біомаси чи використання газу мають значний вплив на загальний слід.

Метод екологічного сліду дозволяє визначити ті виробничі процеси, які створюють найбільше навантаження на природні ресурси, та встановити пріоритети для декарбонізації, енергоефективності та оптимізації технологічних операцій. Він дає змогу моделювати альтернативні сценарії, наприклад:

- заміну енергоносіїв;
- перехід на циркулярні моделі використання ресурсів;
- впровадження відновлюваної енергії;
- зміну логістичних маршрутів.

Показник екологічного сліду є зрозумілим для широкої аудиторії, включно з органами влади, громадськістю та інвесторами. Він дозволяє порівнювати підприємства між собою, демонструвати рівень сталості виробництва, підвищувати екологічну прозорість компанії.

Попри значну наочність, екологічний слід має низку обмежень, які важливо враховувати при застосуванні на рівні підприємства:

- менша деталізація порівняно з LCA;
- методологія фокусує увагу переважно на ресурсному та вуглецевому навантаженні, але не охоплює:
 - токсичні викиди;
 - вплив хімічних забруднювачів;
 - шумове навантаження;
 - специфічні технологічні характеристики процесів.
- прощення біофізичних процесів

Екологічний слід ґрунтується на середніх глобальних коефіцієнтах продуктивності та поглинання, які не завжди відповідають місцевим умовам конкретної країни. Тому дуже часто необхідна адаптація до національних особливостей. Для визначення екологічного сліду діяльності підприємства у конкретній країні, необхідно враховувати такі показники: національні показники біологічної ємності, регіональні коефіцієнти поглинання CO₂, екторні дані про продуктивність лісів. Без такої адаптації результати можуть мати відхилення від фактичного впливу.

Загалом методологія Global Footprint Network є ефективним інструментом для загальної оцінки екологічного навантаження підприємства та комунікації показників сталого розвитку. Хоча цей підхід не забезпечує технічної глибини LCA, він дозволяє інтегрувати оцінку ресурсної ефективності у стратегічне планування виробництва та аналіз відповідності принципам сталого розвитку.

1.5.2. Стандарти серії ISO 14000 та їх застосування

Серія міжнародних стандартів ISO 14000 охоплює комплекс вимог і методичних рекомендацій, спрямованих на системне управління екологічними аспектами діяльності підприємства. Ці стандарти формують універсальну платформу для оцінки, моніторингу та підвищення екологічної ефективності у різних галузях промисловості. Для виробничих підприємств, що використовують значні обсяги сировини, енергії та природних ресурсів, впровадження стандартів ISO 14000 не лише мінімізує негативний вплив на довкілля, але й забезпечує конкурентні переваги на ринках ЄС, де екологічні критерії дедалі частіше стають обов'язковою умовою сертифікації продукції та участі у ланцюгах постачання.

У рамках серії ISO 14000 найбільш важливими для оцінки екологічного сліду є стандарти, пов'язані з екологічним менеджментом, вимірюванням екологічних показників, оцінкою життєвого циклу продукції та інвентаризацією викидів.

ISO 14001 визначає вимоги до створення, впровадження, підтримання та постійного вдосконалення системи екологічного менеджменту. Стандарт передбачає ідентифікацію всіх екологічних аспектів діяльності підприємства

– енергоспоживання, водокористування, викидів у повітря, утворення відходів, шумового впливу тощо.

Для виробничих підприємств стандарт забезпечує:

- інтеграцію екологічних процесів у загальну систему управління, включно з плануванням, ресурсним забезпеченням і ризик-менеджментом;
- системний моніторинг екологічних показників, що є основою для подальшого застосування методик LCA та GHG Protocol;
- підхід PDCA (plan–do–check–act), який гарантує постійне вдосконалення екологічних результатів;
- ідентифікацію ризиків та можливостей, пов'язаних з кліматичними та ресурсними обмеженнями.

Для деревообробних підприємств ISO 14001 є особливо важливим, оскільки охоплює такі процеси, як сушіння деревини, спалювання біомаси, утворення тирси та деревних відходів, використання лакофарбових матеріалів.

ISO 14004 доповнює вимоги ISO 14001 і містить практичні інструменти та методичні пояснення щодо створення ефективної екологічної системи. Він допомагає:

- оптимізувати процедури моніторингу;
- розробляти екологічні політики та програми підприємства;
- організовувати навчання персоналу;
- удосконалювати внутрішній аудит екологічної діяльності.

Фактично цей стандарт виступає методичним підґрунтям для практичного впровадження принципів ISO 14001.

ISO 14025 встановлює принципи та процедури для розробки екологічних декларацій III типу. Саме на основі ISO 14025 формуються кількісні екологічні паспорти продукції, які вимагаються європейськими партнерами для підтвердження прозорості ланцюга постачання та участі у зелених закупівлях.

ISO 14031 орієнтований на формування системи кількісних і якісних показників (KPI), які дозволяють об'єктивно оцінювати екологічну результативність підприємства. Стандарт пропонує:

- індикатори стану навколишнього природного середовища (наприклад, рівень забруднення повітря на території підприємства);
- індикатори операційної діяльності (споживання енергії на одиницю продукції, кількість небезпечних відходів);
- індикатори управління (наявність процедур, аудитів, програм зменшення впливів).

Для деревообробних підприємств ISO 14031 є основою для побудови показників енергоефективності процесів сушіння, частки перероблених відходів, рівня пилового забруднення тощо.

ISO 14040 та **ISO 14044** встановлюють методологічні принципи, вимоги та процедури проведення LCA:

- визначення мети та сфери дослідження;
- інвентаризація потоків матеріалів, енергії та викидів;
- оцінювання впливу на довкілля;
- інтерпретація та валідація результатів.

LCA є одним із найточніших інструментів оцінки екологічного сліду продукції й широко застосовується у деревообробній галузі для оцінки виробів з масиву, СП, MDF, клеєних конструкцій.

ISO 14067 деталізує вимоги до кількісного визначення вуглецевого сліду продукції. Він базується на принципах LCA, але фокусується виключно на категорії впливу “Зміна клімату”. Для деревообробного підприємства ISO 14067 є критично важливим інструментом для розрахунку викидів парникових газів на етапах лісозаготівлі, транспортування, сушіння та виробництва, а також для оцінки потенціалу депонування вуглецю у готовій продукції з деревини.

Використання системи стандартів ISO 14000 на підприємстві забезпечує низку стратегічних і операційних переваг:

- **Структуроване збирання екологічних даних:** ISO 14001 та ISO 14031 допомагають формувати єдину базу даних, необхідну для подальшого застосування LCA, розрахунків за GHG Protocol та екологічної звітності.
- **Відповідність вимогам ЄС та міжнародних ринків:** ISO 14000 є важливою складовою відповідності підприємства:
 - регламенту ЄС **CBAM** щодо імпортих вуглецевих товарів;
 - регламенту **EUDR 2023/1115** для продукції лісового походження;
 - принципам **EU Green Deal**, зокрема циркулярної економіки та кліматичної нейтральності.
- **Зменшення екологічних та регуляторних ризиків:** Впровадження стандартів знижує ймовірність порушень екологічного законодавства, штрафів, невідповідності вимогам екологічних аудитів та перевірок.
- **Підвищення ефективності виробництва:** Оптимізація ресурсів (енергії, води, матеріалів) безпосередньо зменшує витрати підприємства.
- **Покращення репутації та екологічної відповідальності:** Наявність сертифікації за ISO 14001 значно підвищує довіру споживачів, інвесторів та міжнародних партнерів.

1.5.3. LCA як комплексний підхід до оцінки впливу (Life Cycle Assessment)

Оцінка життєвого циклу (Life Cycle Assessment) – це науково обґрунтована методологія, спрямована на кількісне визначення всіх екологічних впливів, пов’язаних із продуктом, процесом або послугою

протягом усього їхнього життєвого циклу. LCA є міжнародно стандартизованою системою [27, 28] і широко застосовується для екологічного управління, стратегічного планування та екологічного маркування продукції. Цей підхід дозволяє підприємству отримати повну, системну картину екологічних навантажень, від заготівлі ресурсів до утилізації, враховуючи всі проміжні стадії виробництва, логістики та використання.

Основна ідея LCA полягає в тому, що жоден продукт чи процес неможливо оцінювати лише на певному етапі, вплив має розглядатися комплексно. Наприклад, продукція може мати низькі викиди під час використання, але бути ресурсомісткою або забруднювальною на етапі виробництва.

Ключові принципи методології LCA:

- орієнтація на повний життєвий цикл (*cradle-to-grave* / *cradle-to-gate* / *cradle-to-cradle*);
- порівнюваність та відтворюваність результатів через стандартизовані методики;
- врахування багатокритеріальних впливів, а не лише вуглецевого сліду;
- системний підхід із чітким визначенням меж і функціональної одиниці.

Етапи проведення LCA відповідно до ISO 14040–14044:

1. Визначення цілей та області дослідження. Від коректності визначення меж залежить точність результатів. На цьому етапі встановлюються:

- мета дослідження (порівняння продукції, виявлення “гарячих” точок, оптимізація виробництва, екологічне маркування);
- функціональна одиниця – основа для порівняння (наприклад, 1 м³ обрізної дошки);
- методологічні межі системи:
 - *cradle-to-gate* (від заготівлі до виходу з заводу);
 - *cradle-to-grave* (до кінця життєвого циклу);
 - *cradle-to-cradle* (враховуючи рециклінг).
- технологічні межі (які процеси включаються, а які ні).

2. Інвентаризація життєвого циклу (*Life Cycle Inventory*). Це найбільш трудомісткий етап. Він передбачає збір кількісних даних:

- використання сировини (деревина, хімічні компоненти, упаковка);
- енергія (електроенергія, газ, біомаса);
- вода;
- перевезення (тип транспорту, відстані, завантаження);
- утворення відходів (тирса, стружка, бракована продукція);

- викиди в атмосферу, воду, ґрунт (CO₂, ЛОС, пил).

При цьому дані можуть бути первинними (виміряні на підприємстві) та вторинними (з баз даних LCA: Ecoinvent, GaBi, ELCD).

3. Оцінка впливу життєвого циклу (Life Cycle Impact Assessment). На цьому етапі вимірюються екологічні впливи за категоріями, рекомендованими стандартами ISO. Основні категорії екологічних впливів:

- Зміна клімату (вуглецевий слід, CO₂ eq);
- Ацидизація (SO₂ eq) – утворення кислотних дощів;
- Евтрофікація (PO₄³⁻ eq) – надмірне збагачення водойм;
- Фотохімічне утворення озону;
- Токсичність для людини та екосистем;
- Використання води та земель;
- Вичерпання невідновних ресурсів (метали, копалини);
- Утворення твердих відходів.

4. Інтерпретація результатів включає:

- аналіз “гарячих” точок (процесів із найбільшим впливом);
- перевірку адекватності даних та припущень;
- сценарний аналіз (порівняння альтернатив);
- формування рекомендацій щодо зменшення впливу:
 - оптимізація енергоспоживання;
 - зниження втрат деревини;
 - впровадження циркулярних рішень;
 - використання відновлюваної енергії.

Цей етап забезпечує практичне значення результатів для управлінських рішень.

Переваги застосування LCA:

- Комплексність і наукова об’єктивність – одночасно враховує десятки видів впливів.
- Порівнюваність технологій та продуктів – дозволяє оцінювати альтернативи (породи деревини, методи сушіння, типи упаковки).
- Сумісність із вимогами ЄС – LCA лежить в основі екологічного маркування EPD (Environmental Product Declaration, Type III), будівельних стандартів (EN 15804, EN 15978), вимог Green Deal щодо сталих продуктів (ESPR / Ecodesign for Sustainable Products Regulation).
- Інструмент стратегічного управління – допомагає визначити шляхи декарбонізації та ресурсної ефективності.

Для підприємств деревообробної галузі LCA має критичне значення з кількох причин:

- **Врахування впливу лісозаготівлі:** метод дозволяє оцінити вуглецевий баланс деревини згідно зі стандартом EN 16485 (Round and sawn timber – Environmental Product Declarations), який визначає правила

розрахунку біогенного вуглецю та його депонування у виробках та дає змогу аналізувати різницю між сертифікованою FSC/PEFC та несертифікованою деревиною.

- **Аналіз енергомісткості процесів:** наприклад процес сушіння деревини може становити 50 - 70% енергоспоживання підприємства – LCA дозволяє порівняти різні режими процесу сушіння та енергетичні джерела (газ, біомаса, теплові насоси).

- **Оцінка утворення та використання відходів:** кора, тирса, стружка та інші відходи становлять значний відсоток маси – LCA оцінює сценарії їхнього використання як біопалива, сировини для виготовлення плитних матеріалів (MDF, OSB), сировини для виготовлення паливної продукції (пелети, брикети).

- **Порівняння матеріалів і конструкцій:** деревина у порівнянні зі сталлю, бетоном чи пластиком.

- **Значення для відповідності EUDR:** LCA інтегрує дані про землекористування (Land Use Change – LUC), дозволяючи кількісно оцінити кліматичний вплив від зміни цільового призначення земель, що корелює з вимогами EUDR щодо підтвердження нульового знеліснення.

- **Розподіл екологічних навантажень:** специфікою галузі є утворення значної кількості супутньої продукції (стружка, тирса) з єдиного вхідного потоку сировини. LCA дозволяє коректно розподілити екологічний тягар між основним продуктом (пиломатеріали, меблі) та побічними продуктами, використовуючи методи масового або економічного розподілу, що критично впливає на кінцевий результат розрахунку вуглецевого сліду.

LCA є найбільш надійним, всебічним і міжнародно стандартизованим методом оцінювання екологічного сліду виробничих підприємств. Його застосування забезпечує глибоке розуміння впливів на всіх етапах життєвого циклу та створює наукову основу для оптимізації технологій, зменшення викидів, покращення енергоефективності та доведення відповідності європейським екологічним вимогам.

1.5.4. GHG Protocol для розрахунку вуглецевого сліду

GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol) є найпоширенішою у світі методичною основою для кількісного визначення та звітності щодо викидів парникових газів. Методика була розроблена World Resources Institute (WRI) та World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) і на сьогодні використовується переважною більшістю міжнародних компаній, урядів, фінансових установ та екологічних ініціатив. Вона стала глобальним стандартом, на основі якого побудовано інші системи обчислення, включно зі

стандартами ISO 14064, системою декларування для SBTi, звітністю Carbon Disclosure Project та механізмами регулювання, таких як СВAM для ЄС.

Методика визначає єдині правила для вимірювання, класифікації, розрахунку та документування викидів парникових газів. Це забезпечує порівнюваність результатів між компаніями та галузями, прозорість для інвесторів і відповідність міжнародним кліматичним цілям.

Методика оцінки за GHG Protocol ґрунтується на таких ключових принципах:

- **Точність:** результати повинні максимально відображати реальний рівень викидів, з мінімізацією похибок.
- **Повнота:** включення всіх суттєвих джерел викидів по всіх трьох категоріях, які є релевантними для діяльності підприємства.
- **Узгодженість:** забезпечення можливості порівняльного аналізу у динаміці, між підприємствами або між різними технологічними сценаріями.
- **Прозорість:** відкритий опис методик, джерел даних і припущень, що дає можливість незалежної перевірки.
- **Наукова обґрунтованість:** використання актуальних і верифікованих емісійних факторів (IPCC, національні інвентаризації, енергетичні баланси).

GHG Protocol класифікує всі викиди за трьома рівнями (Scopes), що дозволяє повністю охопити діяльність підприємства.

Scope 1 – прямі викиди. Це викиди, що виникають безпосередньо на підприємстві в результаті: спалювання викопного палива в котлах, сушильних комплексах, генераторах; технологічних процесів (наприклад, термічна обробка); використання автотранспорту, що належить підприємству; витоків холодоагентів або інших технічних газів.

Scope 2 – непрямі викиди від енергоспоживання. Це викиди, пов'язані з виробництвом електроенергії чи тепла, які підприємство закуповує у зовнішніх постачальників. Підприємство їх фізично не генерує, але споживає продукт, що спричиняє викиди.

Scope 3 – інші непрямі викиди. Це найскладніша та наймасштабніша частина вуглецевого сліду. Scope 3 охоплює всі інші викиди у всьому ланцюзі створення вартості. GHG Protocol виділяє 15 категорій Scope 3, серед яких:

- закупівля сировини (у деревообробці – це критично важлива частина: походження деревини, вуглецевий баланс лісового господарства, транспорт);
- логістика (імпорт, внутрішні перевезення);
- виробництво упаковки;
- бізнес-подорожі;
- утворення та утилізація відходів;

- використання продукції споживачем;
- кінець життєвого циклу виробу.

Переваги застосування GHG Protocol:

- забезпечує прозорість та уніфікованість екологічної звітності;
- дозволяє визначити вуглецевий слід підприємства, продукту або процесу;
- сумісний з ISO 14064, SBTi, CDP, EU ETS, CBAM та іншими механізмами;
- створює основу для розробки стратегії декарбонізації підприємства;
- дає можливість будувати дорожні карти Net Zero.

Для експортоорієнтованих виробників деревини та виробів з неї GHG Protocol стає обов'язковим інструментом для відповідності екологічним вимогам ЄС і підтвердження стійкості ланцюгів постачання. GHG Protocol особливо релевантний для підприємств деревообробної галузі, оскільки дозволяє:

- враховувати особливий статус деревини як біогеного вуглецю;
- оцінити вплив сушіння деревини (один із найбільш енергоємних процесів у галузі);
- точно розрахувати вплив логістики – від заготівлі деревини до постачання готової продукції;
- розглядати відходи як потенційне джерело енергії та знижувати Score 1 і Score 2 за рахунок власної біомаси;
- оцінювати вплив змін у постачанні (сертифікація FSC/PEFC, географія заготівлі);
- створювати сценарії декарбонізації, наприклад: заміна газових котлів на біомасові, перехід на “зелену” електроенергію, оптимізація логістики, переробка відходів замість спалювання.

1.6. Висновки

1. Для українських деревообробних підприємств, зокрема ТзОВ “Мілвуд”, оцінка екологічного сліду стала необхідною умовою доступу на ринок країн ЄС та ключовим елементом конкурентоспроможності. Європейські регуляції такі як “Європейський зелений курс”, EUDR, CSRD та ESPR – вимагають прозорості, простежуваності ланцюга постачання, нефінансової звітності та екодизайну. Розрахунок екологічного сліду перетворюється на “перепустку” на ринки Євросоюзу.

2. Екологічний слід формується на всіх етапах: заготівля деревини (вплив на ґрунти, біорізноманіття, водні системи та місцеві громади), виробництво (велике енергоспоживання, значні викиди летких органічних сполук), відходи (їх обсяг може перевищувати 50% сировини, а їх спалювання

створює додаткове навантаження), транспортування (транспорт може генерувати до половини викидів у ланцюгу постачання).

3. Жодний із методів оцінки впливу діяльності підприємства на довкілля не є універсальним:

- екологічний слід – простий для комунікацій, але занадто узагальнений;
- LCA – найбільш комплексний підхід, проте трудомісткий;
- GHG Protocol – глобальний стандарт вуглецевої звітності, але охоплює лише парникові гази;
- ISO 14000 – дає систему екологічного менеджменту, але не є методом розрахунку.

4. Практично мінімізувати негативний вплив виробничого підприємства на навколишнє середовище можна завдяки реалізації однієї із стратегій:

- циркулярна економіка – максимальне використання матеріалів, повторне застосування відходів;
- ресурсоефективність – зниження енерговитрат та матеріаломісткості виробництва;
- Zero Waste – перетворення відходів на ресурс (плити, паливо);
- екологічний дизайн – довговічність та ремонтпридатність виробів з деревини, мінімізація використання токсичних матеріалів.

5. Підсумок. Оцінка екологічного сліду є обов'язковою вимогою ЄС та інструментом управління ризиками. Вплив галузі комплексний: заготівля, енергія, хімічні речовини, відходи, логістика – все потребує системного контролю. Найбільш ефективним дослідженням впливу підприємства на навколишнє середовище є поєднання різних методів оцінки: LCA для глибокого аналізу, GHG Protocol для звітності, екологічний слід для стратегій. Циркулярність і Zero Waste – найбільш ефективні шляхи практичного зниження впливу та підвищення рентабельності підприємства.

2. Характеристика діяльності підприємства та методика розрахунку екологічного сліду підприємства

2.1. Характеристика діяльності підприємства

ТзОВ “Мілвуд” розташоване у смт. Вигода Івано-Франківської області. Основна спеціалізація підприємства полягає у виготовленні клеєного конструкційного бруса. Сировиною для виготовлення продукції є круглілісоматеріали деревини смереки та ялиці, які мають походження з лічів Карпатського регіону. У структурі підприємства можна виділити такі підрозділи: цех розкрою круглих лісоматеріалів на пиломатеріали, сушильне господарство, яке складається із комплексу сушильних камер та котельні, цех виготовлення клеєного конструкційного бруса (рис. 3), лабораторія випробування бруса на міцність, офісного приміщення та відкритого складу круглих лісоматеріалів.



Рис. 3. Цех виготовлення клеєного конструкційного бруса

Виробничий процес підприємства розпочинається із заготівлі круглих лісоматеріалів, за допомогою власної лісозаготівельної бригади. Далі за допомогою автотранспорту круглі лісоматеріали транспортують до підприємства, де вже розпочинається технологічний процес їх перетворення на готову продукцію.

У лісопильному цеху, колоди за допомогою двох стрічкопилкових верстатів розкрояють на пиломатеріали заданої товщини та проводять їх розкрій на рейки (бруси) відповідної ширини на багатопильному круглопилковому верстаті, а також здійснюють операцію торцювання у заданий за довжиною розмір. Далі отримані сортименти складають у штабелі та завантажують у сушильні камери конвективної дії. Процес сушіння проводять до досягнення деревиною кінцевої вологості $15\pm 3\%$.

Сухі рейки (бруси) за допомогою автонавантажувача подають у цех виготовлення клеєного конструкційного бруса у якому проводять такі технологічні операції: контроль вологості, поперечний розкрій із вирізкою дефектних місць (сучки, смоляні кишені, тріщини), обробка бездефектних відрізків за поперечним перерізом, формування на торцях зубчастих шипів, зрощування по довжині (склеювання окремих бездефектних відрізків), технологічна витримка, обробка клеєного конструкційного бруса за поперечним перерізом, пакування. Періодично здійснюють контроль міцності клеєвого з'єднання на зубчастий шип на статичний згин.

Утворені в процесі технологічного процесу обробки деревини відходи (кускові відходи, тирса та стружка) використовують двома способами. Частину відходів використовують як джерело теплової енергії для забезпечення процесів сушіння пиломатеріалів та обігріву виробничих приміщень. Інша частина відходів використовують для виробництва технологічної тріски, яку реалізують підприємству, яке спеціалізується на виготовленні плитних матеріалів.

2.2. Методика розрахунку екологічного сліду

Метою магістерської роботи є дослідження поточного екологічного сліду від діяльності ТзОВ “Мілвуд” дослідження будемо проводити відповідно до методики Global Footprint Network [26].

Екологічний слід продукту (послуги чи діяльності) відображає обсяг природних ресурсів довкілля для забезпечення виготовлення, надання послуги чи виконання певної діяльності. Базовою одиницею вимірювання ЕС виступає глобальний гектарорік [26]. Величину ЕС визначають шляхом підсумовування слідів усіх n -процесів, що супроводжують виготовлення, експлуатацію та утилізацію продукту (послуги чи діяльності) відповідно до методології оцінки життєвого циклу (LCA) [26, 29]. У загальному вигляді формула розрахунку може бути подана так:

$$ЕСП = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^6 ЕСП_{i,j} \quad (1)$$

де, i – кількість визначених об'єктів, які беруть участь у виробничому ланцюжку продукту (послуги, діяльності), а j – шість різних типів “земель”,

які можуть брати участь у створенні продукту (послуги чи діяльності): орні землі, землі покриті лісовою рослинністю, угіддя для вирощування і ловлі риби, території випасання худоби, землі призначені для поглинання вуглецю та землі, що знаходяться під забудовою.

Розрахунок екологічного сліду кожного із вхідних елементів проводять за формулою (2):

$$ЕСП_i = \sum_{j=1}^6 A_j \times YF_j \times EQF_j \quad (2)$$

Сумарний показник для j -ти типів земель можна отримати після того, як площу в гектарах (A) буде переведено у глобальні гектари – тобто гектари із середньою світовою продуктивністю. Таке перетворення здійснюється за допомогою коефіцієнтів еквівалентності (EQF) та урожайності (YF) [1, 26], які є масштабовальними коефіцієнтами, що враховують продуктивність земель. Коефіцієнт EQF дозволяє перевести певний тип землі j (наприклад, землі для вирощування сільськогосподарської продукції) в універсальну одиницю біопродуктивної площі – глобальний гектар. Натомість YF відображає відмінності між національними й світовими рівнями продуктивності для цього типу земель [30]. Значення коефіцієнтів визначаються на основі індексів аграрної придатності, отриманих із моделі Global Agro-Ecological Zones (GAEZ) [31]. Після відповідних перетворень середньосвітові гектари інтерпретуються як площі із середньосвітовою продуктивністю для всіх типів земель, тобто як глобальні гектари. Коефіцієнти YF і EQF для кожного із типів землі, країни та певного року щорічно обчислює й публікує Global Footprint Network.

Крім цього, для показників, які не подані безпосередньо у вигляді площі, необхідно застосовувати спеціальні коефіцієнти перетворення.

- якщо значення наведені в одиницях маси (M , т/рік), їх можна конвертувати в площу (A) за допомогою коефіцієнта відносної ефективності землекористування (Y), значення якого залежить від конкретного продукту, регіону та сезону (3) [30].

$$A_i = \frac{M_i}{Y_i} \quad (3)$$

- якщо показники подані у перерахунку на CO_2 -еквіваленти, їх можна перевести в глобальні гектари, застосувавши формулу (4).

$$A_{i \text{ лис}} = \frac{CDE_i}{AFCS} \quad (4)$$

де: CDE_i – показник, що відображає кількість викидів вуглекислого газу в перерахунку на CO_2 для конкретної забруднюючої речовини i (у тоннах CO_2). $AFCS$ (середнє поглинання вуглекислого газу лісом) – це показник, який характеризує, скільки атмосферного CO_2 у середньому може поглинути один

гектар лісової екосистеми світу протягом року завдяки процесу фотосинтезу. Оновлене значення становить $0,73 \frac{\text{тонн С}}{\text{га} \times \text{рік}}$, або $2,67 \frac{\text{тонн CO}_2}{\text{га} \times \text{рік}}$ [32].

Унаслідок антропогенної діяльності в атмосферу потрапляє значна кількість шкідливих речовин, серед яких присутні й парникові гази. До цієї групи, окрім вуглекислого газу (CO_2), належать водяна пара (H_2O), оксид азоту (N_2O), метан (CH_4), озон (O_3), гексафторид сірки (SF_6), гідрофторвуглецеві (ГФВ) та перфторвуглецеві (ПФВ) речовини. Щоб забезпечити можливість порівняння їх впливу, обсяги викидів парникових газів переводять у еквівалент CO_2 . Для цього застосовують формулу (5).

$$\text{CDE}_i = M_x \times E_{\text{CO}_2}, \text{ т} \quad (5)$$

де, M_x – об’єми викидів парникового газу, т;

E_{CO_2} – потенціал глобального потепління певного парникового газу.

Загальний екологічний слід продукту (послуги чи діяльності) поділяється на два складники – прямий (DIR) та непрямий (IND), що відображено у рівнянні (6).

$$\text{ЕСП} = \text{ЕСП}_{DIR} + \text{ЕСП}_{IND} \quad (6)$$

де, ЕСП_{DIR} – це показник екологічного сліду продукту (послуги чи діяльності), що відображає безпосереднє використання лісових територій, орних земель, пасовищ і забудованих ділянок; ЕСП_{IND} – відображає “не пряме” використання земель або площу “віртуальної” землі, покритої лісовою рослинністю, яка потрібна для поглинання CO_2 протягом року шляхом фотосинтезу, який утворений під час виробництва, надання послуги чи діяльності.



3. Розрахунок поточного екологічного сліду ТзОВ “Мілвуд”

Екологічний слід підприємства відображає сукупний вплив його діяльності на довкілля. До такого впливу належать викиди парникових газів, споживання водних ресурсів, використання енергії, утворення відходів та інші чинники, що можуть

спричиняти екологічні наслідки. Оцінювання екологічного сліду деревообробного підприємства здійснювали на основі інформації, наданої ТзОВ “Мілвуд”, яке спеціалізується на виготовленні клеєного конструкційного бруса і технологічної тріски. Основними джерелами негативного впливу цього підприємства на довкілля є негативні наслідки технологічного процесу виготовлення клеєного конструкційного бруса, виготовлення технологічної тріски, опалення виробничих приміщень, споживання електроенергії для роботи офісу, а також використання водних ресурсів (рис. 4).

Рис. 4. Основні джерела негативного впливу ТзОВ “Мілвуд”

3.1. Розрахунок екологічного сліду від технологічного процесу виготовлення клеєного конструкційного бруса

Екологічний слід технологічного процесу виробництва клеєного конструкційного бруса враховує такі складові частини: слід заготівлі

деревини, слід процесу транспортування сировини до підприємства, слід генерування електроенергії, необхідної для забезпечення роботи технологічного обладнання, слід процесу сушіння пиломатеріалів для виготовлення клеєного конструкційного бруса (рис. 5).

3.1.1. Розрахунок площі землі прямого користування для виготовлення 1 м³ конструкційного бруса

За інформацією із підприємства, для виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса необхідно в середньому використати 1,35 м³ сирих пиломатеріалів. Середньозважений корисний вихід сирих пиломатеріалів із круглих лісоматеріалів на підприємстві становить 55%. Отже, для виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса необхідно використати такий об'єм круглих лісоматеріалів:

$$H = \frac{1,35 \cdot 100}{55} = 2,45 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

За даними Державного агентства лісових ресурсів України, станом на 2021 рік, середній запас деревини на 1 гектарі лісу складає близько 251 м³ [33].

Таким чином площа прямого землекористування для виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного становитиме:

$$\text{ЕСП}_{DIR} = \frac{2,45}{251} = 0,01 \text{ га}$$

3.1.2. Розрахунок екологічного сліду від процесу транспортування круглих лісоматеріалів для виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса

Основними постачальниками круглих лісоматеріалів для ТзОВ “Мілвуд” є лісогосподарські підприємства Долинського району, Івано-Франківської області. Для розрахунку екологічного сліду процесу транспортування сировини на підприємство на було прийнято середню відстань від підприємства до постачальника сировини рівною 30 км. Також були враховані норми перевезення вантажів, які діють на території України, та регламентуються пунктом 22.5 Правил дорожнього руху [34], відповідно до якого, максимальна маса вантажів, які транспортуються трьохосьовою вантажівкою не повинна перевищувати 22 тони. З огляду на те, що середня густина свіжозрубаної деревини смереки становить 760 кг/м³ [35], можна припустити, що за один рейс можливо перевезти:

$$V_T = \frac{22000}{760} = 28,9 \text{ м}^3$$

Необхідну кількість дизпального на перевезення вантажу, якщо середня витрата пустої вантажівки становить 23 л/100 км, а завантаженої вантажівки + 1,3 літри палива на кожні 100 км на кожному тону вантажу. Таким чином

витрата дизпалива на доставку 28,9 м³ деревини смереки при середній відстані 30 км становитиме:

$$V_{\text{пл}} = 0,3 \times 23 + 0,3 \times (23 + 22 \times 1,3) = 6,9 + 15,5 = 22,4 \text{ л}$$

Викиди вуглекислого газу (CO₂) при спалюванні відповідної кількості дизельного палива визначаємо за формулою (7) [36]:

$$M_{\text{CO}_2} = 0,001 \times V_{\text{пл}} \times Q, \text{ т} \quad (7)$$

де, M_{CO_2} - фактичний (валовий) обсяг викиду CO₂, т;

$V_{\text{пл}}$ – фактична витрата палива, т;

Q - усереднені питомі викиди вуглекислого газу (кг/т), для дизельного палива $Q = 3138 \text{ кг/т}$

Переведемо, фактично потрібне пальне з літрів у тони за формулою:

$$V_{\text{пт}} = V_{\text{пл}} \times 0,001 \times K, \text{ т} \quad (8)$$

де, K – середнє значення коефіцієнту переведення пального з літрів в кілограми (густина), для дизельного палива $K = 0,85$.

$$V_{\text{пт}} = 22,4 \times 0,001 \times 0,85 = 0,019 \text{ т}$$

$$M_{\text{CO}_2} = 0,001 \times 0,019 \times 3138 = 0,059 \text{ т}$$

Кількість викидів вуглекислого газу (CO₂) під час транспортування сировини, для виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса становитиме:

$$M_{\text{CO}_2/\text{м}^3} = \frac{0,059}{\left(\frac{28,9}{2,45}\right)} \approx 0,005 \text{ т}$$

У наслідок р спалювання дизельного палива двигунами внутрішнього згоряння, окрім вуглекислого газу, виділяється інші парникові гази: оксид азоту (Q - усереднені питомі викиди оксиду азоту N₂O (кг/т), для дизельного палива $Q = 0,12 \text{ кг/т}$) та метан (Q - усереднені питомі викиди метану CH₄ (кг/т), для дизельного палива $Q = 0,25 \text{ кг/т}$) [36].

Викиди N₂O в результаті транспортування сировини становитимуть:

$$M_{\text{N}_2\text{O}} = 0,001 \times 0,019 \times 0,12 = 0,0000023 \text{ т}$$

$$M_{\text{N}_2\text{O}/\text{м}^3} = \frac{0,0000023}{\left(\frac{28,9}{2,45}\right)} \approx 0,0000002 \text{ т}$$

Кількість викидів N₂O в еквіваленті CO₂ під час транспортування сировини, яка необхідна для виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса була визначена за формулою (5):

$$\text{CDE}_{\text{N}_2\text{O}/\text{м}^3} = M_{\text{N}_2\text{O}/\text{м}^3} \times E_{\text{CO}_2}, \text{ т}$$

де E_{CO_2} – потенціал глобального потепління конкретного парникового газу (E_{CO_2} для N₂O становить 298) [37].

$$\text{CDE}_{\text{N}_2\text{O}/\text{м}^3} = 0,0000002 \times 298 = 0,00006 \text{ т}$$

Викиди CH₄ в результаті транспортування сировини становитимуть:

$$M_{\text{CH}_4} = 0,001 \times 0,019 \times 0,25 = 0,00000475 \text{ т}$$

$$M_{CH_4/m^3} = \frac{0,00000475}{\left(\frac{28,9}{2,45}\right)} \approx 0,0000004 \text{ т}$$

Кількість викидів CH_4 в еквіваленті CO_2 під час транспортування сировини, яка необхідна для виготовлення 1 м^3 клеєного конструкційного бруса була визначена за формулою (5):

$$CDE_{CH_4/m^3} = M_{CH_4/m^3} \times E_{CO_2, \text{т}}$$

де E_{CO_2} – потенціал глобального потепління конкретного парникового газу (E_{CO_2} для CH_4 становить 25) [37].

$$CDE_{CH_4/m^3} = 0,0000004 \times 25 = 0,00001 \text{ т}$$

За формулою (4) визначили екологічний слід від процесу транспортування круглих сировини для виготовлення 1 м^3 клеєного конструкційного бруса:

$$A_{1 \text{ ліс}} = \frac{0,005 + 0,00006 + 0,00001}{2,67} = 0,0019 \text{ га}$$

3.1.3. Розрахунок екологічного сліду від генерування електроенергії, яка необхідна для забезпечення роботи основного технологічного обладнання та освітлення виробничих приміщень для виготовлення 1 м^3 клеєного конструкційного бруса

За даними із підприємства, місячне споживання електроенергії на забезпечення роботи технологічного обладнання та освітлення виробничих приміщень в середньому становить $60000 \text{ кВт} \times \text{год}$. Враховуючи місячну продуктивність підприємства у 500 м^3 клеєного конструкційного бруса, витрата електроенергії на виготовлення 1 м^3 становитиме:

$$P_{\text{м}^3} = \frac{60000}{500} = 120 \text{ кВт} \times \text{год}$$

Викиди вуглекислого газу, який утворюється при генеруванні необхідної кількості електроенергії для виготовлення 1 м^3 клеєного конструкційного бруса розраховували виходячи із структури виробництва електроенергії в Україні станом на 2022 рік та статистичних показників викидів парникових газів при генеруванні $1 \text{ кВт} \times \text{год}$ електроенергії. Електроенергія в Україні генерується за допомогою таких джерел: спалювання газу, вугілля; енергія води (гідроенергетика); атомна енергетика; альтернативні джерела енергії (вітер, сонце). Структура виробництва електричної енергії на початку 2022 року наведена у таблиці 2 [38].

Таблиця 2. Структура виробництва електроенергії в Україні у 2022 році

№	Джерело генерування електроенергії	Відсоток у структурі
1	Атомні електростанції	55%
2	ТЕС та ТЕЦ	29,3%

3	ГЕС та ГАЕС	6,7%.
4	Відновлювана енергетика (сонячні, вітрові, біостанції)	8%

Генерування 1 кВт×год електроенергії супроводжується викидами CO₂ та інших парникових газів, обсяг яких залежить від типу джерела енергії (табл. 3) [38].

Таблиця 3. Викиди CO₂ при виготовленні 1 кВт×год електроенергії в залежності від способу генерування

Методи виробництва електроенергії	Викиди парникових газів (г, CO ₂ екв/кВт×год.)
Відновлювальна енергетика	20
Гідроелектрична енергетика	33
Ядерна енергетика	35–60
Генерація електроенергії шляхом спалювання природного газу	400
Генерація електроенергії шляхом спалювання вугілля	1000

З метою визначення обсягу викидів парникових газів в еквіваленті CO₂, пов'язаних із генеруванням електроенергії, яка необхідна для забезпечення роботи технологічного обладнання для виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса, було розраховано середньозважене значення їх викидів на 1 кВт×год електроенергії в межах об'єднаної енергетичної системи України:

$$M_{\text{CO}_2 \text{ екв/кВт}\times\text{год}} = 0,55 \times 48 + 0,067 \times 33 + 0,293 \times \left(\frac{400 + 1000}{2} \right) + 0,08 \times 20 = 26,4 + 2,211 + 205,1 + 1,6 = 235,3 \text{ г}$$

При генеруванні електроенергії, яка необхідна для виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса утвориться така кількість парникових газів у еквіваленті CO₂:

$$M_{\text{CO}_2/\text{м}^3} = 235,3 \times 120 = 28236 \text{ г або } 28,236 \text{ кг або } 0,028236 \text{ т}$$

За формулою (4) визначили екологічний слід від генерування електроенергії, яка необхідна для забезпечення роботи основного технологічного обладнання та освітлення виробничих приміщень для виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса

$$A_{2 \text{ ліс}} = \frac{0,028236}{2,67} = 0,0106 \text{ га}$$

3.1.4. Розрахунок екологічного сліду від процесу сушіння пиломатеріалів, необхідних для виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса

Генерування теплової енергії для забезпечення процесу сушіння пиломатеріалів підприємство використовує відходи деревини власного виробництва. Для сушіння 1 м³ пиломатеріалів необхідно спалити 0,25-0,3 м³ деревних відходів. Таким чином на сушіння 1 м³ пиломатеріалів деревини смереки необхідно затратити $0,27 \times 470 = 126,9$ кг відходів деревини смереки, а для сушіння пиломатеріалів необхідної на виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса – $126,9 \times 1,35 = 171,32$ кг (1,35 м³ – норма витрати пиломатеріалів на виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса). Зважаючи, що при спалюванні 1 кг деревини в середньому утворюється 1,304 кг CO₂ [39], то при сушінні пиломатеріалів на виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса, утвориться така кількість вуглекислого газу:

$$M_{CO_2/m^3} = 1,304 \times 171,32 = 223,39 \text{ кг або } 0,2234 \text{ т}$$

Крім того, в процесі спалювання деревини утворюється й інші парникові гази: оксид азоту (N₂O) та метан (CH₄). При спалюванні 1 кг деревини утворюється $0,023 \times 10^{-3}$ кг N₂O та $2,38 \times 10^{-3}$ кг CH₄ [39].

Отже, при спалюванні деревини, необхідної для сушіння сировини на виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса, утвориться така кількість N₂O:

$$M_{NO_2/m^3} = 0,023 \times 10^{-3} \times 171,32 = 0,0039 \text{ кг або } 0,0000039 \text{ т}$$

Кількість N₂O в еквіваленті CO₂ становитиме:

$$CDE_{N_2O/m^3} = 0,0000039 \times 298 = 0,00116 \text{ т}$$

При спалюванні деревини, необхідної для сушіння сировини на виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса, утвориться така кількість CH₄:

$$M_{CH_4/m^3} = 2,38 \times 10^{-3} \times 171,32 = 0,408 \text{ кг або } 0,00041 \text{ т}$$

Кількість CH₄ в еквіваленті CO₂ становитиме:

$$CDE_{CH_4/m^3} = 0,00041 \times 25 = 0,0102 \text{ т}$$

За формулою (4) визначили екологічний слід від процесу сушіння пиломатеріалів, необхідних для виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса:

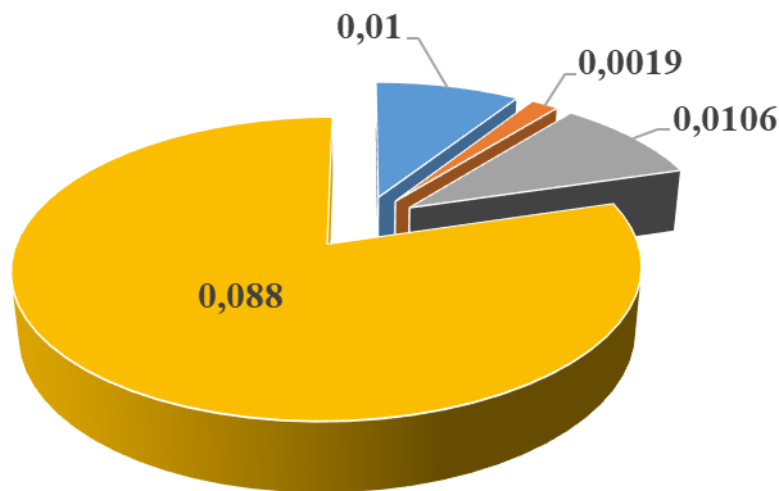
$$A_{3 \text{ Ліс}} = \frac{0,2234 + 0,00116 + 0,0102}{2,67} = 0,088 \text{ га}$$

Сумарний екологічний слід від технологічного процесу виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса буде становити:

$$A = \sum A_{i \text{ Ліс}} = A_{1 \text{ Ліс}} + A_{2 \text{ Ліс}} + A_{3 \text{ Ліс}} = 0,0019 + 0,0106 + 0,088 = 0,1005 \text{ га}$$

Загальний екологічний слід виробництва 1 м³ клеєного конструкційного бруса визначено за рівнянням (6):

$$\text{ЕСП} = \text{ЕСП}_{DIR} + \text{ЕСП}_{IND} = 0,01 + 0,1005 = 0,1105 \text{ га}$$



- Площа землі прямого користування (лісозаготівля), га
- Екологічний слід транспортування лісоматеріалів, га
- Екологічний слід генерування електроенергії, га
- Екологічний слід процесу сушіння пиломатеріалів, га

Рис. 5. Структура екологічного сліду виготовлення 1 м³ клеєного конструкційного бруса

Враховуючи, що протягом місяця підприємство виготовляє в середньому 500 м³ клеєного конструкційного бруса, то середньомісячний екологічний слід технологічного процесу становитиме 55,25 га площі покритої лісовою рослинністю.

3.2. Розрахунок екологічного сліду від процесу виробництва технологічної тріски із відходів основного виробництва

Екологічний слід виробництва технологічної тріски із відходів основного виробництва складається з сліду генерування електроенергії для забезпечення роботи технологічного обладнання. За даними із підприємства, щомісячно кількість виготовленої технологічної тріски в середньому становить 310 м³, при цьому середньомісячна витрата електроенергії на забезпечення роботи рубальної машини складає 1,6 тис. кВт×год. Кількість CO₂ та інших парникових газів в еквіваленті CO₂, яка утворюється при генеруванні 1 кВт×год електричної енергії об'єднаній енергетичній системі України становить 235,3 г (розраховано у розділі 3.1.3).

Отже, кількість парникових газів в еквіваленті CO₂, яка утвориться при генеруванні електричної енергії необхідної для забезпечення

середньомісячної роботи рубальної машини для виготовлення технологічної тріски буде становити:

$$M_{CO_2} = 235,3 \times 10^{-6} \times 1600 = 0,376 \text{ т}$$

За формулою (4) визначили екологічний слід від генерування електроенергії, яка необхідна для забезпечення місячної роботи рубальної машини для виготовлення технологічної тріски:

$$A_{4 \text{ Ліс}} = \frac{0,376}{2,67} = 0,1408 \text{ га}$$

3.3. Розрахунок екологічного сліду від опалювання виробничих приміщень

Площа опалювальних виробничих приміщень підприємства становить 2000 м^2 з висотою стелі – 5 м. Таким чином опалювальний об'єм виробничих приміщень складає 10000 м^3 . Електроенергія, що затрачається на опалювання виробничих приміщень має становити $20 \text{ Вт} \times \text{год} / \text{м}^3$ [40].

Кількість електричної енергії, яку необхідно затратити для обігріву виробничих приміщень протягом доби під час робочого тижня визначали за формулою (9):

$$W_{\text{ен.}} = (P_{\text{р.ч.}i} \times H_{\text{р.ч}} + P_{\text{нр.ч.}i} \times H_{\text{нр.ч}}) \times S_i \times 10^{-3}, \text{кВт} \quad (9)$$

де, $P_{\text{р.ч.}i}$ – електрична енергія для опалення і-го типу приміщень під час робочого часу (для виробничих приміщень $20 \text{ Вт} \times \text{год} / \text{м}^3$);

$H_{\text{р.ч}}$ – час роботи підприємства протягом доби ($H_{\text{р.ч}} = 10 \text{ год}$);

$P_{\text{нр.ч.}i}$ – електрична енергія для опалення і-го типу приміщень у неробочий час (для виробничих приміщень $10 \text{ Вт} \times \text{год} / \text{м}^3$);

$H_{\text{нр.ч}}$ – неробочий час підприємства протягом доби ($H_{\text{нр.ч}} = 14 \text{ год}$);

S_i – опалювальний об'єм і-го типу приміщення, м^3 .

Отже, кількість електроенергії для опалювання виробничих приміщень протягом доби під час робочого тижня буде становити:

$$W_{\text{ен.}1} = (20 \times 10 + 10 \times 14) \times 10000 \times 10^{-3} = 3400 \text{ кВт}$$

Протягом місяця, як правило, нараховується 22 робочі дні, тому витрата електроенергії на опалювання приміщень протягом робочого місяця буде становити:

$$W_{\text{ен.місяць}} = W_{\text{ен.}} \times n = 3400 \times 22 = 74800 \text{ кВт}$$

Витрату електроенергії для опалювання виробничих приміщень під час вихідних та святкових днів (приймаємо 8) протягом місяця приймаємо відповідно $10 \text{ Вт} \times \text{год} / \text{м}^3$ протягом усієї доби. Таким чином витрата

електроенергії становитиме 19 200 кВт. Сумарна витрата електроенергії на опалювання виробничих приміщень підприємства буде рівною $W_{\Sigma \text{ен.місяць}} = 94\,000$ кВт.

Оскільки, підприємство для опалювання своїх виробничих приміщень використовує відходи власного виробництва, а не електроенергію, то слід перерахувати витрату електроенергії у деревні відходи. Такий перерахунок можна здійснити за формулою (10):

$$W_{\text{дер.відх.}} = W_{\Sigma \text{ен.місяць}} \times K, \text{ кг} \quad (10)$$

де, $W_{\Sigma \text{ен.місяць}}$ – сумарна витрата електроенергії для опалення в місяць, кВт;

K – коефіцієнт, що враховує різницю теплотворної здатності деревини та електроенергії.

$$K = Q_{\text{кВт}} / Q_{\text{кг дер.}} \quad (11)$$

де, $Q_{\text{кВт}}$ – теплотворна здатність 1 кВт електроенергії ($Q_{\text{кВт}} = 3,6$ МДж);

$Q_{\text{кг деревини}}$ – теплотворна здатність 1 кг деревини ($Q_{\text{кг дер.}} = 19,77$ МДж) [41].

$$W_{\text{дер.відх.}} = 94\,000 \times 3,6 / 19,77 = 17\,117 \text{ кг}$$

Відповідно до методики розрахунку, використаної у розділі 3.1.4., сумарна кількість вуглекислого газу та інших парникових газів в еквіваленті вуглекислого газу, що утвориться в результаті спалювання 17 117 кг деревини для забезпечення опалювання виробничих приміщень протягом місяця, становить 23,465 т.

За формулою (4), визначили екологічний слід від опалювання виробничих приміщень протягом місяця:

$$A_5 \text{ ліс} = \frac{23,465}{2,67} = 8,79 \text{ га}$$

3.4. Розрахунок екологічного сліду від генерування електроенергії для забезпечення роботи офісних приміщень

Щомісячно на потреби функціонування офісних приміщень, у тому числі і опалення, підприємство в середньому споживає 300 кВт електроенергії. Скориставшись розрахунками з розділу 3.1.3, визначено, що кількість парникових газів в еквіваленті CO_2 , які утворюються в процесі генерування 300 кВт електроенергії, становить $M_{\text{CO}_2} = 0,072$ т.

За формулою (4), визначили екологічний слід від генерування електроенергії для забезпечення функціонування офісних приміщень протягом місяця:

$$A_5 \text{ ліс} = \frac{0,072}{2,67} = 0,027 \text{ га}$$

3.5. Використання води

Окрім вище перерахованих джерел негативного впливу підприємства на довкілля, також має місце використання води. За даними із підприємства, щомісячно використовується в середньому 80 м³ води: 40 м³ води використовують для забезпечення процесів сушіння пиломатеріалів, ще 40 м³ води використовується для забезпечення побутово-господарських потреб та для миття клеєнаосного обладнання.

3.6. Висновки

Таким чином, середньомісячний екологічний слід деревообробного підприємства ТзОВ “Мілвуд”, що спеціалізується на виготовленні клеєних конструкційних брусів, складається з екологічних слідів окремих елементів виробничо-господарської діяльності (рис. 6) та сумарно становитиме 80 м³ води та 64,207 га площі землі покритої лісовою рослинністю під час опалювального сезону та 55,417 га площі землі покритої лісовою рослинністю під час неопалювального періоду.

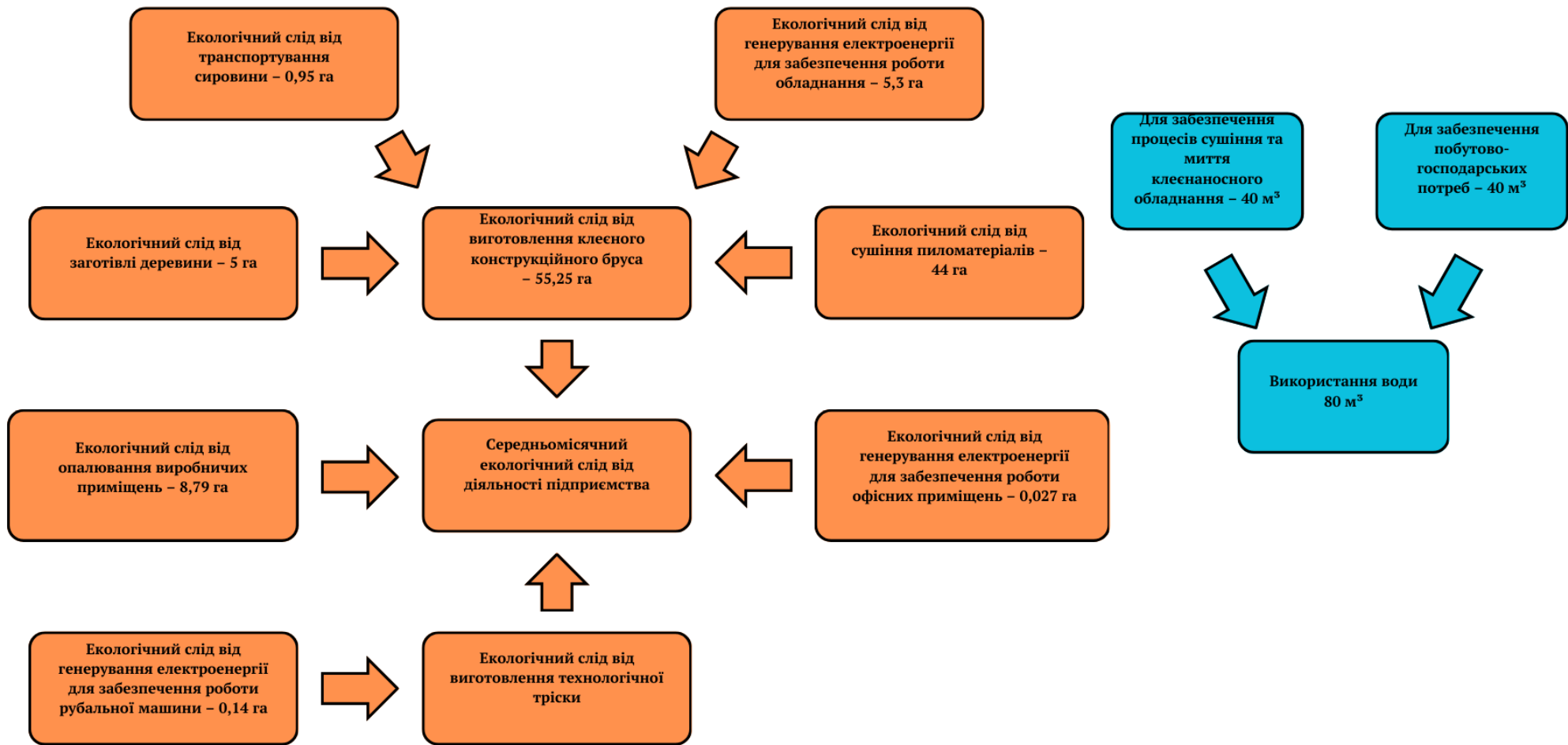


Рис. 6. Структура екологічного сліду ТзОВ "Мілвуд"

4. Шляхи оптимізації екологічного сліду підприємства

Аналіз екологічного сліду ТзОВ “Мілвуд” засвідчив, що його основні статті перш за все пов’язані зі спалюванням відходів деревини: забезпечення тепловою енергією процесів сушіння пиломатеріалів та обігріву виробничих приміщень. Порівняно з ними пряме використання земель лісового фонду (лісозаготівля) та екологічний слід процесу генерування електроенергії для забезпечення потреб підприємства є менш значними. Отже, для скорочення екологічного сліду підприємству необхідно вжити таких заходів:

1. Провести енергетичну трансформацію та декарбонізацію виробничого процесу. Для цього необхідно модернізувати обладнання для виробництва теплової енергії у тому числі за рахунок споживання електроенергії із альтернативних джерел (АДЕ). Оскільки, екологічний слід генерування 1 кВт×год за допомогою АДЕ становить лише 20 г парникових газів в еквіваленті CO₂, то заміна джерела тепла для процесу сушіння пиломатеріалів дозволить скоротити його екологічний слід на 90%. Аналогічна ситуація буде із екологічним слідом процесу генерування теплової енергії для опалювання виробничих приміщень. Оскільки, підприємство розташоване у гірській місцевості із невеликою кількістю сонячних днів, то очевидно економічно не вигідним буде будівництво власної СЕС. Тому логічним шляхом використання електроенергії із альтернативних джерел буде укладання довгострокових контрактів на закупівлю “зеленої” енергії. Одночасно зі скороченням екологічного сліду, який пов’язаний зі спалюванням деревини, підприємство зможе вивільнити значну кількість відходів деревини (приблизно 2400 м³ у рік) для виготовлення технологічної тріски.

2. Також економічно обґрунтованим є застосування частотних перетворювачів на електродвигунах обладнання (особливо для сушильних камер). Їх застосування дозволить середньостатистично економити до 10% електроенергії.

3. Здійснювати управління водними ресурсами та їх забрудненням: Подальша оптимізація використання води (80 м³/міс) та контроль забруднення є обов’язковими. Необхідно впровадити замкнуті цикли водокористування, особливо для технологічних потреб. Окрім того необхідно здійснювати збір дощової води для забезпечення технологічних потреб.

4. Окрім зменшення власного екологічного сліду підприємство мало б також запроваджувати компенсаційні програми: брати активну участь у програмах відновлення лісового фонду (лісовідновлення з використання стійких до зміни клімату місцевих видів, зокрема смереки), інвестувати у створення та моніторинг буферних зон та захист прибережних територій у зонах заготівлі, що безпосередньо підтримує регулювання водних потоків та якість води.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведений аналіз екологічного сліду ТзОВ “Мілвуд” дозволяє сформулювати низку стратегічних висновків, що мають фундаментальне значення для подальшого розвитку підприємства в умовах нових європейських екологічних стандартів.

1. **Пріоритет впливу: енергія, а не сировина.** Дослідження однозначно підтвердило, що екологічний слід підприємства переважно визначається не процесом лісозаготівлі, а енергетичними рішеннями. Спалювання біомаси для сушіння та опалення є домінуючим фактором, що генерує близько 80% непрямого впливу.

2. **Ключовий важіль оптимізації: енергетична модернізація та циркулярність.** Найбільш ефективною стратегією зменшення впливу є енергетична модернізація. Перехід на відновлювані джерела енергії кардинально скорочує викиди, а також підвищує ефективність використання відходів, перетворюючи їх з палива на товарну продукцію.

3. **Стратегічний імператив: екологічна відповідність як умова доступу до ринку.** Управління екологічним слідом для ТзОВ “Мілвуд” є фундаментальною умовою для сталого розвитку, збереження конкурентоспроможності та успішної роботи на європейських ринках, де екологічна прозорість стає невід’ємною частиною ведення бізнесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wackernagel, M., Rees, W. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996. 160 p.
2. Rockström, J., et al. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity // Ecology and Society. – 2009. – Vol. 14, No. 2. – Article 32. – DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-03180-140232>.
3. ISO 14040:2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.
4. ISO 14044:2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.
5. Brunner, P.H., Rechberger, H. Handbook of Material Flow Analysis: For Environmental, Resource, and Waste Engineers. – 2nd edition. – Boca Raton: CRC Press, 2016. – 512 p. – ISBN 978-1-4822-7870-0.
6. Wendling, Z.A., Emerson, J.W., de Sherbinin, A., Esty, D.C. Environmental Performance Index: Methodology and Results. – New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy, 2024. – 126 p. – URL: <https://epi.yale.edu/downloads/2024-epi-report-20250106.pdf>.
7. ISO 14067:2018 – Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification.
8. Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. – London: Earthscan, 2011. – 229 p. – ISBN 978-1-84971-279-6.
9. Global Footprint Network. Ecological Footprint Calculator: Methodology and Data. – 2024. – URL: <https://www.footprintnetwork.org/resources/data/>.
10. Wiedmann, T., Barrett, J. A Review of the Ecological Footprint Indicator: Perceptions and Methods // Sustainability. – 2010. – Vol. 2, No. 6. – P. 1645–1693. – <https://doi.org/10.3390/su2061645>.
11. Hayden, A. Ecological footprint (EF) – Description, History, Importance & Limitations // Encyclopædia Britannica. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.britannica.com/science/ecological-footprint>.
12. Global Footprint Network. Limitations and Criticism – Ecological Footprint // Global Footprint Network [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/limitations-and-criticisms/>.
13. Інвестиційні можливості деревообробної промисловості України. – Київ : UkraineInvest, 2025. – 20 с. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ukraineinvest.gov.ua/wpcontent/uploads/2025/09/investycyjni_mozhly_vostiderevoobrob_noyi_promyslovosti_ukrayiny.pdf.
14. Кабінет Міністрів України. Встановлено нульову квоту на експорт необробленої деревини (крім сосни) / КМУ. – 03.11.2025. – [Електронний

- ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kmu.gov.ua/news/vstanovleno-nulovu-kvotu-na-eksport-neobroblenoi-derevyiny-krim-sosny>.
15. UK Green Building Council (UKGBC). Environmental Impacts of Timber Logging for Construction. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ukgbc.org/our-work/topics/embodied-ecological-impacts/timber/>.
 16. Nakano K., Hattori N., Koide M., Imago M., Yamada Y., Ogawa T., Toyoshima Y. Environmental impacts of structural and concrete formwork plywood in Japan // Journal of Wood Science. – 2025. – Vol. 71, Article 25. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s10086-025-02202-3>.
 17. Adhikari S., Ozarska B. Minimizing environmental impacts of timber products through the production process “From Sawmill to Final Products” // Environmental Systems Research. – 2018. – Vol. 7, Article 6. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s40068-018-0109-x>
 18. FSC. Wood / Forest Stewardship Council – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://fsc.org/en/businesses/wood>.
 19. PEFC. Revised PEFC Sustainable Forest Management benchmark standard approved – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pefc.org/news/revised-pefc-sustainable-forest-management-benchmark-standard-approved>.
 20. European Commission. Regulation on Deforestation-free Products – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://environment.ec.europa.eu/topics/forests/deforestation/regulation-deforestation-free-products_en.
 21. European Commission. A new Circular Economy Action Plan – For a cleaner and more competitive Europe. COM (2020) 98 final, March 2020. ISBN 978-92-76-21691-9, DOI: 10.2779/085517.
 22. Pazzaglia A., Castellani B. Wood Waste Valorization in Europe: Policy Framework, Challenges, and Decisional Tools // Procedia Environmental Science, Engineering and Management. – 2023. – Vol. 10, No. 2. – P. 345–352.
 23. Pietzsch, N., Ribeiro, J. L. D., de Medeiros, J. F. Identification of key assessment indicators of the zero waste management systems // Waste Management. – 2017. – Vol. 67. – P. 147–156.
 24. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. Official Journal of the European Union. 2009. Vol. L 285. P. 10 - 35. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/125/oj>.
 25. Regulation (EU) 2024/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products. Official Journal of the European Union. 2024. Ser. L. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj>.
 26. Ecological Footprint Standards 2009 / Global Footprint Network. Oakland : Global Footprint Network, 2009. 29 p. URL:

- https://www.footprintnetwork.org/content/uploads/2017/03/Ecological_Footprint_Standards_2009.pdf.
27. ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. – International Organization for Standardization, 2006. – 20 p.
 28. ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. – International Organization for Standardization, 2006. – 46 p.
 29. Niccolucci, V.; Galli, A.; Kitzes, J.; Pulselli, R.M.; Borsa, S.; Marchettini, N. Ecological Footprint analysis applied to the production of two Italian wines. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2008, 128, 162–166.
 30. Galli, A.; Kitzes, J.; Wermer, P.; Wackernagel, M.; Niccolucci, V.; Tiezzi, E. An exploration of the mathematics behind the Ecological Footprint. *Int. J. Ecodynamics* 2007, 2, 250–257.
 31. FAO; International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). *Global Agro-Ecological Zones*. 2000. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/gaez/index.htm>
 32. Mancini, M.S.; Galli, A.; Niccolucci, V.; Lin, D.; Bastianoni, S.; Wackernagel, M.; Marchettini, N. Ecological Footprint: Refining the carbon Footprint calculation. *Ecol. Indic.* 2016, 61, 390–403.
 33. Публічний звіт голови Державне агентство лісових ресурсів України за 2021 рік. – 2021. – 38 с. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/%D0%BF%D1%83%D0%B1%D0%BB%D1%96%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%B8/publicchniy-zvit-za-2021.pdf>.
 34. Про Правила дорожнього руху : постанова Кабінет Міністрів України від 10 жовтня 2001 р. № 1306-2001-п // База даних “Законодавство України” / Верховна Рада України. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF#Text>.
 35. Вінтонів І., Сопушинський І., Тайшінгер А. *Деревинознавство: навч. посібник*. – Львів : РВВ УкрДЛТУ, 2005. – 252 с.
 36. ECOBUSINESS. Як розрахувати екоподаток при спалюванні бензину та дизпалива. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://ecolog-ua.com/news/yak-rozrahuvaty-ekopodatok-pry-spalyuvanni-benzynu-ta-dyzpalyva>.
 37. Climate Change Connection. CO₂ equivalents. – climatechangeconnection.org. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://climatechangeconnection.org/emissions/co2-equivalents/>.
 38. Погляд екологічної громадськості на атомну галузь – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://atom.org.ua/?p=359>.

39. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від використання палива на побутові потреби в домогосподарствах. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://www.ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2011/98/metod.htm.
40. Hegger M., Keller M., Kern T., Kern A. Forschungsprojekt energy: Label – Solar Decathlon. – Stuttgart: IRB Verlag, 2009. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.irbnet.de/daten/rswb/09119002750.pdf>.
41. Волчин І., Чернявський М., Бондаренко В. та ін. Енергія: Історія, сучасність і майбутнє. Книга 1: Від вогню і води до електрики. – Київ: Інститут технологій теплової енергії НАН України, 2013. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-1>.