

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт

**“ЕФЕКТИВНІ БУДІВЕЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ ЇХ
ВИКОНАННЯ”**

для студентів спеціальності

192 – «Будівництво та цивільна інженерія»

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт

**“ЕФЕКТИВНІ БУДІВЕЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ ЇХ
ВИКОНАННЯ”**

для здобувачів спеціальності
192 – «Будівництво та цивільна інженерія»

Вінниця
ВНТУ
2023

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Ефективні будівельні технології та методи їх виконання» для здобувачів спеціальності 192 – «Будівництво та цивільна інженерія» [Електронний ресурс]/ Ю. С. Бікс
Вінниця: ВНТУ, 2023. 47 с.

Методичні вказівки призначені для полегшення виконання практичної роботи здобувачами зі спеціальності 192 – «Будівництво та цивільна інженерія».

ЗМІСТ

Вступ.....	5
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1. Оцінка життєвого циклу будівельної конструкції.....	6
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2. Багатокритеріальний аналіз технології влаштування енергоефективних ороджувальних конструкцій стін.....	35
Список використаних джерел.....	44

ВСТУП

Дисципліна «Ефективні будівельні технології та методи їх виконання» спрямована на здобування навичок використання і вміння проводити аналіз передових інженерних технологій, процесів, систем і обладнання в сфері будівництва; розуміти основні сучасні тенденції та концепції у будівництві при виборі та використанні матеріалів та технологій, в тому числі з урахуванням енергоємності та оцінки життєвого циклу.

Для вивчення дисципліни передбачається використання набутих знань і умінь після засвоєння дисциплін: «Вступ до фаху», «Будівельне матеріалознавство», «Будівельна техніка», «Інженерна геологія», «Технологія будівельного виробництва», «Будівельні конструкції», «Виробнича база будівництва», «Основи науково-дослідної роботи». Засвоєні розділи дисципліни використовуються при виконанні магістерських кваліфікаційних робіт.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Оцінка життєвого циклу будівельної конструкції

Мета роботи: надати здобувачеві навички та загальне розуміння для оцінки життєвого циклу огорожувальної конструкції.

Теоретичні відомості

1.1 Поняття оцінки життєвого циклу огорожувальних конструкцій (ОЖЦ) та його зв'язок з їх енергоефективністю

Згадане вперше під керівництвом Гро Харлем Брутланда у Звіті ООН 1987 року поняття та концепція «сталого розвитку», полягало в тому, що він (сталий розвиток) «... задовольняє нинішні потреби, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти власні потреби». З моменту свого визначення це поняття має мали різні інтерпретації, але всі вони збігаються з «Теорією сталого розвитку трьох вимірів» згідно з якою, будь які вимірювання, які проводяться, мають поважати довкілля, бути економічно життєздатними та соціально справедливими.

Було неминучим, що будівельна галузь опиниться в центрі занепокоєння суспільства щодо негативного впливу на навколишнє середовище. Екологічні проблеми, пов'язані з споживанням ресурсів були поширені з локального масштабу забруднення повітря в приміщеннях до глобального масштабу впливу зміни клімату та руйнування озонового шару.

Оскільки будівництво не є екологічно чистим процесом і має серйозний вплив на виснаження природних ресурсів та викидів парникових газів (ПГ) у результаті спалювання викопного палива, з урахуванням напрацювань науковців у всьому світі на перший план на сьогодні в будівельній галузі виходить не стільки економічна вартість житла, а вплив життєвого циклу будівлі на оточуюче середовище.

Мабуть це не панацеєю, але розумна та збалансована політика в сфері будівництва з урахуванням життєвого циклу будівлі є одним із способів, за

допомогою якої будівельна галузь може зробити відповідальний внесок у захист навколишнього середовища.

Для того, щоб говорити про аналіз життєвого циклу в контексті будівельних конструкцій спочатку є сенс визначити поняття життєвий цикл.

На думку авторів ресурсу [23Помилка! Джерело посилання не знайдено.] життєвий цикл (*life cycle* – англ.) – послідовний та взаємопов’язаний ланцюжок стадій – від виробництва (видобування з надр Землі) матеріалу, системи (чи послуги), що включають необхідні дослідження і розробки, виробництво, постачання, транспортування, використання і технічне обслуговування протягом усього періоду існування продукту до його остаточної утилізації.

Кругообіг всіх процесів життєвого циклу наведено на рис.1.1.

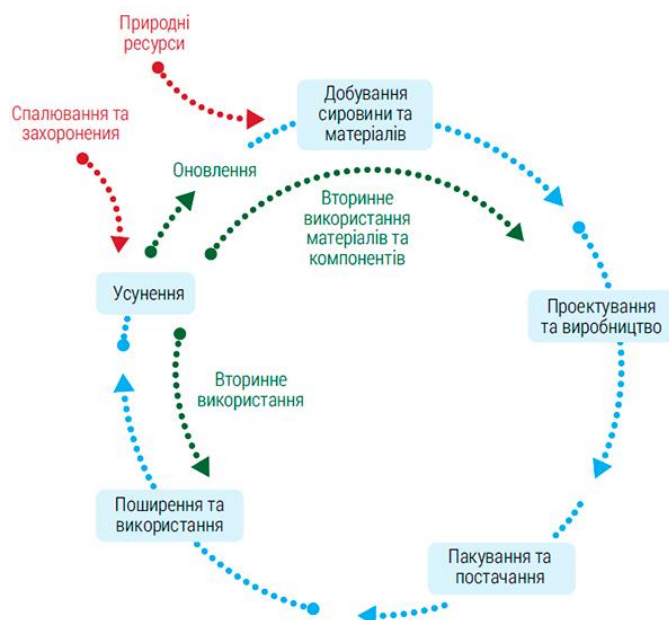


Рис. 1.1 – Концептуальне вигляд процесів «життєвого циклу»

Життєвий цикл будівлі - це перелік етапів, через які вона проходить за весь період свого існування і на яких відбуваються різні процеси.

Якщо окреслити основні етапи життєвого циклу будівлі то ними будуть – планування (проекування), будівництво, експлуатація (зі всіма поточними діагностичними процедурами, оглядом технічного стану, технічним обслуговуванням, реконструкцією ремонт будівлі (за потреби), а на фінальній фазі також її ліквідація та утилізація.

Оцінка життєвого циклу (*Life Cycle Assessment – LCA* англ.) – це оцінка впливу на навколишнє середовище певного продукту протягом його терміну служби (починаючи з придбання сировини або генерування ресурсів і закінчуючи ліквідацією, розпродажем, завершенням послуг або утилізацією).

Метою LCA є порівняння екологічних показників продукції, щоб мати можливість вибрати найменш обтяжливий. Термін «життєвий цикл» відноситься до уявлення про те, що для справедливої, цілісної оцінки необхідно оцінити виробництво сировини, виробництво, розподіл, використання та утилізацію (включаючи всі проміжні етапи транспортування). Тоді це є «життєвим циклом» продукту. Концепція також може бути використана для оптимізації екологічних показників окремого продукту (екодизайн) або компанії.

Аналіз життєвого циклу (*Life Cycle Analysis – LCA* англ.) – це методологія оцінки загальних витрат та впливів від будь – якого продукту на навколишнє середовище. LCA особливо корисний, коли справа доходить до оцінки компромісів між початковим і операційним витратами.

Якщо подивитись на життєвий цикл будівлі в розрізі витрат на кожен етап, то блок-схема може мати вигляд (рис.1.2).

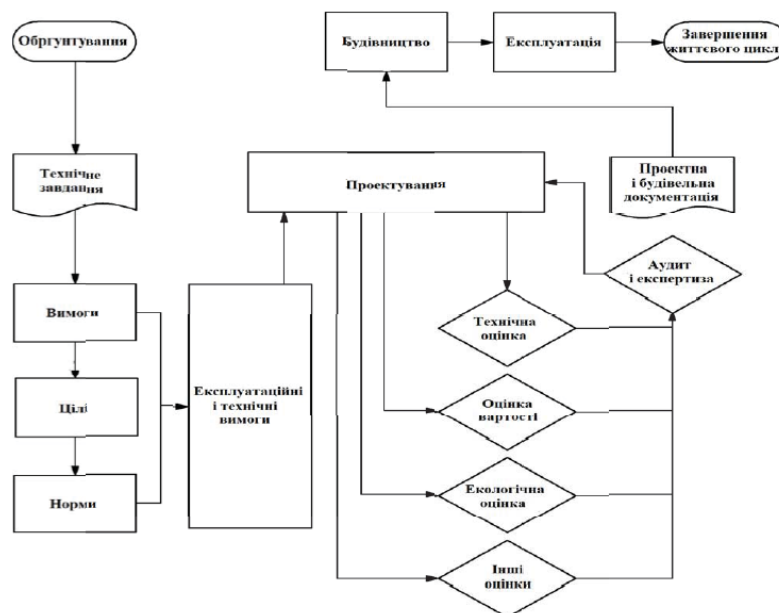


Рис. 1.2 Концептуальна блок-схема витрат в розрізі фаз життєвого циклу

[35]

Потреба у формалізації та створення механізмів оцінювання життєвого циклу продукції зумовлена постійно зростаючим антропогенним тиском на нашу планету. Так, постійно зростаючий попит на продукцію створює додатковий тиск на навколишнє середовище. Експлуатація ресурсів і виробництво продукції створюють потенційно руйнівні навантаження на світ природи.

На думку д.т.н. Чернишева Д. О. [27] в будівництві, при екологічній оцінці будівельних матеріалів є потреба у врахуванні впливу на навколишнє середовище не лише матеріалу, але й низки процесів, з якими пов'язаний матеріал протягом його життєвого циклу – від виготовлення або видобутку до повної або часткової утилізації, або повторного використання (рециклінгу), що є більш бажаним процесом для отримання нових видів матеріалів або виробів. Використання рециклінгу дозволяє замкнути коло життєвого циклу матеріалу, що об'єктивно дозволить скоротити певний об'єм відходів, а також потребу у видобутку нової сировини. З думкою д.т.н. Чернишева Д. О. збігається й думка закордонних науковців [28, 29] та багатьох інших. Так, G.K. S. Ding з університету Сиднею [28] об'єктивно вважає, що з точки зору LCA вплив матеріалів, енергії для видобутку, виробництва, експлуатації та утилізації будівлі завжди є комплексним (рис. 1.3).

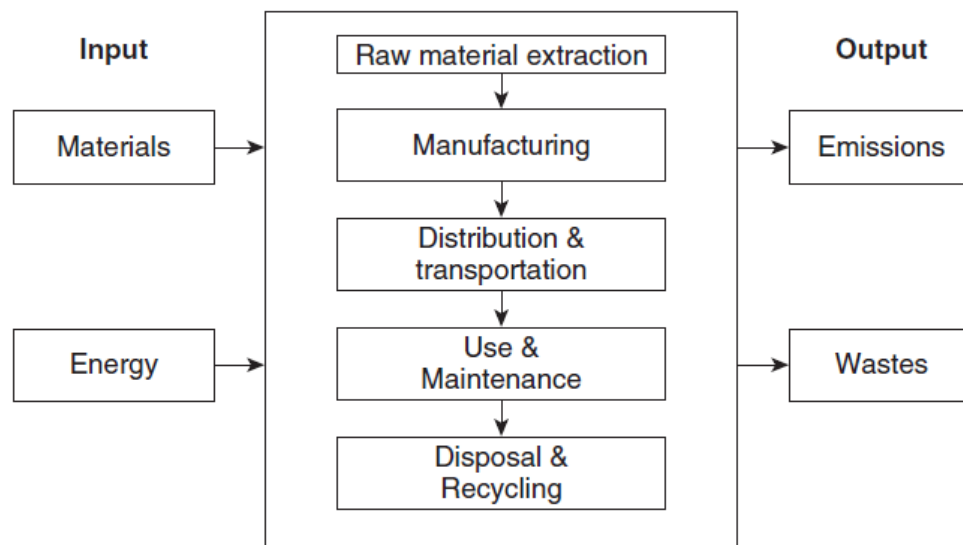


Рис .1.3 Потоки матеріалів, енергії та забруднювачів оточуючого середовища в контексті оцінки життєвого циклу будівлі [27]

Аналогічну форму розуміння процесу життєвого циклу будівлі мають автори (рис. 1.4).

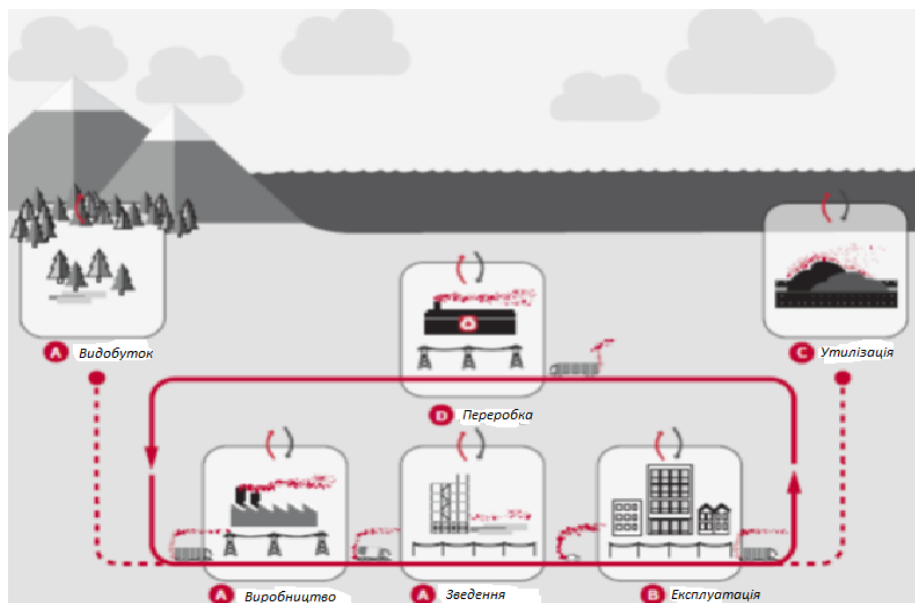


Рис. 1.4 Замкнутий цикл життя будівлі в контексті LCA [28]

1.2 Нормативна база у галузі оцінки життєвого циклу

Для визначення переваг будь-якої категорії продукції чи наданих послуг в загальному розумінні цього терміну, стосовно впливу на оточуюче середовище вгзагалі, та на стан здоров'я людини зокрема протягом всього життєвого циклу є потреба у розробці та впровадженні регуляторних норм на рівні держави. Це може бути як на рівні стандарту так і на рівні рекомендацій.

Варто відмітити, що розробка екологічних стандартів може мати статус обов'язкового до дотримання, але також і добровільного. Звичайно, що коли дотримання стандарту є необов'язковим (у випадку добровільного маркування, наприклад), є ризик того, що певні категорії забудовників, які лише прагнуть отримати матеріальну вигоду від результатів своєї діяльності, та свідомо приховують якість тип та вплив матеріалів, які були застосовані у проекті, що є само по собі нонсенсом у нас час широкого доступу до інформації будь-якого типу, через мережі мас-медіа та Інтернет, то тут постає дилема у регулюванні цих стандартів. Так, наприклад у нашій державі екологічні стандарти на певну

категорію товарів та виробів є на засадах добровільності, при чому в цих стандартах встановлюються додаткові екологічні вимоги- так звані екологічні критерії, але лише до тих, що нормуються чинними нормативними документами.

Можна зазначити, що коли товар чи послуга відповідає екологічним критеріям, то це свідчить про очевидну перевагу даного виду продукції в контексті її впливу на оточення та зазвичай є дорожчим. Тому критерій вартості тут є вирішальним для потенційного споживача, тому забудовник не хоче йти на збільшення статті витрат у кошторисі за рахунок використання товарів з відповідним екологічним маркуванням.

Основні положення та принципи розробки екологічних критеріїв визначені міжнародним стандартом ISO 14024 (ДСТУ ISO 14024) «Екологічні маркування та декларації – Екологічне маркування I типу – Принципи та методи».

Варто відмітити, що оцінка життєвого циклу та екологія – речі які йдуть пліч-о-пліч, все що робиться у галузі екологічного маркування матеріалів та послуг слугує меті зменшення антропогенного тиску на довкілля, шляхом зміни ставлення до споживання товарів та послуг, наприклад як це уявляють автори довідника (рис. 1.5).

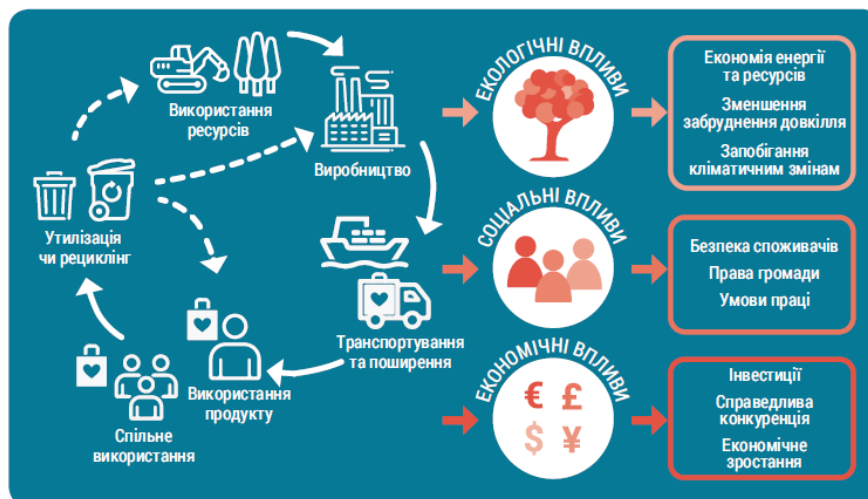


Рис. 1.5 Кругообіг життєвого циклу товару та категорії його впливу за концепцією [31]

Об'єктами стандартизації є харчові продукти, товари, вироби, матеріали та послуги, їх складники і впливи на стан довкілля та здоров'я на усіх етапах життєвого циклу.

В нашій державі, як і в решті крїн світу, розроблення, розгляд та погодження міжнародних (регіональних), національних та інших видів стандартів покладаються на технічні комітети стандартизації за закріпленою сферою діяльності.

Екологічні стандарти що встановлюють екологічні критерії оцінки життєвого циклу на певну категорію продукції розробляються підкомітетом «Оцінка життєвого циклу» технічного комітету стандартизації ТК 82 «Охорона навколишнього природного середовища України» за участю усіх заінтересованих сторін.

В процесі розроблення стандарту враховується вимоги законодавства України та Євросоюзу, міжнародних стандартів серії ISO 14000, а також кращій вітчизняний та світовий досвід екологічних інновацій відносно певної категорії продукції.

Варто зазначити, що шлях нашої держави на шляху до усвідомлення врахування екологічного маркування продукції взагалі, та будівельної зокрема та впровадження парадигми проектування будь-якого об'єкту на засадах оцінку життєвого циклу продукції потребує, на превеликий жаль, через наші економічні реалії, ще багато часу для переосмислення та реального використання в Україні. Але це неодмінно покращить якість нашого життя, та саме головне, прийдешніх поколінь, в довгостроковій перспективі та дозволить в певній мірі зменшити той величезний антропогенний слід на довкілля в межах нашого усвідомлення тієї шкоди, яку людина чинить планеті Земля своєю інженерною діяльністю.

Окрім цього, у всьому світі, як і у нашій країні актуальним є принципи та методи оцінювання, аналізування та управління життєвим циклом продукції, які регламентуються та визначені в міжнародних стандартах серії ISO 14040 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework («Оцінка життєвого циклу») [36]. ISO 14040:2006 «Управління навколишнім

середовищем – Оцінка життєвого циклу – Принципи та структура» надає чіткий огляд практики, застосувань та обмежень LCA для широкого кола потенційних користувачів та зацікавлених сторін, включаючи тих, хто має обмежені знання про оцінку життєвого циклу.

«Розробка міжнародних стандартів оцінки життєвого циклу є важливим кроком до консолідації процедур і методів LCA», – сказала Мелані Реймбо, секретар підкомітету ISO, яка розробила нові стандарти. «Їх внесок є вирішальним для загального визнання LCA всіма зацікавленими сторонами та міжнародною спільнотою».

Новітні світові стандарти, які розробляються щодо оцінювання життєвого циклу продукції, матеріалу, послуги, тощо, мають полегшити процес оцінки впливу продукту на навколишнє середовище протягом усього терміну його служби, заохочуючи тим самим ефективне використання ресурсів та зменшуючи зобов'язання перед прийдешніми поколіннями.

У Європейському стандарті визначається метод розрахунку, заснований на оцінці життєвого циклу (LCA) та іншій кількісній екологічній інформації, для оцінки екологічних характеристик будівлі, а також надає засоби для звітності та повідомлення про результати оцінки. Стандарт застосовується до нових і існуючих будівель і проектів реконструкції.

Стандарт дає:

- опис об'єкта оцінки;
- межі системи, що застосовуються на рівні будівлі;
- порядок проведення інвентаризаційного аналізу;
- перелік показників і порядок розрахунків цих показників;
- вимоги до представлення результатів у звітності та комунікації;
- і вимоги до даних, необхідних для розрахунку.

Підхід до оцінки охоплює всі етапи життєвого циклу будівлі і базується на даних, отриманих з екологічних декларацій продукції (EPD), їх «інформаційних модулів» (prEN 15804) та іншої інформації, необхідної та важливої для проведення оцінки. Оцінка включає всі будівельні продукти, процеси та послуги,

пов'язані з будівництвом, які використовуються протягом життєвого циклу будівлі.

Інтерпретація та оціночні судження результатів оцінки не входять до сфери застосування цього Європейського стандарту. Згідно з цим стандартом оцінка життєвого циклу складається з чотирьох основних та однієї додаткової стадії продукту (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Основні стадії життєвого циклу будівлі згідно [32]

Оцінка життєвого циклу будівлі				Додаткова інформація
Стадія виготовлення	Стадія зведення будівлі	Стадія експлуатація будівлі	Стадія завершення життя будівлі	Модуль D Переваги та впливи поза межами системи
A1. Видобуток A2. Транспортування на фабрику A3. Виробництво	A4. Транспортування (на будівельний майданчик) A5. Монтаж конструкцій	B1. Експлуатація B2. Обслуговування B3. Мілкий ремонт B4. Заміна B5. Капітальний ремонт B6. Енергетичні витрати на експлуатацію	C1. Знесення C2. Транспортування (для утилізації) C3. Процеси з водними ресурсами C4. Утилізація	від: 1. Повторного використання 2. Переробки (рециклінг) 3. Відновлення енергії

<p>A1: Видобуток сировини (або переробка вторинної сировини) A2: Транспортування матеріалів до та з виробничого приміщення A3: Виробництво продукції із сировини або перероблених матеріалів</p>	<p>A4: Транспортування продукції від фабрик до будівельного майданчика A5: Експлуатаційне обладнання для монтажу виробів та будівництва будівлі</p>	<p>B1: Вплив змонтованих виробів у використанні, тобто виділення газів B2: Технічне обслуговування та прибирання будівлі, включаючи вплив продуктів, що використовуються B3: Ремонт зламаних компонентів, включаючи вплив матеріалів та використаної енергії B4: Заміна будівельних компонентів, якщо їх термін служби менший за термін служби будівлі B5: Реконструкція будівлі, включаючи вплив використаних матеріалів та енергії B6: Використання енергії під час нормальної експлуатації будівлі. Можуть бути включені такі види використання, як ліфти, прилади та розетки B7: Постачання та очищення води для нормальної роботи будівлі</p>	<p>C1: Деконструкція, демонтаж та/або знесення будівлі, включаючи тимчасові роботи за межами ділянки C2: Транспортування матеріалів з майданчика до кінцевого стану відходів, включаючи транспортування до/з проміжних місць переробки C3: Збір потоків відходів для повторного використання, переробки та відновлення енергії. Для отримання додаткової інформації про рекуперацію енергії див. Технічне керівництво C4: Попередня обробка відходів та управління місцем утилізації</p>	<p>D: Цей модуль містить різні елементи для повторного використання, переробки та відновлення за межами системи, наприклад:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Біогенний вуглець, який може бути кредитом або тягарем • Кредити на переробку • Енергія, яка виробляється на місці, експортується та/або замінюється іншими більш поширеними видами енергії
--	--	--	---	---

Якщо подивитися на стадію життєвого циклу будівлі (параметр B6 з табл. 1.1), то витрати енергії під час фази експлуатації напряму впливають на оцінку життєвого циклу будівлі, і будуть тим більшими, чим гірше теплоізоляційні, паропроникні, та інші фізико-механічні властивості теплоізоляційних будівельних матеріалів які зумовлюють комфортні умови для перебування людей всередині приміщення будівлі.

Тобто при виборі стінового огороження для створення енергоефективного будинку, перш за все слід враховувати сукупність фізико-механічних параметрів будівельного матеріалу, чи багат шарової оболонки з яких формується конструктивних та/або теплоізоляційні шари зовнішнього стінового огороження, оскільки це прямо чинить вплив на енергоефективність будинку, а отже й на витрати в фазі експлуатації будівлі.

Додатково, в контексті форми будівлі, яка також прямо впливає на її енергоефективність, й отже на оцінку життєвого циклу (фази В2, В6 табл. 1.1) необхідно намагатись здійснити максимальну кількість заходів (архітектурні та інженерні рішення), які найкращим чином відповідають цілям мінімізації витрачання енергії на забезпечення мікроклімату в приміщеннях будівлі і створення екологічного міського середовища.

Цілком очевидно що використання глибокого систематизованого наукового підходу щодо проектування та реалізації такого життєвого циклу матеріалу на макрорівні концепції LCA сприятиме ресурсозбереженню та бережливому поводженню з скінченними ресурсами нашої планети.

На думку д.т.н. Чернишева Д.О. [27] не існує такого матеріалу, що використовується в будівництві, який може бути названий екологічно чистим в контексті витрат ресурсів та енергії, і це цілком справедливо, оскільки будь які, навіть відновлювальні ресурси потребують витрат енергії на їх переробку для використання у вигляді готового продукту, отже гіпотетично це може шкодити оточуючому середовищу.

Оскільки ми всі оперуємо матеріальними показниками в нашому світі, то якщо приймати за відправну точку економічну компоненту витрат LCA, то сумарні витрати (екологічні та економічні) можуть бути співставлені як (рис. 1.6)



Рис. 1.6 Концепція впливу витрат у життєвому циклі будівлі за [Помилка! Джерело посилання не знайдено.26]

Окрім поняття екологічності матеріалу в широкому сенсі цього терміну також неприпустимо нехтувати часом, як безупинним чинником, який впливає на вартість об'єкту забудови, а отже й опосередковано й на оцінку життєвого циклу (рис. 1.7)

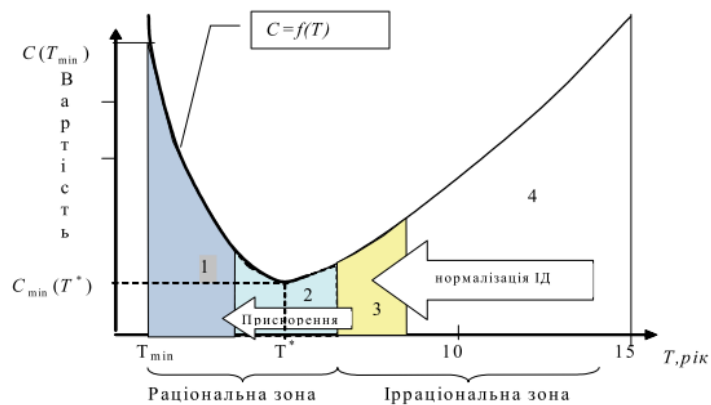


Рис 1.7 Залежність вартості будівельного проекту від його тривалості [27]:

(1 – зона прискорення реалізації проекту; 2 – світовий рівень; 3 – зона нормативних строків будівництва до 1991 року; 4 – зона теперішнього стану)

Аналізуючи рис. 1.7 можна виділити дві зони виконання робіт (дві гілки параболи):

– (ліва лігка параболи) так звана «зона оптимізаційної інтенсифікації», яку можна охарактеризувати зменшенням часу на виконання робіт, при цьому збільшено їх інтенсивність, що зумовлює збільшення витрат будівельної організації з однієї сторони, при цьому для зменшення відповідних витрат очевидним є зменшення інтенсивності виконання робіт;

– права гілка параболи, або зона вимушеної інтенсивності, яка зумовлює процес зведення, при якому збільшення тривалості виконання робіт призводить до їх здорожчання, як наслідок – сумнівний результат, як для вартості об'єкту забудови так і для завищених витрат на життєвий цикл будівлі.

Якщо спробувати графічно представити можливість впливу на життєвий цикл будівлі на різних стадіях будівництва, то це може виглядати як (рис. 1.8)

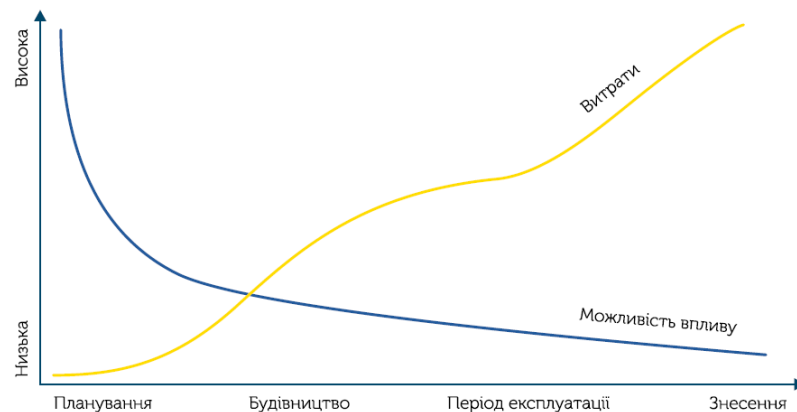


Рис. 1.8 Можливість впливу на стан будівлі протягом її «життєвого циклу» [23]

З аналізу рис 1.8 випливає, що оптимальним з точки зору витрат періодом (фазою) впливу на будівельний проект є фаза будівництва.

Проблема оцінки та врахування систем оцінювання життєвого циклу посилюється тим, що немає універсальних критеріїв LCA, які прийнятні всіма країнами світу, також не кожен методик LCA можна імплементувати в конкретній країні, оскільки, як це було відмічено у роботах як вітчизняних [27] так і закордонних науковців [25] виробничі процеси, пов'язані з будівництвом набагато менш стандартизовані, ніж більшість промислових товарів на ринку, тобто, у загальному розумінні кожна будівля має унікальний, нестандартний характер.

Це можна пояснити технологічними особливостями (специфікою виробництва) та неповторності робочого середовища будь-якої фази LCA для

об'єкта. Саме тому використання окремого стандарту, методики чи концепції в контексті цілого об'єкта, з огляду на вищесказане, не є ефективним [25].

Крім того, мізерна доступна інформація про вплив виробництва будівельних матеріалів на навколишнє середовище, а також про поточні процеси будівництва та знесення (утилізації) робить LCA спрощеним інструментом, оскільки низка адаптацій і наближень даних, наявних у відкритих джерелах, більшість з яких отримано в різних країнах, до тих країн, де будується будівля, ще підлягає аналізу та оцінці.

1.2 Вплив будівельних матеріалів на життєвий цикл

Будівельні матеріали впливають як на саму будівлю, так і на природне середовище протягом усього свого життєвого циклу. Відбір матеріалу може відбуватися як на ранній стадії встановлення стратегії та пройти дослідження ринку екологічних будівельних матеріалів, а також при проектуванні на стадії розробки, на якій ці матеріали включені в проект.

Очевидно, що пріоритет варто надавати використанню екологічних будівельних матеріалів для зменшення антропогенного впливу на навколишнє середовище. При чому, вибір матеріалів слід розглядати на ранній стадії та комплексно оцінювати на основі перспектив життєвого циклу будівлі, оскільки рішення щодо вибору матеріалу вплине на загальну продуктивність будівлі. Життєвий цикл будівельних матеріалів часто називають аналізом «від колиски до могили». Як вже було зазначено вище життєвий цикл матеріалу охоплює комплексно декілька фаз (етапів) і включає видобуток сировини, процес виготовлення, доставку на будівельний майданчик, монтаж на місці, а також інші матеріали, необхідні на етапі експлуатації для технічного обслуговування, ремонту і реконструкції.

Видобуток сировини. Етап видобутку сировини відноситься до видобутку та заготівлі сировини з надр Землі. Процес видобутку часто створює пил, шум, порушення екосистем оточуючого ареалу флори і фауни, вносить зміни до

ландшафту і спричиняє забруднення ґрунтового та поверхневої води, є джерелом локального дискомфорту.

На майданчику видобутку руди робоча обстановка наносить серйозний вплив на здоров'я та самопочуття працівників та людей, що знаходяться поблизу. Процес зазвичай характеризується високим споживанням первинної енергії через високий рівень використання складної механізованої техніки. Тому цю енергію зазвичай вважають частиною початкової втіленої енергії видобутих матеріалів [28, 29].

Виготовлення матеріалу/конструкції. Видобута сировина потребує виробничого процесу, щоб перетворити їх у придатні для використання матеріали для будівельних цілей. Цей процес викликає серйозні занепокоєння у людей з соціальної та екологічної точки зору. Це вимагає значних витрат енергії та інших ресурсів у виробничому процесі та зазвичай утворює тверді відходи та інші забруднювачі, які можуть бути шкідливим для збудованого та природного середовища.

Ці виходи можуть бути як токсичними, так і мало або подальшого використання. Ця сфера привертає все більшу увагу громадськості та науковців до того, як ці процеси можна покращити більш екологічно та соціально безпечнішим.

Упаковка будівельних матеріалів для розповсюдження до будівельний майданчик також завдає шкоди навколишньому середовищу, оскільки існує мало варіантів біодеструктивного пакувального матеріалу або такі, що можуть бути безпечно спалені. Сектор упаковки матеріалів представляє значну марну трату ресурсів і має серйозне навантаження на сміттєзвалище.

Монтаж конструкції. Монтаж конструкцій на будмайданчику – це процес, який включає розрізання та підгонку матеріалів для будівлі. Цей процес утворює відходи, а будівельне сміття стало серйозною екологічною проблемою. Так, будівельні відходи становлять приблизно 30% у США, 35% у Канаді, 50% у Великобританії [33]. Відходи часто утворюються через неефективне управління на місці або у майстернях де мають місце виготовлення відрізів. Більшість цих

відходів можна переробити та зменшити, якщо їх належним чином спланувати та скерувати. Етап монтажу майданчика також вимагає енергії, яка також буде враховується в розрахунку втіленої енергії.

На думку багатьох науковців більшість відходів, пов'язаних з будівництвом, не потрібні. Ці відходи мають високий потенціал для відновлення та повторного використання. Однак через економічний характер о будівельної галузі, кожен етап будівельного періоду зведений до мінімуму.

Виснаження природних ресурсів через будівельну індустрію є предметом серйозних дискусій, оскільки більшість з них є вторинною сировиною з будівельних майданчиків, що потрапляє на сміттєзвалища.

Транспортування. Транспортування часто бере участь у різних стадіях життєвого циклу матеріалу. Транспорт є необхідним між ділянкою видобутку, переробки/виробництва та будівництвом, що має відповідне накопичення в тоно-кілометрах, пов'язане з відповідною втіленою енергією, одночасно збільшуючи викиди в атмосферу, що викликає глибоке занепокоєння.

Виходом з положення можуть стати менші та регіональні заводи та розподільчі майданчики, які можуть загалом покращити загальний екологічний тягар будівлі [28, 27]. Кожен етап виробничого процесу та остаточне складання на місці вимагає транспортування та споживання енергії, яка може сягати приблизно 2,2% життєвого циклу споживання первинної енергії [40]. Матеріали місцевого виробництва мають потенціал та мають істотну різницю в загальному впливі на навколишнє середовище, пов'язаному з кожним етапом.

Експлуатація. На етапі експлуатації будівлі системи/елементи, що складаються з будівельних матеріалів також потребують обслуговування, ремонту та реконструкції до закінчення терміну експлуатації будівлі. Використані матеріалів на етапі експлуатації тісно пов'язано з вибором матеріалів. Деякі матеріали можуть бути мати одномоментні високі значення вартості і початкової втіленої енергії, але при цьому мати низькі затрати при експлуатації будівлі.

Можлива й зворотня ситуація. Вибір того чи іншого матеріалу для зведення будівлі має бути обґрунтованим, та в ідеалі містити компромісний варіант між альтернативами забудовниката побажаннями замовника з урахуванням вищезазначених особливостей щодо втіленої енергії.

Правильний вибір матеріалів може вплинути не тільки на вимоги щодо технічного обслуговування, але також може мати шкідливий вплив на мешканців та навколишнє середовище, наприклад, виділення летких органічних сполук (ЛОС), хімічних речовин, що використовуються під час виробничого процесу.термін служби будівлі, тощо.

Завершення терміну служби. Про закінчення терміну служби можна говорити з двох аспектів. Це може стосуватися закінчення терміну служби конкретного матеріалу, у якому подальше технічне обслуговування може не відновити його початкову функцію, тобто бути недоцільним з економічної точки зору. Інший аспект закінчення терміну служби може стосуватися всієї будівлі навіть незважаючи на те, що деякі з матеріалів можуть все ще працювати та функціонувати.

Кінцева заміна та утилізовані матеріали потрапляють на сміттєзвалище. Різноманітні типи обробки поверхонь, покриттів тощо, що були використані при виробництві матеріалів, може перетворити природні матеріали в токсичні відходи, утилізовані в повітрі і воді.

Тому слід вибирати матеріали, які підлягають переробці та біорозкладанню, що використовується для зменшення потреби на полігонах ТБВ та викиду забруднюючих речовин.

Важливо вибирати будівельні матеріали не тільки для того, щоб вони виконували свої функції протягом прийняттого періоду часу. Деякі з будівельних матеріалів може прослужити протягом усього терміну служби будівлі, але інші можуть функціонувати лише кілька років, тому є потреба у витратній стороні для їх заміни/оновлення.

Термін служби матеріалу може стосуватися особливих умов, які впливають на хімічні і механічні властивості. Натуральні матеріали зазвичай мають нижчу

втілену енергоємність і рівень токсичності, ніж штучні матеріали. Багато науковців одностайні у думці про те, що для сталого розвитку є потреба використовувати природні матеріали з низьким вмістом енергії [41, 42].

Приклад виконання розрахунку

Для проведення чисельного моделювання оцінки життєвого циклу за допомогою програми Eсо2soft [43]. В даній роботі досліджували такі альтернативи:

- стіна типу «А» – цегляна з мінераловатним тюкиєм;
- стіна типу «В» – газоблок конструкційно-теплоізоляційного типу 325 кг/м³ з мінераловатним тюкиєм;
- стіна типу «С» – цегляна з колодязною кладкою та мінераловатним тюкиєм між шарами;
- стіна типу «D» – самонесуча стіна з солом'яного блоку 109 кг/м³ у дерев'яному каркасі;
- стіна типу «Е» – СІП утеплена EPS.

В розрахунку життєвого циклу до уваги прийнято лише зовнішні стіни будівлі, при чому для визначення витрат на транспортування, у всіх варіантів наведено також відстані для постачання матеріалів та умовний тип транспорту.

Термін експлуатаційної придатності конструктивних шарів та елементів для стін прийнято з узагальнених даних мережі Інтернет.

Для розрахунку показників життєвого циклу експлуатаційні витрати (гарячої воді на опалення/гаряче водопостачання, електрики) не були враховані, оскільки такі дані є унікальними для кожного будинку, та залежать від багатьох факторів: клімату, кількості мешканців, типу інженерного обладнання у помешканні, культури споживання енергоносіїв, тощо.

Період оцінки життєвого циклу для всіх типів стін взято 100 років.

Основні характеристики шарів для обраних варіантів стін наведено на рис.2.1-2.6.

edit building element

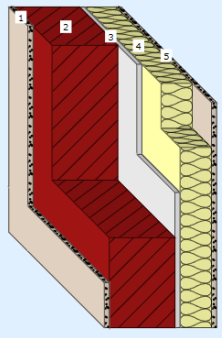
general information

designation: external wall Type A; 1 m²
 amount:
 type: Wall (exposed to outside air - not back-ventilated)
 comments: no comment

calculated indicators:

thickness: 0,3850 m
 U value : 0,282 W/m²K
 grammage: 431,8 kg/m²
 ΔOI3 (BG6): 222 points / m² Bt
 EI_{kon}: 2,27 points / m² Bt
 service life :
 yes, replacements rates with whole numbers (according to EN 15804 standard)
 type: new building

cross section



2D-graphic

no.	type	layer	d [cm]	λ [W/mK]	new
I> 1	<input type="checkbox"/>	Plaster (Silicate plaster (without synthetic resin additive))	0,500	0,800	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	bearing wall (Bricks full (withdrawn 9.5.22) + normal mortar for ...	25,000	0,690	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	Mineral adhesive	0,500	1,000	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	insulator (Rock wool MW(SW)-W (40 kg/m ³))	12,000	0,040	<input type="checkbox"/>
O> 5	<input type="checkbox"/>	Plaster (Silicate plaster (without synthetic resin additive))	0,500	0,800	<input type="checkbox"/>

Рис. 2.1 Характеристики шарів для багатошарової огорожувальної конструкції стіни типу А

edit building element

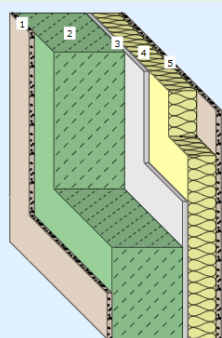
general information

designation: external wall Type B; 1 m²
 amount:
 type: Wall (exposed to outside air - not back-ventilated)
 comments: no comment

calculated indicators:

thickness: 0,4350 m
 U value : 0,158 W/m²K
 grammage: 129,3 kg/m²
 ΔOI3 (BG6): 90 points / m² Bt
 EI_{kon}: 1,49 points / m² Bt
 service life :
 yes, replacements rates with whole numbers (according to EN 15804 standard)
 type: new building

cross section



2D-graphic

no.	type	layer	d [cm]	λ [W/mK]	new
I> 1	<input type="checkbox"/>	Plaster (Silicate plaster (without synthetic resin additive), refor...	0,500	0,800	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	bearing wall (Aerated concrete (325 kg/m ³))	30,000	0,095	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	putty (Mineral adhesive)	0,500	1,000	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	insulator (Rock wool MW(SW)-W (40 kg/m ³))	12,000	0,040	<input type="checkbox"/>
O> 5	<input type="checkbox"/>	Plaster (Silicate plaster (without synthetic resin additive), refor...	0,500	0,800	<input type="checkbox"/>

Рис. 2.2 Характеристики шарів для багатошарової огорожувальної конструкції стіни типу В

edit building element

general information

designation: Wall C; 1 m²
 amount:
 type: Wall (exposed to outside air – not back-ventilated)
 comments: no comment

calculated indicators:

thickness:	0,4851 m
U value :	0,276 W/m ² K
grammage:	645,6 kg/m ²
ΔOI3 (BG6):	439 points / m ² Bt
E _{I,KON} :	2,38 points / m ² Bt
service life :	yes, replacements rates with whole numbers (according to EN 15804 standard)
type:	new building

no.	type	layer	d [cm]	λ [W/mK]	new
I> 1	<input type="checkbox"/>	CR lime cement finish plaster (1600 kg/m ³)	1,500	0,780	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	Vertically perforated brick 17 cm to 38 cm + normal mortar for b...	25,000	0,577	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	Glass wool MW(GW)-WV (70 kg/m ³)	10,000	0,035	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	Polyethylene (PE) sealing sheeting	0,010	0,500	<input type="checkbox"/>
O> 5	<input type="checkbox"/>	Full clinker + normal mortar for brickwork (2100 kg/m ³)	12,000	0,870	<input type="checkbox"/>

cross section

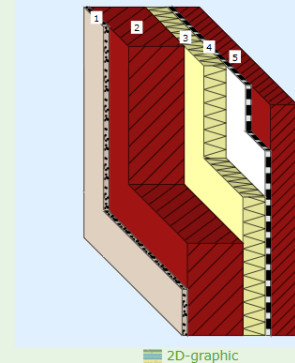


Рис. 2.3 Характеристики шарів для багатошарової огороджувальної конструкції стіни типу С

edit building element

general information

designation: external wall; 1 m²
 amount:
 type: Wall (exposed to outside air – not back-ventilated)
 comments: no comment

calculated indicators:

thickness:	0,5300 m
U value :	0,121 W/m ² K
grammage:	123,2 kg/m ²
ΔOI3 (BG6):	39 points / m ² Bt
E _{I,KON} :	1,55 points / m ² Bt
service life :	yes, replacements rates with whole numbers (according to EN 15804 standard)
type:	new building

no.	type	layer	d [cm]	λ [W/mK]	new
I> 1	<input type="checkbox"/>	Plaster (Normal plastering mortar GP lime (1300 kg/m ³))	1,500	0,490	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	Building straw bales (109 kg/m ³) / Timber (525 kg/m ³ - e.g. lar...	50,000	0,056	<input type="checkbox"/>
O> 3	<input type="checkbox"/>	Plaster (Normal plastering mortar GP lime (1300 kg/m ³))	1,500	0,490	<input type="checkbox"/>

cross section

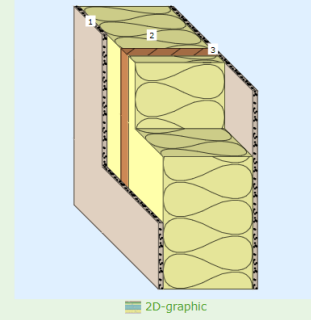


Рис. 2.4 Характеристики шарів для багатошарової огороджувальної конструкції стіни типу D

edit building element

general information

designation: external wall Type E; 1 m²
 amount:
 type: Wall (exposed to outside air – not back-ventilated)
 comments: no comment

calculated indicators:

thickness:	0,1940 m
U value :	0,267 W/m ² K
grammage:	65,2 kg/m ²
ΔOI3 (BG6):	91 points / m ² Bt
E _{I,KON} :	1,15 points / m ² Bt
service life :	yes, replacements rates with whole numbers (according to EN 15804 standard)
type:	new building

no.	type	layer	d [cm]	λ [W/mK]	new
I> 1	<input type="checkbox"/>	Plaster (Gypsum wallboards (1000 kg/m ³))	1,500	0,370	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	putty (Mineral adhesive)	0,500	1,000	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	OSB boards (650 kg/m ³)	1,200	0,130	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	swisspor EPS-W 25 / Timber (525 kg/m ³ - e.g. larch) - planed...	14,000	0,038	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	OSB boards (650 kg/m ³)	1,200	0,130	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	putty (Mineral adhesive)	0,500	1,000	<input type="checkbox"/>
O> 7	<input type="checkbox"/>	Plaster (Silicate plaster (without synthetic resin additive), rein...	0,500	0,800	<input type="checkbox"/>

cross section

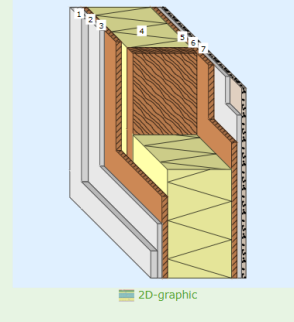


Рис. 2.5 Характеристики шарів для багатошарової огороджувальної конструкції стіни типу E

Враховуючи вищезазначені припущення у програмі Eco2soft [43] проведене чисельне моделювання оцінки життєвого циклу (LCA) огорожувальних конструкцій стін всіх п'яти типів, що розглянуто у даному прикладі.

2.2 Вибір критеріїв при моделюванні оцінки життєвого циклу багатошарових огорожувальних конструкцій

Критеріями оцінки життєвого циклу альтернатив для порівняння варіантів у роботі було обрано наступні:

а) *PENRT* – загальна величина первинної невідновлюваної енергії. Це загальні енергетичні ресурси, необхідні для виробництва продукту або послуги, спільно називають первинним вмістом енергії (скорочено PE). PE вказується в МДж і розраховується з нижчої теплотворної здатності використаних енергетичних ресурсів.

У розділі «PENR» вказується первинний енергетичний вміст усіх невідновлюваних ресурсів (сирої нафти, вугілля тощо));

б) *GWP* – потенціал глобального потепління. Показник «ППП-всього» є сумою ППП-викопного та ППП-біогенного. Потенціал глобального потепління наведено для періоду 100 років (*GWP100*) і в кг CO₂-еквіваленту (кг CO₂-еквіваленту);

в) *AP*– потенціал підкислювання. Підкислення в основному зумовлене взаємодією газів оксиду азоту (*NO_x*). Для розрахунку використовуються коефіцієнти характеристики відповідно до ÖNORM EN 15804, додаток С. Для старіших даних LCA (до публікації ÖNORM EN 15804: 2014) використовувався середній «європейський потенціал підкислення» відповідно до CML 2001 v3.9.

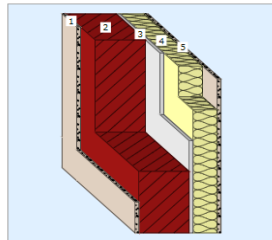
г) *EP* – потенціал евтрофікації. Потенціал евтрофікації введених поживних речовин визначається відповідно до CML 2001 v3.9 і вказується в кг (PO₄₃--екв. (фосфатний еквівалент).

д) маса конструкції стіни кг/м²;

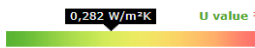
е) коефіцієнт теплопередачі багатошарової оболонки (u -value Вт/м²×К, величина обернена до термічного опору R).

Результати моделювання оцінки життєвого циклу LCA наведено на рис. 2.6-2.11. Зведені показники результатів по варіантам стін представлено у табл. 2.1.

external wall Type A – edit (components from the energy certificate)



Fläche: 1 m²
 mass: 431,8 kg/m²
 service yes, replacements rates with whole
 life: numbers (according to EN 15804
 standard)



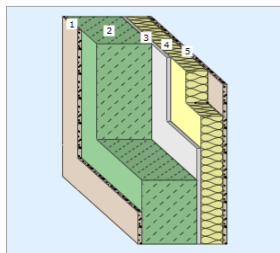
PENRT: 2,360 MJ/m²
 PENRE: 2,360 MJ/m²
 PENRM: 0,00 MJ/m²
 GWP-total: 182 kg CO₂ equ./m²
 GWP-fossil: 182 kg CO₂ equ./m²
 GWP-biogenic: 0,00 kg CO₂ equ./m²
 AP: 0,847 kg SO₂ equ./m²
 EP: 0,269 kg PO₄³⁻/m²
 PERT: 255 MJ/m²
 PERE: 255 MJ/m²
 PERM: 0,00 MJ/m²
 POCP: 0,187 kg C₂H₄/m²
 ODP: 1,39·10⁻³ kg CFC-11/m²

no. layer (from inside to outside)	d cm	Useful life >br> duration / years	Disposal- classification	Exploitation potential
1 Plaster (Silicate plaster (without synthetic resin additive))	0,50	+20	2	5
2 bearing wall (Bricks full (withdrawn 9.5.22) + normal mortar for brickwork (1600 kg/m ³))	25,00	+100	2	2
3 Mineral adhesive	0,50	+20	3	5
4 Insulator (Rock wool MW(SW)-W (40 kg/m ³))	12,00	+20	4	3
5 Plaster (Silicate plaster (without synthetic resin additive))	0,50	+20	2	5
building element	38,50			

* self-entered value * U value (Heat transfer coefficient) calculated according to ÖNORM EN ISO 6946.

Рис. 2.6 Результати оцінки LCA для багатошарової огорожувальної конструкції стіни типу А

external wall Type B – edit (components from the energy certificate)



Fläche: 1 m²
 mass: 129,3 kg/m²
 service yes, replacements rates with whole
 life: numbers (according to EN 15804
 standard)



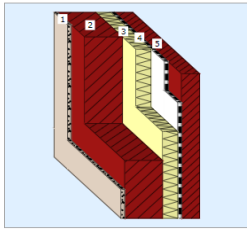
PENRT: 1,742 MJ/m²
 PENRE: 1,738 MJ/m²
 PENRM: 3,81 MJ/m²
 GWP-total: 129 kg CO₂ equ./m²
 GWP-fossil: 129 kg CO₂ equ./m²
 GWP-biogenic: 0,00 kg CO₂ equ./m²
 AP: 0,602 kg SO₂ equ./m²
 EP: 0,216 kg PO₄³⁻/m²
 PERT: 85,7 MJ/m²
 PERE: 85,7 MJ/m²
 PERM: 0,00 MJ/m²
 POCP: 0,151 kg C₂H₄/m²
 ODP: 8,99·10⁻⁶ kg CFC-11/m²

no. layer (from inside to outside)	d cm	Useful life >br> duration / years	Disposal- classification	Exploitation potential
1 Plaster (Silicate plaster (without synthetic resin additive), reinforced)	0,50	+20	2	5
2 bearing wall (Aerated concrete (325 kg/m ³))	30,00	+50	2	2
3 putty (Mineral adhesive)	0,50	+30	3	5
4 Insulator (Rock wool MW(SW)-W (40 kg/m ³))	12,00	+20	4	3
5 Plaster (Silicate plaster (without synthetic resin additive), reinforced)	0,50	+20	2	5
building element	43,50			

* self-entered value * U value (Heat transfer coefficient) calculated according to ÖNORM EN ISO 6946.

Рис. 2.7 Результати оцінки LCA для багатошарової огорожувальної конструкції стіни типу В

Wall C – edit (components from the energy certificate)



Fläche: 1 m²
 mass: 645,6 kg/m²
 service yes, replacements rates with whole life: numbers (according to EN 15804 standard)



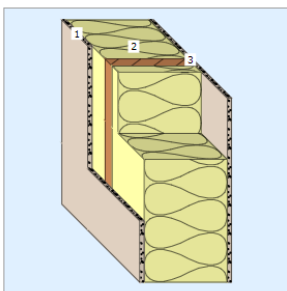
PENRT: 6.555 MJ/m²
 PENRE: 6.534 MJ/m²
 PENRM: 20,8 MJ/m²
 GWP-total: 412 kg CO₂ equ./m²
 GWP-fossil: 412 kg CO₂ equ./m²
 GWP-biogenic: -0,0590 kg CO₂ equ./m²
 AP: 1,14 kg SO₂ equ./m²
 EP: 0,474 kg PO₄³⁻/m²
 PERT: 305 MJ/m²
 PERE: 305 MJ/m²
 PERM: 0,00 MJ/m²
 POCP: 0,130 kg C₂H₄/m²
 ODP: 4,53·10⁻⁸ kg CFC-11/m²

no. layer (from inside to outside)	d cm	Useful life >br> duration / years	Disposal-classification	Exploitation potential
1 CR lime cement finish plaster (1600 kg/m ³)	1,50	+20	2	4
2 Vertically perforated brick 17 cm to 38 cm + normal mortar for brickwork (1450 kg/m ³)	25,00	+100	2	2
3 Glass wool MW(GW)-WV (70 kg/m ³)	10,00	+20	4	3
4 Polyethylene (PE) sealing sheeting	0,01	+20	3	4
5 Full clinker + normal mortar for brickwork (2100 kg/m ³)	12,00	+30	2	2
building element	48,51			

* self-entered value * U value (Heat transfer coefficient) calculated according to ÖNORM EN ISO 6946.

Рис. 2.8 Результати оцінки LCA для багатошарової огорожувальної конструкції стіни типу С

external wall – edit (components from the energy certificate)



Fläche: 1 m²
 mass: 123,2 kg/m²
 service yes, replacements rates with whole life: numbers (according to EN 15804 standard)



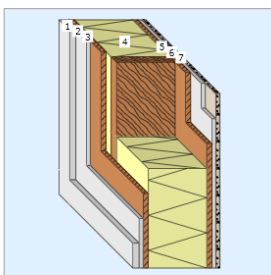
PENRT: 546 MJ/m²
 PENRE: 546 MJ/m²
 PENRM: 0,00 MJ/m²
 GWP-total: -71,3 kg CO₂ equ./m²
 GWP-fossil: 48,9 kg CO₂ equ./m²
 GWP-biogenic: -120 kg CO₂ equ./m²
 AP: 0,199 kg SO₂ equ./m²
 EP: 0,239 kg PO₄³⁻/m²
 PERT: 2.060 MJ/m²
 PERE: 104 MJ/m²
 PERM: 1.956 MJ/m²
 POCP: 0,0301 kg C₂H₄/m²
 ODP: 3,93·10⁻⁶ kg CFC-11/m²

no. layer (from inside to outside)	d cm	Useful life >br> duration / years	Disposal-classification	Exploitation potential
1 Plaster (Normal plastering mortar GP lime (1300 kg/m ³))	1,50	+20	2	3
2 inhomogeneous (parts vertical) 60 cm (86%) Building straw bales (109 kg/m ³) 10 cm (14%) Timber (525 kg/m ³ - e.g. larch) - rough, air-dried	50,00 50,00 50,00	+50 +100	3 1	2 1
3 Plaster (Normal plastering mortar GP lime (1300 kg/m ³))	1,50	+20	2	3
building element	53,00			

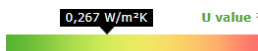
* self-entered value * U value (Heat transfer coefficient) calculated according to ÖNORM EN ISO 6946.

Рис. 2.9 Результати оцінки LCA для багатошарової огорожувальної конструкції стіни типу D

external wall Type E – edit (components from the energy certificate)



Fläche: 1 m²
 mass: 65,2 kg/m²
 service yes, replacements rates with whole life: numbers (according to EN 15804 standard)



PENRT: 2.697 MJ/m²
 PENRE: 2.136 MJ/m²
 PENRM: 560 MJ/m²
 GWP-total: 106 kg CO₂ equ./m²
 GWP-fossil: 139 kg CO₂ equ./m²
 GWP-biogenic: -32,6 kg CO₂ equ./m²
 AP: 0,528 kg SO₂ equ./m²
 EP: 0,189 kg PO₄³⁻/m²
 PERT: 1.621 MJ/m²
 PERE: 370 MJ/m²
 PERM: 1.251 MJ/m²
 POCP: 0,165 kg C₂H₄/m²
 ODP: 9,65·10⁻⁶ kg CFC-11/m²

no. layer (from inside to outside)	d cm	Useful life >br> duration / years	Disposal-classification	Exploitation potential
1 Plaster (Gypsum wallboards (1000 kg/m ³))	1,50	+20	4	3
2 putty (Mineral adhesive)	0,50	+30	3	5
3 OSB boards (650 kg/m ³)	1,20	+30	3	3
4 inhomogeneous (parts vertical) 45,5 cm (94%) swisspor EPS-W 25 3 cm (6%) Timber (525 kg/m ³ - e.g. larch) - planed, technically dried	14,00 14,00 14,00	+25 +40	4 1	3 1
5 OSB boards (650 kg/m ³)	1,20	+30	3	3
6 putty (Mineral adhesive)	0,50	+30	3	5
7 Plaster (Silicate plaster (without synthetic resin additive), reinforced)	0,50	+20	2	5
building element	19,40			

* self-entered value * U value (Heat transfer coefficient) calculated according to ÖNORM EN ISO 6946.

Рис. 2.10 Результати оцінки LCA для багатошарової огорожувальної конструкції стіни типу E

Таблиця 2.1 Результати моделювання оцінки життєвого циклу для альтернатив

Типи стін	Критерії оцінки життєвого циклу					
	PENRT, МДж/м ²	GWP-total, кг CO ₂ екв./м ²	AP, кг SO ₂ екв./м ²	EP, кг PO ₄₃ -/м ²	Маса стіни кг/м ²	Коефіцієнт теплопередачі, Вт/м ² К
Стіна А	2360	182,00	0,847	0,269	431,80	0,282
Стіна В	1742	129,00	0,602	0,216	129,30	0,158
Стіна С	6555	412,00	1,14	0,474	645,60	0,276
Стіна D	546	-71,30	0,199	0,239	123,2	0,121
Стіна Е	2697	106,00	0,528	0,189	65,20	0,267

2.3 Аналіз отриманих результатів

Для графічної інтерпретації отриманих у табл. 2.1 даних побудовано гістограми (рис. 2.11- 2.16).

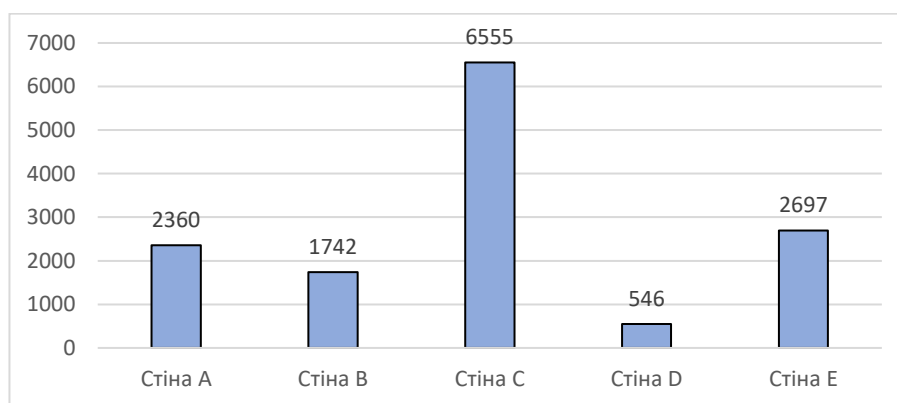


Рис. 2.11 Загальна величина первинної невідновлюваної енергії, PENRT, МДж/м²

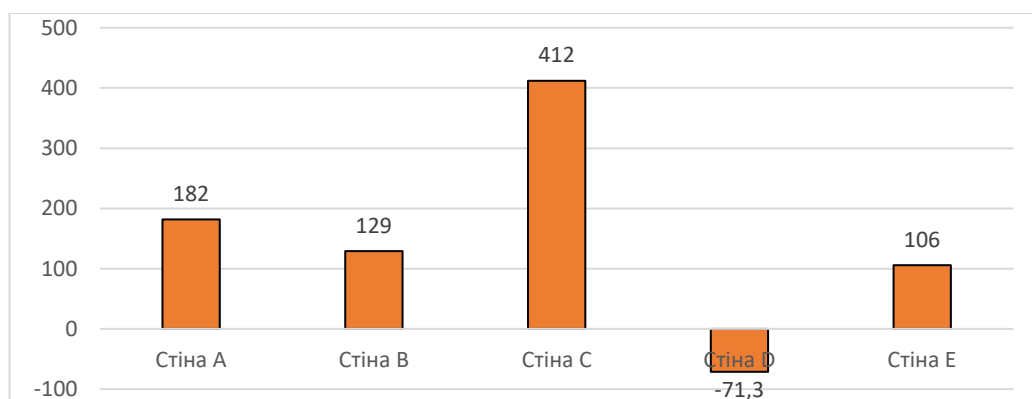


Рис. 2.12 Потенціал глобального потепління, GWP-total, кг·CO₂ екв./м²

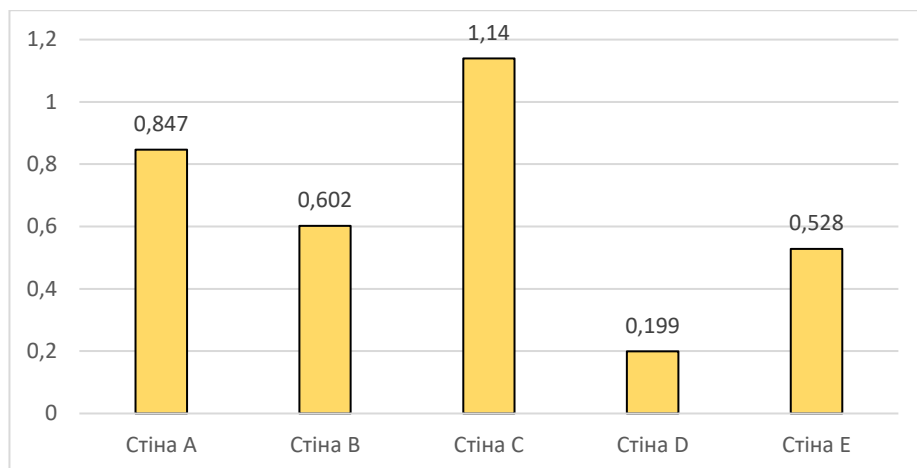


Рис. 2.13 Потенціал закислення, АР, кг·SO₂ екв./м²

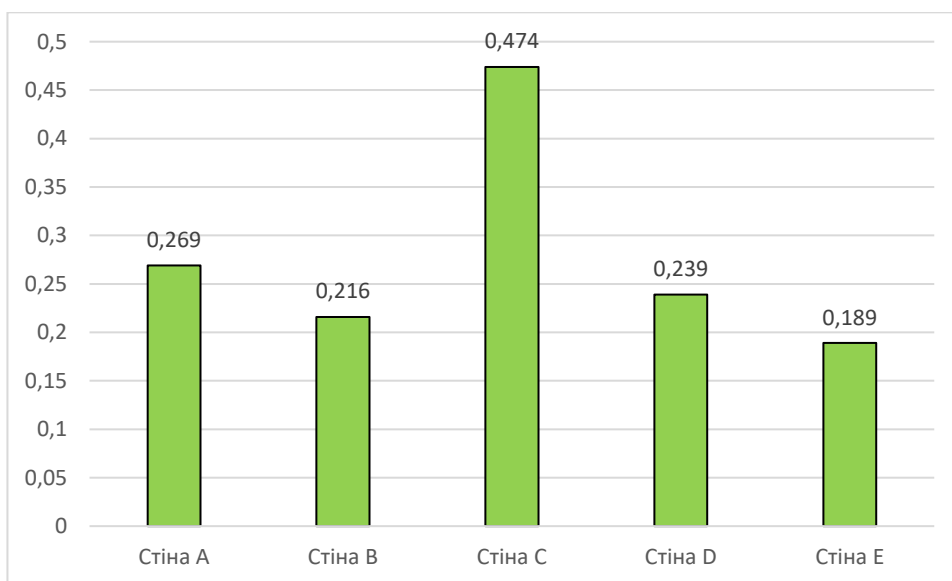


Рис. 2.14 Потенціал евтрифікації, EP, кг·PO₄₃/м²

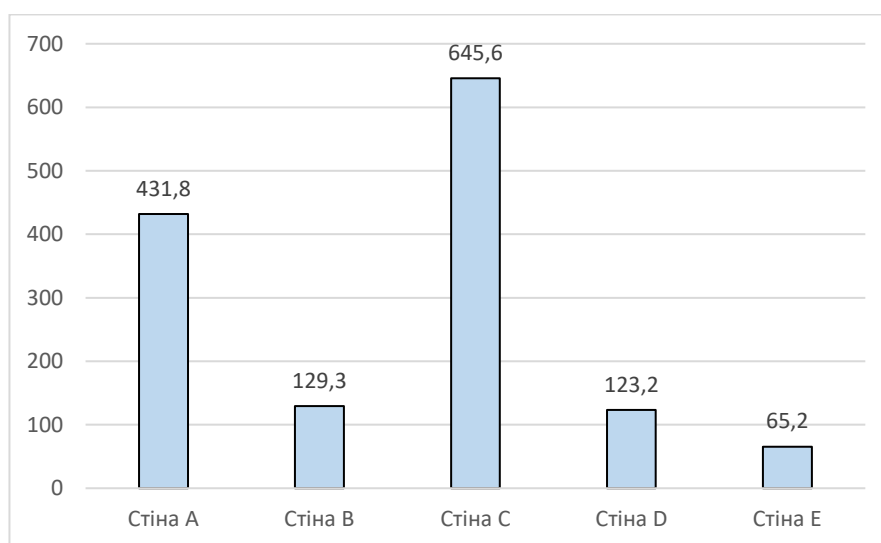


Рис. 2.15 Маса стіни, кг/м²

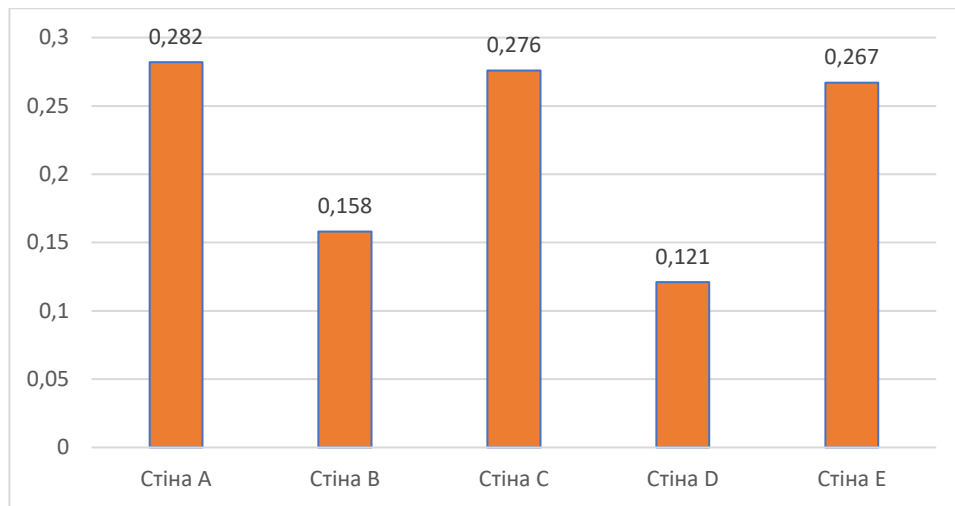


Рис. 2.16 Коефіцієнт теплопередачі стіни, Вт/м²К

Аналізуючи рис. 2.11- 2.16 навіть без приведення всіх вимірів показників у єдину шкалу шляхом будь якого з методів нормалізації дани, видно, що стіна типу D є найкращим варіантом по всіх критеріях (окрім критерію маси та критерію евтрифікації, де вона поступається варіанту СП стіни типу E). Це є цілком очевидним, оскільки стіна типу D виконана з натуральних матеріалів (солома, дерево, штукатурка) та на фоні решти альтернатив позиціонується як один з найкращих за всіма критеріями, що розглядаються.

Але якщо проранжувати отримані дані шляхом стандартної функції РАНГ у програмі Excel, а потім просумувати отримані ранги, тобто виконати адитивну згортку критеріїв, то це дозволить кількісно співставити всі альтернативи по всім критеріям (табл. 2.2) та рис. 2.17.

Таблиця 2.2 Результати моделювання оцінки життєвого циклу для альтернатив (після ранжування)

Типи стін	Критерії оцінки життєвого циклу						Сумарна оцінка в балах
	РЕНРТ, МДж/м²	GWP-total, кг CO ₂ екв./м²	AP, кг SO ₂ екв./м²	EP, кг PO ₄₃ -/м²	Маса стіни кг/м²	Коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²К	
Стіна А	3	4	4	4	4	5	24
Стіна В	2	3	3	2	3	2	15
Стіна С	5	5	5	5	5	4	29
Стіна D	1	1	1	3	2	1	9
Стіна E	4	2	2	1	1	3	13

* 1 – найкращий показник, 5 – найгірший.

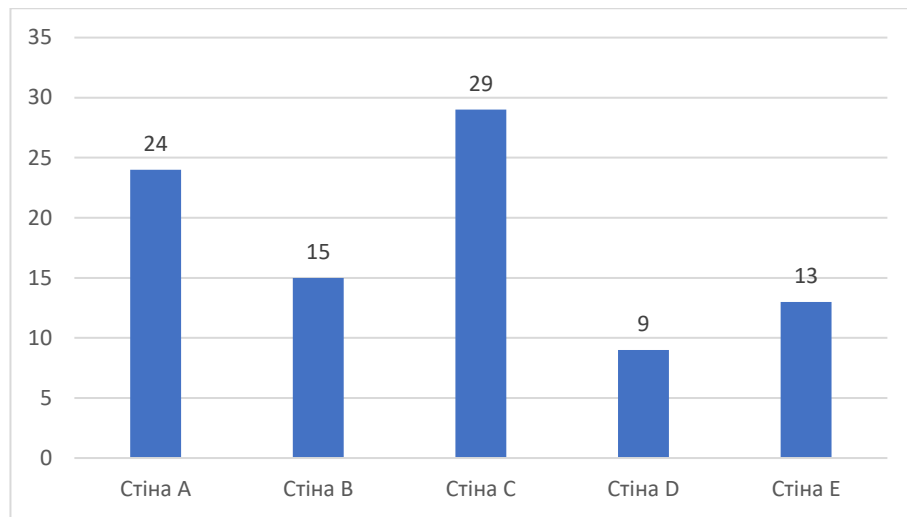


Рис. 2.16 Сумарна оцінка після згортки критеріїв

Аналіз даних рис 2.16 показав, що стіна з соломи є лідером по оцінці життєвого циклу в контексті обраних критеріїв з мінімальною кількістю балів – 9. Якщо прийняти варіант стіни з соломи за базовий 100% за критеріями оцінки життєвого циклу, тоді розподіл буде виглядати наступними чином:

Стіна А – 266,67%;

Стіна Б – 166,67%;

Стіна С – 322,22%;

Стіна D – 100%;

Стіна E – 144,44%.

Таким чином, за використання лише фізичних критеріїв для оцінювання втрат енергії / нанесення шкоди довкіллю можна зробити висновок, що чисельне моделювання дозволило співставити п'ять популярних альтернатив багатошарових конструкцій стін, та виявити, що стіна з соломи майже в 2,7 рази більш екологічніша за цегляну з тюкиєм, майже в 1,7 рази екологічніша від стіни з газоблоку з тюкиєм, майже в 3,25 рази ефективніша від стіни з колодязною кладкою, та в 1,45 рази краща від стіни СІП.

Очевидно, що для більш об'єктивної оцінки необхідно також провести калькуляцію вартості кожного з варіантів стін та лише тоді, співставляючи результати, зробити вибір, який є обґрунтованим в контексті методології LCA.

Послідовність виконання роботи

1. Обрати варіант багатошарової огорожувальної конструкції стіни (за табл. 2.3).
2. Задати правильну послідовність шарів багатошарової конструкції в програмі Eсо2soft [43], враховуючи тип матеріалу, назву шару, фізико-механічні характеристики матеріалу (густина, коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність).
3. Задати термін експлуатації конструкції (за базовий прийнято термін $T=50$ років).
4. Запустити розрахунок, за отриманими результатами побудувати порівняльну графічну залежність із базовим варіантом (цегляна стіна 380 мм+120 мм енергоефективного утеплювача), сформулювати висновки.
4. Оформити звіт по виконаній практичній роботі.
5. Захистити виконану практичну роботу, відповівши на контрольні запитання.

Контрольні запитання

1. Що таке життєвий цикл конструкції?
2. Чому важливо оцінювати життєвий цикл конструкції на етапі проектування?
3. Які етапи життєвого циклу можна оцінити за допомогою програмних продуктів?
4. Які критерії оцінки життєвого циклу можна вважати найважливішими, які менш важливими?

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для практичної роботи № 1

Найменування матеріалу стіни	Товщини шарів для варіантів, мм														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cutted straw /Посічена солома	200	-	-	200	-	100	-	-	200	150	200	-	-	200	-
Ecofibre / Екофібра	-	150	-	-	-	-	200	-	-	-	-	150	-	-	-
Rockwool insulation boards / Мінераловатні плити	150	-	200	-	150	100	-	100	-	200	150	-	200	-	250
EPS insulation boards / Екструдований пінополістирол	150	-	-	100	-	-	-	-	200	-	150	-	-	200	-
EPS by Neopor BASF (for ISOTEX) / Неопор BASF графітовий пінополістирол (для ISOTEX)	200	-	-	-	150	100	-	100	-	150	200	-	-	200	150
Sand-lime plaster /Пісчано-вапняна штукатурка	-	30	20	30	30	-	50	80	30	30	-	30	20	30	30
Gypsum board / Гіпсокартон	-	20	-	20	20	-	-	-	40	20	-	20	40	60	50
Glass fibre insulation products / Вироби теплоізоляційні скловолокнисті	-	-	200	-	-	-	150	-	-	-	200	-	-	-	150
Heavy woodcrete ISOTEX/ Важкий арболіт ISOTEX	-	-	200	-	150	-	-	-	-	150	-	-	200	-	150
"Pine and spruce across the fibre 500 kg/m ³	-	250		300	150	-	-	300	200	200	-	250		200	200
Сосна та ялина поперек волокон 500 кг/м ³ "	-	-		-	-	250	-		-	-	-	-	250	-	-
RC / Залізобетон	300	-	150	-	150	-	150	150	-	150	300	-	150	-	150
"Polystyrene concrete wall blocks / Блоки полістиролбетонні стінові"	-	-	-	250	-	-	-	250	300	-	-	-	-	250	-
Full clinker+normal mortar / Повнотіла цегла на нормальному розчині	-	-	510	-	380	-	-	-	-	380	-	-	120	-	250
Vertically perforated brick 17 cm to 38 cm + normal mortar for brickwork (1450 kg/m ³) / Перфорована цегла 1450 кг/м ³ на нормальному розчині	380	-	-	250	-	250	-	250	380	-	120	-	-	120	-

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Багатокритеріальний аналіз технології влаштування енергоефективних огороджувальних конструкцій стін

Мета роботи: комплексна оцінка ТЕП для технологічного рішення по обраному матеріалу для влаштування енергоефективної огороджувальної конструкції.

Теоретичні відомості

Основними техніко-економічними показниками ефективності будівельних процесів і будівельно-монтажних робіт є: собівартість – це грошові витрати на виконання будівельного процесу або одиниці будівельної продукції. Собівартість виконання будівельного процесу складається з прямих і накладних витрат [44]. Прямі витрати включають заробітну плату робітників, вартість матеріалів і конструкцій з урахуванням заготівельно-складських витрат і вартості доставки їх на приоб'єктний склад, витрати на експлуатацію машин, механізмів і устаткування, а також транспортні витрати. Накладні витрати складаються з адміністративно-господарських витрат, витрат на утримання пожежної і сторожової охорони, витрат на інвентар та інструменти, витрати по лабораторному випробовуванню матеріалів, конструкцій тощо.

Ішній аспект витрат враховується трудомісткістю – затратами праці на одиницю виробітку будівельної продукції (накшталт 1 м³ монолітного залізобетону, 1 м³ кам'яної кладки, тощо) або на загальний обсяг виконаних робіт (на екскавацію ґрунту під час влаштування котловану); тривалість виконання процесу.

У разі потреби можна застосовувати допоміжні техніко-економічні показники: виробіток одного робітника за годину (день чи рік), затрати часу на одиницю будівельної продукції, рівень механізації або автоматизації трудових процесів, рівень механізації (комплексної механізації) будівельно-монтажних робіт, показники використання машин за часом або основними технологічними

параметрами (вантажопідйомністю), виробіток машини за одиницю часу, вартість машино-зміни тощо [17, 18].

З іншої сторони влаштування огорожувальних конструкцій має відповідати також іншим важливим вимогам, а саме надійності, довговічності, морозостійкості, теплозахисту, тощо. У зв'язку з цим, однією з нагальних задач підвищення теплозахисних властивостей стінових огорожувальних конструкцій є покрокове збільшення їх опору теплопередачі для гармонізації значення коефіцієнту теплопередачі (*u-value*, Вт/м²К) вітчизняних норм з аналогічними показниками по критерію градусодіб в інших країнах Європи. Одним зі шляхів є утеплення стін теплоізоляційними матеріалами, які повинні захищатися від зовнішніх впливів захисно-декоративним шаром, здатним за необхідності зберегти або поліпшити архітектурно-художній вигляд будинку або приміщення.

Для додаткового теплозахисту стін існують два основних способи його розміщення: із зовнішнього або внутрішнього боку стіни. У деяких випадках за певного обґрунтування, виконують теплозахист будинків із розміщенням утеплювача із зовнішнього і внутрішнього боків стіни одночасно. Цей спосіб можна назвати комбінованим [45].

Ураховуючи вищезазначене варто відмітити, що нормативними документами, які регламентують технологію виконання теплоізоляції будівель, однозначно рекомендується влаштування огорожувальних конструкцій таким чином, щоб утеплювач знаходився лише на зовнішній поверхні огорожувальних конструкцій. І лише в окремих випадках дозволяється виконувати теплоізоляцію з внутрішнього боку стіни, наприклад, коли будівля визначена архітектурно-історичною пам'яткою.

Установлення теплозахисту із зовнішнього і внутрішнього боків стіни одночасно майже не використовується, тому що цей спосіб має велику трудомісткість робіт. Він застосовується в особливих випадках, коли неможливо забезпечити відповідний рівень теплозахисту методом нанесення теплоізоляції лише з одного боку стіни.

Послідовність виконання роботи

1. Обрати технологію влаштування огорожувальної конструкції стіни/влаштування покриття/фасаду, тощо.
2. Порівняти обрану технологію із відомими на ринку альтернативами, навести в табличній формі основні переваги та недоліки обраної технології.
3. Виконати технологічний розрахунок витрати матеріалів(люд-год/маш-год на одиницю умовної захватки).
3. Оцінити результати розрахунків і побудови графічних залежностей, сформулювати висновки.
4. Оформити звіт по виконаній практичній роботі (презентації).
5. Захистити виконану практичну роботу, відповівши на контрольні запитання.

Кожен студент згідно номеру варіанта (табл. 2.2-2.4) повинен виконати дослідження впливу зміни часу навантаження-розвантаження, вантажопідйомності автомобіля, часу в наряді на функціонування мікросистеми, побудувати графіки і написати висновки.

Як приклад розглянемо технологію влаштування даху з очерету (рис.3.1-3.14), що був одним із традиційних способів влаштування даху в Україні менше ста років тому, та набуває знову неабиякої популярності у прихильників будівництва з натуральних матеріалів за удосконаленими технологіями наших пращурів. Матеріал презентації люб'язно наданий здобувачем Михайлом А.



Рис. 3.1 – Перший слайд презентації (загальні відомості)

Така споруда чудово впишеться в природний ландшафт та додасть будівлі нотку оригінальності! Натуральні покрівлі підходять не тільки для житлових будинків, але й для дахів ресторанів, альтанок, маленьких готелів, бунгало в етнічному чи історичному стилі. Покрівлі з природних матеріалів - це не тільки неординарність, вони відповідають всім необхідним будівельним нормам і прекрасно захищають будинок від негоди і змін температури!



Рис. 3.2 – Другий слайд презентації (загальні відомості)

Приклади реалізації даної технології

Киянин **Руслан Полонець** обрав та з допомогою майстрів облаштував для своєї нерухомості дах із очерету вже чимало років тому, хотів оформити екстер'єр території під містом наближеним до карпатського стилю.

Чоловік поділився фотографіями з особистого архіву та зазначив, що жодного разу не пошкодував про свій вибір, адже за роки «служби» такого покриття воно не втратило свою естетичну привабливість та досі відповідає усім стандартам найліпшого покрівельного матеріалу.

«Дах не потребує постійного оновлення і особливого догляду, після дощів не намокає та й взагалі нічого не боїться», – говорить пан Руслан. Очеретом у нього оформлений літній будиночок та тераса.



(будинок киянина Руслана)

Рис. 3.3 – Третій слайд презентації (реалізація даної технології)

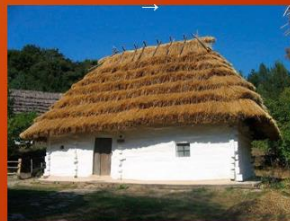
Альтернативні варіанти покрівель з природних матеріалів

СОЛОМА

Кілька століть тому дахи будинків виготовлялися тільки з соломі. Дах з соломі володіла величезною довговічністю, приголомшливим дизайном і простотою. У наші дні проводиться будівництво даного даху на будинках, котеджах, дачах і т.д. Всі дахи будинків із соломі мають серйозну перевагу перед іншими видами покриттів – це екологічно чистий матеріал, який недорого коштує і підходить для експлуатації в суворому кліматі.



Сучасний будинок з солом'яною покрівлею



← Будинок з солом'яною покрівлею минулого

Рис. 3.4 – Четвертий слайд презентації (альтернативні реалізації влаштування даху за даною технологією)

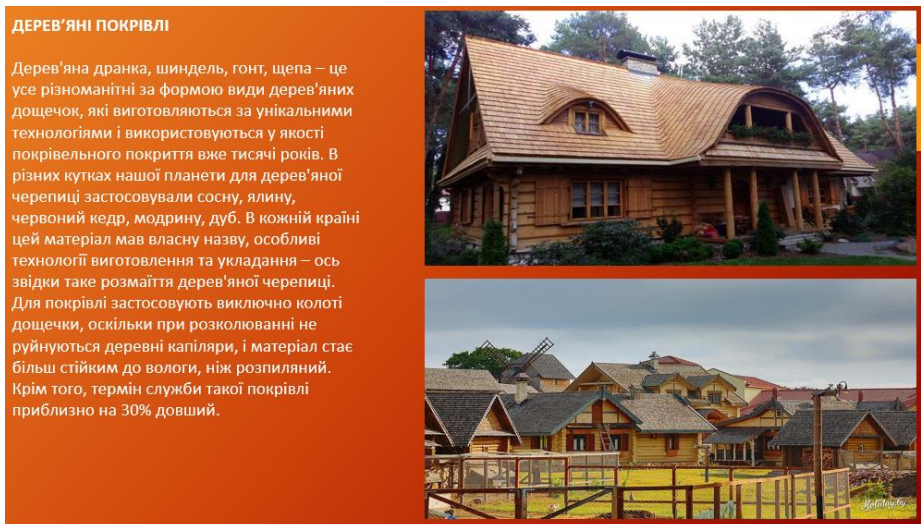


Рис. 3.5 – П'ятий слайд презентації (альтернативні реалізації влаштування даху за іншими технологіями)



Рис. 3.6 – Шостий слайд презентації (переваги/недоліки обраної технології)

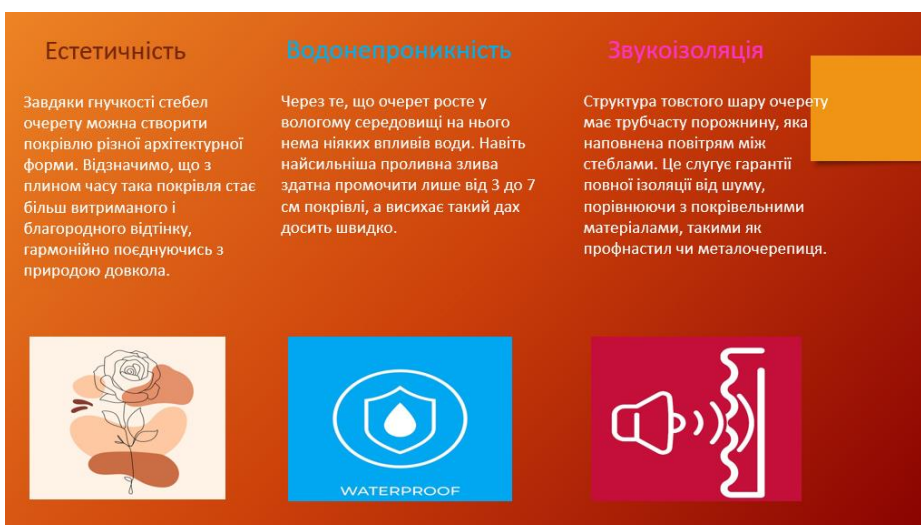


Рис. 3.7 – Сьомий слайд презентації (переваги/недоліки обраної технології)

Недоліки ☹:

Вогнебезпечність

Очерет боїться не тільки відкритого вогню, але і надмірно високої температури. Обробка антипіренами здатна лише знизити ризик загоряння, але не повністю усунути його. Це пов'язано з тим, що захисний склад здатний проникати лише на 5-7 см вглиб даху, а також вимийється дощем і снігом. Тому подібну обробку рекомендується повторювати кожні 2-3 роки.



Гризуни

Крім того, очерет дуже люблять птахи і гризуни. Саме тому укласти матеріал необхідно максимально щільно, щоб були відсутні стирчать кінці і щілини.

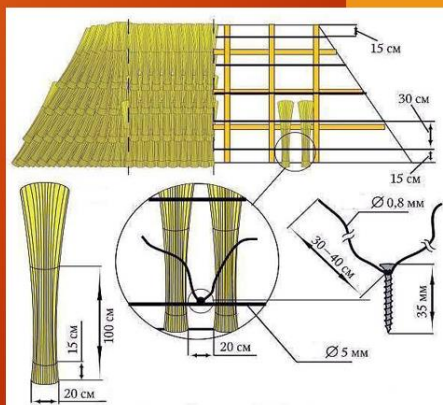


Рис. 3.8 – Восьмий слайд презентації (переваги/недоліки обраної технології)

Технологія встановлення

Послідовність роботи:

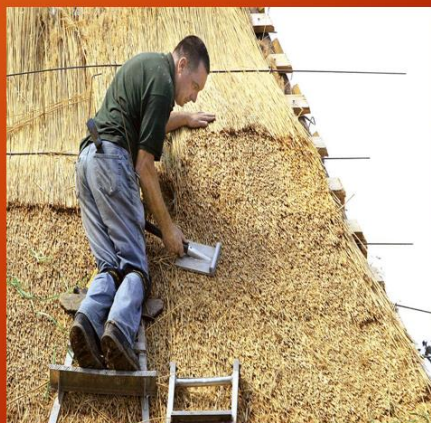
- 1) Насамперед, щоб укрити дах очеретом, потрібно заготовити снопи – стебла при цьому повинні бути довжиною від 1,6 до 2,2 м, у пучках розташовуватися рівномірно.
- 2) Для конькової зони, навісу, мансарди або інших невеликих поверхонь використовуються коротші стебла.
- 3) З брусів 40х60 або 50х50 встановлюєте решетування з кроком 300 мм.
- 4) Потім вкручує в неї елементи для кріплення – це можуть бути звичайні шурупи.
- 5) До шурупів потрібно прикріпити сталевий дріт – він повинен бути настільки міцним, щоб надійно утримувати снопи рогоза або очерету.



(розміри)

Рис. 3.9 – Дев'ятий слайд презентації (особливості техпроцесу по влаштуванню)

- 6) Очеретяні пучки слід укласти внахлест, рівномірно і щільно. Починати потрібно з нижнього краю схилу даху. Пам'ятайте, що звис очерету від стіни будинку має бути не менше 50 см.
- 7) Далі, вам потрібно протягнути дріт із нержавіючої сталі крізь пучки, прошиваючи їх. Також ви можете вчинити, як робили в давнину – замість дроту використовувалася прядив'яна мотузка. Тільки в ті часи дріт був недоступним, а зараз така заміна надає очеретяній покрівлі особливу родзинку.
- 8) Для зручності використовуйте спеціальні гаки – при укладанні наступних рядів очеретових снопів ними зручно тимчасово тримати конструкцію даху.
- 9) Перед тим як обкласти коник покрівлі, очерет потрібно намочити і почекати, поки він трохи просохне, так ви легко зможете надати снопу форму ковзана.



(процес встановлення)

Рис. 3.10 – Десятий слайд презентації (особливості техпроцесу по влаштуванню)

Висновок

Дах з очерету? Та ну що ви... Якась екзотика, народна "творчість", хіба для етнографічних музеїв чи зон рекреації...

А втім, у світі і в Україні такі покрівлі стають дедалі популярнішими! Виявляється, стара добра істина про «кусе нове - це давно забуте старе» у цьому випадку як ніколи точна. Дах з очерету - міцний, теплий, простий у монтажі і просто ідеально екологічний.



(сучасні будинки з очеретяною покрівлею)

Рис. 3.13 – Чотирнадцятий слайд презентації (висновки)

Джерела

1. URL: <https://www.volynpost.com/articles/2008-stylno-ekologichno-racionalno-dah-z-ocheretu--vybir-lyudej-21-go-stolittia> Люди, що живуть під дахом з очерету.
2. URL: <https://roof.lviv.ua/catalog/dah-z-solomy/> Дах з соломи.
3. URL: <https://www.tripsavvy.com/fairy-tale-cottages-under-thatch-4050845> Будинки англії.
4. URL: <https://zrub-komplekt.com.ua/pokrivli-dranka.php> Дах з дерев'яної покрівлі.
5. URL: <https://west-reed.com/> Переваги та недоліки даху з очерету.
6. URL: <https://www.stroy-krov.ru/articles/krysha-iz-kamysha> Технологія встановлення.
7. URL: <https://west-reed.com/yakyy-dohlyad-za-dakhom-z-ocheretu/> Догляд за дахом.

Рис. 3.14 – П'ятнадцятий слайд презентації (джерела посилань)

Назви та кількість слайдів презентації по роботі №2 є умовними, але мають віддзеркалювати загальну концепцію – технологія-переваги та недоліки-реалізовані об'єкти-аналоги/конкуренти- технологічний розрахунок-висновки.

Очевидно, що для фактичного розрахунку люд-год/маш-год для конкретної технології необхідно обрати величину умовної захватки, наприклад 100 м² стіни.

Для робіт, є нетиповим, або які пов'язані із сучасними методиками/технологіями, які ще на надули широкого ужитку в галузі будівництва (наприклад технологія 3D друку, що описана у низці робіт [3, 4, 5, 6]) розрахунок носитиме умовний характер та не може бути виконаний без фактичних напрацювань за даною технологією. Якщо тип робіт може бути відрізнитись за матеріалом, але бути схожим за суттю, то у першому наближенні кількість люд-год/маш-год можна отримати із відповідних схожих типах робіт у одній з програм для кошторисних розрахунків, типу АВК [46], Будівельні технології Кошторис 8 [47], тощо.

Вихідних даних, як таких для даної роботи немає, але здобувач може поглибити свої знання та обрати технологію, яка йому більше всього імпонує з переглянутих на занятті тематичному відео з мережі Інтернет/отриманій інформації від викладача при провденні лекційного заняття, тощо.

Остаточний вибір тієї чи іншої теми для дослідження робить здобувач в контексті ефективного будівництва з енергоощадних матеріалів, що мають мінімальний негативний вплив на довкілля згідно оцінок життєвого циклу.

Контрольні запитання

1. Переліchte прогресивні технології в практиці будівельного виробництва для зведення стін.
2. Традиційні та нетрадиційні матеріали та методи.
3. Технічне нормування. Основні техніко-економічні показники в технології.
4. Дати визначення поняття норма часу, норма виробітку, норма машинного часу, трудомісткість.
5. Методи організації праці в практиці будівельного виробництва.
6. Технологічна карта. Різновиди та склад карт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Золотова Н. М. Сучасні матеріали та технології будівництва: конспект лекцій для студентів денної форми навчання освітнього рівня «бакалавр» зі спеціальності 191 – Архітектура та містобудування. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 135 с.
2. Гуденко В.М. Технологія будівельного виробництва: навчальний посібник. Київ: Аграрна освіта, 2010. 481 с.
3. Сучасні технології в будівництві: Підручник для вузів/ Менеїлюк О.І. та ін.; Одеська держ. Академія будівництва та архітектури. Київ: Освіта України, 2011. 534с.
4. Згалат-Лозинська Л.О., Згалат-Лозинський О. Б. Розвиток та впровадження інноваційних технологій 3D-друку у будівництві. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. Том 31 (70). № 5, 2020. С. 45-51.
5. Hamidreza Gh.S., Corker J., Fan M. (2018) Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an eco-innovative solution. *Automation in Construction*, vol. 93, P. 1–11.
6. 3D Print Lewis (2019) Grand Hotel Erects World's First 3D Printed Hotel, Plans to Print Thousands of Homes in the Philippines Next. 3D Print Lewis. URL: <https://3dprint.com/94558/3d-printed-hotel-lewis-grand> (Last accessed 27 December 2022).
7. Buswell R.A., Soar R.C., Puddlebury M., Gibb A.G., Edum-Fowte F.T., Thorpe T. (2005) Investigation of the potential for applying freeform processes to construction. Proceedings of the 3rd International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC). Rotterdam. The Netherlands, p. 141–150. URL: <https://dspace.lboro.ac.uk/2134/10144> (Last accessed 27 March 2022).
8. Delgado D., Clayton P., O'Brien W.J., Seepersad C., Juenger M., Ferron R., Salamone S. Applications of additive manufacturing in the construction industry – A forward – looking review. *Automation in Construction*. 2018. No. 89, P. 110–119.
9. Paolini A., Kollmannsberger S., Rank E. Additive manufacturing in construction: A review on processes, applications, and digital planning methods. *Additive Manufacturing*. 2019. No. 141(9), P. 1–13.
10. Андрійчук О.В., Оласюк П.Я. Застосування 3D-технологій у будівництві. *Сучасні технології та методи розрахунку в будівництві*. 2015. Вип. 3. С. 11–18.
11. Петришина А.А. Тенденції розвитку тривимірного друку, обладнання та матеріалів для нього. Актуальні задачі сучасних технологій: матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів (25-26 листопада 2015 р.). Тернопіль, 2015. С. 26–27.
12. Струтинська О.В. Сучасний стан і перспективи розвитку технологій тривимірного моделювання та друкування. Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія 2: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. 2018. № 20. С. 88–94.
13. Лемешев М.В., Христич, О. В., Зузяк С. Ю. Ресурсозберігаюча технологія виробництва будівельних матеріалів з використанням техногенний відходів.

- Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 2018. № 24(1). С.18-23.
14. TAM, Vivian WY. Cost effectiveness of using low cost housing technologies in construction. *Procedia Engineering*, 2011. No.14: P. 156-160.
 15. Iqbal, M., Ma, J., Ahmad, N., Hussain, K., & Usmani, M. S. (2021). Promoting sustainable construction through energy-efficient technologies: an analysis of promotional strategies using interpretive structural modeling. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2021. P. 1-24.
 16. Організація будівництва / С.А. Ушацький, Ю.П. Шейко, Г.М. Тригер та ін.; за редакцією С.А. Ушацького. Підручник. Київ: Кондор, 2007. 521 с.
 17. Дорош А. М. Організація будівельного виробництва: навчальний посібник. Київ: Аграрна освіта, 2011. 255с.
 18. Ковальчук Я.О. Технологія та організація будівництва: навчальний посібник. – Тернопіль, 2017. – 191с.
 19. Білецький, А.А. Організація і технологія будівельних робіт [Електронний ресурс]: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2007. 215 с.
 20. Сталій розвиток. URL: <https://www.zhiva-planeta.org.ua/diyalnist/staluy-rozvytok.html> (дата доступу 24.05.2022).
 21. Artaraz M. Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas*. 2002. Vol. 11. No. 2.
 22. Du Plessis C. A strategic framework for sustainable construction in developing countries. *Construction Management and Economics*. 2007. Vol. 25, No.1. P. 67-76.
 23. Життєвий цикл URL: <https://www.ecolabel.org.ua/zhittevij-tsikl> (дата звернення 12.05.2022).
 24. Марусич Д. Життєвий цикл будинку. Проект ЄС- ПРООН «Об'єднання співвласників будинків для впровадження сталих енергоефективних рішень (Houses) URL: www.ua.undp.org (дата звернення 16.05.2022).
 25. Han G., Srebric J. Life-cycle assessment tools for building analysis. *Engr. Psu. Edu*. 2011. p. 7.
 26. Getun G., Lesko I. Врахування вартості життєвого циклу при проектуванні суміщених покриттів будівель. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2018, №. 11. С. 95-102.
 27. Чернишев Д.О. Науково-методологічний інструментарій організації будівництва на засадах біосферосумісності: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.08 / Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» . Дніпро, 2018. 460 с.
 28. Ding G. K. C. Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: an overview. *Eco-efficient construction and building materials*. 2014. P. 38-62.
 29. Ramesh T., Prakash R., Shukla K. K. Life cycle energy analysis of buildings: an overview. *Energy and Buildings*. 2010. Vol. 42, No 10. P.1592 - 1600.
 30. Mikhlesian S., Holmén M. Business model changes and green construction processes. *Construction Management and Economics*, 2012. Vol. 30, No. 9. P. 761-775.

31. Clarke J. A., Yaneske P. P., Pinney A. A. The Harmonisation of Thermal Properties of Building Materials. URL: http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/89/thermop_rep.pdf (дата звернення: 02.03.23).
32. EN 15978:2011. Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/62c22cef-5666-4719-91f9-c21cb6aa0ab3/en-15978-2011> ((дата звернення 25.05.2022).
33. Ip K., Miller A. Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime wall constructions in the UK. Resources, Conservation and Recycling. 2012. No. 69, P.1-9.
34. Берзіна С.В., Капотя Д.Ю., Бузан Г.С. Екологічна сертифікація та маркування. Методичний довідник. Київ: вид-во Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 114 с.
35. Берзіна С.В., Яреськовська І.І. та ін. Системи екологічного управління: сучасні тенденції та міжнародні стандарти. Посібник. Київ: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 134 с.
36. Марусич Д. Життєвий цикл будинку. Проект ЄС- ПРООН «Об'єднання співвласників будинків для впровадження сталих енергоефективних рішень (Houses) URL: www.ua.undp.org (дата звернення 16.05.2022).
37. Carabaño R. et al. Life Cycle Assessment (LCA) of building materials for the evaluation of building sustainability: the case of thermal insulation materials. Revista de la Construcción. Journal of Construction. 2017. Vol. 16. №. 1. P. 22-33.
38. Halliday S. Sustainable Construction Butterworth Heinemann. 2008.
39. Ekanayake L. L., Ofori G. Building waste assessment score: design-based tool. Building and environment. 2004. – Vol. 39. No. 7. P. 851-861.
40. Esin T. A study regarding the environmental impact analysis of the building materials production (in Turkey). Building and Environment. 2007. Vol. 42 P.3860 – 3871.
41. John G., Clements-Croome D., Jeronimidis G. Sustainable building solutions: a review of lessons from the natural world. Building and environment. 2005. Vol. 40. No. 3. P. 319-328.
42. Asdrubali F., D'Alessandro F., Schiavoni S. A review of unconventional sustainable building insulation materials. Sustainable Materials and Technologies. 2015. Vol. 4, P. 1–17.
43. Eco2soft. Life style assessment for buildings. URL: <https://www.baubook.at/eco2soft/?SW=27&lng=2> (дата звернення 15.05.2022).
44. Гуденко В.М. Технологія будівельного виробництва: навчальний посібник / Київ: Аграрна освіта, 2010. 481 с.
45. Енергоефективні технології : навчальний посібник / А. С. Мандрика та ін. ; за заг. ред. А. С. Мандрики. Суми: Сумський державний університет, 2021. 330 с.
46. АВК URL: <https://avk5.com.ua/> (дата звернення 15.05.2022).
47. Будівельні технології Кошторис 8. URL: <https://smeta.ua/ua/> (дата звернення 15.05.2022).

Електронне навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт

**“ЕФЕКТИВНІ БУДІВЕЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ ЇХ
ВИКОНАННЯ”**

для студентів спеціальності
192 – «Будівництво та цивільна інженерія»

Рукопис оформив: *Юрій Семенович Бікс*

Оригінал-макет підготовлено Біксом Ю. С.

Підписано до друку .
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. ук. арк. .
Наклад пр. Зам. №

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 65-18-06.
press.vntu.edu.ua;
E-mail: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.