

**ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬ В УКРАЇНІ У КОНТЕКСТІ  
ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ: СВІТОВІ СТАЛІ  
ПРАКТИКИ ТА УКРАЇНСЬКІ ПЕРСПЕКТИВИ**

**THERMAL MODERNIZATION OF BUILDINGS IN UKRAINE WITHIN  
THE CONTEXT OF CONSTRUCTION INDUSTRY DECARBONIZATION:  
GLOBAL SUSTAINABLE PRACTICES AND UKRAINIAN PROSPECTS**

Маєвська О.М., к .б. н., доцент <https://orcid.org/0000-0003-2071-322X>;  
Манзюк А.О., аспірант <http://orcid.org/0009-0007-2609-9036>; Щупаківський  
Р.Б., к. т. н., доцент <https://orcid.org/0000-0002-5242-1267>; Удовиський,  
О.М., к.т. н., доцент <https://orcid.org/0000-0003-2234-806X>; Маєвський В.О.,  
д. т. н., професор <http://orcid.org/0000-0001-5820-9454> (Національний  
лісотехнічний університет України, м. Львів)

Mayevska O., <https://orcid.org/0000-0003-2071-322X>; Manziuk A.,  
<http://orcid.org/0009-0007-2609-9036>; Shchupakivskyi R., <https://orcid.org/0000-0002-5242-1267>;  
Udovytskyi O., <https://orcid.org/0000-0003-2234-806X>;  
Mayevskyy V., <http://orcid.org/0000-0001-5820-9454> (Ukrainian National Forestry  
University, Lviv)

Термомодернізація є одним із шляхів підвищення енергоефективності будівель та скорочення викидів парникових газів. Актуальність проблеми термомодернізації в Україні спричинена великою кількістю старих будинків різних категорій, які споживають майже третину кінцевої енергії в державі. Для енергозабезпечення будівель використовують переважно різні види викопного палива, спалювання якого призводить до погіршення якості атмосферного повітря, значних викидів парникових газів, насамперед CO<sub>2</sub>, що зумовлює посилення парникового ефекту, зростання температури довкілля і кліматичних змін, які проявляються як глобальне потепління планетарного масштабу. Масштабна термомодернізація будівель може стати одним з дієвих інструментів як зниження енергозалежності України від викопних палив, так і успішного впровадження процесів декарбонізації у будівельній галузі. Зважаючи на війну, процес термомодернізації будівель відбувається в недостатньому обсязі і стосується насамперед напруження першочерговості виконання завдань, що будуть реалізовуватись у післявоєнний час і полягатимуть у модернізації існуючих будівель для досягнення ними стандарту будівель з «нульовими викидами». Такі заходи є важливими для виконання прийнятих Україною зобов'язань як асоційованого члена Європейського Союзу щодо

**проведення декарбонізації для регулювання кліматичних змін в контексті скорочення викидів парникових газів.**

**Питання впровадження нових енергоефективних дерев'яних конструкцій у малоповерховому будівництві має важливе значення, адже сучасна термомодернізація вимагає швидких, точних та екологічно чистих будівельних рішень. Негативний потенціал глобального потепління запропонованого стінового елемента свідчить про те, що його можна вважати конструкцією, що наближається до нульового енергоспоживання.**

**Thermal modernization is one of the ways to increase building energy efficiency and to reduce greenhouse gas emissions. The urgency of the thermal modernization problem in Ukraine is caused by the large number of old buildings across various categories, which consume almost one-third of the country's final energy.**

**Fossil fuels are predominantly used for the energy supply of buildings, the combustion of which leads to the deterioration of ambient air quality, significant greenhouse gas emissions, primarily CO<sub>2</sub>, which intensifies the greenhouse effect, increases environmental temperature, and causes climatic changes manifested as global warming on a planetary scale.**

**Large-scale thermal modernization of buildings can become one of the effective tools for both reducing Ukraine's energy dependence on fossil fuels and successfully implementing decarbonization processes in the construction sector. Given the ongoing war, the process of thermal modernization of buildings is insufficient in scope and primarily focuses on prioritizing tasks that will be implemented in the post-war period. These tasks will involve the modernization of existing buildings to achieve the "nearly Zero-Emission Building" (nZEB) standard. Such measures are crucial for fulfilling the commitments undertaken by Ukraine as an Associated Member of the European Union regarding decarbonization for climate change regulation in the context of reducing greenhouse gas emissions.**

**The issue of introducing new energy-efficient wooden structures in low-rise construction is important, as modern thermal modernization requires fast, precise, and environmentally friendly building solutions. The negative Global Warming Potential (GWP) of the proposed wall element indicates that it can be considered a structure approaching nearly zero energy consumption.**

**Ключові слова:** термомодернізація будівель, енергоефективність, декарбонізація будівель, стіновий елемент, каркасна конструкція, потенціал глобального потепління.

**Building thermal modernization, energy efficiency, building decarbonization, wall element, frame structure, global warming potential.**

Масштабне оновлення будівель (модернізація) вимагає попереднього етапу, який включає точний облік та розподіл за категоріями всіх об'єктів, що потребують ремонту чи реконструкції. До повномасштабного вторгнення кількість будівель в Україні розподілялась приблизно так: 70 тисяч бюджетних установ, 80 тисяч багатоповерхових житлових будинків та 6,5 мільйона приватних осель. У додатку до «Довгострокової стратегії термомодернізації будівель на період до 2050 року» наведено більш детальні дані про житлові і нежитлові будівлі [1]. Інформація про житлові будівлі є достатньо повною, адже містить кількісний розподіл будівель за категоріями, а також за географічними ознаками і часом спорудження будівель. Для будівель нежитлового сектору такої деталізованої інформації наразі немає. Варто враховувати, що реальні цифри на даний час є іншими через масштабні руйнування будівель внаслідок бойових дій та ракетних обстрілів. Так, станом на кінець 2024 року зафіксовано пошкодження або руйнування понад 236 тисяч будівель і споруд, фінансові збитки від таких руйнувань/пошкоджень склали більше 60 млрд доларів США [2]. Деталізована статистика із вказанням кількості пошкодженого/зруйнованого фонду житлових і нежитлових будівель наведена у [3]. Війна, що триває, спричиняє погіршення цих показників. Відповідно триваючі руйнування впливають і на зміну базових статистичних показників стосовно будівель, що потребують термомодернізації. На них також позначається і невизначеність щодо стану будівель, які розташовані на окупованих територіях, або знаходяться поблизу зони бойових дій. Тому проблема щодо створення і опрацювання актуальної бази даних щодо стану будівель в країні у післявоєнний період буде однією з першочергових.

В Україні частина старого житлового фонду характеризується значною фізичною зношеністю та великими енерговитратами. Так, обстеження значної кількості (близько 1500 шт) 5-поверхових житлових будинків, споруджених за типовими проєктами, виявило незадовільний технічний стан у 5% [4]. Такі будівлі, як і зруйновані внаслідок ракетних обстрілів, потребують знесення і подальшого будівництва нового житла. Однак, більшість будинків рентабельно модернізувати, зважаючи на високу вартість нового житла і, в цілому, низьку купівельну спроможність населення.

Якщо аналізувати стан багатоповерхових будинків, в яких проживає основна кількість українців, щодо енергоефективності, то більшість будівель (понад 93%), споруджені до 2002 року за старими будівельними нормами. Теплова ізоляція таких будинків мінімальна або відсутня взагалі. Саме на них припадає основна частка енерговитрат із 1/3 всієї енергії, що споживається будівлями. Ця цифра є вдвічі більшою, ніж у країнах ЄС, де вона складає приблизно 16% [1]. Такі енерговитрати підсилюються ще й тим, що приблизно значна частина українських домогосподарств під'єднані до централізованого теплопостачання, яке має надлишкову потужність і недостатнє обслуговування. Руйнування об'єктів енергетичної інфраструктури за роки війни веде до активнішого переходу на індивідуальне теплопостачання

будинків та використання відновлюваних джерел енергії. Ці заходи є частиною оновлення житлового фонду шляхом проведенням термомодернізації. Внаслідок реконструкції старого житлового фонду буде виконано нові містобудівні вимоги до таких будинків через підвищення стійкості елементів будинку, удосконалення внутрішнього облаштування житла, утеплення огорожувальних і внутрішньобудинкових конструкцій тощо. Саме шляхом модернізації старих будівель відбувається оновлення житлового фонду у деяких країнах-членах ЄС, де великою є кількість житла, побудованого за радянськими стандартами (Польща, східна частина Німеччини, країни Балтії) [6-7].

Залежно від проведених заходів з реконструкції будівель розрізняють три типи термомодернізації (рис. 1), які передбачають проведення певного виду робіт [8].

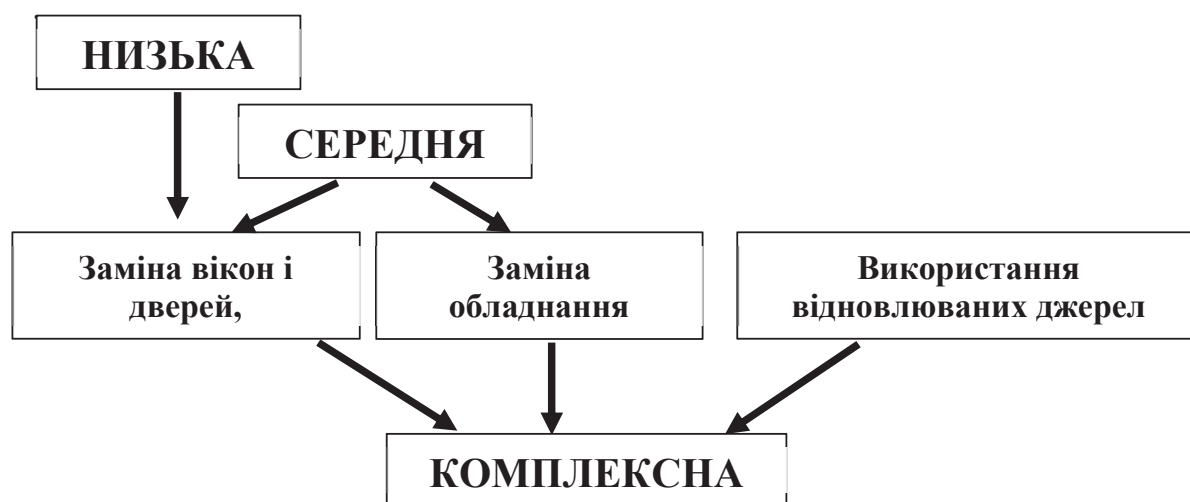


Рис. 1. Типи термомодернізації будівель та заходи, які для цього проводять

Проведення кожного з етапів вимагає витрат різного обсягу матеріалів, часу, коштів. Останнє є дуже важливим, адже від кількості вкладених інвестицій залежить інтенсивність та глибина проведених заходів щодо термореконструкції.

Так, показано, що у випадку низького типу термомодернізації для нежитлових будівель на 1 м<sup>2</sup> корисної опалювальної площі витрати склали від 40 євро, для середнього типу модернізації – до 80 євро, сягали 170 євро для комплексної модернізації [9].

За розрахунками внаслідок реалізації різних етапів термомодернізації можна досягнути покращення показників енергоефективності:

- Утеплення стін, даху та перекриттів – 20...45 %;
- Встановлення енергоощадних віконних систем – 25...47 %;
- Модернізація теплового пункту – 10...30 %;
- Проведення робіт по заміні внутрішньобудинкових конструкцій– 0...25 %.

Варто зазначити, що є не доцільним розроблення уніфікованого плану термомодернізації, адже кожен будинок має свої особливості планування, інженерні конструкції, використані будівельні матеріали, строки експлуатації. Відповідно, відштовхуючись від загальних етапів процесу термомодернізації – проведення енергоаудиту будівлі, розроблення проекту термомодернізації, виконання будівельно-монтажних робіт – треба враховувати індивідуальні особливості кожної будівлі.

Якщо розглянути бюджет повної термомодернізації багатоквартирного будинку, то вартість витрат на проведення окремих заходів розподіляється приблизно так:

- 36% припадає на заміну вікон, модернізацію теплового пункту і балансування стояків, а також установку терморегуляторів на радіатори (розподіл рівномірний для кожного з перерахованих позицій, тобто по 12%);
- 64% вартуватиме проведення заходів з утеплення будівлі.

В результаті проведення багатоетапної термореконструкції будівель одержимо не тільки зниження питомого споживання первинної енергії від будівель більше ніж у три рази, але й скорочення до нульових значень викидів парникових газів від них.

Варто зазначити, що у будівельній галузі, яка є однією з лідерів щодо викидів парникових газів, кожен з етапів – зведення будівлі, забезпечення матеріалів та обладнання для цього, їхнє транспортування, експлуатація будівлі та її знесення, а також управління утвореними будівельними відходами – супроводжуються викидами різних обсягів парникових газів. Найбільша частка викинутих парникових газів припадає на процес експлуатації будівлі (в середньому 67%). Генерування прямих і непрямих викидів CO<sub>2</sub> на етапі експлуатації будівель пов'язане із використанням викопних палив для забезпечення функціонування теплових, електричних та охолоджувальних систем у будівлях, приготуванням їжі та роботою побутових приладів [10]. Термомодернізація будівель, як комплекс заходів щодо покращення енергоефективності приміщень внаслідок їх утеплення, модернізації зовнішніх огорожувальних конструкцій та внутрішніх інженерних систем, призводить до зниження викидів парникових газів саме на етапі експлуатації цих будинків.

При проведенні термомодернізації в Україні варто враховувати досвід та напрацювання Польщі, країни Балтії, східної Німеччини, де багато будівель, споруджених після Другої світової війни, мають високі енерговтрати. Заходи термомодернізації для них застосовують ще з кінця XX століття, тому можна оцінити їхню успішність щодо зниження енерговтрат та скорочення викидів парникових газів, ґрунтуючись на даних, отриманих за два десятиліття. Зокрема, у східній Німеччині вже з 1995 року почалась активна термореконструкція будинків. Завдяки проведеним заходам вдалось вийти на 4% щорічної модернізації житла щодо його енергоефективності [11]. Пріоритетною є термомодернізація найбільш неефективних житлових

будівель відповідно до мінімальних стандартів енергоефективності (MEPS). У Польщі більше ніж 70% цього житлового фонду розглядається як старе або дуже старе житло (будинки, побудовані до 1988 року). Такі будівлі, при спорудженні яких не ставились вимоги щодо їхнього утеплення, відносять до першої групи. Решту житлового фонду (друга група будівель) припадає на нові або відносно недавно побудовані будинки [12-14]. Приблизно 40% старого житлового фонду мають бути термомодернізовані відповідно до сучасних енергетичних стандартів [15]. Варто зазначити, що існуючі методики розрахунку енергетичної ефективності будівель мають враховувати розрахунки викидів парникових газів, які мають бути наведені у відповідному сертифікаті.

Прийнята у 2021 році Польщею довготривала стратегія термомодернізації будівель визначає два поступові шляхи: проведення поверхневої масштабної термомодернізації та поступову глибоку термомодернізацію до 2030 року [16]. Напрацьована модель щодо вибору технологій для створення енергосистеми з низьким рівнем викидів CO<sub>2</sub> розрахована до 2040 року [17]. Сценарієм енергетичної реконструкції будівель у Польщі, який розглядає довготривалу стратегію термомодернізації будинків, передбачено швидке зростання масштабів неглибокої термомодернізації, починаючи з будівель з найгіршими енергетичними характеристиками, і включає теплоізоляцію будівель, заміну вікон і внутрішньобудинкового обладнання. Подальші кроки пов'язані з поступовим поширенням глибокої термомодернізації до 2030 року, яка передбачає збільшення обсягів використання енергії з відновлювальних джерел [18]. Стратегія розширення використання відновлюваних джерел енергії для енергозабезпечення будівель є орієнтованою на всі країни ЄС і передбачає зростання їхньої частки від 20%, починаючи з 2020 року [19]. Таким чином, поступова термомодернізація даватиме в кінцевому етапі отримання будинку з майже нульовим споживанням енергії.

Терміни, викладені в українській Стратегії термомодернізації, розраховані до 2050 року. Вони є цілком реалістичними, виходячи з обсягів житла та аналогічності таких процесів у східній Німеччині та Польщі, однак на темпи термомодернізації в Україні негативний відбиток накладає війна. Поточні темпи термомодернізації будівель в Україні залишаються надзвичайно низькими (на рівні 0,1%) та суттєво відстають від аналогічних показників країн ЄС (близько 1%). Тривалість воєнних дій наразі є визначальним чинником, який впливає на пришвидшення термомодернізації та приросту інвестицій для її реалізації у післявоєнний період. До повномасштабної війни реалізація першого етапу Стратегії (розраховано до 2030 року) здійснювалась насамперед завдяки Фонду енергоефективності, який надавав грантові кошти для виконання заходів щодо термомодернізації житлових будинків. Акумуляція коштів від податку на викиди основного парникового газу CO<sub>2</sub> здійснюється також і через Фонд декарбонізації. Станом на 2024 рік від цього податку зібрано коштів в обсязі 0,8-1,5 млрд. грн. Накопичення значно більшої

суми буде можливим завдяки приведенню податку на викиди CO<sub>2</sub> до середньоєвропейських норм (наразі для країн ЄС він складає приблизно 76\$ за тону, тоді як в Україні він є меншим за 1\$ за тону [5]).

З огляду на вимогу швидкого і якісного спорудження нового житла, потреба у нових енергоефективних конструкціях з деревини для малоповерхового будівництва набуває критично важливого значення, оскільки сучасні підходи до термомодернізації вимагають швидких, точних та екологічно чистих рішень. Деревина, що є природним матеріалом, не тільки має достатні теплоізоляційні властивості, що мінімізують втрати енергії та сприяють досягненню стандартів nZEB (Nearly Zero Energy Buildings), але й є вуглецево-нейтральним рішенням. Використання готових дерев'яних систем (наприклад, CLT або каркасних конструкційних елементів) дозволяє значно знизити "втілений" вуглець у будівництві порівняно з бетоном чи сталлю, а також сприяє зниженню рівня CO<sub>2</sub> у конструкціях, що є стратегічно важливим кроком для досягнення цілей низького рівня викидів CO<sub>2</sub> та забезпечення сталості будівельного сектору.

Враховуючи типи та стратегії термомодернізації, розроблено новий стіновий елемент просторової каркасної конструкції (рис. 2), який включає в себе низку технологічних рішень. Наприклад, використання деревини, як матеріалу для основних несучих конструкцій, знижує вуглецевий слід в будівництві, а застосування сучасного наповнювача дозволяє забезпечити високу теплоізоляцію та мінімізувати втрати тепла, що є особливо важливим для досягнення показників nZEB. При цьому модульна система дозволяє значно прискорити будівельні процеси без шкоди для кінцевої енергоефективності.

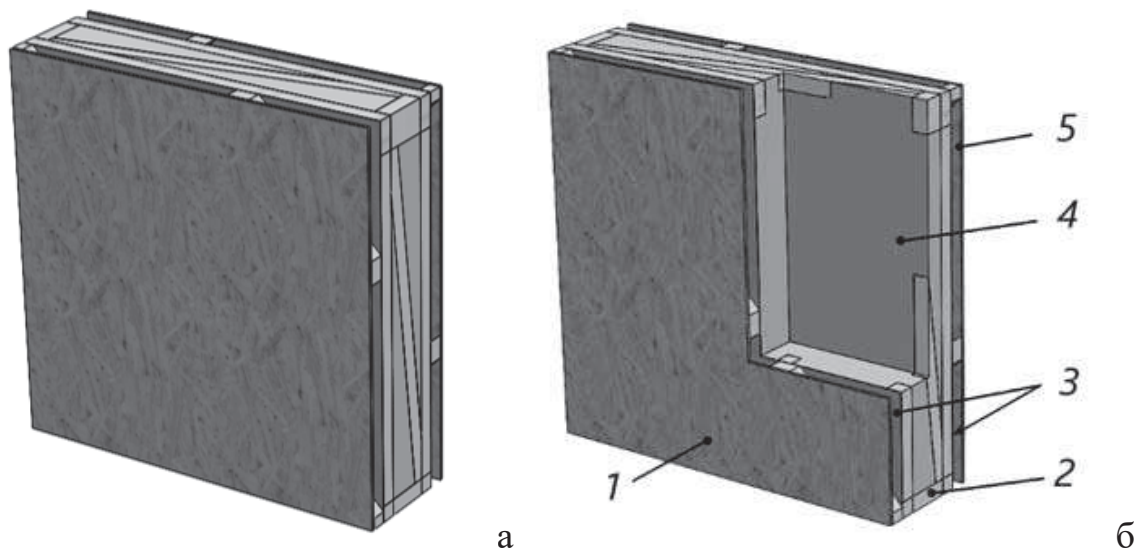


Рис. 2. Стіновий елемент каркасної конструкції:

а – загальний вигляд; б – каркасна конструкція в розрізі; 1- зовнішній шар; 2 – каркас; 3 – мембрана; 4 – наповнювач; 5 – внутрішній шар.

Доцільно відобразити енергоефективність запропонованої конструкції через показник потенціалу глобального потепління (ПГП), що є ключовим

показником, що визначає ступінь впливу різних парникових газів на глобальне потепління порівняно з еталонним газом – діоксидом вуглецю CO<sub>2</sub>.

Завдяки ПГП можна визначити, які саме етапи чи речовини спричиняють найбільший вплив на клімат і де доцільно впроваджувати заходи з декарбонізації. Наприклад, під час порівняння будівельних матеріалів за їх вуглецевим слідом саме показник ПГП дає змогу кількісно оцінити, наскільки використання певного матеріалу чи технології є екологічно доцільним. Зниження потенціалу глобального потепління продукції досягається шляхом оптимізації виробничих процесів, застосування відновлюваних джерел енергії, утилізації відходів, заміни високопарникових речовин на більш екологічні аналоги. В нашому випадку застосовано такі екологічні матеріали: деревина, ековата та деревинні композитні матеріали.

Стіновий елемент каркасної конструкції складається з каркасу з масивної деревини, наповнювача – ековата, з внутрішньої сторони встановлена пароізоляційна мембрана, з зовнішньої – супердифузійна мембрана. Ззовні та з середини елемент обшитий орієнтовано-стружковою плитою (рис. 2).

За допомогою програмного забезпечення **U-WERT** [20] визначено теплофізичні характеристики та потенціал глобального потепління даного стінового елемента. Зважаючи на те, що в різних місцях конструкція є неоднорідною за товщиною, проведено декілька варіантів розрахунків з врахуванням цієї особливості. Відповідно до ДБН В.2.6.-31:20XX [21] для розрахунків прийнято наступні параметри мікроклімату в середині приміщення: температура – 25 °С, вологість – 60 %. Параметри мікроклімату зовні приміщення: температура – -20 °С, вологість – 80 %. Отримані результати занесено до таблиці 1.

Таблиця 1.

Теплофізичні характеристики конструкції

№ п/п	Назва показника	Одиниці вимірювання	Значення		
			Переріз 1	Переріз 2	Переріз 3
1	Коефіцієнт теплопередачі	Вт/м <sup>2</sup> К	0,237	0,197	0,132
2	Температура внутрішньої поверхні	°С	22,3	22,8	23,5
3	Вологість внутрішньої поверхні	%	71	68	66
4	Резерв висихання	г/м <sup>2</sup> а	169	206	196
5	Затухання амплітуди температури	-	48,8	22,2	54,3
6	Фазовий зсув	год	15	12	15
7	Теплоємність	кДж/ м <sup>2</sup> К	72	56	62
8	Потенціал глобального потепління	кг CO <sub>2</sub> -екв/м <sup>2</sup>	-148	-110	-114

В даній таблиці під перерізами розуміємо декілька ділянок по висоті стінового елемента, що складаються з різних за послідовністю і кількістю матеріалів, через які відбувається перенесення тепла.

Проаналізувавши отримані результати, бачимо, що даний тип стінового елемента каркасної конструкції має показник теплопровідності нижчий за нормативне значення ( $0,24 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ ), що свідчить про високу енергоефективність такої конструкції. При цьому потенціал глобального потепління коливається від  $-110 \text{ кг CO}_2\text{-екв/м}^2$  до  $-148 \text{ кг CO}_2\text{-екв/м}^2$ , залежно від послідовності і кількості матеріалів стінового елемента в конкретних перерізах. Від'ємний показник ППП означає, що при виготовленні цього стінового елемента з атмосфери вилучено більше парникових газів, ніж додано, а отже таку стінову конструкцію можна вважати такою, що є близькою до нульового енергоспоживання, та відповідною до стандартів nZEB (Nearly Zero Energy Buildings).

**Висновки.** Термомодернізація, як комплекс заходів щодо покращення енергоефективності приміщень внаслідок їх утеплення, модернізації зовнішніх огорожувальних конструкцій та внутрішніх інженерних систем, є вкрай важливим напрямом удосконалення існуючих конструкцій будівель, що дає змогу зменшити використання енергоресурсів, а також досягнути максимального скорочення викидів, балансування кількості викинутих парникових газів з еквівалентними викидами, які компенсуються, або секвеструються.

1. Довгострокова стратегія термомодернізації будівель на період до 2050 року // <https://mtu.gov.ua/files> (з додатками)
2. Збитки України від війни зросли до \$170 млрд – KSE // <https://finclub.net/news/zbytky-ukrainy-vid-viiny-zrosly-do-usd170-mlrd-kse.html>
3. BPIE (Європейський інститут ефективностібудівель) (2024). Розробка критеріїв прийнятності для фінансування «зеленої» реконструкції будівель в Україні. Режим доступу: <https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2024/03/Reconstruction-of-Ukraine-Ukrainian.pdf>
4. Сердюк В. Р. Бармалюк В. М. Актуальність термомодернізації житлових будинків перших масових серій // <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/viewFile/8579/7169>
5. Аналітична записка Застосування екологічних податків в Україні (2022). Режим доступу <https://ces.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/zastosuvannya-ekologichnih-podatviv.pdf>
6. Attia, S., Kosiński, P., Wójcik, R., Węglarz, A., Koc, D. & Laurent, O. (2022) Energy efficiency in the Polish residential building stock: A literature review. Journal of Building Engineering 45, 103461, doi: 10.1016/j.jobee.2021.103461.
7. Heinze GmbH Market Research (2022): Herstellerbefragung zur Entwicklung von Produktionskapazität in Fokusbranchen, commissioned by the German Corporate Initiative on Energy Efficiency e.V. (DENEFF).
8. ZEBRA 2020 Strategies for a nearly Zero-Energy Building market transition in the European Union.

9. Financing Building Energy Performance Improvement in Poland – Status Report, BPIE, 2016.
10. Liang Yu, Li Ch, Liu Zh, Wang X, Zeng F, Yuan X, Pan Yu, Decarbonization potentials of the embodied energy use and operational process in buildings: A review from the life-cycle perspective, *Heliyon*, Volume 9, Issue 10, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20190>.
11. Behr SM, Kucuk M. Neuhoﬀ K. Accelerate thermal modernization of buildings with minimum standards for buildings and binding retrofitting targets Nr. 9 — 13.3.2023 // [https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw\\_01.c.868284.de/diw\\_focus\\_9.pdf](https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.868284.de/diw_focus_9.pdf)
12. European Parliament press release, February 9, 2023: Energy performance of buildings: climate neutrality by 2050 (available online, retrieved on March 2, 2023).
13. Council of Ministers (2022) *Long-term building renovation strategy*. Supporting the renovation of the national building stock. Warsaw, Annex to Resolution No. 23/2022 of the Council of Ministers of February 9, 2022.
14. Statistics Poland (2011–2022) Civil engineering. Warsaw.
15. Statistics Poland (2013) National Census of Population and Housing from 2011. Warsaw.
16. European Parliament press release, February 9, 2023: Energy performance of buildings: climate neutrality by 2050 (available online, retrieved on March 2, 2023).
17. Ujma A., Lis A. Energy and ecological efficiency as a result thermal modernization of buildings, 2016 Lviv Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua> P.344-351.
18. Savchenko, O. & Lis, A. (2020) Economic indicators of a heating system of a building in Ukraine and Poland. *Construction of Optimized Energy Potential* 9(2), 97–102, doi: 10.17512/bozpe.2020.2.11.
19. Renewable Energy Directive. Режим доступу: [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en)
20. Режим доступу: <https://www.ubakus.de/u-wert-rechner/>
21. ДБН В.2.6-31:20XX. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.