



Менеджмент

УДК 656.1:711.4: 502.5

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.18624838>

Управління енергоефективністю житлових будівель у контексті сталого розвитку

Галюк Ірина Богданівна

кандидат економічних наук, доцент кафедри менеджменту та адміністрування,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15
iryngaliuk11@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0726-1954>

Єжак Франко Франкович

здобувач PhD ступеня кафедри менеджменту і адміністрування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15
yezhak.franko@nung.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0008-2000-1517>

Прийнято: 25.01.2026 | Опубліковано: 12.02.2026

Анотація: **Мета:** Дослідження спрямоване на оцінку використання вторинних джерел енергії (ВДЕ) у житловому секторі України як інструменту управління енергоефективністю з метою підвищення енергозбереження, зниження споживання первинної енергії та забезпечення енергетичної стійкості житлового фонду. **Методи:** У роботі застосовано систематизацію та класифікацію видів вторинних джерел енергії, аналіз їх потенціалу для багатоквартирних та індивідуальних будинків, а також оцінку ефективності на основі підходів енергетичного менеджменту. Використано методи порівняльного аналізу, аналізу життєвого циклу будівель, оцінки економічного



та енергетичного ефекту впровадження ВДЕ. Окремо досліджено інституційні та організаційно-економічні аспекти управління впровадженням ВДЕ.

Результати: Проведено класифікацію основних типів ВДЕ: теплота вентиляційних викидів, стічних вод, відпрацьованого повітря та надлишкове тепло інженерних систем. Встановлено, що максимальний ефект досягається при комплексному управлінні використанням ВДЕ на всіх етапах життєвого циклу будівель - від проєктування до експлуатації - у поєднанні з термомодернізацією та сучасними системами HVAC. Показано, що інтеграція ВДЕ у систему енергетичного менеджменту житлового фонду дозволяє знизити споживання первинної енергії, скоротити витрати домогосподарств на опалення та гаряче водопостачання, а також підвищити енергетичну стійкість будівель.

Висновки: Використання ВДЕ є ефективним управлінським інструментом підвищення енергоефективності та реалізації Цілей сталого розвитку у житловому секторі. Для широкого впровадження необхідно подолати нормативні, економічні та інформаційні бар'єри через державну та муніципальну підтримку, розробку програм енергетичного менеджменту та інтеграцію ВДЕ у стратегії відновлення та «зеленого» будівництва житлових громад.

Ключові слова: вторинні джерела енергії, енергетичний менеджмент, енергозбереження в житловому будівництві, зелене будівництво.

Energy Efficiency Management of Residential Buildings in the Context of Sustainable Development

Iryna Haliuk

PhD, Associated professor of the Department of Management and Administration
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

76019, Ivano-Frankivsk, st. Karpatska, 15

irynagaliuk11@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0726-1954>



Franko Yezhak

PhD student

Department of Management and Administration

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

76019, Ivano-Frankivsk, st. Karpatska, 15

yezhak.franko@nung.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0008-2000-1517>

Abstract: Purpose: This study aims to investigate the use of secondary energy sources in the residential sector of Ukraine from the perspective of energy management, considering their role as a tool to enhance energy efficiency, energy savings, and the resilience of buildings while supporting sustainable development. **Methods:** The research involves systematization and analysis of the main types of secondary energy sources, including heat from ventilation exhaust, wastewater, spent air, and surplus heat from engineering systems. Managerial decisions regarding the selection, integration, and operation of heat recovery ventilation systems, wastewater heat recovery technologies, and surplus heat utilization are examined. The study also considers building life cycle stages, thermal modernization, and municipal-level planning and control. **Results:** The findings demonstrate that effective management of secondary energy sources maximizes energy and economic benefits, especially when combined with insulation measures, modern HVAC systems, and heat pumps throughout all stages of a building's life cycle. Secondary energy use reduces primary energy consumption, lowers household energy costs, and enhances the energy resilience of residential buildings. The study confirms alignment with key Sustainable Development Goals, emphasizing the contribution of secondary energy to green building and sustainable urban management. **Conclusions:** Integrated energy management of secondary energy sources is a strategic approach for improving energy efficiency, reducing dependence on primary energy, and supporting sustainable development in the Ukrainian residential sector. Successful



implementation requires state and municipal support, energy management programs, and incorporation into post-war reconstruction strategies.

Keywords: secondary energy sources, energy management, energy saving in residential construction, green building.

Постановка проблеми. Питання енергоефективності житлового сектору значно актуалізувалося за останні передвоєнні роки через зростання тарифів на електроенергію та газ. Водночас у воєнний період воно набуло характеру управлінського виклику, пов'язаного з обмеженою керованістю енергоспоживання житлового фонду, перебоями в енергопостачанні та руйнуванням об'єктів критичної інфраструктури. За таких умов забезпечення мінімального рівня комфорту житла залежить не лише від технічних рішень, а й від ефективності енергоуправління на рівні будівель, громад та держави.

У зв'язку з цим питання енергоефективності та енергозбереження переходять у площину стратегічного та операційного управління житловим фондом, де поряд із традиційними та відновлюваними джерелами енергії особливого значення набувають вторинні джерела енергії як внутрішній резерв підвищення енергетичної стійкості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання енергоефективності та енергозбереження у житловому секторі вивчаються багатьма науковцями. Питання комплексної термомодернізації житла розглянуто у працях [1-3], в яких автори акцентують увагу на участь держави у сприянні впровадження проектів енергоефективності житлових будівель. В роботах [4-6] науковці акцентують увагу на забезпеченні енергоефективних підходів на кожному етапі життєвого циклу житлового будівництва, підкреслюючи важливість оцінювання енергоспоживання від проектування до експлуатації та демонтажу, а також оптимального вибору матеріалів і технологій для зниження загальних енергетичних витрат будівельної продукції. Окремі автори [7-9] розглядають у своїх працях будівництво енергоефективного житла у відповідності до



забезпечення цілей сталого розвитку, виокремлюючи необхідність ведення роботи на засадах екологічної та соціальної стійкості, використання принципів зеленого будівництва як складової сталого розвитку. У [10-17] автори представили комплексний розгляд традиційних та нетрадиційних систем енергозабезпечення як урбаністичних територій, так і промислових зон.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на значну кількість публікацій з питань енергозбереження та енергоефективності житлових будівель, сучасні дослідження, на наш погляд, недостатньо зосереджені на комплексному використанні вторинних джерел енергії (ВДЕ) як складової системи енергоменеджменту.

Причинами недостатньої уваги є фокус на технічних рішеннях без управлінського підходу, відсутність методології інтеграції ВДЕ в енергоменеджмент та наявні регуляторні й економічні бар'єри.

Невирішені питання є критично важливими, без їх дослідження неможливо оцінити реальний потенціал ВДЕ, розробити ефективні управлінські та інституційні механізми для їх впровадження, забезпечити інтеграцію ВДЕ у стратегії сталого розвитку та підвищення енергоефективності житлового сектора. Важливо сформулювати комплексний підхід до управління впровадженням ВДЕ протягом усього життєвого циклу будівель та визначити організаційно-економічні умови для широкого їх впровадження.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної статті є системне дослідження використання ВДЕ у житловому секторі та оцінка їх потенціалу для підвищення енергоефективності, зниження споживання первинної енергії та забезпечення енергетичної стійкості будівель.

Виклад основного матеріалу дослідження. У сучасних умовах енергоефективності житлових будівель особлива увага приділяється не лише оптимізації споживання первинних енергоресурсів, а й використанню вторинних джерел енергії - енергії, що утворюється у процесі експлуатації будівлі. Такі джерела можуть значно підвищити загальну ефективність



енергетичних систем та знизити навантаження на традиційні ресурси, особливо в умовах дефіциту енергії та підвищення тарифів на електроенергію і газ.

У контексті управління енергоефективністю вторинні джерела енергії доцільно розглядати як внутрішній енергетичний ресурс житлової будівлі, ефективність використання якого визначається управлінськими рішеннями щодо проєктування, експлуатації та модернізації інженерних систем. Це переводить проблему з технічної площини у площину енергетичного менеджменту житлового фонду.

У науковій літературі вторинні джерела енергії класифікують за походженням і способами використання. Ключовим напрямом є теплові надлишки, що виникають у процесі експлуатації будівель, зокрема у вентиляційних системах і системах водопостачання, та можуть повторно використовуватися для опалення і гарячого водопостачання. Найбільш поширеним видом ВДЕ є теплота вентиляційних викидів і витяжного повітря, рекуперація яких дозволяє відновлювати до 60-95 % теплової енергії. Важливим ресурсом також є теплота стічних вод, що може ефективно використовуватися на рівні окремих будівель і інженерних мереж. До інших ВДЕ належать теплові надлишки інженерних систем, низькопотенційне тепло ґрунту та води, а також енергія відпрацьованого повітря кондиціонерів [11-13].

Слід зазначити, що впровадження вторинних джерел енергії у житловому секторі забезпечує низку суттєвих переваг. Насамперед воно дає змогу скоротити споживання первинних енергоресурсів, що є особливо актуальним в умовах енергетичного дефіциту, зростання тарифів і потреби у зміцненні енергетичної незалежності. Крім того, використання ВДЕ підвищує загальний рівень енергоефективності огорожувальних конструкцій та інженерних систем без істотного зростання експлуатаційних витрат. Водночас інтеграція систем рекуперації тепла та відновлення енергії стічних вод виступає важливою складовою «зеленого» будівництва, орієнтованого на принципи сталого розвитку та відповідність сучасним стандартам енергоефективності. [11].



Представлена у таблиці 1 систематизація видів ВДЕ може бути використана органами місцевого самоврядування, ОСББ та управляючими компаніями як інструмент прийняття управлінських рішень щодо вибору пріоритетних напрямів підвищення енергоефективності будівель.

Таблиця 1

Види ВДЕ та напрями їх використання у житловому секторі

Вид вторинного джерела енергії	Джерело утворення	Основні напрями використання	Енергоефективність
Теплота вентиляційних викидів	Відпрацьоване повітря з житлових та допоміжних приміщень	Підігрів припливного повітря, зменшення навантаження на системи опалення	Зниження теплових втрат до 60-85 %
Теплота відпрацьованого повітря	Системи механічної вентиляції та кондиціонування	Рекуперація тепла, підтримка температурного режиму	Зменшення споживання первинної теплової енергії
Теплота стічних вод (каналі застійних стоків)	Побутові стоки житлових будинків	Підігрів гарячої води, низькотемпературне опалення з використанням теплових насосів	Скорочення енергоспоживання на ГВП до 30-50 %
Теплові надлишки інженерних систем	Системи гарячого водопостачання, електроприлади, освітлення	Акумуляція та повторне використання тепла, обігрів технічних приміщень	Зниження експлуатаційних енергетичних витрат
Теплота підвальних та підземних приміщень	Фундаменти, підвали, підземні паркінги	Використання у системах теплових насосів	Підвищення загальної енергоефективності будівлі
Вторинна теплота побутових процесів	Кухонні, пральні, санітарно-гігієнічні процеси	Локальне теплозабезпечення, підігрів води	Раціональне використання внутрішніх теплових надлишків

Джерело: систематизовано авторами за [12; 14-23]

Аналіз наукових і прикладних досліджень показує, що найбільший потенціал використання вторинних джерел енергії зосереджений у багатоквартирних будинках із централізованими системами опалення, гарячого водопостачання та вентиляції, що створює сприятливі умови для управлінської оптимізації енергоспоживання на рівні будівлі й житлового фонду. Рекуперація тепла вентиляційного повітря дозволяє повернути значну частку теплової енергії, а використання теплоти стічних вод забезпечує істотне скорочення потреб у первинній енергії для ГВП [12; 15;18].



В індивідуальних житлових будинках потенціал ВДЕ є нижчим в абсолютному вимірі, однак за умови ефективного енергетичного менеджменту, поєднання теплових насосів, рекуператорів і систем акумулювання дає змогу досягати суттєвої економії енергії. Загалом ефективність залучення вторинних джерел енергії визначається управлінськими рішеннями щодо типу будівлі, рівня її термомодернізації, року забудови та врахування кліматичних умов, що підкреслює необхідність комплексного підходу до управління енергоефективністю житлового сектору [14;16;22].

Дослідження показують, що найбільший ефект досягається при системному підході, який поєднує: використання сучасних систем рекуперації тепла вентиляційного повітря; відновлення теплової енергії стічних вод; застосування акумуляційних баків і теплових насосів; комплексну термомодернізацію будівлі, що знижує теплові втрати через огорожувальні конструкції. Таке поєднання дозволяє досягати економії первинної енергії до 40-55 % у багатоквартирних будинках і до 25-40 % в індивідуальних будівлях, з одночасним підвищенням комфорту та енергетичної стійкості житлового фонду [14; 18; 20].

Отримані результати дозволяють диференціювати управлінські рішення залежно від типу житлової забудови: на рівні окремих будівель - через рішення ОСББ та управляючих компаній, на муніципальному рівні - через програми термомодернізації, на державному рівні - через формування нормативних вимог та фінансових стимулів.

Ефективність використання вторинних джерел енергії у житлових будівлях значною мірою визначається якістю управлінських рішень, що приймаються на різних етапах життєвого циклу будівлі. Аналіз наукових джерел і практичного досвіду свідчить, що ключовими з точки зору управління є три стадії: проектування, будівництво та експлуатація [14; 16-19].

На стадії проектування управлінські рішення формують довгострокову енергетичну модель будівлі. Саме на цьому етапі визначаються пріоритети



щодо використання ВДЕ, закладаються вимоги до інтеграції інженерних систем, обираються конструктивні рішення та матеріали з урахуванням мінімізації енергетичних втрат. Включення ВДЕ до проєктної документації дозволяє не лише підвищити технічну ефективність будівлі, а й оптимізувати подальші експлуатаційні витрати та ризики, пов'язані з енергопостачанням. Дослідження підтверджують, що управлінське врахування ВДЕ на етапі проєктування забезпечує скорочення сумарного енергоспоживання протягом життєвого циклу будівлі на 15-30 % [16; 17; 19] та створює передумови для реалізації стратегій «зеленого» будівництва відповідно до принципів сталого розвитку [23].

На етапі будівництва ключову роль відіграє організація впровадження проєктних рішень, контроль якості їх реалізації та координація дій між учасниками будівельного процесу. Управлінські механізми на цьому етапі спрямовані на забезпечення встановлення запланованих систем використання ВДЕ, дотримання енергоефективних стандартів та мінімізацію втрат, пов'язаних із відхиленнями від проєктних рішень. Реалізація ВДЕ в межах належного управління будівельним процесом дозволяє зменшити майбутні експлуатаційні витрати та забезпечити економічний ефект уже з перших років функціонування будівлі [12; 14; 18].

На стадії експлуатації використання ВДЕ набуває характеру безперервного процесу управління енергоспоживанням. Основний акцент зміщується на моніторинг, аналіз та оптимізацію використання внутрішніх енергетичних ресурсів будівлі, зокрема тепла вентиляційного повітря, каналізаційних стоків та теплових надлишків інженерних систем [12; 17; 22]. Саме на цьому етапі ефективність ВДЕ значною мірою залежить від функціонування системи енергетичного менеджменту, рівня підготовки персоналу та зацікавленості власників або управителів у довгостроковому скороченні витрат і підвищенні енергетичної стійкості будівлі.



Результати досліджень показують, що інтеграція ВДЕ у період експлуатації без попереднього врахування на етапі проєктування дає фрагментарний ефект, обмежений локальними об'єктами або системами, що знижує загальну енергоефективність будівлі [15; 19].

У сучасній практиці часто застосовуються поодинокі, фрагментарні рішення щодо використання вторинної енергії. Однак доведено, що максимальний енергетичний ефект досягається лише при комплексному системному підході, який передбачає інтеграцію ВДЕ на всіх етапах життєвого циклу: від проєктування до експлуатації. Такий підхід забезпечує зниження енергоспоживання на 25-55 %, підвищення комфорту мешканців, відповідність сучасним стандартам енергоефективності та принципам сталого розвитку [18-20; 23].

Використання вторинних джерел енергії у житловому секторі безпосередньо впливає на результати управління енергоефективністю будівель та раціональність використання первинних енергоресурсів. З управлінської точки зору оцінювання ефективності впровадження ВДЕ ґрунтується на системі ключових показників, які дозволяють приймати обґрунтовані рішення щодо доцільності інвестицій та подальшої експлуатації енергетичних систем.

До основних управлінських індикаторів належать: рівень скорочення споживання первинної енергії, що характеризує внесок ВДЕ у загальний енергетичний баланс будівлі; коефіцієнт використання вторинної енергії, який відображає ефективність організації процесів збору та повторного використання теплових надлишків; а також показник економії витрат домогосподарств, що слугує ключовим критерієм соціально-економічної результативності управлінських рішень у сфері енергозбереження.

Скоординоване впровадження ВДЕ дозволяє досягати відчутного зниження енергоспоживання. Зокрема, у багатоквартирних будинках із централізованими системами опалення та вентиляції застосування рішень з рекуперації тепла та утилізації тепла стічних вод забезпечує скорочення



потреби в тепловій енергії на 20-35 %. В індивідуальному житловому будівництві використання теплових насосів і рекупераційних систем у межах цілісної стратегії енергетичного менеджменту дозволяє знизити споживання первинної енергії на 15-25 %.

З управлінської та економічної позиції особливо важливим є вплив ВДЕ на структуру витрат домогосподарств. Реалізація заходів з рекуперації тепла вентиляційного повітря та стічних вод забезпечує зменшення витрат на опалення і гаряче водопостачання на 10-30 %, а поєднання ВДЕ з програмами термомодернізації формує додатковий економічний ефект у межах 5-15 %. Це підтверджує доцільність розгляду ВДЕ не лише як технічного рішення, а як інструменту стратегічного управління енергоефективністю житлового фонду.

Таким чином, інтеграція ВДЕ на різних етапах життєвого циклу формує основу управління енергоефективністю будівель на засадах life-cycle management, що дозволяє мінімізувати сукупні енергетичні витрати протягом усього періоду експлуатації.

У кризових та воєнних умовах використання вторинних джерел енергії підвищує енергетичну стійкість житлового фонду, частково покриваючи потреби у теплі та гарячій воді, забезпечує стабільний енергетичний режим у поєднанні з відновлюваними джерелами та підвищує комфорт мешканців, знижуючи соціальні та економічні ризики.

Використання ВДЕ у житлових будівлях прямо пов'язане з ключовими Цілями сталого розвитку (SDG) [21; 23]:

- SDG 7 - підвищення частки відновлюваних і ефективно використаних джерел енергії, зменшення залежності від викопних ресурсів;
- SDG 11 - підвищення енергетичної стійкості громад, комфорт мешканців, зменшення навантаження на міські мережі;
- SDG 12 - раціоналізація споживання ресурсів через повторне використання теплових надлишків;



- SDG 13 - зниження первинного енергоспоживання та викидів парникових газів, адаптація житлового фонду до кліматичних викликів.

Впровадження ВДЕ у житловому секторі України має значний потенціал, однак наразі існують певні бар'єри, які обмежують їх широке застосування. До ключових перешкод належать нормативна невизначеність щодо застосування вторинної енергії у житлових будівлях, високі початкові інвестиції та низька економічна привабливість без державної чи муніципальної підтримки, а також недостатня обізнаність забудовників, проєктувальників і населення про переваги та економічний ефект використання ВДЕ.

Зазначені бар'єри свідчать про необхідність переходу від фрагментарних ініціатив до системної моделі управління впровадженням вторинних джерел енергії у житловому секторі.

Для подолання бар'єрів доцільними є державні та муніципальні програми підтримки (субсидії, пільгове кредитування), розвиток місцевих ініціатив з енергомодернізації із використанням ВДЕ..

У межах повоєнного відновлення перспективними є комплексне впровадження ВДЕ у новому й реконструйованому житлі, розробка методик оцінки їх економічної ефективності, освітні програми для учасників ринку та інтеграція ВДЕ у стратегії енергетичної стійкості міст і громад.

Таким чином, впровадження вторинних джерел енергії в Україні є не лише можливістю підвищення енергоефективності житлового фонду, а й важливим кроком до сталого та «зеленого» відновлення житлових громад після війни, забезпечення економічної та енергетичної стійкості населення.

Висновки. Дослідження підтвердило, що використання вторинних джерел енергії є ефективним інструментом підвищення енергоефективності, енергозбереження та стійкості житлового фонду України. Застосування теплоти вентиляції, стічних вод і надлишкового тепла інженерних систем дозволяє зменшити споживання первинної енергії та витрати домогосподарств, особливо за умови комплексного впровадження на всіх етапах життєвого циклу будівель.



Використання ВДЕ відповідає Цілям сталого розвитку та потребує державної підтримки для подолання наявних бар'єрів.

Отримані результати свідчать, що ВДЕ слід розглядати не лише як технічне рішення, а як елемент системи управління енергоефективністю житлового фонду. Подальші дослідження мають бути спрямовані на комплексну оцінку ефективності ВДЕ, їх інтеграцію з відновлюваними джерелами енергії та розробку стандартів і пілотних проєктів для масштабного впровадження.

Список використаних джерел

1. Олійник С. Комплексна термомодернізація житла: великі плани в період безгрошів'я. *Українська енергетика*. 2024. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/kompleksna-termomodernizatsiia-zhytla-velyki-plany-u-period-bezhroshivia>
2. Коцан К. В Україні запровадять комплексну теплодернізацію будівель: що передбачається. *БЖ*. URL: <https://bzh.life/ua/plany/v-ukrayini-zaprovadyat-kompleksnu-teplomodernizacziyu-budivel-shho-peredbachaetsya/>
3. Колосовська О. Інноваційні рішення для енергоефективності будівель. *Народний оглядач*. 2023. URL: <https://www.ar25.org/article/innovaciyni-rishennya-dlya-energoefektyvnosti-budivel.html>
4. Андрухов, В. М., Потеха А. С., Басістий В.О. Комплексна оцінка доцільності використання BIM технологій для будівельного проєкту». *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2024. Вип. 36, с. 161-5, DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-161-165>
5. Дем'яненко О. О., Вахович І. В., Дубінін Д. В. Методичні та практичні підходи і принципи впровадження BIM-технологій у діяльність учасників будівництва. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 51(1). С. 290-299.



6. Козик В. В., Марко О. Й. Методичні підходи до оцінювання енергоспоживання у життєвому циклі об'єктів житлового будівництва. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Проблеми економіки та управління.* 2025. Вип. 9, № 2. С. 41-52. DOI: <https://doi.org/10.23939/semi2025.02.041>

7. Романенко О. В., Алавердян Л. М., Дименко Р. А. Стратегії сталого розвитку будівельної галузі України: проблеми й перспективи. *Науковий вісник Національного гірничого університету,* 2025, (5). с. 153-161. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-5/153>

8. Черчата А. О., Андрусів У. Я. Циркулярна економіка як концептуальна основа зеленої трансформації будівельного сектору в умовах сталого розвитку. *Економічний простір,* 2025 (206). DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.206.387-392>

9. Халіна Ю. В. Енергоефективність будівель як складова сталого розвитку «розумних» міст: світовий досвід та практика впровадження. *Економіка та суспільство.* 2024. Вип. 59. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-96>

10. Традиційні та нетрадиційні системи енергозбереження урбанізованих та промислових територій України : монографія / за заг. ред. Г. Г. Півняка. Дніпро : Національний гірничий університет, 2013. 333 с.

11. Mardiana A., Riffat S. Review on heat recovery technologies for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2012. Vol. 16, No. 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.026>

12. Nagpal H., Spriet J., Murali K., McNabola F. Heat recovery from wastewater. *Water.* 2021. Vol. 13, No. 9. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13091274>

13. Opadokun O., Tao Yong X., Lamb J. A review of waste heat sources for district heating. *Energy Reports.* 2025. Vol. 14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2025.07.015>



14. Asdrubali F., Baldinelli G., Bianchi F. A quantitative methodology to evaluate thermal bridges in buildings. *Applied Energy*. 2012. Vol. 97. P. 365-373. DOI:[10.1016/j.apenergy.2011.12.054](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.054)
15. Lund H., Mathiesen B. V. Renewable energy systems: a smart energy systems approach to the choice and modelling of 100 % renewable solutions. *Chemical Engineering Transactions*. 2014. Vol. 39. P. 1-6. DOI:<https://doi.org/10.3303/CET1439001>
16. Zabalza Bribián I., Valero Capilla A., Aranda Usón A. Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts. *Building and Environment*. 2011. Vol. 46, No. 5. P. 1133-1140. DOI:[10.1016/j.buildenv.2010.12.002](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002)
17. Cabeza L. F., Rincón L., Vilariño V., Pérez G., Castell A. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 29. P. 394-416. DOI:[10.1016/j.rser.2013.08.037](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037)
18. Bertrand A., Aggoune R., Maréchal F. In-building wastewater heat recovery: assessment of potential and applications. *Energy and Buildings*. 2017. Vol. 138. P. 268-276. DOI:[10.1016/j.apenergy.2017.01.096](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.096)
19. Ascione F., Bianco N., De Masi R. F., Mauro G. M., Vanoli G. P. Energy retrofit of buildings: transient energy simulations, model calibration and multi-objective optimization. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 144. P. 303-319. DOI: [10.1016/j.enbuild.2017.03.056](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.056)
20. European Commission. *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*. Brussels, 2018. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj>
21. UNEP. Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers. Paris : United Nations Environment Programme, 2009. 62 p. URL: <https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/library/unep207.pdf>



22. Persily A., de Jonge L. Carbon dioxide generation rates for building occupants. *Indoor Air*. 2017. Vol. 27, No. 5. P. 868-879. DOI: <https://doi.org/10.1111/ina.12383>Digital Object Identifier (DOI)

23. Kibert C. J. *Sustainable construction: green building design and delivery*. 4th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2016. 432 p.