

УДК 502.131.1:699.86(100)

DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.205.170-180>**Орловська Ю.В.**

доктор економічних наук

Український державний університет науки і технологій

Orlovskia Yuliia

Dr. of Economic Sc.

Ukrainian State University of Science and Technology

<https://orcid.org/0000-0002-5915-4261>**Кухтін О.О.**

Український державний університет науки і технологій

Kukhtyn Olexandr

Ukrainian State University of Science and Technology

СВІТОВИЙ ДОСВІД ФОРМУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ БУДІВЕЛЬНИХ СИСТЕМ

Стаття досліджує формування зелених будівельних систем як операційної рамки декарбонізації будівельного сектору. Мета – узагальнити світовий досвід і запропонувати робоче визначення зеленої будівельної системи (ЗБС) як інтегрованої системи політики, стандартів, фінансів, технологій і моніторингу життєвого циклу. Методологія: порівняльний аналіз ЄС, США, Китаю, Сінгапуру, Японії та Республіки Корея; аналіз нормативних актів (EPBD recast, RE2020, LL97, GM:2021, CASBEE, G-SEED/ZEB-K, GBEL), інструментів фінансування (KfW/BEG, IRA, GMIS) і платформ вимірювання (Portfolio Manager, BCA BEBR). Поняття ЗБС операціоналізовано через п'ять вимірів (врядування, регуляції, фінанси, технології, моніторинг), на підставі чого запропоновано порівняльну матрицю застосовності політик. У результаті ідентифіковано три архетипи ЗБС: мережево-інституційний (ЄС), ринково-інституційний (США) та державно-індустріальний (Азія). Показано перехід від енергоефективності до повного вуглецевого циклу (вбудований і операційний вуглець) та від «пілотів» до системного управління через обов'язкові стандарти продуктивності будівель (BPS), бенчмаркінг і відкриті реєстри. Ключовими механізмами успіху названо регуляторну визначеність (Zero-Emission Buildings у ЄС; локальні коди і BPS у США), прив'язку фінансів до сертифікації/результату (KfW, GMIS, податкові кредити IRA), цифровий M&V (енергетичний бенчмаркінг, реальні показники). Визначено вузькі місця: низькі темпи глибокої реновації, брак кадрів енергоаудиту / комісінгу, «split-incentive» у житловому секторі, повільна декарбонізація матеріалів (цемент / сталь).

Незважаючи на різницю підходів, усі системи демонструють перехід від енергоефективності до управління повним вуглецевим циклом і поступову цифровізацію управління енергоспоживанням.

Обмеження дослідження пов'язані з неоднорідністю статистичних баз і швидкою зміною нормативного середовища, що ускладнює міжкрайнове порівняння. Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні кількісних індикаторів зрілості ЗБС, аналізі соціоекономічних ефектів політик на рівні міст і виявленні можливостей трансферу кращих практик між різними типами систем.

Ключові слова: зелена будівельна система, сталий розвиток, енергоефективність, сертифікація, декарбонізація, регіональна політика.

THE GLOBAL EXPERIENCE IN FORMING GREEN BUILDING SYSTEMS

The building sector remains one of the main contributors to global energy use and carbon emissions. According to the International Energy Agency, buildings account for nearly one-third of total final energy consumption and more than one-third of global energy-related CO₂ emissions when including materials production. Despite policy progress, sectoral emissions in 2022 still exceeded 2015 levels, highlighting the limited impact of existing efficiency measures. This study introduces the concept of green building systems (GBS) – integrated frameworks combining regulatory, technological, financial, and certification mechanisms that ensure the systemic transformation of the construction industry. Theoretical analysis reveals that while existing research widely applies the «socio-technical system» paradigm, it lacks operational specificity for sectoral governance. The GBS approach allows interpreting sustainability not as an isolated set of pilot projects but as an interconnected management system of the built environment.

The article analyses the formation of GBS in three major regions: the European Union, the United States, and Asia. The EU model is characterized by regulatory decentralization and supranational coordination under the revised Energy

ISSN друкованої версії: 2224-6282

ISSN електронної версії: 2224-6290

© Орловська Ю.В., Кухтін О.О., 2025

Performance of Buildings Directive (EU/2024/1275), while the U.S. model relies on market-based instruments (LEED, Energy Star, WELL) and city-level benchmarking ordinances. Asian models – Singapore’s Green Mark, Japan’s CASBEE, and Korea’s G-SEED and Zero Energy Building Korea – demonstrate strong state-led integration of standards, incentives, and technological innovation. Comparative assessment shows that the most effective systems are those linking decarbonization goals with financial and monitoring mechanisms.

The findings confirm that green building systems are evolving as the backbone of the global decarbonization architecture of the construction sector. Their effectiveness depends on the integration of five key components: policy, regulation, finance, technology, and monitoring. Limitations relate to data heterogeneity and the rapid evolution of regulatory frameworks. Future research should focus on developing quantitative GBS maturity indices and assessing the socioeconomic impact of green building policies at the urban level.

Keywords: green building system, sustainable development, energy efficiency, certification, decarbonization, policy architecture.

JEL-classification: Q01, Q56, L74, R11.

Постановка проблеми. Сьогодні сектор будівництва є головним споживачем енергоресурсів та основним продуцентом вуглецевого сліду планети. Згідно зі звітами Міжнародного енергетичного агентства (IEA), операційне споживання будівель дорівнює 30 % глобального кінцевого енергоспоживання, а якщо додати до цього емісію від виробництва матеріалів (цемент, сталь, алюміній), то частка нарастає до 34 % енергоспоживання [1]. За даними Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC), сектор будівництва й споруд спричиняє значний рівень викидів парникових газів у експлуатаційній та виробничо-технологічній фазі, до того ж прогрес у декарбонізації сектора з 2015 р. відбувається занадто повільно: протягом 7 наступних років зниження рівня викидів було дуже незначним, а показник 2022 р. був навіть вищим за 2015 р. [2, р. 6].

Такі невтішні в аспекті кліматичної відповідальності результати детермінували необхідність перегляду існуючих підходів та стандартів озеленення будівництва. Якщо раніше діяв режим Nearly-Zero Energy Buildings (nZEB) – будівель зі споживанням енергії, близьким до нульового, то нова редакція Директиви про енергетичну ефективність будівель (EU/2024/1275) вже наказує новим будівлям до 2028/2030 року бути Zero-Emission Buildings – з повністю нульовими викидами з викопного палива на місці. За прогнозами Спільного дослідницького центру Європейської Комісії та Європейського інституту ефективності будівель, подібна довгострокова стратегія дозволить до 2030 р. зменшити викиди сектору на 35 % (порівняно з 2019 р.) й наблизитися до майже 94 % скорочення до 2050 р. [3].

Логічно, що амбітність цілей зумовлює потребу в трансформації існуючих підходів. Окремі проекти чи пілотно-зразкові зелені будівлі, як виявилось, мають недостатній вплив. Потрібні системні зрушення, спроможні охопити сектор новобудівель і стимулювати впровадження глибокої реновації в існуючий будівельний фонд. І для цього необхідна системна політика, що пов’язала б науково перевірені нормативи з відповідними фінансами та підкріпила зелену будівельну діяльність ринковими стимулами; це єдиний шлях, щоб зелений сектор не лишався нішевим, а став дійсно масовим.

Усе це доводить актуальність і наукову значущість

проблеми формування зелених будівельних систем. Сьогодні питання не лише у проектуванні енергоощадних споруд, а у створенні цілісних інституційно-технологічних систем, що охоплюють повний життєвий цикл будівлі – від добору матеріалів і методів оцінки вуглецевого сліду (LCA, EPD) до фінансових механізмів реновації, державного регулювання та ринкових стимулів. Саме системний характер підходу визначає здатність будівельного сектору зробити реальний внесок у досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року.

Дослідження світового досвіду формування таких систем має подвійну цінність: воно дозволяє, по-перше, ідентифікувати найефективніші моделі інтеграції нормативних, фінансових та технологічних компонентів (на прикладі ЄС, США, країн Азії), а по-друге, визначити, які з цих інструментів можуть бути адаптовані в українських умовах під час післявоєнного відновлення.

Аналіз досліджень і публікацій. У науковій літературі поняття «зелена будівельна система» ще не набула усталеного визначення й не має сформованого корпусу досліджень. Однак окремі напрями, інтеграція яких і забезпечує формування змісту «зеленої будівельної системи», вже характеризуються високим рівнем наукової розробленості. До них належать:

- енергоефективність та життєвий цикл будівель;
- нормативно-регуляторна політика та інституційні зміни;
- механізми фінансування й ринкові стимули зеленої модернізації;
- сертифікаційні та оцінювальні інструменти сталого будівництва (LEED, BREEAM, DGNB, Green Mark).

Деякі дослідження – зокрема Building Renovation Wave in Europe (BPIE, 2023), Defining Zero-Emission Buildings (JRC, 2024) та Global Status Report for Buildings and Construction (GlobalABC, 2024) – уже розглядають сектор будівництва як комплексну соціотехнічну систему, у якій взаємодіють політика, технології, фінанси й інструменти оцінювання життєвого циклу.

Проте узагальненої теоретичної моделі зеленої будівельної системи досі не сформовано. Тому найперше потребується додаткове дослідження основного світового досвіду (ЄС, США, Азія) формування зелених

будівельних систем, що матиме особливу наукову вагу як засіб виявлення ефективних механізмів інтеграції цих напрямів у єдину систему управління сталим (sustainable) розвитком будівельного сектору.

Мета статті – на основі порівняльного аналізу міжнародного досвіду (ЄС, США, Азія) узагальнити підходи до формування зелених будівельних систем і визначити ключові структурні елементи, взаємодія яких формує інституційно-технологічну рамку управління сталим розвитком будівельного сектору.

Виклад основного матеріалу. У міждисциплінарних студіях сталого розвитку та в аналітичних звітах міжнародних інституцій (GlobalABC, JRC, BPIE, IEA) будівельний сектор дедалі частіше осмислюється через концепцію комплексної соціотехнічної системи, у межах якої взаємодіють чотири групи чинників:

- нормативно-інституційні (державна політика, стандарти EPBD, ESG-регулювання);
- технологічні (енергоефективні рішення, цифрове моделювання, вуглецево-нейтральні технології);
- фінансово-економічні (зелене кредитування, інвестиційні стимули, податкові пільги);
- оцінювально-сертифікаційні (LEED, BREEAM, DGNB, Green Mark, CASBEE).

Таке розуміння узгоджується з підходами науковців, які визначають «зелену трансформацію будівельного сектору» як системну інтеграцію політики, технологій і ринку [4; 5]. У звітах JRC та GlobalABC підкреслюється, що саме синергія цих елементів забезпечує реальні результати декарбонізації, тоді як ізольовані проекти чи пілотні ініціативи не створюють масштабного ефекту [6; 7].

Водночас категорія «комплексна соціотехнічна система» залишається узагальнюючою і не відображає специфіки секторальних механізмів управління. Тому в цій роботі використовується поняття «зелена будівельна система» – як операційна конкретизація соціотехнічної рамки в контексті будівельної галузі. Ця категорія не заперечує системного характеру соціотехнічного підходу, а навпаки, втілює його в прикладному вимірі, поєднуючи нормативні, технологічні, фінансові та оцінювальні компоненти. Якщо соціотехнічна система – це онтологічна характеристика сталого розвитку в цілому, то зелена будівельна система – її галузевий прояв, що має власні інституційні механізми, стандарти, економічні інструменти та показники ефективності.

Нині процес формування зелених будівельних систем відбувається динамічно й нерівномірно, набуваючи різних організаційних конфігурацій залежно від політичного устрою, економічної моделі та просторової структури господарства. Так, у країнах Європейського Союзу становлення таких систем має інституційно-нормативний характер і здійснюється переважно через реалізацію директивного регулювання (EPBD, EED, Fit for 55). У Сполучених Штатах домінує ринково-стимульовальна модель, де розвиток зеленої архітектури забезпечується приватними сертифікаційними стандартами (LEED, WELL) та механізмами податкового і кредитного стимулювання. В Азійському

регіоні – насамперед у Китаї, Японії та Сінгапурі – формування зелених систем відбувається у державно-індустріальній логіці, з акцентом на регламентацію матеріалів, технологічні інновації й цифровий моніторинг.

Таким чином, можна стверджувати, що зелені будівельні системи перебувають на етапі інституційного становлення, а їхня структура та динаміка відображають територіально-політичні відмінності моделей сталого розвитку. Саме ця різноспрямованість дозволяє розглядати світовий досвід не як уніфікований, а як сукупність альтернативних шляхів екологізації будівельного сектору, кожен з яких ґрунтується на власному балансі між державним управлінням, ринковими стимулами та технологічними інноваціями.

1. Європейський Союз: інституційно-нормативна зелена будівельна система

Європейський Союз є світовим лідером у формуванні інституційно-нормативної системи зеленого будівництва, що інтегрує політичні, технологічні та фінансові інструменти в межах Європейської зеленої угоди (European Green Deal, 2020). Її фундаментом є три взаємопов'язані документи:

- 1) Директива про енергетичну ефективність будівель (EPBD, EU/2024/1275),
- 2) Директива про енергоефективність (EED, EU/2023/1791),
- 3) Директива про відновлювану енергетику (RED III, EU/2023/2413).

Ревізована EPBD закріплює нову категорію – Zero Emission Building (ZEB), тобто будівлі з нульовими викидами з викопного палива на місці. Вона передбачає обов'язок держав-членів розробити Національні плани реновацій, будівельні паспорти та мінімальні стандарти енергоефективності (MEPS). До 2028 р. усі нові державні будівлі, а до 2030 р. – усі нові будівлі мають бути ZEB; до 2050 р. очікується повна декарбонізація будівельного фонду [3].

Таку політику супроводжують регламенти Fit for 55 і REPowerEU, які визначають будівельний сектор як стрижень кліматичної нейтральності, а також система Level(s) – європейська методологія оцінювання сталості будівель у життєвому циклі (Life Cycle Assessment).

Система управління зеленою реновацією в ЄС має багаторівневий характер: Європейська Комісія формує законодавчі акти та рамкові показники; національні уряди розробляють плани реновацій і стандарти; місцеві органи влади реалізують програми через гранти, податкові пільги й публічні закупівлі.

Фінансова підтримка забезпечується через Cohesion Fund, ERDF, InvestEU, Recovery and Resilience Facility та Modernisation Fund. За оцінками BPIE (2023), лише у 2022 р. ЄС інвестував понад EUR 285 млрд у підвищення енергоефективності будівель, що становить близько 14% зростання порівняно з попереднім роком [8].

Національні приклади держав ЄС демонструють системність підходу до формування зелених будівельних систем, що полягає у поєднанні нормативних, фінансових і технологічних механізмів у межах єдиної

політики декарбонізації сектору. Так, Німеччина реалізує програму KfW Efficient House, засновану на поєднанні кредитування та грантової підтримки енергоефективних проєктів: держава кредитує до 150 тис. євро на об'єкт із можливістю списання боргу (від 5% до 45% залежно від рівня досягнутої енергоефективності) [9]. Франція спирається на стандарт RE2020, який встановлює обов'язкові енергетичні та вуглецеві вимоги для нових будівель, включно з оцінкою вбудованого вуглецю упродовж життєвого циклу – від добування матеріалів до експлуатації та знесення [10]. Данія застосовує стратегію Building Class 2020 як добровільний майбутній рівень, що підсилює поступове посилення енергетичних вимог до 2030-х [11]. Фінляндія реалізує нацплан NZEB та послідовно оновлює будівельні регламенти з урахуванням північного клімату (теплотехніка, рекуперація, RES) [12].

Таким чином, європейська практика підтверджує, що зелені будівельні системи функціонують не як набір окремих програм, а як узгоджений інституційний механізм, який охоплює нормативну базу, фінансування, стандартизацію та моніторинг результатів.

Науково-технічну основу зеленої системи формують стандарти EN ISO 52000 (оцінка енергетичних характеристик), CEN/TC 371 та система Level(s), що дозволяє вимірювати вуглецевий слід, споживання води, ресурсну ефективність і здоров'я користувачів. ЄС активно підтримує Building Information Modelling (BIM) і цифрові «паспорти матеріалів» для реновації. Паралельно розвиваються інноваційні практики зелених кластерів: Positive Energy Districts (PED) у Норвегії, Італії, Латвії, Словаччині тощо (загалом 20 країн) [13]. Крім PED у Європі активно розвиваються практики Circular Construction Hubs / reuse hubs, які забезпечують кластеризацію ланцюгів вторинного матеріалу у будівництві. Наприклад, Шотландія запускає пілотний хаб з повторного використання будівельних матеріалів, а Мюнхен розгортає подібний центр вторинних матеріалів. У Бельгії (Льовен) працює ініціатива з «urban mining» – вилучення матеріалів зі знесених споруд із подальшим повторним використанням [14]. У Нідерландах проєкт De Ceuveel – це циркулярний офіс-парк, що комбінує повторне використання матеріалів, енергозбереження й екосистемні рішення [15].

Попри високий рівень нормативного забезпечення, темпи глибокої реновації залишаються недостатніми: близько 1,2% будівельного фонду на рік, тоді як для досягнення кліматичних цілей потрібно не менше 2,5–3%.

Дослідження Європейського інституту ефективності будівель вказує на ключові бар'єри:

- фрагментація між національними стандартами й єдиною європейською системою моніторингу;
- недостатній доступ малих власників до фінансування;
- брак кваліфікованих кадрів у сфері зелених професій [8].

Водночас впровадження EPBD (2024) створює основу для системного оновлення: гармонізація будівельних паспортів, узгодження баз даних матеріалів,

розвиток національних «фабрик реновацій» (One-Stop Shops) [3].

Взагалі європейська зелена будівельна система функціонує як вертикально інтегрована модель управління декарбонізацією будівельного сектору, де нормативна, фінансова та технологічна політики формують єдину рамку. Її ключовою відмінністю є перехід від проєктного до системного підходу, коли зелена будівля стає не винятком, а базовим стандартом.

Така модель задає орієнтир для інших регіонів світу, демонструючи, що екологізація будівництва можлива лише за умови поєднання правових зобов'язань, економічних стимулів і технічної стандартизації.

2. Сполучені Штати Америки: ринково-стимулювальна зелена будівельна система

Американська модель зеленої будівельної системи формувалася не директивно, а «знизу вгору», як результат самоорганізації професійного середовища та приватного сектору. Її витoki – у діяльності U.S. Green Building Council (USGBC), заснованої 1993 року, що розробила сертифікацію LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) – першу в світі стандартизовану систему оцінювання сталості будівель [16].

Згодом до екосистеми приєдналися: International WELL Building Institute – стандарт WELL, зосереджений на якості середовища проживання; International Code Council (ICC) із кодексом IgCC – International Green Construction Code; Living Building Challenge (International Living Future Institute), що задає найвищі екологічні вимоги до матеріалів, енергії та води [17; 18].

Таким чином, інституційне ядро системи становлять не державні агентства, а некомерційні професійні організації, чий стандарти стали де-факто частиною державних і муніципальних регламентів. І сьогодні понад 110 000 об'єктів у 180 країнах сертифіковані за LEED, що перетворює цю систему на глобальний стандарт добровільного зеленого будівництва [16].

Державна політика США у сфері зелених будівель базується на економічному стимулюванні, а не нормативному примусі. Ключовими інструментами виступають: 1) федеральні податкові пільги – Investment Tax Credit (ITC), Production Tax Credit (PTC), Energy-Efficient Commercial Buildings Deduction (179D); 2) програми «зеленого кредитування» – Property Assessed Clean Energy (PACE), що дозволяє фінансувати модернізації будівель із погашенням через податок на майно; 3) державні інвестиції – Inflation Reduction Act (IRA, 2022), який передбачає 369 млрд дол. на кліматичні та енергетичні проєкти, зокрема підвищення енергоефективності будівель; 4) енергетичні стандарти – Energy Star for Buildings (програма EPA і DOE), що охоплює понад 6 млрд м² будівельного фонду [19; 20; 21].

За оцінками IEA (2023), США щорічно інвестують близько 270 млрд доларів у підвищення енергоефективності будівель, що становить близько 5% загального інвестування у сектор нерухомості [22].

Таким чином, фінансова основа системи є децентралізованою, але потужною, адже ґрунтується на синергії приватних інвестицій, муніципальних стимулів і

державних податкових важелів.

Ринковий характер системи США породив велику різноманітність регіональних політик. Найбільш передові міста – Нью-Йорк, Сіетл, Портленд, Сан-Франциско, Чикаго – запровадили власні Building Energy Codes, що посилюють федеральні вимоги [23]. Нью-Йорк (Local Law 97, 2019) установив вуглецеві ліміти для будівель площею понад 25 тис. фут²: перевищення тягне штраф у 268 дол. за кожен тону CO₂ понад норму [24]. Сіетл запровадив Green Building Standard – систему зниження енергоспоживання на 25–30% для муніципальних будівель. Чикаго реалізує Energy Benchmarking Ordinance – обов'язкове щорічне звітування власників великих будівель про енергоспоживання та викиди [23].

Технологічно система спирається на цифрові інструменти аналізу життєвого циклу (LCA), Building Information Modelling (BIM) і smart-metering.

Корпорації (Google, Microsoft, Amazon) впроваджують власні «корпоративні стандарти сталих кампусів», фактично створюючи нову форму публічно-приватного регулювання, де бізнес стає драйвером системи.

Завдяки гнучкій структурі та конкуренції між сертифікаційними системами ринок зеленого будівництва у США зріс із 2% у 2005 р. до понад 45% нових проєктів у 2023 р. [25]. Проте експерти IEA та USGBC наголошують на нерівномірності розвитку: 1) зелені стандарти поширені переважно у великих містах, тоді як у середніх штатах їхня присутність мінімальна; 2) добровільний характер сертифікацій не гарантує системної декарбонізації сектору; 3) брак федеральної політики реновацій залишає старий житловий фонд поза увагою [16; 22].

Для мінімізації розриву White House Council у межах Federal Sustainability Plan визначив, що всі нові федеральні будівлі з 2030 року мають бути з нульовими викидами (Zero-Emission Buildings), а існуючі – модернізовуватись за критеріями Energy Star або LEED Silver відповідно до Federal Building Performance Standard [20].

Американська зелена будівельна система – це ринково-стимульовальна модель з високим рівнем самоорганізації, у якій провідну роль відіграють приватні стандарти, муніципальні ініціативи та державні податкові стимули. Її перевага – інноваційна динаміка і швидке масштабування рішень, але обмеження – відсутність єдиної політики глибокої реновації. Ця система демонструє, що декарбонізація будівель може відбуватися не лише через нормативний примус, а й через ринкову мотивацію, конкуренцію стандартів і суспільний запит на сталість.

3. Азія: державно-індустріальні моделі зелених будівельних систем

Інституційна та нормативна рамка озеленення будівництва має особливості в кожній державі.

У *Кумай* створена одна з наймасштабніших у світі систем оцінювання сталості будівель – Green Building Evaluation Label (GBEL), відома також як Three-Star System. Її адмініструє Міністерство житлово-комунального господарства та розвитку міст і сіл (MOHURD),

а методологічною основою виступає державний стандарт GB/T 50378-2019 «Green Building Evaluation Standard».

GBEL оцінює будівлі за п'ятьма групами критеріїв: енергетична ефективність, водозбереження, використання екологічних матеріалів, якість внутрішнього середовища (Indoor Environmental Quality) та організаційно-управлінські аспекти експлуатації. Система має трирівневу шкалу – 1 Star, 2 Stars і 3 Stars, – де найвищий рівень передбачає досягнення показників, близьких до стандартів нульового вуглецевого балансу [26]. Розвиток GBEL безпосередньо інтегрований у національну кліматичну стратегію «dual carbon», яка передбачає досягнення піку викидів CO₂ до 2030 року і кліматичної нейтральності до 2060 року.

Поступово система переходить від добровільного до обов'язкового режиму: у низці провінцій – зокрема Пекіні, Шеньчжені, Шанхаї – мінімальний рівень сертифікації (не нижче 1 Star) встановлено як обов'язкову вимогу для всіх державних та великих комерційних проєктів, а також для публічних закупівель і тендерів у сфері будівництва.

Державні органи активно підтримують розширення практики через субсидії, податкові пільги та гранти для забудовників, які досягають вищих рівнів сертифікації. Крім того, китайські державні банки надають зелені кредити на умовах нижчих відсоткових ставок для проєктів, сертифікованих за GBEL [27].

Таким чином, китайська модель характеризується жорсткою інституційною вертикаллю та інтеграцією будівельної політики у загальну кліматичну стратегію держави. Її особливістю є поєднання централізованого планування, науково-технічної стандартизації й ринкових стимулів, що разом формують комплексну державно-індустріальну систему управління зеленим будівництвом.

Сінгапур є одним із найпосплідовніших прикладів формування зелених будівельних систем державного типу, де регуляторна політика, інновації й фінансові стимули злиті в єдиний управлінський механізм. Центральною ланкою цієї системи є Green Mark Scheme (BCA Green Mark System), запроваджена у 2005 році Будівельним і будівельним управлінням Сінгапуру (Building and Construction Authority, BCA). З 2021 року діє оновлена версія – Green Mark 2021 (GM:2021), що відображає перехід від енергозберігаючих до вуглецево-орієнтованих показників. Система охоплює весь життєвий цикл будівлі, від проєктування до експлуатації, і оцінює її за такими категоріями, як енергоефективність, вуглецевий слід матеріалів, якість повітря в приміщеннях, водозбереження, біорізноманіття та адаптивність до клімату. Green Mark має чотири рівні сертифікації (Certified, Gold, GoldPLUS, Platinum), а з 2021 р. – додаткову категорію Super Low Energy (SLE), яка стала орієнтиром державної політики [28].

Згідно з урядовою стратегією Singapore Green Plan 2030, до 2030 року не менш ніж 80% будівельного фонду країни має бути сертифіковано за системою Green Mark, а щонайменше 80% нових будівель повинні

досягти рівня SLE або вище [29].

Ключовою особливістю сингапурської моделі є інтеграція фінансових механізмів у саму структуру сертифікації. Програма Green Mark Incentive Scheme (GMIS) надає гранти для модернізації існуючих будівель – компенсацію частини витрат на енергоаудит, модернізацію систем HVAC, фасадів і освітлення. Підпрограма GMIS-SLE стимулює застосування новітніх технологій для досягнення рівня Super Low Energy (зниження споживання первинної енергії не менше ніж на 60% порівняно з базовими будівлями). Місцеві банки – DBS, UOB, OCBC – створили спеціальні лінійки зелених кредитів, прив'язаних до рівня сертифікації Green Mark: чим вищий рівень, тим нижча процентна ставка.

Система також інтегрована у державну політику публічних закупівель: усі урядові будівлі, школи та лікарні мають відповідати мінімум стандарту Green Mark GoldPLUS.

BCA здійснює моніторинг фактичних показників енергоефективності через платформу BCA Building Energy Benchmarking Report – щорічну базу даних, що забезпечує прозорість і конкурентність сектору [30].

Серед найвідоміших реалізованих проєктів – Marina One, Paya Lebar Quarter, CapitaSpring, які поєднують архітектурні рішення з кліматичними мікросценаріями (зелені атріуми, природна вентиляція, рекуперація тепла). У межах урядової ініціативи Super Low Energy Buildings Programme з 2023 року діє вимога, щоб усі нові державні будівлі були принаймні SLE, а після 2030 – Zero-Energy Ready [29].

Таким чином, Green Mark у Сінгапурі функціонує не просто як система сертифікації, а як інституційна основа всієї зеленої будівельної системи країни. Її ефективність зумовлена повною інтеграцією нормативів, фінансів і моніторингу – коли озеленення стає не ринковим вибором, а державним стандартом і соціальною нормою.

Японія є одним із піонерів у сфері сталого будівництва, де зелені стандарти перетворено на елемент державної політики якості середовища проживання. Її національна зелена будівельна система формується навколо CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) – всеосяжної системи оцінювання екологічної ефективності будівель, започаткованої у 2001 році Інститутом з енергозбереження та будівельного доквілля (IBEC) за підтримки Міністерства землі, інфраструктури, транспорту і туризму (MLIT).

CASBEE оцінює будівлі за ефективністю використання екологічних ресурсів у співвідношенні до навантаження на доквілля (Built Environment Efficiency, BEE). Система охоплює чотири категорії критеріїв: енергетична ефективність і викиди CO₂; комфорт і якість внутрішнього середовища; ресурсоефективність та управління відходами; ландшафтна інтеграція та урбаністична стійкість.

На відміну від західних систем, CASBEE використовує відносну шкалу, де будівля оцінюється не лише за абсолютними показниками, а й за ефективністю у

порівнянні з типовими об'єктами. Рівні оцінки – C, B-, B+, A, S – утворюють систему внутрішнього «рейтингування ефективності», яка дозволяє муніципалітетам встановлювати власні мінімальні вимоги для дозволів на будівництво [31].

У 2015 році Японія ухвалила Building Energy Efficiency Act, який закріпив обов'язкові вимоги до енергоефективності нових будівель і відкрив можливість використання CASBEE як інструменту державної оцінки. З 2021 року діє оновлена версія закону, що робить енергетичну сертифікацію обов'язковою для всіх великих і комерційних будівель, а з 2025 року – для житлових. CASBEE сьогодні використовується у понад 60 муніципалітетах включно з Токіо, Йокогамою, Кіото та Нагояю і стала частиною регіональних програм сталого розвитку міст.

Фінансова підтримка реалізується через пільгові позики й гранти MLIT та JICA, спрямовані на енергоефективну реновацію державного і муніципального фонду. Місцева влада має право встановлювати податкові знижки або зниження вартості оренди для об'єктів класів A і S. Крім того, великі японські корпорації (Mitsubishi Estate, Sumitomo Realty, Daiwa House) запровадили внутрішні корпоративні зелені паспорти, що поєднують CASBEE з міжнародними стандартами (LEED, ISO 14001), формуючи вторинний рівень саморегулювання ринку [32].

Окремий напрям системи – CASBEE for Urban Development / CASBEE for Cities, розроблений після 2011 року, коли країна переосмислила міську стійкість після землетрусу в Тохоку. Ця версія дозволяє оцінювати сталий розвиток міських територій за критеріями енергетичного балансу, зелених зон, мобільності та адаптації до клімату. Міста Йокогама і Кіото першими впровадили міські паспорти сталості, що зобов'язують забудовників надавати CASBEE-звіт під час затвердження детального плану [33].

Японська зелена будівельна система є найбільш технократичною серед азійських, її сильна сторона – інтеграція будівельної сертифікації у міське управління та зв'язок між енергоефективністю й комфортом середовища проживання. Однак основним викликом лишається повільна реновація старого житлового фонду та відсутність глибокої декарбонізації у матеріальному циклі (цемент, сталь).

Таким чином, CASBEE – це не просто інструмент оцінювання, а архітектура національної зеленої політики, що об'єднує регулювання, ринок і муніципальне управління. Вона демонструє, як державна стандартизація може співіснувати з гнучкістю місцевих підходів і водночас підтримувати високу культуру будівництва як частину екологічної етики. У цьому сенсі японська модель відрізняється від китайської директивності й сингапурського фінансового стимулювання – це система якості, побудована на довірі, прецизійності та технологічній досконалості.

Південна Корея належить до групи країн, де зелена будівельна політика є продовженням промислової та енергетичної стратегії держави. У 2002 році було створено систему G-SEED (Green Standard for Energy and

Environmental Design), якою спільно керують Міністерство навколишнього середовища (MOE) та Міністерство землі, інфраструктури й транспорту (MOLIT).

G-SEED стала національним стандартом екологічної оцінки будівель, закріпленим у Building Act і Green Building Promotion Act. У 2016 році її було реформовано: створено Раду з зеленого будівництва (Korea Green Building Council), уніфіковано критерії з міжнародними системами (LEED, BREEAM) та введено обов'язковість сертифікації для державних і великих комерційних об'єктів. Система базується на 7–9 категоріях оцінки: енергетика, матеріали, вода, відходи, навколишнє середовище, здоров'я, транспорт, інновації. Вона охоплює всі типи будівель – житлові, громадські, промислові, шкільні, офісні, інфраструктурні. У 2020-х роках G-SEED стала частиною національної програми «K-Green New Deal», спрямованої на декарбонізацію сектору будівництва та підтримку зелених технологій [34].

З 2020 року в Кореї діє державна програма Zero-Energy Building Korea (ZEB-K), яка передбачає етапний перехід усіх нових будівель до нульового енергоспоживання до 2030 року. ZEB-K визначає п'ять рівнів енергоефективності – від Level 5 (базовий) до Level 1 (повністю нульова енергія), що оцінюються за інтегральними показниками будівельного контуру, відновлюваних джерел енергії, контролю систем і якості мікроклімату. З 2023 року всі нові державні будівлі площею понад 1 000 м² мають досягати рівня ZEB Level 1 або 2, а до 2030 року вимога пошириться на весь сектор новобудов [35].

Паралельно діє Korea Energy Agency з програмою субсидій на впровадження сонячних панелей, теплових насосів, систем рекуперації та BMS (Building Management Systems).

Корея реалізує трискладову модель стимулювання: 1) фінансові пільги: податкові знижки до 10% вартості будівництва для сертифікованих об'єктів G-SEED; 2) кредитні програми: державні банки (Korea Development Bank, IBK) надають пільгові позики на зелені реновації; 3) інноваційні фонди: Green Innovation Fund підтримує локальні технології (теплові насоси, LED, акумулятори, інтелектуальні системи моніторингу).

Ключова відмінність – синергія екологічної політики й технологічного виробництва: у межах програми ZEB-K держава субсидує розробку нових матеріалів і компонентів (вікна, теплоізоляція, фотогальваніка), перетворюючи сектор будівництва на випробувальний полігон промислових інновацій.

Найвідомішим демонстраційним простором є Songdo International Business District (Інчхон) – місто нового типу, сертифіковане одночасно за G-SEED і LEED-ND. Тут упроваджено централізоване енергопостачання, пневмотранспорт відходів, рекуперацію тепла, «розумне» керування освітленням та кондиціонуванням, інтегровану систему збору даних про енергоспоживання. Крім Songdo, Сеул активно просуває «Green Remodeling Program», спрямовану на реновацію шкіл, лікарень і соціального житла: понад 2000

об'єктів у 2020–2024 роках [35].

Попри технологічну зрілість системи, експерти Корейського інституту цивільної інженерії та будівельних технологій вказують на кілька слабких ланок: висока вартість впровадження ZEB-технологій для малого бізнесу; брак спеціалістів із сертифікації та енергоаудиту; обмеженість даних про фактичне енергоспоживання будівель (проблема прозорості моніторингу) [36].

Південнокорейська зелена будівельна система – це керована з центру модель із високою технологічною складовою, що поєднує державний контроль, промислові інновації та ринкові стимули. Якщо Китай орієнтований на масштаб, а Японія – на якість, то Корея робить ставку на швидкість трансформації через цифровізацію та зелений інжиніринг. Її досвід демонструє, що сталий будівельний сектор може стати локомотивом технологічного розвитку, а не лише інструментом кліматичної політики.

Таким чином, можна зазначити, що у країнах Азії зелена будівельна політика розвивається у логіці державно-індустріального управління, де екологічні стандарти поєднані з промисловими та інноваційними пріоритетами. Попри розмаїття національних систем (GBEL (Китай), Green Mark (Сінгапур), CASBEE (Японія), G-SEED (Південна Корея)), їх об'єднує спільна риса: інституційна інтегрованість. На відміну від ринкових моделей Заходу, азійські країни розглядають зелене будівництво не як результат конкуренції між сертифікаціями, а як державну систему регулювання, фінансування і моніторингу, спрямовану на досягнення стратегічних цілей енергетичної безпеки та технологічної модернізації.

В усіх провідних азійських моделях присутня чітка адміністративна вертикаль: центральне міністерство задає нормативну рамку, національний інститут – методіку, муніципалітети – практичне виконання: у Китаї – MOHURD через GBEL; у Сінгапурі – BCA через Green Mark; у Японії – MLIT/IBEC через CASBEE; у Кореї – MOE/MOLIT через G-SEED та ZEB-K. Така структура забезпечує керованість і стандартизованість, що дозволяє масштабувати результати у національних масштабах без фрагментації, характерної для децентралізованих систем США чи ЄС.

Фінансовий вимір в Азії не відокремлений від нормативного; навпаки, він вбудований у регуляторну систему. Кожна із країн створила інструменти прямого фінансування зелених будівель: державні кредити та субсидії (Китай, Корея), грантові програми на модернізацію (Сінгапур), податкові пільги й знижки на оренду (Японія). Завдяки цьому процес озеленення не сприймається як додаткові витрати, а стає фінансово вигідним напрямом інвестицій, інтегрованим у загальні економічні програми – Green Plan 2030, K-Green New Deal, dual carbon strategy.

Азійські моделі базуються на високому рівні державної довіри та плановій культурі управління. Це дозволяє реалізовувати довгострокові програми без переривань, на відміну від політично циклічних заходів країн. Суспільна підтримка формується через

поєднання державного авторитету й освітніх кампаній, що створює ефект соціальної згоди навколо екологічної модернізації.

Головні відмінності зелених будівельних систем Азії викладено у табл. 1.

Таблиця 1

Ключові відмінності азійських моделей зелених будівельних систем

Параметр	Китай	Сінгапур	Японія	Південна Корея	Ключові характеристики
Модель	Директивна, інтегрована у нацстратегію	Державна з фінансовими стимулами	Технократична, міська інтеграція	Технологічно-індустріальна	Різний баланс між роллю держави й ринку
Основний регулятор	MOHURD	BCA	MLIT / IBEC	MOE / MOLIT	Централізовані регулятори з широкими повноваженнями
Основна система	GBEL	Green Mark	CASBEE	G-SEED + ZEB-K	Національні стандарти, закріплені у правовому полі
Фінансові інструменти	Пільгові кредити, гранти	GMIS, Green Credits	Податкові пільги, субсидії	Знижки, держфінансування, інноваційні фонди	Інтеграція фінансів у нормативну систему
Фокус	Масштаб і нормативність	Моніторинг і стимулювання	Якість і довговічність	Технологічна модернізація	Специфічні пріоритети, узгоджені з нацстратегіями
Обов'язковість	Висока для публічних і великих об'єктів	Висока для держсектору	Часткова (для великих)	Висока (ZEB обов'язковий для нових будівель)	Висока роль нормативного примусу

Джерело: побудовано за даними [26–36].

Азійські зелені будівельні системи, таким чином, демонструють третій шлях між європейською директивністю та американським ринковим лібералізмом. Їхня сила – у координації політики, промисловості й технологій, а слабкість – у ризикі бюрократизації та обмеженого залучення громадськості. Втім, саме цей державно-індустріальний формат дозволив регіону досягти найвищих темпів екологізації будівництва у світі: за даними IEA, на Азію припадає понад 60% нових сертифікованих зелених площ. Тут зелена будівельна система виступає реальною інфраструктурою кліматичної модернізації, у якій стандарти, фінанси, наука й індустрія працюють як єдиний механізм [22].

Висновки. Порівняння моделей формування зелених будівельних систем у ЄС, США та країнах Азії дає підстави виокремити три різні парадигми розвитку, що відображають особливості інституційної логіки кожного регіону.

По-перше, у Європейському Союзі зелена будівельна система постає як мережево-інституційна модель, побудована на принципах багаторівневого врядування. Її ядро – гармонізація стандартів і спільне регуляторне поле (EPBD, ESG), тоді як реалізація делегується державам-членам. ЄС формує «архітектуру рамок», у межах якої держави інтегрують політику енергоефективності, фінансові інструменти (KfW, Horizon Europe, LIFE) і цифровий моніторинг. Сильний бік моделі – узгодженість і контроль якості, слабкий – повільність ухвалення рішень і залежність від політичного консенсусу.

По-друге, у США домінує ринково-інституційна

парадигма, де держава створює лише стимули, а визначальну роль відіграють приватні сертифікаційні системи (LEED, Energy Star) і великі девелопери. Тут зелена логіка виникає не як обов'язок, а як маркетингова та інвестиційна перевага. Це забезпечує гнучкість і швидкість інновацій, проте водночас породжує нерівномірність екологічної модернізації між регіонами, секторами й соціальними групами.

По-третє, азійська модель є державно-індустріальною, тобто базується на інтеграції політики, промисловості та технологічного планування. У ній зелена трансформація не є наслідком ринкового вибору, а стає частиною національної стратегії розвитку. Її перевага – масштабованість і стабільність; її обмеження – ризик бюрократизації та низька участь громадськості.

Попри відмінності, усі три підходи підтверджують, що зелена будівельна система – це не технологічний набір, а форма управління, яка поєднує політичні, нормативні, фінансові, науково-технічні й соціальні компоненти. Ефективність таких систем прямо залежить від ступеня інституційної узгодженості між політикою, ринком і наукою; передбачуваності фінансування та довгострокового планування; здатності адаптувати стандарти до місцевих умов (кліматичних, економічних, культурних); публічної довіри й участі громадян.

Таким чином, світовий досвід доводить: успішна декарбонізація будівельного сектору можлива лише тоді, коли зелена політика набуває системного, міждисциплінарного й економічно інтегрованого характеру – тобто коли «зелена будівельна система» стає не додатком до ринку, а його новою логікою.

Список використаних джерел:

1. Energy System: Buildings. International Energy Agency: site. URL: <https://www.iea.org/energy-system/buildings>
2. 2023 Global Status Report for Buildings and Construction / UNEP. URL: <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-2023>
3. Maduta C., Tsemekidi-Tzeinaraki S., Castellazzi L., Dagostino D., Melica G., Paci D., Bertoldi P. Updates on the Energy Performance of Buildings Directive implementation in the EU Member States. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2025. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/9619902>
4. Ürge-Vorsatz D., Novikova A., Wilson C. Opportunities and Costs of Carbon Dioxide Mitigation in the Global Building Sector. Energy Policy. 2008. Vol. 36. P. 642–661.
5. Habert G., Miller S.A., John V.M. et al. Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. Nature Reviews Earth & Environment. 2020. № 1. P. 559–573. URL: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0093-3>
6. Defining Zero-Emission Buildings: Support for the Revision of the EPBD / Joint Research Centre. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2024. 82 p.
7. Global Status Report for Buildings and Construction 2024 / Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC). Nairobi : UNEP, 2024. 176 p.
8. Building Renovation Wave in Europe: From Pilot Projects to Systemic Transformation / Buildings Performance Institute Europe (BPIE). Brussels : BPIE, 2023. 58 p.
9. KfW Bankengruppe. Merkblatt: BEG Wohngebäude – Kredit (261). Frankfurt am Main : KfW, 2022. URL: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.kfw.de/partner/Dokumente/Archiv/782-2022-Q2/6000004854_M_261_2022_05_schwarz.pdf
10. Revised thermal regulation (RE2020): reducing the carbon impact of new buildings / European Commission. Brussels : European Commission, 2024.
11. Thomsen K. E. Danish plans towards Nearly Zero Energy Buildings. URL: <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/danish-plans-towards-nearly-zero-energy-buildings>
12. Finland's national plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings / European Commission. Helsinki : Ministry of the Environment, 2012. URL: energy.ec.europa.eu.
13. Positive Energy Districts and Neighbourhoods for Sustainable Urban Development / JPI Urban Europe. Brussels : JPI Urban Europe, 2023.
14. Circular Construction Hub aims to increase reuse of building materials in Scotland. PBC Today. June 2025. URL: <https://www.pbctoday.co.uk/news/mmc-news/circular-construction-hub-aims-to-increase-reuse-of-building-materials-in-scotland/151837/>
15. De Ceuvél: a circular urban experiment. Atlas of the Other Worlds. June 2, 2025. URL: <https://occupyclimatechange.net/document/de-ceuvél-a-circular-urban-experiment/>
16. LEED v4.1 Overview / U.S. Green Building Council. Washington DC : USGBC, 2023. URL: <https://www.usgbc.org/leed>
17. WELL Building Standard v2 / International WELL Building Institute. New York : IWBI, 2023. URL: <https://www.wellcertified.com>
18. Living Building Challenge 4.0 / International Living Future Institute. Seattle : ILFI, 2020. URL: <https://living-future.org/lbc>
19. Inflation Reduction Act Guidebook / U.S. Department of the Treasury. Washington DC, 2023.
20. Federal Building Performance Standard Fact Sheet / White House Council on Environmental Quality. Washington DC, 2022.
21. ENERGY STAR Portfolio Manager DataTrends: Benchmarking and Energy Performance / U.S. Environmental Protection Agency. Washington DC, 2024. URL: <https://www.energystar.gov>
22. Net Zero Buildings Roadmap / International Energy Agency (IEA). Paris : IEA, 2023. 94 p.
23. 2024 City Clean Energy Scorecard / American Council for an Energy-Efficient Economy. Washington D.C. : ACEEE, 2024. 75 p. URL: https://www.aceee.org/sites/default/files/pdfs/2024_city_clean_energy_scorecard.pdf
24. Local Law 97 of 2019: Greenhouse Gas Emission Limits for Buildings over 25 000 ft² (Presentation and Summary Sheet) / New York City Department of Buildings. New York : NYC DOB, 2023. URL: <https://www.nyc.gov/assets/buildings/pdf/presentations/2023bsls/1197.pdf>
25. World Green Building Trends 2021: SmartMarket Report / Dodge Construction Network. Bedford, MA : Dodge Data & Analytics, 2021. 72 p. URL: <https://www.worldgbc.org/article/world-green-building-trends-2021-smartmarket-report>
26. Green Building Evaluation Standard GB/T 50378-2019 / Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China (MOHURD). Beijing : China Architecture & Building Press, 2019. URL: <https://www.codeofchina.com/standard/GBT50378-2019.html>
27. Action Plan for Peaking Carbon Emissions before 2030 / State Council of the PRC. URL: https://en.ndrc.gov.cn/policies/202110/t20211027_1301020.html

28. Green Mark 2021 (GM:2021): A new benchmark for sustainability and low carbon buildings / Building and Construction Authority (BCA). Singapore : BCA, 2021. URL: <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/sustainability/green-mark-2021>
29. Building Energy Benchmarking Report 2023 / Building and Construction Authority (BCA). Singapore : BCA, 2023. URL: <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/sustainability/building-energy-benchmarking-report>
30. Singapore Green Plan 2030: A whole-of-nation movement to advance Singapore's national sustainability agenda / Ministry of Sustainability and the Environment (MSE). Singapore : Government of Singapore, 2021. URL: <https://www.greenplan.gov.sg/>
31. CASBEE: Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency / Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC). Tokyo : IBEC, 2021. URL: <https://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/>
32. Act on the Improvement of Energy Consumption Performance of Buildings (Building Energy Efficiency Act) / Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). Tokyo : MLIT, 2015 (rev. 2021). URL: <https://www.mlit.go.jp/en/toshi/greenbuildings-index.htm>
33. CASBEE for Cities: Assessment Manual and Implementation Examples / IBEC. Tokyo : Institute for Building Environment and Energy Conservation, 2020. URL: https://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/tools_cities.html
34. Green Standard for Energy and Environmental Design (G-SEED) – National Green Building Certification System / Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). Seoul : MOLIT, 2016 (rev. 2023). URL: <https://www.molit.go.kr/english/intro.do>
35. Zero Energy Building Korea (ZEB-K) Program: Roadmap 2020–2030. Seoul : KEA, 2023 / Korea Energy Agency (KEA). URL: https://www.agora-energie.wende.org/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_INT_Korea_Map/K-Map_EN_final.pdf
36. Annual Green Building Report 2024: Evaluation of G-SEED and ZEB Implementation / Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT). Goyang : KICT, 2024. URL: <https://www.kict.re.kr/eng/>

References:

1. International Energy Agency. (n.d.). Energy system: Buildings. <https://www.iea.org/energy-system/buildings>
2. United Nations Environment Programme. (2023). 2023 Global status report for buildings and construction. <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-2023>
3. Maduta, C., Tsemekidi-Tzeinaki, S., Castellazzi, L., Dagostino, D., Melica, G., Paci, D., & Bertoldi, P. (2025). Updates on the Energy Performance of Buildings Directive implementation in the EU Member States. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/9619902>
4. Ürge-Vorsatz, D., Novikova, A., & Wilson, C. (2008). Opportunities and costs of carbon dioxide mitigation in the global building sector. *Energy Policy*, 36, 642–661.
5. Habert, G., Miller, S. A., John, V. M., et al. (2020). Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 559–573. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0093-3>
6. Joint Research Centre. (2024). Defining zero-emission buildings: Support for the revision of the EPBD. Publications Office of the European Union.
7. Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC). (2024). Global status report for buildings and construction 2024. UNEP.
8. Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (2023). Building renovation wave in Europe: From pilot projects to systemic transformation.
9. KfW Bankengruppe. (2022). Merkblatt: BEG Wohngebäude – Kredit (261). https://www.kfw.de/partner/Dokumente/Archiv/782-2022-Q2/6000004854_M_261_2022_05_schwarz.pdf
10. European Commission. (2024). Revised thermal regulation (RE2020): Reducing the carbon impact of new buildings.
11. Thomsen, K. E. (n.d.). Danish plans towards nearly zero energy buildings. <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/danish-plans-towards-nearly-zero-energy-buildings>
12. Ministry of the Environment, Finland. (2012). Finland's national plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings. European Commission. <https://energy.ec.europa.eu>
13. JPI Urban Europe. (2023). Positive energy districts and neighbourhoods for sustainable urban development.
14. Circular Construction Hub aims to increase reuse of building materials in Scotland. (2025, June). PBC Today. <https://www.pbctoday.co.uk/news/mmc-news/circular-construction-hub-aims-to-increase-reuse-of-building-materials-in-scotland/151837/>
15. De Ceudel: A circular urban experiment. (2025, June 2). Atlas of the Other Worlds. <https://occupyclimatechange.net/document/de-ceudel-a-circular-urban-experiment/>
16. U.S. Green Building Council. (2023). LEED v4.1 overview. <https://www.usgbc.org/leed>
17. International WELL Building Institute. (2023). WELL building standard v2. <https://www.wellcertified.com>
18. International Living Future Institute. (2020). Living building challenge 4.0. <https://living-future.org/lbc>
19. U.S. Department of the Treasury. (2023). Inflation Reduction Act guidebook.

20. White House Council on Environmental Quality. (2022). Federal building performance standard fact sheet.
21. U.S. Environmental Protection Agency. (2024). ENERGY STAR Portfolio Manager DataTrends: Benchmarking and energy performance. <https://www.energystar.gov>
22. International Energy Agency. (2023). Net zero buildings roadmap.
23. American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE). (2024). 2024 city clean energy scorecard. https://www.aceee.org/sites/default/files/pdfs/2024_city_clean_energy_scorecard.pdf
24. New York City Department of Buildings. (2023). Local Law 97 of 2019: Greenhouse gas emission limits for buildings over 25,000 ft² (Presentation and summary sheet). <https://www.nyc.gov/assets/buildings/pdf/presentations/2023bsls/1197.pdf>
25. Dodge Construction Network. (2021). World green building trends 2021: SmartMarket report. Dodge Data & Analytics. <https://www.worldgbc.org/article/world-green-building-trends-2021-smartmarket-report>
26. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China (MOHURD). (2019). Green building evaluation standard GB/T 50378-2019. China Architecture & Building Press. <https://www.codeofchina.com/standard/GBT50378-2019.html>
27. State Council of the PRC. (2021). Action plan for peaking carbon emissions before 2030. https://en.ndrc.gov.cn/policies/202110/t20211027_1301020.html
28. Building and Construction Authority (BCA). (2021). Green Mark 2021 (GM:2021): A new benchmark for sustainability and low carbon buildings. <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/sustainability/green-mark-2021>
29. Building and Construction Authority (BCA). (2023). Building energy benchmarking report 2023. <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/sustainability/building-energy-benchmarking-report>
30. Ministry of Sustainability and the Environment (MSE). (2021). Singapore Green Plan 2030: A whole-of-nation movement to advance Singapore's national sustainability agenda. <https://www.greenplan.gov.sg/>
31. Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC). (2021). CASBEE: Comprehensive assessment system for built environment efficiency. <https://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/>
32. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). (2015, rev. 2021). Act on the improvement of energy consumption performance of buildings (Building Energy Efficiency Act). <https://www.mlit.go.jp/en/toshi/greenbuildings-index.html>
33. Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC). (2020). CASBEE for cities: Assessment manual and implementation examples. https://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/tools_cities.html
34. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2016, rev. 2023). Green standard for energy and environmental design (G-SEED): National green building certification system. <https://www.molit.go.kr/english/intro.do>
35. Korea Energy Agency (KEA). (2023). Zero Energy Building certification system (ZEB-K): Roadmap for 2030. <https://zeb.energy.or.kr>
36. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT). (2024). Annual green building report 2024: Evaluation of G-SEED and ZEB implementation. <https://www.kict.re.kr/eng/>

Дата надходження статті: 04.09.2025 р.

Дата прийняття статті до друку: 19.09.2025 р.