

УДК 697.1

ДЕШКО В. І., НАУМЧУК О. С.

Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ NZEB КОНЦЕПЦІЇ ДЛЯ БУДІВЕЛЬ У ЦЕНТРАЛЬНІЙ ТА СХІДНІЙ ЄВРОПІ

Мета. Метою роботи є дослідження різних аспектів реалізації nZEB – концепції будівель в європейських країнах, та визначення основних проблем та перешкод на шляху масштабування та розвитку будівель з майже нульовим енергоспоживанням і використання цього досвіду для України.

Методика. Аналіз нормативних документів, наукових праць та практик щодо використання концепції nZEB в європейських країнах.

Результати. Проведено огляд нормативно-правових документів, наукових праць та практик у напрямку реалізації та закріплення визначення концепції будівель з майже нульовим споживанням енергії у країнах Європи як взаємо доповнення високо енергоефективної будівлі та відновлювальних джерел енергії, енергоефективних матеріалів та технологій. Розглянуто варіанти деталізованої оцінки нового будівництва nZEB житлового сектора. Проаналізовано вплив можливих кліматичних змін на характеристики nZEB протягом життєвого циклу, в тому числі потреб в опаленні та в охолодженні. Наведено приклади реалізації nZEB концепції при реновації будівель різного призначення. Акцент робиться на можливій невідповідності та узгодженні стандартів nZEB з найкращим фінансовим рішенням та послідовності реалізації підходів щодо забезпечення майже нульового споживання енергії будівлями різного призначення для різних кліматичних регіонів Європи, проаналізовано основні виклики та перешкоди у збільшенні частки використання таких будівель.

Наукова новизна. Згруповано та проаналізовано різні аспекти реалізації nZEB концепції, від нормативно – правових документів, державного стимулювання, балансу в концепції енергоефективних рішень та частки відновлювальних джерел енергії, до технічних та культурно поведінкових бар'єрів.

Практична значимість роботи полягає у використанні наведених підходів та досвіду європейських країн для масштабування будинків nZEB концепції в умовах України.

Ключові слова: енергоефективність; будівлі з майже нульовим споживанням енергії; стан енергоефективності nZEB; відновлювальні джерела енергії; проблеми модернізації будівель рівня nZEB.

Вступ. Європейський Союз, що є політичним та економічним об'єднанням 27 європейських держав [1] у своїй діяльності здійснює реалізацію основних цілей [2], серед яких – досягнення сталого розвитку на основі збалансованого економічного зростання та стабільності цін і висококонкурентної ринкової економіки з повною зайнятістю та соціальним прогресом. Аналіз основних секторів економіки ЄС з оцінкою задіяного персоналу [3] свідчить про велике значення будівельної галузі у досягненні цілі, що виділена вище. Так, згідно даних [4], будівельний сектор (у розгляді проектування та власне будівництва) Європейського Союзу забезпечує робочими місцями близько 18 мільйонів людей (соціальне забезпечення) та близько 9% ВВП всіх країн – членів сумарно (економічне забезпечення).

ЄС є одним з лідерів в розробці та впровадженні технологій відновлюваної енергетики [5]. З метою забезпечення сталого розвитку та раціонального ресурсовикористання, у 2009 році введено в дію Директиву про відновлювані джерела енергії (2009/28/ЄС) [6], реалізація основних принципів якої дозволила досягти поступового зростання у використанні відновлювальних джерел енергії (відсоток забезпечення енергією з ВДЕ у 2022 досягнув позначки у 22% [7]). Подолання енергетичної бідності з одного боку та забезпечення статусу ЄС як «кліматично нейтрального» об'єднання, з іншого, створили необхідність перегляду [6] у 2018 році з визначенням нового курсу у напрямку скорочення викидів [8]. Так, директива

про відновлювальні джерела енергії (2018/2001/EC) [8] запроваджує нові заходи для різних секторів економіки, зокрема щодо опалення та охолодження, транспорту, де прогрес заміщення традиційних джерел енергії відновлювальними був дещо повільнішим.

Переглянута директива [8] передбачає активну участь громадян у розвитку відновлюваної енергетики, самотійно чи у співтоваристві споживаючи відновлювальну енергію. Участь громадян у створенні умов сталого розвитку міст, є надзвичайно важливою. Зі слів Кадрі Сімсон, що є Комісаром з енергетики, будівлі є найбільшим споживачем енергії (40%) та найбільшим джерелом викидів парникових газів (36%) [9]. Скорочення частки споживання енергії будівельним сектором є часткою політики, що просувають Директиви про енергетичну ефективність будівель [10] та Директиви про енергоефективність [11] та встановлюють поняття nZEB (nearly zero energy building) або будівель з майже нульовим споживанням енергії. Забезпечення будівництва та/або реконструкції будівель класу nZEB дозволить досягти високоенергоефективного та декарбонізованого будівельного фонду до 2050 року [10] та забезпечити Європі кліматично нейтральний статус. Зобов'язання будівництва та/або реконструкції будівлі рівня nZEB означає створення будівлі дуже високого рівня енергетичної ефективності на ряду з надзвичайно низькою величиною енергопотребити та виділенням кількісного показника споживання первинної енергії в кВт·год/м² за рік. Варто зазначити, що такий показник не є визначеним для всіх країн – членів, що зумовлює потребу у перегляді реформ в сфері енергоефективності та більш широке вивчення будівельного сектору.

Діяльність України щодо забезпечення розвитку енергоефективності у частині збільшення будівель з майже нульовим споживанням енергії, регламентується Концепцією реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії та Національним планом збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії [12], та направлена на виконання основних цілей [10, 11].

Завдання. Дослідити основні напрями щодо реалізації та окреслити основні перешкоди на шляху концепції nZEB країнами Європи.

Результати досліджень. Енергоефективність як складова творення сталого розвитку світової спільноти є об'єднуючим поняттям для, практично, всіх сфер економіки. Енергетична ефективність у будівництві – це про всі етапи створення будівлі, від обговорення майбутнього проекту (вибір ділянки, призначення будівлі, особливості експлуатації), власне будівництва (вибір матеріалів, послідовність побудови, вибір джерел(а) енергії) і до експлуатації будівлі (кількість відвідувачів, графік використання будівлі, забезпечення комфортних умов, постійне поліпшення). Загалом, енергоефективність – це про злагоджений механізм, що потребує постійного моніторингу та постійної реакції на ризики, що виникають.

Питання необхідності зменшення залежності від викопного палива ніколи раніше не було таким гострим та вимагаючим негайного вирішення, як сьогодні. Зведений аналіз енергоспоживання країнами – членами ЄС [13] у 2020 році показує, що домогосподарства є одним із найбільш залежних від енергії секторів економіки (рис. 1).

Враховуючи необхідність скорочення частки енергоспоживання такими споживачами та виходячи з цілей Європейського Союзу щодо відновлювальних джерел енергії [6], реформи, описані у [6], [10] та [11] уже знайшли своє впровадження у Європі та стали поштовхом для нових досліджень щодо будівництва будівель, споживання енергії якими близьке до нуля.

Так, робота [14] містить розгорнутий аналіз дій Європейського Союзу щодо розробки моделей проектування активних та з майже нульовим споживанням енергії будівель. У статті [14] представлено, в тому числі, оцінку передових енергоефективних матеріалів та технологій (наприклад, розумне скло та інтегровані фотоелектричні системи) з розрахунком існуючої будівлі, побудованої за принципом nZEB яка використовує відновлювальні джерела енергії у

обсязі, що значно перевищує енергетичну потребу. Запропонований авторами інтегрований проект огорожувальних конструкцій та систем створює надлишок енергії, що можна віддати в мережу. Приватний житловий будинок, побудований у 2013 році на півночі Італії, проектувався як висоенергоєфективний будинок до узгодження мінімальних вимог до огорожувальних конструкцій у Італії [15]. Порівняння отриманих коефіцієнтів теплопередачі будівлі, що розглядається, у 2013 році з вимогами 2015 року представлені у табл. 1.

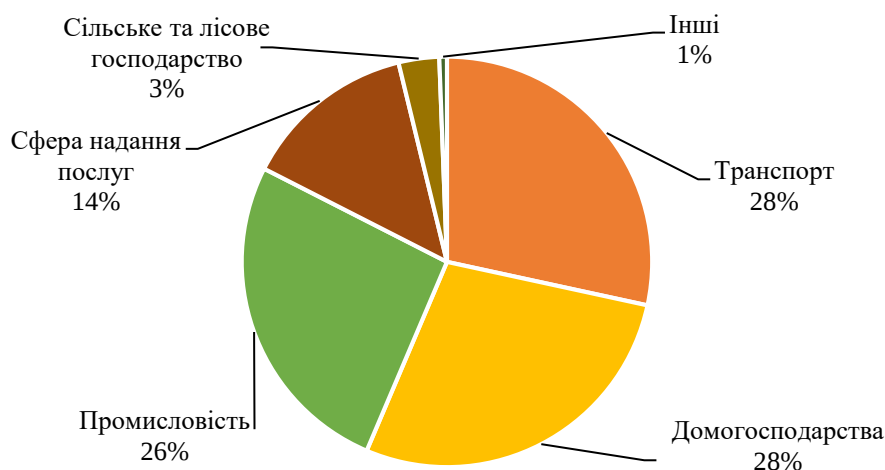


Рис. 1. Кінцеве споживання енергії за секторами у відсотках від загального споживання в Європі

Таблиця 1

Порівняння коефіцієнтів теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі, що розглядається [14] та вимог до огорожувальних конструкцій відповідно до законодавства [15]

Огорожувальні конструкції (кліматична зона F)	Коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі, що розглядається [14], Вт/м ² ·К	Коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі, згідно вимог до огорожувальних конструкцій [15], Вт/м ² ·К
Зовнішні стіни	0,19	0,28
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	1,3	1,5

Згідно проекту будівництва, джерелом енергії житлового будинку [14] є автономна теплоелектроцентрально, до складу якої входить тепловий насос «повітря – вода» з електричним живленням (корисна теплова потужність 13,1 кВт), який відповідає як за кондиціонування повітря взимку з підключенням «теплої» підлоги, так і за підготовку гарячої води. Наявні відновлювальні джерела енергії – геліосистема (6,6 м²) та фотоелектричні панелі (79,5 м²), що «покривають» 94% споживання енергії.

Більш деталізований підхід щодо оцінки стану енергоєфективності nZEB житлового фонду представлено автором [16], де основна увага приділена новому будівництву у країнах Східної Європи: Болгарії, Хорватії, Чехії, Естонії, Угорщині, Литві, Латвії, Польщі, Румунії та Словаччині. Автор [16], спираючись на національні публікації та законодавчі акти кожної з десяти представлених країн, створює чек – лист (спільно з 14 національними експертами) оцінки відповідності побудови нових будівель наступним параметрам:

- порогове значення енергоефективності будівлі (використання первинної енергії);
- коефіцієнти перетворення первинної енергії;
- політика у сфері ВДЕ (державне заохочення, тарифні умови);
- вимоги до огорожувальних конструкцій;
- вимоги теплового комфорту;
- темпи будівництва житлових будівель;
- динаміка використання теплових насосів домогосподарствами.

Використання енергії, створеної відновлювальними джерелами енергії є вагомим фактором впливу співставлення нової та/або реконструкції існуючої будівлі як такої, споживання енергії якою близьке до нуля. Для прикладу, дослідження історичного становлення основних принципів щодо визначення nZEB, починаючи з 1995 року і до сьогодні, описані у роботі [17], в якій автором підкреслено, що конкретні історичні періоди, починаючи з 1995 і до 2022 року містили згадку про будівлі з нульовим споживанням енергії, проте представлялись здебільшого термінами «зелені будівлі» з акцентом на будівельні матеріали та джерела теплоти, що дало змогу поступового розширення так званих меж визначення самого поняття nZEB. Таку ознаку, зрештою, підтримує велика кількість науковців, що досліджує взаємодоповнюваність високо енергоефективної будівлі та відновлювальних джерел енергії [18–20] для різних регіонів та, відповідно, різних кліматичних умов [21, 22].

Для прикладу, у [21] проведено оцінку параметрів огорожувальних конструкцій та систем відновлювальної енергетики з моделюванням алгоритму багатокритеріальної оптимізації NSGA – II (один з методів програмування) для різних кліматичних умов Туреччини, що дозволило імітувати навантаження на опалення та охолодження будівлі (рис. 2).

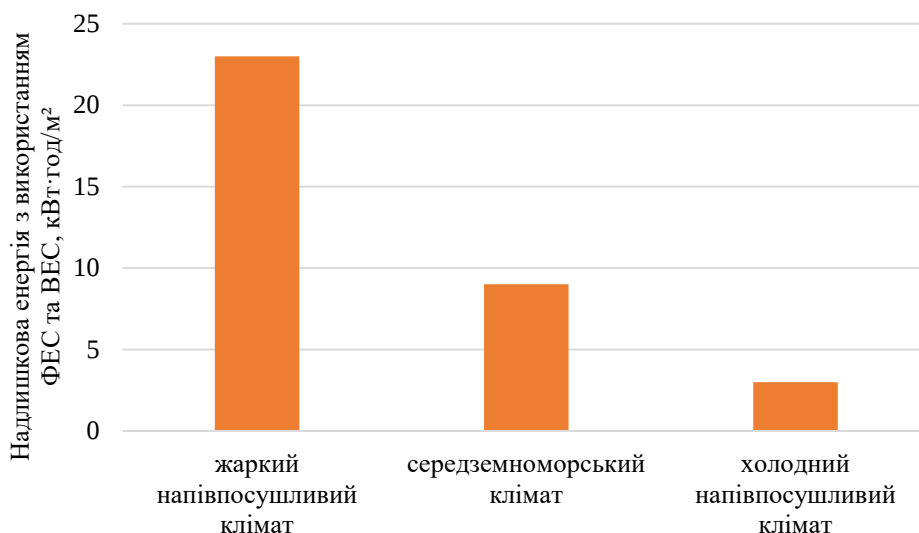


Рис. 2. Величина отриманої надлишкової енергії від ВЕС та ФЕС для різних кліматичних регіонів Туреччини

Запропонована у роботі [21] методологія змогла б використовуватись як загальний підхід проектування будівель з майже нульовим споживанням енергії – від попереднього етапу будівництва до будівництва для досягнення nZEB та оцінки впливу мінімальних кліматичних змін на відсоток використання ВДЕ, враховуючи відсутність стандартизованого підходу та

кількісної частки покриття енергії за рахунок відновлювальних джерел відповідно, у запропонованих стандартах ЄС.

Стаття [22] також є оцінкою впливу кліматичних змін на характеристики будівель, спроектованих з майже нульовим енергоспоживанням (nZEB), та стійкості з точки зору енергобалансу. Аналізуючи будівлю, що розміщена на півдні Італії з середземноморським кліматом, автори доводять, що в типовому середземноморському кліматі зменшення потреби в опаленні може компенсувати збільшення потреби в охолодженні. Тобто, за найгіршого кліматичного сценарію, величина чистої первинної енергії може змінитися з 25,4 кВт·год/м²/рік до 19,5 кВт·год/м²/рік (прогноз до 2050 року з урахуванням середньострокових кліматичних прогнозів, створених за допомогою інструменту CCWorldWeatherGen [23]) із рівнем власного споживання 85%. Проте, при досягненні навесні робочої температури вище 30°C будівля може перегріватись, що створить потребу більш частого використання охолодження, що створить дисбаланс «виробництво – використання» енергії у перехідний період.

Роботи [21, 22] аналізують можливості для будівництва та функціонування готелів класу nZEB. Так, [24] демонструє метод оптимізації будівлі з його системою опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC) у межах досягнення будівлі з майже нульовим споживанням енергії (nZEB) та розкриває можливості використання ВДЕ для репрезентативної будівлі готелю у Хорватії, виходячи з великого розриву з точки зору первинного споживання енергії між nZEB та системою з оптимальними витратами. Враховуючи цілорічний режим роботи готелю, найбільш перспективним рішенням, з точки зору дослідників, є використання теплового насоса типу «вода – вода з використанням морської води», де морська вода є джерелом теплоти та поглиначем. Якщо використання морської води є неможливим, альтернативою пропонується використання теплонасосної системи типу «повітря – вода». Аналіз отриманих результатів щодо оптимізації системи опалення, вентиляції та кондиціонування свідчать про залежність запропонованих заходів енергоефективності від системи ОВК, яка використовується – оптимальні рішення досягаються лише за відповідності системи ОВК розрахунковому навантаженню. Оптимальні рішення щодо забезпечення nZEB готельним сектором у країні з менш теплим кліматом – Великобританії, представлені у [25]. Авторами [25] використано програмне забезпечення Thermal Analysis Simulation, що дозволяє обрати окремі заходи енергетичної ефективності, створити сценарії модернізації будівлі та розрахувати загальну вартість рішень, що відповідають цілям nZEB. З використанням представленої у статті методики визначено, що поточний стандарт nZEB не можна порівняти з найкращим фінансовим рішенням, тому висновком до виконаної роботи є запропонований оптимальний з точки зору витрат рівень споживання первинної енергії з рекомендаціями щодо оцінки інших готелів nZEB у Великобританії.

Подібні неузгодженості нормативних документів та практичного представлення дають можливість нових досліджень для різного типу будівель – від дошкільних [26] до вищих навчальних закладів [27, 28] та житлових [29] будівель. Будівля дитячого садочку у Італії [26] має округлі форми, оптимально орієнтовані з виконанням екранування, що забезпечує низьке енергоспоживання. Порівняння коефіцієнтів теплопередачі огорожувальних конструкцій дошкільного навчального закладу з вимогами до огорожувальних конструкцій, що діють в регіоні згідно Наказу Міністерства економічного розвитку Італії «Застосування методології розрахунку енергетичної ефективності та визначення розташування та мінімальних вимог до будівель» [15] (кліматична зона D) розглянемо у табл. 2.

Таблиця 2

**Порівняння коефіцієнтів теплопередачі дошкільного навчального закладу,
побудованого згідно концепції nZEB та згідно вимог [15]**

Огороджувальні конструкції (кліматична зона D)	Коефіцієнт теплопередачі огороджувальних конструкцій дитячого садка[26], Вт/м ² ·К	Коефіцієнт теплопередачі огороджувальних конструкцій будівлі, згідно вимог до огороджувальних конструкцій [15], Вт/м ² ·К
Зовнішні стіни	0,189	0,26
Світлопрозорі огороджувальні конструкції	1,653	1,8
Непрозорі горизонтальні або похилі покрівельні конструкції	0,192	0,26
Горизонтальна непрозора підлога назовні, у приміщеннях без кондиціонування або на землі	0,285	0,29

Для повного забезпечення енергопотреб автори пропонують використання фотоелектричної установки на даху та тепловий насос «повітря – вода». Будівлі, архітектурне рішення яких виключає можливості низького енергоспоживання лише за рахунок конструктиву, мають необхідність у термомодернізації, реконструкції інженерних систем повному або частковому технічному переоснащенні як, для прикладу, будівлі вищих навчальних закладів, представлених у [27, 28]. З метою забезпечення узгоджених вимог щодо nZEB у Італії та Румунії відповідно, було проведено основні роботи з енерговідновлення:

- теплоізоляція зовнішніх стін, тераси та підлоги;
- повна заміна існуючої дерев'яної конструкції на високоенергоєфективну;
- модернізація системи освітлення шляхом встановлення світлодіодного освітлення з високою енергоєфективністю та тривалим життєвим циклом, а також встановлення інтелектуальної системи освітлення з дистанційним керуванням;
- впровадження обладнання для виробництва енергії з відновлюваних джерел: фотоелектричних панелей і теплових сонячних панелей;
- заміна труб та радіаторів по всій будівлі;
- встановлення побутової системи підігріву води з тепловими сонячними батареями та її накопиченням у котлах, щоб будівля автоматично від'єднувалася від теплового блоку кампусу щоразу, коли клімат дозволяє нагрівати воду (Румунія);
- заміна термоагентних колонок на опалення;
- встановлення затінюючих пристроїв в екстремально освітлених вікнах;
- повне внутрішнє переоблаштування (повністю реконструйовано оздоблення підлог/стіл/стелі, нові сантехнічні вузли тощо), що підвищило якість комфорту у використанні будівлі.

Варто зазначити, що технічні рішення, представлені у [28] є основою «пілотного» проекту уряду Румунії, мета якого полягає у масштабуванні будівель з майже нульовим споживанням енергії та підвищенні лояльності суспільства до побудових таких будівель. Згідно попередніх розрахунків, термін окупності середньої школи енергетичних технологій (об'єкт дослідження), побудованого відповідно до концепції nZEB, становить три з половиною роки. Урядом Румунії узгоджено періодичний моніторинг виконання планових показників проекту будівництва першої громадської будівлі в країні, що відповідає стандарту nZEB. Використання відновлювальних джерел, як один із основних факторів забезпечення майже

нульового споживання енергії будівлею, представлені фотоелектричними системами на даху [27, 28].

Звісно, всі запропоновані рішення потребують значних грошових інвестицій, тому для домогосподарств практична модернізація будівель рівня nZEB є досить коштовною. Згідно [29], країнами Європи використовуються програми заохочення домовласників у будівництві будівель з майже нульовим споживанням енергії. Існуючий проект Housing 4.0 Energy [30] досліджує розвиток доступних будинків з нульовим енергоспоживанням у трьох країнах: Нідерландах, Бельгії та Ірландії. Для прикладу, політика Нідерландів у питанні розвитку nZEB направлена на людей з середнім та нижче середнього рівнями доходів. У фламандській схемі некомерційні соціальні агентства з оренди надають будинки групам з низькими доходами. В Ірландії місцева влада надає соціальне житло заявникам, які перебувають у списках очікування. Результати запропонованих урядом схем створюють екологічну, соціальну та економічну стійкість для домогосподарств з середнім та/або нижче середнього доходом, надаючи енергоефективні, комфортні та доступні будинки. Проте опитування мешканців будівель з майже нульовим енергоспоживанням визначають ряд перешкод у масштабуванні таких будинків у зв'язку з культурними бар'єрами в дизайні, будівельними матеріалами і правовими та технічними бар'єрами. І якщо технічні бар'єри можна вирішити за відносно короткий час, то подолати культурні та поведінкові бар'єри може бути складніше. Авторами [29] запропоновано бізнес-моделі схем, що допоможуть масштабувати доступні будинки з нульовим або близьким до нуля енергоспоживанням в інших країнах.

Висновки. Робота є представленням огляду наявних досліджень у питанні реалізації будівництва nZEB країнами Європи. Результати демонструють прогрес, досягнутий щодо різних аспектів nZEB. Питання енергетичної ефективності у будівництві стосуються усіх етапів життєвого циклу і різних типів будівель. Знайшли розвиток алгоритми оптимізації та розробки моделей проектування активних та з майже нульовим споживанням енергії будівель, оцінки відповідності побудови нових будівель не тільки вимогам енергоефективності та комфортності, але і передбачувані змінам клімату, тенденціям розвитку систем ОВК, вимогам політики у сфері ВДЕ. Аналізуються культурні та поведінкові аспекти розвитку та заохочення використання nZEB. Аналіз впровадження європейських nZEB демонструє позитивне загальне покращення визначень будівель з майже нульовим споживанням енергії, впровадження, розвитку технологій та рівнів енергоефективності, що можуть бути досягнені і в умовах України, в тому числі, завдяки схожості клімату окремих регіонів України з країнами Європи, що згадуються у статті а також, відповідно до цілей щодо енергоефективності будівельного сектору. Проте, на шляху масштабування та розвитку nZEB, виникає ряд перешкод, що полягають у:

- відсутності єдиного методологічного підходу щодо визначення будівель з майже нульовим споживанням енергії;
- невідповідності технічних рішень щодо забезпечення комфортних умов та вимог рівня первинного споживання енергії;
- відсутності достатнього використання державних мотиваційних програм.

References

1. DIE EUROPÄISCHE UNION (EU). Goethe-Institut. URL: <https://www.goethe.de/prj/mwd/uk/indeutschlandleben/leb/europaeischeunion.html>.
2. Aims and values. European Union. URL: https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/principles-and-values/aims-and-values_en#:~:text=The%20

Література

1. DIE EUROPÄISCHE UNION (EU). Goethe-Institut. URL: <https://www.goethe.de/prj/mwd/uk/indeutschlandleben/leb/europaeischeunion.html>.
2. Aims and values. European Union. URL: https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/principles-and-values/aims-and-values_en#:~:text=The%20

aims%20of%20the%20European,and%20prevent%20and%20combat%20crime.

3. Facts and figures on the European Union economy. European Union. URL: https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/key-facts-and-figures/economy_en#:~:text=The%20European%20Union%20operates%20as,2021%20was%20€%2014.5%20trillion.

4. Construction sector. European Commission. URL: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction_en#:~:text=The%20construction%20industry%20is%20very,social,%20climate%20and%20energy%20challenges.

5. EU's global leadership in renewables. Final synthesis report: July 2021. Publications Office of the European Union. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8a9b9147-3aeb-11ed-9c68-01aa75ed71a1/language-en.>

6. (2009/28/EC). Renewable Energy Directive. Replaces Directive 2001/77/EC; Directive 2003/30/EC; effective from 2009-04-23. Official edition. 2009. 47 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:en:PDF.>

7. Renewable energy directive. European Commission. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en.

8. (2018/2001/EC). Renewable Energy Directive. Replaces Directive 2009/28/EC; effective from 2018-12-11. Official edition. 2018. 128 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001.>

9. European Green Deal: Commission proposes to boost renovation and decarbonisation of buildings. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_6683.

10. 2018/844. Directive on the energy performance of buildings. Replaces Directive 2010/31/EU and Directive 2012/27/EU; effective from 2018-05-30. Official edition. 2018. URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2018/844.>

11. 2018/2002. Energy Efficiency Directive. Replaces Directive 2009/28/EC; effective from 2018-12-11. Official edition. 2018. 128 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&rid=7.>

and-values_en#:~:text=The%20aims%20of%20the%20European,and%20prevent%20and%20combat%20crime.

3. Facts and figures on the European Union economy. European Union. URL: https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/key-facts-and-figures/economy_en#:~:text=The%20European%20Union%20operates%20as,2021%20was%20€%2014.5%20trillion.

4. Construction sector. European Commission. URL: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction_en#:~:text=The%20construction%20industry%20is%20very,social,%20climate%20and%20energy%20challenges.

5. EU's global leadership in renewables. Final synthesis report: July 2021. Publications Office of the European Union. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8a9b9147-3aeb-11ed-9c68-01aa75ed71a1/language-en.>

6. (2009/28/EC). Renewable Energy Directive. Replaces Directive 2001/77/EC; Directive 2003/30/EC; effective from 2009-04-23. Official edition. 2009. 47 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:en:PDF.>

7. Renewable energy directive. European Commission. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en.

8. (2018/2001/EC). Renewable Energy Directive. Replaces Directive 2009/28/EC; effective from 2018-12-11. Official edition. 2018. 128 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001.>

9. European Green Deal: Commission proposes to boost renovation and decarbonisation of buildings. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_6683.

10. 2018/844. Directive on the energy performance of buildings. Replaces Directive 2010/31/EU and Directive 2012/27/EU; effective from 2018-05-30. Official edition. 2018. URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2018/844.>

11. 2018/2002. Energy Efficiency Directive. Replaces Directive 2009/28/EC; effective from 2018-12-11. Official edition. 2018. 128 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&rid=7.>

12. Pro skhvalennia Kontseptsii realizatsii derzhavnoi polityky u sferi zabezpechennia enerhetychnoi efektyvnosti budivel u chastyni zbilshennia kilkosti budivel z blyzkym do nulovoho rivnem spozhyvannia enerhii ta zatverdzhennia Natsionalnogo planu zbilshennia kilkosti budivel z blyzkym do nulovoho rivnem spozhyvannia enerhii [On the approval of the Concept of implementation of the state policy in the field of energy efficiency of buildings in terms of increasing the number of buildings with close to zero energy consumption and approval of the National Plan for increasing the number of buildings with close to zero energy consumption: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 29, 2020 No. 88-2020]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/88-2020-r#Text> [in Ukrainian].

13. Energy statistics – an overview – Statistics Explained. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption.

14. Magrini, A., Lentini, G., Cuman, S., Bodrato, A., Marengo, L. (2020). From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge – The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example. *Developments in the Built Environment*, Vol. 3, August 2020, 100019.

15. Italian Republic (2015). Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici: Decree of the Ministry of Economic Development 26/06/2015 [Application of the energy performance calculation methodologies, and definition of dispositions and minimum requirements for buildings]. *Official Journal of the Italian Republic*, 15 July 2015 [in Italian].

16. Attia, Sh. (2022). Data on residential nearly Zero Energy Buildings (nZEB) design in Eastern Europe. *Data in Brief*, Vol. 43, August 2022, 108419.

17. Omrany, H., Chang, R., Soebarto, V., Zhang, Y., Ghaffarianhoseini, A., Zuo, J. (2022). A bibliometric review of net zero energy building research 1995–2022. *Energy and Buildings*, Vol. 262, 1 May 2022, 111996.

18. Jurasz, J., Canales, F. A., Kies, A., Guezgouz, M., Beluco, A. (2020). A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. *Solar Energy*, Vol. 195, 1 January 2020, P. 703–724.

12. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії та затвердження Національного плану збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії: Розпорядж. Каб. Міністрів України від 29.01.2020 р. № 88-2020-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/88-2020-p#Text>.

13. Energy statistics – an overview – Statistics Explained. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption.

14. Magrini A., Lentini G., Cuman S., Bodrato A., Marengo L. From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge – The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example. *Developments in the Built Environment*. 2020. Vol. 3, August 2020, 100019.

15. Italian Republic (2015). Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici: Decree of the Ministry of Economic Development 26/06/2015 [Application of the energy performance calculation methodologies, and definition of dispositions and minimum requirements for buildings]. *Official Journal of the Italian Republic*. 15 July 2015 [in Italian].

16. Attia Sh. Data on residential nearly Zero Energy Buildings (nZEB) design in Eastern Europe. *Data in Brief*. 2022. Vol. 43, August 2022, 108419.

17. Omrany H., Chang R., Soebarto V., Zhang Y., Ghaffarianhoseini A., Zuo J. A bibliometric review of net zero energy building research 1995–2022. *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 262, 1 May 2022, 111996.

18. Jurasz J., Canales F. A., Kies A., Guezgouz M., Beluco A. A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. *Solar Energy*. 2020. Vol. 195, 1 January 2020. P. 703–724.

19. D'Agostino, D., Tsemekidi Tzeiranaki, S., Zangheri, P., Bertoldi, P. (2021). Data on nearly zero energy buildings (NZEBS) projects and best practices in Europe. *Data in Brief*, Vol. 39, December 2021, 107641.
20. D'Agostino, D., Tsemekidi Tzeiranaki, S., Zangheri, P., Bertoldi, P. (2021). Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBS) development in Europe. *Energy Strategy Reviews*, Vol. 36, July 2021, 100680.
21. Acar, U., Kaska, O. (2022). Energy and economical optimal of Nzeb design under different climate conditions of Türkiye. *Journal of Building Engineering*, 12 August 2022, 105103.
22. Ascione, F., De Masi, R. F., Gigante, A., Vanoli, G. P. (2022). Resilience to the climate change of nearly zero energy-building designed according to the EPBD recast: Monitoring, calibrated energy models and perspective simulations of a Mediterranean nZEB living lab. *Energy and Buildings*, Vol. 262, 1 May 2022, 112004.
23. Climate Change World Weather File Generator for World-Wide Weather Data – CCWorldWeatherGen. Energy and Climate Change Division | University of Southampton. URL: <https://energy.soton.ac.uk/climate-change-world-weather-file-generator-for-world-wide-weather-data-ccworldweathergen/>.
24. Delač, B., Pavković, B., Lenić, K., Mađerić, D. (2022). Integrated optimization of the building envelope and the HVAC system in nZEB refurbishment. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 211, 5 July 2022, 118442.
25. Salem, R., Bahadori-Jahromi, A., Mylona, A., Godfrey, P., Cook, D. (2020). Energy performance and cost analysis for the nZEB retrofit of a typical UK hotel. *Journal of Building Engineering*, Vol. 31, September 2020, 101403.
26. Misceo, M. et al. (2019). Analysis of energy performances of a nZEB kindergarten building in Bisceglie (Apulia region). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 609, P. 072034. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/609/7/072034>.
27. NZEB: Un edificio pubblico in Umbria riqualificato per un consumo energetico quasi nullo-Progetti. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/it/projects/Italy/nzeb-public-building-in-umbria-italy-retrofitted-for-near-zero-energy-use.
28. Premiere in Romania: 'Elie Radu' Energy Technology High School Rehabilitated at NZEB Standard. Energy Industry Review. URL: <https://energyindustryreview.com/>
19. D'Agostino D., Tsemekidi Tzeiranaki S., Zangheri P., Bertoldi P. Data on nearly zero energy buildings (NZEBS) projects and best practices in Europe. *Data in Brief*. 2021. Vol. 39, December 2021, 107641.
20. D'Agostino D., Tsemekidi Tzeiranaki S., Zangheri P., Bertoldi P. Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBS) development in Europe. *Energy Strategy Reviews* Volume 36, July 2021, 100680.
21. Acar U., Kaska O. Energy and economical optimal of Nzeb design under different climate conditions of Türkiye. *Journal of Building Engineering*. 2022. 12 August 2022, 105103.
22. Ascione F., De Masi R. F., Gigante A., Vanoli G. P. Resilience to the climate change of nearly zero energy-building designed according to the EPBD recast: Monitoring, calibrated energy models and perspective simulations of a Mediterranean nZEB living lab. *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 262, 1 May 2022, 112004.
23. Climate Change World Weather File Generator for World-Wide Weather Data – CCWorldWeatherGen. Energy and Climate Change Division | University of Southampton. URL: <https://energy.soton.ac.uk/climate-change-world-weather-file-generator-for-world-wide-weather-data-ccworldweathergen/>.
24. Delač B., Pavković B., Lenić K., Mađerić D. Integrated optimization of the building envelope and the HVAC system in nZEB refurbishment. *Applied Thermal Engineering*. 2022. Vol. 211, 5 July 2022, 118442.
25. Salem R., Bahadori-Jahromi A., Mylona A., Godfrey P., Cook D. Energy performance and cost analysis for the nZEB retrofit of a typical UK hotel. *Journal of Building Engineering*. 2020. Vol. 31, September 2020, 101403.
26. Misceo M. et al. Analysis of energy performances of a nZEB kindergarten building in Bisceglie (Apulia region). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 609. P. 072034. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/609/7/072034>.
27. NZEB: Un edificio pubblico in Umbria riqualificato per un consumo energetico quasi nullo-Progetti. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/it/projects/Italy/nzeb-public-building-in-umbria-italy-retrofitted-for-near-zero-energy-use.
28. Premiere in Romania: 'Elie Radu' Energy Technology High School Rehabilitated at NZEB Standard. Energy Industry Review. URL: <https://energyindustryreview.com/>

energy-efficiency/premiere-in-romania-elie-radu-energy-technology-high-school-rehabilitated-at-nzeb-standard/.

29. Ebrahimigharehbaghi, Sh., der Heijden, H., Elsinga, M. (2022). Sustainable business model of affordable zero energy houses: Upscaling potentials. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 344, 10 April 2022, 130956.

30. Housing 4.0 Energy – South East Energy Agency. South East Energy Agency. URL: <https://southeastenergy.ie/eu-projects/housing-4-0-energy-project-summary/>.

URL: <https://energyindustryreview.com/energy-efficiency/premiere-in-romania-elie-radu-energy-technology-high-school-rehabilitated-at-nzeb-standard/>.

29. Ebrahimigharehbaghi Sh., der Heijden H., Elsinga M. Sustainable business model of affordable zero energy houses: Upscaling potentials. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 344, 10 April 2022, 130956.

30. Housing 4.0 Energy – South East Energy Agency. South East Energy Agency. URL: <https://southeastenergy.ie/eu-projects/housing-4-0-energy-project-summary/>.

DESHKO VALERIY

Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Thermal and Alternative Energy
Educational and Scientific Institute of Atomic and Thermal
Energy, National Technical University of Ukraine “Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-8218-3933>
Scopus Author ID: 6506189670
ResearcherID: J-6517-2017
E-mail: te@kpi.ua

NAUMCHUK OLENA

PhD Student
Department of Thermal and Alternative Energy
Educational and Scientific Institute of Atomic and
Thermal Energy, National Technical University of
Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute”, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-7059-8867>
E-mail: lenanaumchuk13@gmail.com

DESHKO V. I., NAUMCHUK O. S.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

**ASPECTS OF USE OF NZEB CONCEPT FOR BUILDINGS
IN CENTRAL AND EASTERN EUROPE**

Purpose. The aim of the work is to study various aspects of the implementation of the nZEB – concept of buildings in European countries and to identify the main problems and obstacles to the scaling and development of buildings with near zero energy consumption and the use of this experience for Ukraine.

Methodology. Analysis of regulatory documents, scientific papers and practices on the use of the nZEB concept in European countries.

Findings. A review of legal documents, scientific papers and practices on the implementation and consolidation of the definition of the concept of buildings with almost zero energy consumption in European countries as a complement of a highly energy efficient building and renewable energy sources, energy efficient materials and technologies was carried out. Options for a detailed assessment of the new construction of the nZEB residential sector were considered. The impact of possible climate change on the characteristics of nZEB during the life cycle, including heating and cooling needs, is analyzed. Examples of the implementation of the nZEB concept in the renovation of buildings for various purposes are given. The emphasis is on the possible inconsistency and harmonization of nZEB standards with the best financial solutions and the sequence of implementation of approaches to ensure near zero energy consumption by buildings for various purposes for different climatic regions of Europe, the main challenges and obstacles in increasing the share of use of such buildings are analyzed.

Originality. Various aspects of the implementation of the nZEB concept are grouped and analyzed, from regulatory documents, government incentives, balance in the concept of energy efficient solutions and the share of renewable energy sources, to technical and cultural-behavioral barriers.

Practical Value of the work lies in the use of the above approaches and the experience of European countries for scaling the houses of the nZEB concept in the conditions of Ukraine.

Keywords: energy efficiency; near-zero energy buildings; nZEB state of energy efficiency; renewable energy; nZEB building retrofit challenges.