

4. Froebel, F. (2015), Friedrich Froebel's Pedagogics of the Kindergarten: Or, His Ideas Concerning the Play and Playthings of the Child, Forgotten Books, London. (in English).
5. Gray, A. (1985), The Magic of Origami, Japan Publications, Tokyo. (in English).
6. Harbin, R. (1997), Secrets of Origami: The Japanese Art of Paper Folding, Dover Publications ; INC ; Mineola, New-York. (in English).
7. Lang, J. R. (2003), Origami Design Secrets: Mathematical Methods for an Ancient Art, Second Edition, New-York. (in English).
8. Lister, D. Old European Origami. – Access mode : <http://www.britishorigami.info/academic/lister/oldeuro.php> (in English).
9. Sallas, J. (2012), The Beauty of the Fold: A Conversation with Joan Sallas, Sternberg Press, Berlin. (in English).
10. Palacios, V. (2002), Origami from Around the World, New-York. (in English).

УДК 711.13:504.38

Оксана Дячок

### АРХИТЕКТУРА ЕНЕРГЕТИЧНО САМОДОСТАТНІХ БУДІВЕЛЬ

*У статті досліджено питання формування архітектури будівель з нульовим балансом, види відновлювальних джерел енергії та засоби їх використання в сучасній архітектурі. На основі сформульованих принципів запропоновано концептуальний проект житлового комплексу із трьох житлових 26-поверхових будинків у передмісті Тернополя, який споживає мінімальну кількість енергії.*

**Ключові слова:** архітектура, нетрадиційні джерела енергії, відновлювальні енергетичні ресурси, сонячна енергія, енергія вітру, будівлі з нульовим балансом.

Оксана Дячок

### АРХИТЕКТУРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ САМОДОСТАТОЧНЫХ ЗДАНИЙ

*В статье исследовано вопросы формирования архитектуры зданий с нулевым балансом, виды возобновляемых источников энергии и средства их использования в современной архитектуре. На основании принципов, сформулированных автором, предложено концептуальный проект жилого комплекса из трех жилых 26-этажных домов в пригороде Тернополя, который потребляет минимальное количество энергии.*

**Ключевые слова:** архитектура, нетрадиционные источники энергии, возобновляемые энергетические ресурсы, солнечная энергия, энергия ветра, здания с нулевым балансом.

Oksana Dyachok

### ARCHITECTURE OF THE ENERGY SELF-SUFFICIENT BUILDINGS

*In the article investigated the question of the formation of the architecture of the buildings with zero balance, the types of renewable energy sources and their use in modern architecture.*

*Examining the different kinds of alternative energy sources put out to find the concept of designing a house with zero balance. The idea is that each building should be energetically self-sufficient, not consume traditional forms of energy from centralized networks (gas, electric current, hot water), while providing high standards of comfort and hygiene. As shown by the study, environment building is a building that maximally uses energy-saving technologies and renewable energies to ensure the normal life of the people and creates minimal environmental load on.*

*In foreign practice for achieving zero balance using wind energy, solar panels with photovoltaic panels of large size and wind turbines, as well as the heat of the Earth and geothermal springs. In the long run – using nanotechnology. Building solar batteries that are able to accumulate energy. An important component of energy efficient buildings is reusing heat, water, their circulation. A large reserve of saving is heat insulation of external enclosures.*

*Examining the different kinds of alternative energy sources available in Ukraine, found the concept of designing a house with zero balance. The author defines the principles of the formation of energy- self-sufficient living: the analysis of the energy balance and the heat load of the building; the analysis of the energy potential of the area and the correlation of the buildings to the local climatic conditions; the use of natural renewable energy sources; usage of the computer automatic system for analytical calculations; reducing heat loss through external protective structures; methods of internal planning and reducing the thermal conductivity; recycling and heat recovery of water and air; taking into consideration the high standards of comfort and hygiene.*

*Based on the defined principles, the author proposed conceptual project of residential complex of three 26-storey buildings in the suburb of Ternopil, which consumes the minimum amount of energy. Local conditions were analyzed in their potential of renewable energy (solar radiation, wind, aquifers, etc.), surrounding objects were studied on the subject of harmful emissions. The complex consists of three residential 26-storey buildings. The shape of the buildings constructed in a way to concentrate the air flows on wind turbines, located at intervals. The space-planning decision of the apartments aimed at minimizing the area of external enclosures to reduce heat loss. The author also used the dual-layer ventilated facades that provide a more effective regulation of microclimate duaring the whole year. The solar panels perform three functions: fences of the balconies and loggias, sunscreen and solar panels.*

**Key words:** *architecture, alternative energy sources, renewable energy resources, solar energy, wind energy, zero-energy building.*

Питання енергозбереження та енергоефективності з кожним роком стають все більш актуальними, перед енергетикою стоїть багато проблем і найбільш гостра – проблема її джерел.

На думку багатьох учених, у ХХІ столітті викопні джерела енергії закінчатся, тому у світовій практиці вже існують багато спроб зменшити або й цілком відмовитися від них. Законодавство та політика багатьох країн, особливо європейських, сприяють розповсюдженню альтернативних джерел. Лідерами у цьому є Швеція, Франція, Австрія, Іспанія та Німеччина. Будівництво будинків з низьким споживанням енергії набирає обертів у Європі. Після 2012 року в масовому порядку почали зводитися пасивні будинки, у 2015–2020 роках у ЄС стоїть завдання будувати будинки з нульовим споживанням енергії.

До альтернативних, нетрадиційних джерел енергії сьогодні відносять: сонячне випромінювання, енергію вітру, біомасу, гідроенергію малих рік, теплову енергію доквілля, енергію морських хвиль, термальних вод, а також теплові викиди промисловості, які є досить перспективними для ефективного використання на території України.

Значну частку енергоресурсів забирає будівництво. Тому архітектура прямуватиме до енергетичної самодостатності.

Питаннями енергозбереження в будівництві займалися такі дослідники: А. А. Долінський, Б. І. Басок, О. М. Недбайло [4]. Вони досліджували концептуальні основи створення експериментального будинку типу “нуль енергії” [4]. Особливості впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні досліджували Г. М. Бабієв, Д. В. Дероган, А. Р. Шокін [1; 5]. Аналіз можливостей розвитку геотермальної енергетики України проводили В. Д. Білодід, Т. В. Павлюченко, Г. О. Білодід [2]. П. Ф. Васько досліджував сучасний стан, потенційні можливості і передумови подальшого розвитку малої гідроенергетики в Україні [3]. Деякі матеріали публікацій торкаються часткового реагування архітектури на окремі прояви змін клімату. Так, проблемі використання сонячної енергії, особливо при надмірних надходженнях сонячної радіації на Землю, присвячені публікації Н. Мхитаряна [7], А. Огурцова, Л. Мамаєва, М. Волошина [8]. Однак, розгляд актуальних питань має обмежений і автономний характер, якому не вистачає комплексного підходу.

Мета статті – дослідити принципи формування архітектури будівель з нульовим балансом та засоби використання відновлювальних джерел енергії у сучасній архітектурі.

Будівлі з нульовим балансом енергії (Zero-energy building) поступово завойовують світ. Першу “нульову” будівлю в Китаї збудували італійці для британського університету (рис. 1).

Будівлю запроєктувала італійська компанія Mario Cucinella Architects (MCA), наповнивши її сучасними рішеннями, які дозволили максимально повно задіяти природні можливості для терморегуляції та освітлення, будівля також сама забезпечує себе електрикою [10].

Створюючи цю чудернацьку будівлю, італійці черпали натхнення в китайських ліхтариках і традиційних дерев'яних жалюзі та ширмах. CSET загальною площею 1300 м<sup>2</sup> забезпечується енергією за рахунок фотоелектричних батарей, а також вітряків, які знаходяться поруч.

Будівля обладнана також акумуляторами, що здатні накопичувати енергію, якої вистачить на два тижні. Споруда має п'ять наземних і один підземний поверхи. Усі вони з'єднуються між собою широкою шахтою, що виходить на дах. Цей елемент дозволяє променям сонця проникати всередину і задає шляхи повітряних потоків. У поєднанні з геотермальною енергією це дозволяє нагрівати зсередини будівлю взимку та охолоджувати її влітку з мінімальними затратами.

Будівля CSET – не єдина в Китаї споруда з використанням енергозберігальних технологій. Так, кілька років тому було відкрито “Китайсько-італійську екологічну енергетично-ефективну будівлю” (Sino-Italian Ecological Energy-Efficient Building – SIEEB) в Пекіні.

У 2010 році поблизу Шанхая розпочали будівництво цілого “нульового міста” – Дунтань (Dongtan).

Офісний будинок з нульовим енергетичним балансом проектує архітектурна фірма Skidmore Owings and Merrill для китайської фірми Tobacco Company in Guangdong у Гонконзі.

Місто Сонця, будівлі якого повністю будуть житись від сонячних батарей, запроєктовано створити у Дубаї. Проектанти Міста Сонця – архітектурна майстерня Graft Lab – передбачає, що енергії, яку акумуляють сонячні батареї має бути повністю достатньо для того, щоб забезпечити будівлю електрикою.

Лондонський дизайнер Агустин Отегуй є автором ще більш фантастичного проекту – екобашні-очисника, яка використовує “зелені інновації”. У його проектах часто можна побачити вітряки на вершинах домів, але в цьому сміливому і на сьогодні фантастичному рішенні він перевершив самого себе. Тут і мікро-, тут і нано-, турбіни і фотоелементи, а ще – армія мікробів, які “лікують” конструкції, що вийшли з ладу. Стіни будівлі прозорі, але не зі скла. Автор спромігся вписати вітряки і сонячні панелі у споруду так, щоб вийшло максимально органічно, а ще знайшов спосіб переробки парникового CO<sub>2</sub>. Так народився проєкт Nano Vent-Skin.

Провівши дослідження, ми бачимо, що у зарубіжній практиці для досягнення нульового балансу використовують енергію вітру, сонячні панелі за допомогою фотоелектричних батарей великих розмірів і вітряків, а також тепло землі і геотермальні джерела. У перспективі – використання нанотехнологій. Будівлі обладнують акумуляторами, що здатні накопичувати енергію. Важливою складовою енергоефективних будівель є повторне використання тепла, води, їх циркуляція. Великий резерв економії – це утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій.



*Рис. 1. Сонячні батареї будівлі CSET (фотографії Mario Cucinella Architects)*

Після визначення передумов формування енергетично самодостатніх будівель, проведення аналізу вітчизняного та зарубіжного досвіду їх проектування було досліджено, що перспективним джерелом тепла в Україні є енергія сонця.

До переваг сонячної енергетики можна віднести загальнодоступність і невичерпність джерела; безпеку для навколишнього середовища (проте в даний час у виробництві фотоелементів і в них самих використовуються шкідливі речовини).

Будівлі із сонячними колекторами, які збудовані на території України, ще не можна назвати енергетично самодостатніми. Усі вони мають дублюючі джерела нагрівання або використовуються сезонно. Невеликі площі сонячних колекторів можуть лише частково забезпечити теплом або гарячою водою споруди, а тому для проектування енергетично самодостатніх будівель слід шукати ще інші відновлювальні ресурси.

До відновлювальних джерел відноситься і геотермальна енергія – тепло Землі, яке утворюється, зазвичай, внаслідок розпаду радіоактивних речовин у земній корі та мантії. Усю природну теплоту, яка міститься в земній корі, можна розглядати як геотермальні ресурси двох видів: пара, вода, газ і розігріті гірські породи [7].

Геотермальні ресурси України – це передусім термальні води і тепло нагрітих сухих гірських порід. Виходячи з наявних оцінок запасів геотермальної енергії, пріоритетними районами в Україні є Керченський півострів, Закарпаття, Прикарпаття (Львівська обл.), Донецька, Запорізька, Луганська, Полтавська, Харківська, Херсонська, Чернігівська та інші області [6].

Ще одним відновлювальним джерелом енергії є вітер. Сучасні конструкції вітрогенераторів дозволяють використовувати економічно ефективно енергію навіть найслабших вітрів – від 3 метрів за секунду. За допомогою вітрогенератора сьогодні можна не лише постачати електроенергію в мережу, але й вирішувати завдання електропостачання локальних або острівних об'єктів будь-якої потужності.

Дослідивши різні види альтернативних джерел енергії, ставимо за мету знайти концепцію проектування будинку з нульовим балансом. Ідея полягає у тому, що кожна будівля повинна бути енергетично самодостатньою, тобто не споживати традиційні види енергії від централізованих мереж (газу, електричного струму, гарячої води), забезпечуючи при цьому високі стандарти комфорту та гігієни. Як показує дослідження, енергоефективний будинок – це споруда, яка максимально використовує енергозберігальні технології і відновлювальну енергію для забезпечення нормальної життєдіяльності людей і створює мінімальне екологічне навантаження на зовнішнє середовище.

Близько 80% загального балансу енергозатрат житлового будинку на території України припадає на опалення приміщень, тому головний резерв економії полягає у заходах з утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій, даху та перекриттів.

Мінімального використання електроенергії можна досягти завдяки максимальному зниженню втрат тепла через зовнішні огорожувальні конструкції (стіни, перекриття, дах); заміні традиційних джерел енергії на відновлювальні (енергія сонця, вітру, землі, води); рекуперації повітря (повторне циркуляційне використання тепла в будинку).

Комплексне схематичне вирішення цих завдань для енергетично самодостатніх будівель виглядає так:

- у максимально утепленому зі всіх сторін будинку повітря підігрівається теплою підлогою і системою примусової вентиляції з рекуператором;
- підігрів води для опалення і гарячого водопостачання здійснюється взаємодоповнюючими тепловими насосами і сонячними колекторами;
- для повної заміни електричного струму зовнішніх мереж на даху, огорожувальних конструкціях і на прилеглий території встановлюються батареї сонячних фотоелементів і вітроелектрогенератори, які забезпечують живлення побутової електротехніки та освітлення пониженого енергоспоживання;
- на вхід системи вентиляції зовнішнє повітря поступає підігрітим у підземних повітряних каналах;

- добові зміни температури конструкції будівлі зменшуються фундаментом підземним акумулятором-плитою;
  - при вирішенні генплану враховується роза вітрів та орієнтація будівель для концентрації енергії вітру;
  - архітектурно-планувальні рішення повинні бути направлені на зменшення площі огороджувальних конструкцій;
  - архітектурно-конструктивні рішення балконів, терас, застосування вікон та вітражів, матеріали фасадів оптимізовані з точки зору енергозатрат.
- Технічні рішення цих задач для будівель з нульовим балансом наступні:
- високоякісна теплоізоляція зовнішніх стін, перекриття, підлоги;
  - потрійні, низькоемісійні віконні склопакети;
  - герметичність будівлі;
  - встановлення системи примусової вентиляції з рекуператором та попереднім підземним підігрівом вхідного повітря;
  - встановлення теплових насосів з ґрунтовими теплообмінниками, сонячних колекторів, батарей фотоелементів, вітро-електрогенераторів;
  - влаштування огороджувальних і спеціальних конструкцій з функцією акумуляування тепла;
  - мінімізація внутрішнього енерговикористання;
  - оптимізація архітектурно-планувальних рішень для максимального використання сонячного світла.

Сучасні, в тому числі й енергетично самодостатні будівлі, повинні бути екологічно безпечними – це такий взаємозв'язок будівлі та інженерних систем, який протягом усього терміну служби забезпечує ефективну експлуатацію об'єкта.

На основі сформульованих принципів проектування енергетично самодостатніх будівель архітектором Дячком В. Ю. розроблений концептуальний проект житлового комплексу у передмісті Тернополя (рис. 2). Було проаналізовано місцеві умови з точки зору використання можливих поновлюваних енергоресурсів (сонячної радіації, вітрів, водоносних горизонтів і т. д.), вивчено сусідні і прилеглі об'єкти на предмет шкідливих викидів.

Комплекс складається із трьох житлових 26-поверхових будинків. Форма будівель запроєктована таким чином, щоб концентрувати повітряні потоки на вітрогенератори, розташовані у проміжках.

Вертикальні вітрогенератори мають низьку швидкість обертання і прийнятні шумові характеристики (рис. 3).

Об'ємно-планувальне рішення квартир спрямоване на мінімізацію



*Рис. 2. Дячок В. Ю., Концептуальний проект житлового комплексу*



*Рис. 3. Вітрогенератор*

площі зовнішніх огорожувальних конструкцій для зменшення тепловтрат. Застосовуються також двошарові вентилявані фасади, які забезпечують більш ефективне регулювання параметрів мікроклімату протягом усього року. Сонячні батареї виконують три функції: огороження балконів і лоджій, власне сонячних батарей і сонцезахисних козирків (рис. 4).

На дахах розміщені сонячні теплові колектори для підігріву води. Міні-гідротурбіни влаштовані у протікаючій річці. Геотеплові насоси встановлені у водонасичених навколишніх ґрунтах.

Таким чином, у проекті задіяні усі доступні для даної місцевості відновлювальні джерела енергії – енергія сонця, вітру, води, землі, оскільки тільки комплексне їх використання може наблизити будівлі до нульового балансу. Усі вони об'єднані в одну інтелектуальну систему, яка працює в режимі “on line”, комп'ютерна система регулює вологість, температуру повітря тощо.

Проте, достовірних методів оцінки самодостатності комплексу будівель на сьогодні нема.

Для оптимізації проекту потрібно виконати детальне комп'ютерне моделювання і точно розрахувати основні види теплового навантаження та їх взаємодію.

Таким чином, можна виділити принципи формування енергетично самодостатніх житлових груп:

- врахування аналізу енергетичного балансу і теплового навантаження на будівлі;
- врахування аналізу енергетичного потенціалу місцевості і взаємозв'язок будівель з місцевими кліматичними умовами;
- використання природних поновлювальних джерел енергії за аналітично змодельованою схемою за допомогою комп'ютеризованої автоматичної системи;
- зниження втрат тепла через зовнішні огорожувальні конструкції методами внутрішнього планування та зниження теплопровідності;
- рециркуляція та рекуперація тепла води і повітря;
- врахування високих стандартів комфорту та гігієни.

Дане дослідження не є вичерпним, у ньому лише намічені шляхи, які дозволять у майбутньому більше використовувати відновлювальні джерела енергії, створити енергетично самодостатні житлові групи, які можна буде назвати будівлями із нульовим балансом.

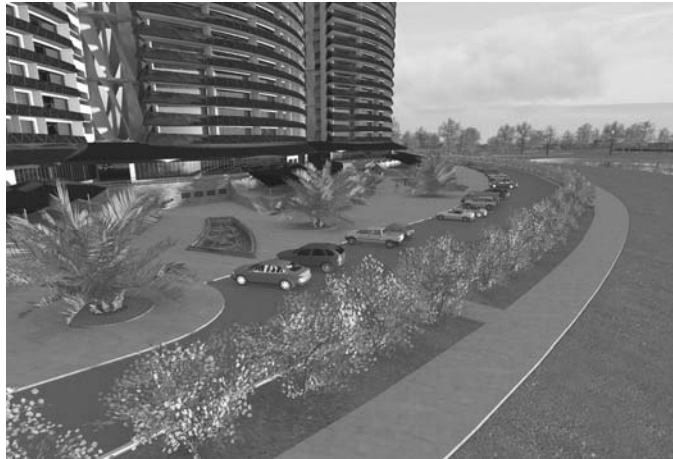


Рис. 4. Фрагмент фасадів із сонячними батареями

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бабієв Г. М. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні / Г. М. Бабієв, Д. В. Дероган, А. Р. Щокін // Електронний Журнал. – Запоріжжя : ВАТ Гамма, 1998. – № 1. – С. 63–64.
2. Білодід В. Д. Аналіз можливостей розвитку геотермальної енергетики України / В. Д. Білодід, Т. В. Павлюченко, Г. О. Білодід // Відновлювана енергетика: науково-прикладний журнал. – 2006. – № 1. – С. 71–76.
3. Васько П. Ф. Сучасний стан, потенційні можливості та передумови подальшого розвитку малої гідроенергетики в Україні / П. Ф. Васько // Відновлювана енергетика: науково-прикладний журнал. – 2006. – № 1. – С. 60–65.
4. Долінський А. А. Концептуальні основи створення експериментального будинку типу “нуль енергії” / А. А. Долінський, Б. І. Басок, О. М. Недбайло та ін. // “Будівельні конструкції”: збірник наукових праць. – Київ, 2013. – Вип. 77. – С. 222–226.

5. Дероган Д. В. Перспективи використання енергії та палива в Україні з нетрадиційних та відновлюваних джерел / Д. В. Дероган, А. Р. Щокін // Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії. Бюлетень. – Київ : АТ Укренергозбереження, 1999. – № 2. – С. 30–38.
6. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. [Електронний ресурс] / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=260994>.
7. Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы / Н. М. Мхитарян. – К. : Наукова думка, 1999. – 320 с.
8. Огурцов А. П. Сучасний стан навколишнього середовища промислового міста та шляхи його покращення / А. П. Огурцов, Л. М. Мамаєв, М. Д. Волошин та ін. – Дніпродзержинськ : ДДТУ, 1994. – 363 с.
9. Руденко В. П. Природно-ресурсний потенціал України / В. П. Руденко. – Львів : Світ, 2004. – 120 с.
10. Paul Torcellini, Shanti Pless, and Michael Deru. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition // Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition: Preprint. – 2006. – С. 1–4. – Режим доступу : <http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>.

#### REFERENCES

1. Babiev, G. M., Derogan, D. V. and Shchokin, A. R. (1998), Prospects for the introduction of alternative and renewable energy sources in Ukraine, *Elektronnyi Zhurnal* [Electronic Journal], Zaporizhzhia, VAT Gamma, no. 1, pp. 63–64. (in Ukrainian).
2. Bilodid, V. D., Pavlyuchenko, T. V. and Bilodid, G. O. (2006), Analysis of the possibilities of geothermal energy of Ukraine, *Vidnovliuvana enerhetyka: naukovo-prykladnyi zhurnal* [Renewable energy: scientific applied journal], no. 1, pp. 71–76. (in Ukrainian).
3. Vasko, P. F. (2006), The modern state, the potential and preconditions for further development of small hydropower in Ukraine, *Vidnovliuvana enerhetyka: naukovo-prykladnyi zhurnal* [Renewable energy: scientific applied journal], no. 1, pp. 60–65. (in Ukrainian).
4. Dolinskyi, A. A., Basok, B. I., Nedbaylo, O. M. etc. (2013), Conceptual basis of an experimental building of “zero energy”, “*Budivelni konstruksii*”: *zbirnyk naukovykh prats* [“Building constructions”: collection of scientific works], Kyiv, Iss. 77, pp. 222–226. (in Ukrainian).
5. Derogan, D. V. and Shchokin, A. R. (1999), Prospects for energy and fuel in Ukraine from alternative and renewable sources, *Novitni tekhnologii v sferi netradytsiinykh i vidnovliuvanykh dzherel enerhii. Biuleten* [New technologies in the field of alternative and renewable energy sources. Bulletin], Kyiv, AT Ukrenerhozberezhennia, no. 2, pp. 30–38. (in Ukrainian).
6. Energy Strategy of Ukraine till 2030 [electronic resource] / Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=260994>. (in Ukrainian).
7. Mkhitaryan, N. M. (1999), *Energetika netraditsionnykh i vozobnovlyaemykh istochnikov. Opyt i perspektivy* [Energy alternative and renewable sources. Experience and Prospects], Kyiv, Naukova dumka. (in Russian).
8. Ogurtsov, A. P., Mamaev, L. M., Voloshin, M. D. etc. (1994), *Suchasnyi stan navkolyshnoho seredovyscha promyslovoho mista ta shliakhy yoho pokrashchannia* [The current environment of industrial cities and ways to improve], Dniprodzerzhynsk, DDTU. (in Ukrainian).
9. Rudenko, V. P. (2004), *Pryrodno-resursnyi potentsial Ukrainy* [Natural resource potential of Ukraine], Lviv, Svit. (in Ukrainian).
10. Paul Torcellini, Shanti Pless, and Michael Deru (2006), Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition, *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition: Preprint*, pp. 1–4, available at: <http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>. (in English).