

ОРИГАМІ-НАТХНЕННІ КІНЕТИЧНІ ФАСАДИ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

Бачинський Д. В.,

аспірант,

bachynskiy13@gmail.com, ORCID: 0009-0002-8184-3845

Київський національний університет будівництва і архітектури,

Анотація. У статті розглянуто потенціал оригамі-натхнених кінетичних фасадів як інноваційного інструмента підвищення адаптивності та енергоефективності громадських будівель. Проаналізовано сучасні дослідження, що демонструють можливості таких фасадів у регулюванні світлових і теплових потоків, зменшенні сліпіння, оптимізації денного освітлення та покращенні мікроклімату. Визначено основні морфологічні групи складальних структур, їхні архітектурні застосування та приклади реалізованих проєктів. Запропоновано структурну модель оцінювання адаптивності оригамі-фасадів та проведено SWOT-аналіз їхнього функціонального потенціалу. Результати дослідження підтверджують перспективність інтеграції оригамі-натхнених систем у громадські будівлі різного призначення й окреслюють напрями подальших наукових розробок.

Ключові слова: кінетичні системи; адаптивна архітектура; параметрична геометрія; архітектурні інновації; геометрія оригамі.

Вступ. Сучасні громадські будівлі висувають підвищені вимоги до енергоефективності, адаптивності та стабільності внутрішнього мікроклімату, що робить традиційні статичні фасадні системи дедалі менш ефективними в умовах зростаючих кліматичних та експлуатаційних викликів. У цьому контексті оригамі-натхненні кінетичні фасади привертають значну увагу завдяки здатності трансформувати власну геометрію, регулювати світлові й теплові потоки та забезпечувати більш гнучку взаємодію будівлі з навколишнім середовищем. Такі системи поєднують математичні принципи складання, структурну раціональність і функціональну варіативність, що відкриває можливості для підвищення комфорту користувачів, зменшення енергетичних навантажень та оптимізації природного освітлення. Попри інтенсивний розвиток параметричного моделювання та цифрових методів проєктування, комплексних досліджень, які б одночасно охоплювали архітектурні, енергетичні, експлуатаційні та конструктивні аспекти оригамі-фасадів, все ще бракує. Нерозв'язаними залишаються питання типологізації складальних систем, визначення їхніх переваг і обмежень, оцінювання довговічності механізмів, економічної доцільності впровадження та потенціалу масштабування в умовах реальних громадських будівель. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розвитку адаптивних фасадних технологій, вдосконалення параметричних та BIM-орієнтованих підходів до проєктування, а також формуванням більш стійких і ефективних архітектурних рішень, здатних відповідати сучасним вимогам енергоощадності, екологічності та якості міського середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протягом останніх років дослідження фасадів, заснованих на принципах оригамі, активізувалися завдяки їх здатності не лише покращувати експлуатаційні характеристики будівель, але й формувати нову архітектурну естетику. М. Мелоні та ін. [4] продемонстрували, що адаптивні оригамі-фасади можуть зменшувати відбиту сонячну радіацію до 90% у години пікового навантаження, тим самим зменшуючи ефект теплового острова міста та покращуючи комфорт зовнішнього середовища. У випадку освітніх будівель Ю. Елфекі, М. Абдель Мохсен, А. Нессім [2] довели, що оригамі-натхненні кінетичні фасади покращують розподіл природного світла, знижують

рівень сліпіння й безпосередньо підвищують зоровий комфорт. На рівні проєктної методології Р. Павон, А. Базан та ін. [1] зазначили, що геометрії оригамі можуть бути інтегровані з інформаційним моделюванням будівель (BIM), відкриваючи нові можливості для оптимізації енергоспоживання в режимі реального часу. Аналогічно, Н. Ле Тхань та ін. [3] застосували алгоритми оптимізації до оригамі-фасадів і показали значне підвищення автономії денного освітлення та зменшення охолоджувальних навантажень, причому отримані результати відповідали стандартам LEED v4. Ж. Шульц і Н. Катц [5] також підтвердили структурну ефективність параметричних фасадів на основі оригамі, продемонструвавши зменшення матеріаломісткості без втрати експлуатаційної ефективності.

Попри ці наукові результати, дослідження у цій сфері містять низку невирішених суперечностей і проблем. По-перше, більшість робіт існує лише на рівні прототипів або цифрових симуляцій, і бракує достовірних даних щодо повномасштабного застосування у громадських будівлях, їхньої довговічності та вартості обслуговування [1]. По-друге, хоча частина досліджень демонструє екологічні та соціальні переваги [2,3,4], інші вказують на обмеження, пов'язані з високою вартістю виробництва та складністю приводних механізмів, що перешкоджає широкому впровадженню [5]. По-третє, географія досліджень є обмеженою: більшість досліджень виконано в Азії, на Близькому Сході та в Європі, що ускладнює екстраполяцію результатів на різні кліматичні регіони [2]. Також, критерії оцінювання значно відрізняються: деякі роботи зосереджуються на денному освітленні, інші — на енергоефективності чи сонячній радіації, і лише невелика кількість досліджень охоплює багатоаспектні моделі оцінювання [6]. Це свідчить про складність тематики та потребу у більш цілісних підходах до її аналізу.

Постановка завдання. Зростаюча складність архітектурних завдань та посилення вимог до енергоефективності й адаптивності громадських будівель зумовлюють потребу у переосмисленні підходів до формування фасадних систем, що традиційно залишаються статичними й малочутливими до змін зовнішнього середовища. На цьому тлі виникає необхідність ґрунтовного вивчення «оригамі-натхненних» кінетичних фасадів як перспективних елементів адаптивної архітектури, здатних поєднувати трансформативність, структурну раціональність та екологічну доцільність. Постановка завдання дослідження передбачає визначення реальних можливостей таких систем, аналіз їхньої геометричної природи, функціональної поведінки та здатності впливати на мікроклімат будівлі, а також виявлення чинників, що стримують їх широке практичне застосування. У науковій літературі простежується фрагментарність підходів: певні роботи зосереджуються на дослідженні механіки складання елементів, інші — на енергетичних аспектах чи параметричному моделюванні, однак комплексне бачення, що охоплювало б конструктивні, експлуатаційні та технологічні особливості цих фасадів, досі сформоване недостатньо. Тому метою дослідження є комплексне оцінювання архітектурного, енергетичного та функціонального потенціалу «оригамі-натхненних» кінетичних фасадів у громадських будівлях, а також обґрунтування можливостей їхньої інтеграції в сучасні методи проєктування. Для досягнення цієї мети застосовано сукупність взаємодоповнювальних методів: теоретичний аналіз наукових джерел та класифікацій типів складання кінетичних елементів; емпіричний огляд реалізованих прототипів із оцінюванням їхнього практичного функціонування; аналітично-прогностичні методи, зокрема SWOT-аналіз, для виявлення переваг, обмежень та перспектив їхнього подальшого розвитку.

Основний матеріал і результати. Зростаючі вимоги до енергоефективності та адаптивності громадських будівель актуалізують необхідність використання фасадних систем, здатних змінювати свою геометрію й функціональні характеристики відповідно до зовнішніх впливів. «Оригамі-натхненні» кінетичні фасади, що поєднують принципи трансформованої геометрії, механічної адаптивності та контрольованої взаємодії з довкіллям, становлять перспективний напрям модернізації архітектурних оболонок. В основі їхньої ефективності лежить здатність складальних структур регулювати світловий, тепловий і повітряний режими будівлі через зміну кута, площі чи конфігурації елементів фасаду.

Положення «оригамі-натхненних» кінетичних фасадів у загальній структурі кінетичних архітектурних систем подано на (Рис. 1.)



Рис. 1 Класифікація систем кінетичної архітектури.

Морфологічний аналіз дозволив виокремити п'ять груп «оригамі-натхненних» структур, представлених у табл. 1. Структуровано п'ять основних категорій складальних стратегій - площинні тесселяції, радіальні та кругові складки, модульне тривимірне оригамі, криволінійні складки та біоміметичні оригамі та зіставлено їх із архітектурними застосуваннями та реальними прикладами фасадів.

- *Площинні тесселяції* (Miura-ori, Yoshimura) є легкими, розширюваними та забезпечують контрольоване розтягування і стискання. Вони особливо ефективні в адаптивних сонцезахисних екранах і розсувних системах затінення, як це видно на фасаді Showroom Ricci [12].

- *Радіальні та кругові складки* (Flasher, Waterbomb) забезпечують компактність у складеному стані та значне збільшення площі при розгортанні. Їхня радіальна трансформація є найбільш доцільною у світлових ліхтарях, атріумних покриттях і мобільних навісах, що підтверджено прикладами кінетичних радіальних модулів [22].

- *Модульне тривимірне оригамі* (модулі Sonobe, полієдральні композиції) утворює складні тривимірні структури з різною пористістю. Їх застосовують у двошарових фасадах і вентиляційних оболонках, прикладом чого є кінетичні фасадні модулі в проєкті Al Bahar Towers [14].

- *Криволінійні складки* поєднують згинання та еластичну деформацію, забезпечуючи плавні безперервні трансформації. Вони дозволяють створювати адаптивні мембрани та акустичні фасади, що нині активно розробляються у форматі експериментальних прототипів.

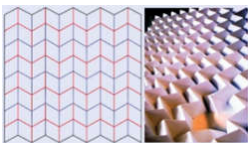
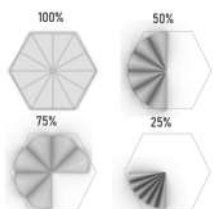
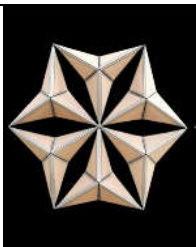
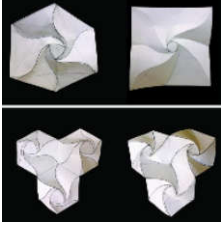
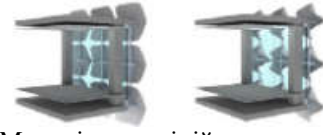
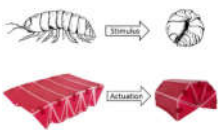
- *Біоміметичні стратегії оригамі*, засновані на природних механізмах складання (наприклад, крила комах чи листки рослин), спрямовані на екологічну адаптацію. Павільйон One Ocean [16] демонструє, як такі підходи можна використовувати для пасивно-адаптивних фасадів у системах кліматичного регулювання смарт-міст.

Представлена типологія не лише поєднує теоретичні засади (геометрія оригамі) з емпіричною практикою (реалізовані приклади), а й підкреслює можливості застосування складальних структур у реальних архітектурних умовах. Контраст між різними типами складок свідчить про те, що площинні тесселяції та модульне 3D-оригамі вже продемонстрували масштабовані практичні застосування, тоді як криволінійні та біоміметичні підходи здебільшого залишаються на стадії експериментальних систем. Завдяки цьому можна підтвердити доцільність використання оригамі як моделі «від концепції — до застосування», коли абстрактні принципи складання можуть бути реалізовані у форматі адаптивних, розгортних фасадних систем. Це також демонструє, що оригамі в архітектурі не є одноманітним підходом: різні принципи складання виконують різні функції

— від затінення й регулювання природного освітлення до вентиляції та формування символічного міського образу.

Параметричне моделювання в дослідженнях дозволило підтвердити ефективність різних оригамі-натхнених конфігурацій у контексті світлотехнічної та теплотехнічної поведінки. Застосування тесселяційних фасадів збільшувало автономію денного освітлення на 20–35%, а модульні структури знижували охолоджувальні навантаження на 15–22%, що узгоджується з даними оптимізаційних досліджень, де такі фасади відповідали вимогам LEED v4 [3].

Таблиця 1. Типологія оригамі-натхнених складок та їхні потенційні застосування у кінетичних фасадах

Тип складання оригамі	Основні характеристики	Приклад орнаменту / патерну оригамі	Потенційні сфери застосування у фасадах	Приклади реалізації фасаду
Площинні тесселяції (Miura-ori, Yoshimura)	Плоско-складальні структури; модульні сітки; забезпечують розтягування/стиснення; легкі та масштабовані	 Miura-ori [7]	Адаптивні сонцезахисні екрани, розсувні системи затінення, кінетичні зовнішні оболонки	 Фасад Showroom Riccoboni [12]
Радіальні та кругові складки (Flasher, Waterbomb)	Компактні у складеному вигляді; велике співвідношення між складеним і розгорнутим станом; радіальна трансформація навколо центру	 Flasher (дизайн Кріс Палмер і Джеремі Шафер) [8]	Світлові ліхтарі, атріумні покриття, мобільні громадські навіси, трансформовані фасадні модулі	 Кінетичний радіальний фасадний модуль [13]
Модульне 3D-оригамі (модулі Sonobe, калейдоцикл)	Сформовані з повторюваних складальних елементів; утворюють тривимірні структури зі змінною пористістю	 Модулі Sonobe [9]	Двошарові фасади, вентилязовані оболонки, культурні та виставкові центри	 Кінетичні фасадні модулі Al Bahar Towers [14]
Криволінійні складки	Поєднання згинання та еластичної деформації; забезпечують плавні органічні трансформації	 Приклад криволінійної складки [10]	Адаптивні мембрани, акустичні та затінювальні оболонки, експериментальні фасади	 Модулі криволінійного фасаду [15]
Біоміметичні оригамі-стратегії	Натхнені природними складальними механізмами (листки, крила, панцирні сегменти); екологічно адаптивні	 Реальне згортання мокриці (угорі) та оригамі-структура за аналогією (унизу)[11]	Пасивно-адаптивні фасади для кліматичного регулювання; фасади сталих будівель у смарт-містах	 Фасад павільйону One Ocean [16]

Ще одним важливим результатом стала розроблена нами модель оцінювання адаптивності оригамі-натхнених фасадів, структурно представлена на (Рис. 2.). Вона включає три взаємопов'язані рівні: морфологічний (геометрія складки), кінематичний (стабільність і характер трансформації) та експлуатаційний (вплив на інсоляцію, теплопередачу, мікроклімат). Модель дає змогу визначити оптимальний тип складки для конкретних функціональних зон громадської будівлі та порівняти ефективність різних фасадних систем у реальних умовах експлуатації.

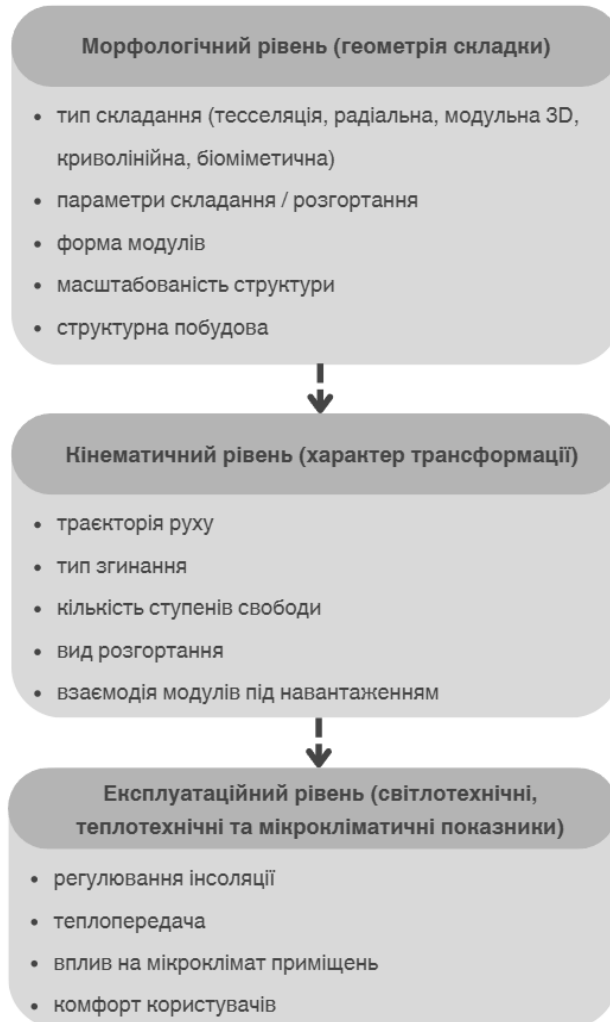


Рис. 2. Структурна модель оцінювання адаптивності оригамі-натхнених кінетичних фасадів

Результати аналітико-прогностичної частини, узагальнені у SWOT-матриці (Рис. 3), показали, що оригамі-натхненні фасади поєднують модульність, можливість автоматизації та виражений екологічний ефект. Їхня гнучкість у регулюванні інсоляції й теплових потоків робить такі системи перспективними для громадських будівель, орієнтованих на сталий розвиток. Разом з тим встановлено обмеження, пов'язані зі складністю приводів, високою собівартістю трансформативних елементів та недостатньою кількістю довгострокових досліджень щодо зношування матеріалів [1], [5]. У межах сценарного аналізу визначено два основні напрями розвитку технології: еволюційний — через поетапне впровадження модульних систем у реконструйовані будівлі, та трансформаційний — шляхом створення інтелектуальних оболонок із використанням роботизованих приводів, 4D-матеріалів і алгоритмічних систем керування [15].

Узагальнюючи викладене, можна стверджувати, що оригамі-натхненні кінетичні фасади формують новий тип адаптивних архітектурних оболонок, здатних підвищувати якість мікроклімату, оптимізувати енергоспоживання та забезпечувати високий рівень інсоляційного комфорту. Наукова новизна роботи полягає у формуванні розширеної типології складальних структур, встановленні закономірностей їх експлуатаційної поведінки та створенні комплексної моделі оцінювання адаптивної ефективності, яку можна використовувати для подальших експериментальних і практичних розробок у сфері проєктування громадських будівель нового покоління.

Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
• Висока адаптивність до сонячних та світлових умов • Підвищена енергоефективність • Покращений візуальний комфорт • Легка вага та модульна конструкція	• Висока вартість виготовлення та монтажу • Складні механізми потребують технічного обслуговування • Невелика кількість реалізацій у великому масштабі • Потенційні проблеми довгострокової довговічності
Можливості (O)	Загрози (T)
• Інтеграція з IoT та «розумними» сенсорами • Використання інноваційних матеріалів • Застосування в громадській архітектурі • Сприяння сталому розвитку міського середовища	• Низька готовність ринку через високу вартість • Швидкі технологічні зміни можуть спричинити старіння конструкцій • Сприйняття ризиків серед зацікавлених сторін • Кліматичні обмеження, що впливають на ефективність

Рис. 3. SWOT-аналіз оригамі-натхнених кінетичних фасадів у контексті застосування в громадських будівлях.

Висновки. Узагальнюючи проведені дослідження, можна стверджувати, що оригамі-натхненні кінетичні фасади становлять перспективний напрям розвитку сучасної громадської архітектури. Їхня здатність змінювати конфігурацію, реагувати на зовнішні впливи та забезпечувати гнучку взаємодію будівлі з довкіллям відкриває можливості для формування більш адаптивних, енергоефективних і екологічно орієнтованих архітектурних рішень. Розглянуті морфологічні та функціональні особливості складальних структур, а також їх потенційні сфери застосування підтверджують широкі можливості інтеграції таких фасадів у громадські будівлі різного призначення.

Попри наявні технологічні та експлуатаційні виклики, оригамі-натхненні системи демонструють значний потенціал для подальшого розвитку, зокрема у напрямі вдосконалення конструктивних рішень, підвищення довговічності та розширення інструментів цифрового проєктування. Подальші дослідження у цій сфері сприятимуть формуванню комплексних підходів до створення адаптивних фасадних оболонок, здатних відповідати сучасним вимогам сталого розвитку та якості архітектурного середовища.

Література

- [1] R. M. Pavón, Á. M. Bazán, J. J. Сера, A. A. Arcos Álvarez, J. M. A. Trigueros, M. G. Alberti, та J. R. Tellaeche, «Нове використання технологій BIM-Origami для енергетичної оптимізації будівель», *Applied Sciences*, т. 12, № 3, с. 1496, 2022. doi: 10.3390/app12031496.
- [2] Y. S. Elfeky, M. Abdel Mohsen, та A. Nessim, «Проектування інтерактивних кінетичних фасадів, натхнених оригами: використання різних зон взаємодії залежно від позицій студентів для покращення зорового комфорту в школах Єгипту», *MSA Engineering Journal*, т. 2, № 2, с. 799–821, 2023. doi: 10.21608/msaeng.2023.291914.
- [3] N. Le Thanh та ін., «Оптимальне проектування кінетичного фасаду, натхненого оригами, шляхом балансування комбінованої оптимізації руху для покращення денного освітлення та енергоефективності», *Sustainability*, т. 13, № 21, с. 11842, 2021.
- [4] M. Meloni, Q. Zhang, J. Cai, та D. S.-H. Lee, «Адаптивний фасад на основі оригами для зменшення відбитого сонячного випромінювання у зовнішньому міському середовищі», *Sustainable Cities and Society*, т. 97, с. 104740, 2023.
- [5] J. Schultz та N. Katz, «Проектування фасадів, натхнених оригами: параметричні дослідження архітектурної та конструктивної ефективності», *Architectural Science Review*, т. 61, № 4, с. 319–333, 2018.
- [6] A. Ghaffarianhoseini та N. Ghaffarianhoseini, «Адаптивні фасади: огляд останніх досягнень та майбутніх напрямів», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, т. 72, с. 523–535, 2017.
- [7] «Патерн Miura-ori», *Mapping Ignorance*, 2016. [Онлайн]. Доступно: <https://mappingignorance.org/2016/12/02/origami-art-folding/miura-ori/>. Дата звернення: 05.10.2025.
- [8] «Флешер — дизайн Кріса Памлера та Джеремі Шафера», *Reddit Origami Community*. [Онлайн]. Доступно: https://www.reddit.com/r/origami/comments/dnkzj3/flasher_design_by_chris_palmer_and_jeremy_shafer/. Дата звернення: 06.10.2025.
- [9] Y. Mau, «Модуль оригами Sonobe», 2021. [Онлайн]. Доступно: <https://yairmau.com/blog/posts/2021-11-03-sonobe/>. Дата звернення: 20.09.2025.
- [10] «Curved Folding Workshop», *Architectural Association School of Architecture*, 2014. [Онлайн]. Доступно: <https://pr2014.aaschool.ac.uk/emergent-technologies/Curved-Folding-Workshop>. Дата звернення: 06.10.2025.
- [11] A. C. Varguаh та A. C. Sychterz, «Оцінка та порівняння тросового приводу адаптивної оригами-структури, натхненої мокрицями, із використанням комп'ютерного бачення та методу динамічної релаксації», *Frontiers in Built Environment*, т. 8, с. 813543, 2022.
- [12] «Adaptive Kinetic Facade Example Image», *ArchDaily Image Source*. [Онлайн]. Доступно: https://images.adsttc.com/media/images/5857/6bf8/e58e/ce1f/9600/02a3/slideshow/feature_image.jpg. Дата звернення: 06.10.2025.
- [13] A. Yunitsyna та E. Sulaj, «Оптимізація денного освітлення у південних архітектурних аудиторіях із використанням біоміметичного кінетичного фасаду», *Journal of Daylighting*, т. 12, с. 1–20, 2025. doi: 10.15627/jd.2025.1.
- [14] «Найкращі винаходи 2012 року — Al Bahar Towers», *TIME Magazine*, 2012. [Онлайн]. Доступно: <https://techland.time.com/2012/11/01/best-inventions-of-the-year-2012/slide/bahar-towers/>. Дата звернення: 06.10.2025.
- [15] N. De Temmerman, K. Roovers, L. Alegria Mira, A. Vergauwen, A. Koumar, S. Brancart, L. De Laet, та M. Mollaert, «Проектування легких трансформованих конструкцій», у *Proc. Int. Conf. on Adaptation and Movement in Architecture*, Торонто, Канада, 2013, с. 1–10.
- [16] «Павільйон One Ocean, ЕКСПО 2012», *ArchDaily*, 2012. [Онлайн]. Доступно: <https://www.archdaily.com/236979/one-ocean-thematic-pavilion-expo-2012-soma>. Дата звернення: 06.10.2025.

References

- [1] R. M. Pavón, Á. M. Bazán, J. J. Cepa, A. A. Arcos Álvarez, J. M. A. Trigueros, M. G. Alberti, and J. R. Tellaecche, “New Use of BIM-Origami-Based Techniques for Energy Optimisation of Buildings,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 3, p. 1496, 2022, doi: 10.3390/app12031496.
- [2] Y. S. Elfeky, M. Abdel Mohsen, and A. Nessim, “Origami-inspired interactive kinetic façades design: Using different interaction areas of students’ positions to improve visual comfort in schools in Egypt,” *MSA Engineering Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 799–821, 2023, doi: 10.21608/msaeng.2023.291914.
- [3] N. Le Thanh et al., “Optimal design of an origami-inspired kinetic facade by balancing composite motion optimization for improving daylight performance and energy efficiency,” *Sustainability*, vol. 13, no. 21, p. 11842, 2021.
- [4] M. Meloni, Q. Zhang, J. Cai, and D. S.-H. Lee, “Origami-based adaptive facade for reducing reflected solar radiation in outdoor urban environments,” *Sustainable Cities and Society*, vol. 97, p. 104740, 2023.
- [5] J. Schultz and N. Katz, “Origami-inspired facade design: Parametric studies for architectural and structural efficiency,” *Architectural Science Review*, vol. 61, no. 4, pp. 319–333, 2018.
- [6] A. Ghaffarianhoseini and N. Ghaffarianhoseini, “Adaptive facades: A review of recent advancements and future directions,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, pp. 523–535, 2017.
- [7] “Miura-ori pattern,” *Mapping Ignorance*, 2016. [Online]. Available: <https://mappingignorance.org/2016/12/02/origami-art-folding/miura-ori/>. Accessed: Nov.05, 2025.
- [8] “Flasher design by Chris Palmer and Jeremy Shafer,” *Reddit Origami Community*. [Online]. Available: https://www.reddit.com/r/origami/comments/dnkzj3/flasher_design_by_chris_palmer_and_jeremy_shafer/. Accessed: Nov. 06, 2025.
- [9] Y. Mau, “Sonobe origami module,” 2021. [Online]. Available: <https://yairmau.com/blog/posts/2021-11-03-sonobe/>. Accessed: Nov. 06, 2025.
- [10] “Curved Folding Workshop,” *Architectural Association School of Architecture*, 2014. [Online]. Available: <https://pr2014.aaschool.ac.uk/emergent-technologies/Curved-Folding-Workshop>. Accessed: Nov. 06, 2025.
- [11] A. C. Baruah and A. C. Sychterz, “Assessment and Comparison of Cable-Actuation of Pill Bug Inspired Adaptive Origami Structure Using Computer Vision and Dynamic Relaxation,” *Frontiers in Built Environment*, vol. 8, p. 813543, 2022.
- [12] “Adaptive Kinetic Facade Example Image,” *ArchDaily Image Source*. [Online]. Available: https://images.adsttc.com/media/images/5857/6bf8/e58e/ce1f/9600/02a3/slideshow/featured_image.jpg. Accessed: Nov. 06, 2025.
- [13] A. Yunitsyna and E. Sulaj, “Daylight Optimization of the South-Faced Architecture Classrooms Using Biomimicry-Based Kinetic Facade Shading System,” *Journal of Daylighting*, vol. 12, pp. 1–20, 2025, doi: 10.15627/jd.2025.1.
- [14] “Best Inventions of the Year 2012 – Al Bahar Towers,” *TIME Magazine*, 2012. [Online]. Available: <https://techland.time.com/2012/11/01/best-inventions-of-the-year-2012/slide/bahar-towers/>. Accessed: Nov. 06, 2025.
- [15] N. De Temmerman, K. Roovers, L. Alegria Mira, A. Vergauwen, A. Koumar, S. Brancart, L. De Laet, and M. Mollaert, “Engineering Lightweight Transformable Structures,” in *Proc. Int. Conf. on Adaptation and Movement in Architecture*, Toronto, Canada, 2013, pp. 1–10.
- [16] “One Ocean Thematic Pavilion, Expo 2012,” *ArchDaily*, 2012. [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/236979/one-ocean-thematic-pavilion-expo-2012-soma>. Accessed: Nov. 06, 2025.

ORIGAMI-INSPIRED KINETIC FACADES FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF PUBLIC BUILDINGS

Bachynskyi D. V.,

PhD student,

bachynskiy13@gmail.com, ORCID: 0009-0002-8184-3845

Kyiv National University of Construction and Architecture

Abstract. Contemporary public buildings increasingly require higher levels of energy efficiency, adaptability, and microclimatic stability, which makes conventional static facades insufficient under growing environmental and operational challenges. Origami-inspired kinetic facades are emerging as a promising architectural solution due to their ability to transform geometry, regulate daylight and thermal flows, and mediate the interaction between a building and its surroundings. The purpose of this study is to comprehensively evaluate the architectural, functional, and environmental potential of such folding systems and to determine their applicability in public buildings of different typologies.

The research methodology combines theoretical analysis of scientific sources, classification of folding strategies, empirical examination of implemented prototypes, and analytical–prognostic methods such as SWOT analysis. The study systematizes five principal categories of origami-inspired structures—planar tessellations, radial folds, modular three-dimensional units, curved folding systems, and biomimetic strategies—and identifies their architectural characteristics, degrees of adaptability, and potential application scenarios. Particular attention is given to their ability to regulate solar radiation, daylight distribution, ventilation, and thermal performance, which directly influences energy consumption and indoor comfort.

The results reveal that origami-based facades enable a wide range of adaptive responses, from dynamic shading and light redirection to the formation of ventilated double-skin envelopes. Examples such as adaptive tessellation screens, flasher-based skylights, modular 3D façade systems, and biomimetic climate-responsive membranes illustrate the diversity of technological solutions currently being developed. At the same time, the study highlights existing limitations, including the complexity of actuation mechanisms, high production costs, and the lack of long-term data on durability and maintenance. Based on the findings, two strategic development trajectories are identified: the evolutionary integration of modular adaptive systems into renovated buildings and the transformational shift toward intelligent responsive envelopes using robotic actuation, 4D-materials, and AI-driven control.

In conclusion, origami-inspired kinetic facades represent a new class of adaptive architectural envelopes capable of enhancing environmental performance, improving indoor comfort, and supporting the principles of sustainable development in public buildings. Their further advancement depends on the refinement of structural solutions, expansion of digital design tools, and deeper exploration of their long-term operational behaviour.

Keywords: kinetic systems; adaptive architecture; parametric geometry; architectural innovations; origami geometry.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2025

[This work](#) © 2025 by [Bachynskyi D. V.](#) is licensed under [CC BY 4.0](#)