

УДК 678.743.22

Sergii Kozhevnikov, PhD student, specialty 183 “Technologies of environmental protection”

ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0006-3797-680X> **e-mail:** slondie7@gmail.com

Yuliia Bereznitska, Associate Professor of the Department “Technologies of environmental protection and Labor Protection Technologies”

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7953-3974> **e-mail:** [bereznytska.iuo@knuba.edu.ua](mailto:bereznyska.iuo@knuba.edu.ua)

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

SUSTAINABLE APPROACH TO DESIGNING WINDOW PROFILES TO REDUCE ENVIRONMENTAL IMPACT

Abstract. *The article reveals the importance of sustainable product design as an important criterion in the formation of environmentally friendly and resource-efficient PVC-based building products. The study aims to determine the role of environmentally oriented design in increasing the efficiency of recycling plastic window and door profiles. Sustainable design is seen as a strategy that takes into account all stages of the product's life cycle, from raw material selection to disposal, with a focus on reducing negative environmental impact, energy efficiency, maintainability, and reusability. The article analyzes the basic principles of sustainable design, including the use of safe and renewable materials, waste minimization, energy-saving production, ease of disassembly, and recyclability. The importance of incorporating recycled PVC into profile designs and the compatibility of new materials with existing recycling systems is emphasized. It is emphasized that proper design can reduce resource consumption at the processing stages and reduce the toxic load on the environment.*

The authors paid special attention to the review of innovative solutions in materials science: PVC profiles made of fully recycled plastic, WPC composites (a combination of wood and PVC), and the promising technology of Bio-PVC based on vegetable oils. Bio-PVC, as noted in the article, is an important alternative that reduces dependence on petrochemical raw materials, reduces toxicity, and promotes integration into the circular economy.

European cases of successful implementation of recycling initiatives are analyzed: in particular, the German Rewindo project, programs in France and Poland. These examples demonstrate how legislative and infrastructural changes can create effective mechanisms for collecting and recycling PVC windows and doors. The article also emphasizes that the introduction of sustainable design is the key to meeting modern environmental standards (REACH, BREEAM, LEED) and increasing the investment attractiveness of production.

In conclusion, it is emphasized that sustainable design is not only an engineering approach, but also a strategic model for transforming the industry in line with the challenges of climate policy. It is a key factor in reducing the carbon footprint, improving environmental safety, optimizing resources and creating new opportunities in the construction industry.

Keywords: sustainable design, PVC, windows, doors, PVC profiles, recycling, recycling, sustainable development.

С.В. Кожевніков, Ю.О. Березницька

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

СТАЛИЙ ПІДХІД ДО ПРОЄКТУВАННЯ ВІКОННИХ ПРОФІЛІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

Анотація. У статті розкривається значення сталого дизайну продукту як важливого критерію у формуванні екологічно безпечної та ресурсоефективної будівельної продукції на основі ПВХ. Дослідження спрямоване на визначення ролі екологічно орієнтованого проєктування у підвищенні ефективності ресайклінгу пластикових віконних і дверних профілів. Сталий дизайн розглядається як стратегія, яка передбачає врахування всіх етапів життєвого циклу виробу — від вибору сировини до утилізації, з акцентом на зменшення негативного впливу на довкілля, енергоефективність, ремонтпридатність і можливість повторного використання.

У межах статті проаналізовано основні принципи сталого дизайну, серед яких: застосування безпечних і відновлюваних матеріалів, мінімізація відходів, енергоощадне виробництво, легкість демонтажу, придатність до ресайклінгу. Вказано на важливість включення вторинного ПВХ у конструкції профілів та сумісність нових матеріалів з існуючими системами переробки. Підкреслено, що правильне проєктування дозволяє скоротити ресурсозатратність на етапах переробки та зменшити токсичне навантаження на навколишнє середовище.

Особливу увагу автори приділили огляду інноваційних рішень у матеріалознавстві: ПВХ профілі з повністю переробленого пластику, WPC-композити (поєднання деревини з ПВХ), а також перспективна технологія Біо-ПВХ на основі рослинних олій. Біо-ПВХ, як зазначено в статті, є важливою альтернативою, що дозволяє зменшити залежність від нафтохімічної сировини, знижує токсичність, а також сприяє інтеграції в циркулярну економіку.

Проаналізовано європейські кейси успішної реалізації ресайклінгових ініціатив: зокрема, німецький проєкт Rewindo, програми у Франції та Польщі. Ці приклади демонструють, як законодавчі та інфраструктурні зміни можуть створити ефективні механізми збирання та повторної переробки ПВХ вікон і дверей. Стаття також підкреслює, що впровадження сталого дизайну є ключем до відповідності сучасним екологічним стандартам (REACH, BREEAM, LEED) і підвищення інвестиційної привабливості виробництва.

У підсумку наголошується, що сталий дизайн — це не лише інженерний підхід, а стратегічна модель для трансформації галузі відповідно до викликів кліматичної політики. Він є ключовим чинником для зниження вуглецевого сліду, покращення екологічної безпеки, оптимізації ресурсів і формування нових можливостей у галузі будівництва.

Ключові слова: сталий дизайн, ПВХ, вікна, двері, ПВХ профілі, ресайклінг, переробка, сталий розвиток.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.3.163-176>

Вступ

Актуальність проблеми дослідження. У сучасних умовах зростаючого обсягу відходів з полівінілхлориду (ПВХ) особливої важливості набуває пошук ефективних екологічних рішень у сфері будівельної промисловості. ПВХ профілі, які широко використовуються у віконних та дверних системах,

мають тривалий життєвий цикл, але після вичерпання ресурсу створюють суттєве екологічне навантаження. Хоча технології ресайклінгу ПВХ вже впроваджуються, ефективність їх застосування значною мірою залежить від початкового підходу до проектування виробу [1].

Концепція сталого дизайну передбачає розробку продуктів із урахуванням подальшого розбирання, переробки та мінімізації шкідливого впливу на довкілля. Однак у реальній практиці ці принципи часто ігноруються через технологічні або економічні бар'єри. Саме тому дослідження ролі сталого дизайну у формуванні умов для ефективного ресайклінгу ПВХ профілів є вкрай актуальним. Це дозволяє не лише знизити кількість відходів, а й зробити переробку більш економічно доцільною та екологічно безпечною [8].

В умовах переходу до циркулярної економіки та посилення екологічного законодавства в Україні та ЄС, формування нових підходів до дизайну продукції з урахуванням її подальшої утилізації є стратегічно важливим завданням.

Мета дослідження. Метою дослідження є обґрунтування ролі сталого дизайну продукту як ключового фактора підвищення ефективності ресайклінгу ПВХ профілів та зменшення їхнього негативного впливу на навколишнє середовище. Дослідження спрямоване на аналіз конструктивних рішень, що сприяють легшій утилізації, оцінку екологічних та технологічних переваг сталого дизайну, а також формування рекомендацій для впровадження принципів циркулярної економіки у виробництво та проектування ПВХ продукції.

Об'єкт дослідження. Процеси проектування та життєвого циклу ПВХ профілів у контексті їх подальшої переробки та впливу на довкілля.

Предмет дослідження. Концептуальні та практичні підходи до впровадження сталого дизайну в проектування ПВХ профілів з метою підвищення ефективності їх ресайклінгу та зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище.

Виклад основного матеріалу

Для більш глибокого розуміння концепції сталого дизайну продукту як фактору, який напряду впливає на формування екологічних принципів, слід спочатку розглянути концепцію сталого розвитку в цілому та її основні принципи та тенденції.

Сталий розвиток – це концепція гармонійного поєднання економічного зростання, соціального добробуту та охорони довкілля з урахуванням потреб як нинішнього, так і майбутніх поколінь. Вона була офіційно сформульована у 1987 році в доповіді Брунтланда "Наше спільне майбутнє". У глобальному контексті основою сталого розвитку є Цілі сталого розвитку ООН (SDGs), ухвалені у 2015 році [8]. Вони охоплюють 17 ключових напрямів, серед яких: подолання бідності, чиста енергія, відповідальне споживання, боротьба зі зміною клімату та збереження біорізноманіття. У Європейському Союзі сталий розвиток є фундаментом політики. Втілюється через Європейський зелений курс (European Green Deal) [11], який передбачає перехід до кліматично нейтральної економіки до 2050 року, розвиток циркулярної економіки, екологічне сільське господарство, цифрову трансформацію та справедливий соціальний перехід. Таким чином, у Європі та

світі сталий розвиток став не лише етичною нормою, а й стратегічним напрямом політики, що формує майбутнє людства та планети. Із базових принципів світової концепції сталого розвитку нас цікавить напрямок, що стосується саме циркулярної економіки, відповідального споживання та екологічної безпеки [15].

Перейдемо тепер безпосередньо до питання, як саме дизайн продуктів може вплинути на загальне екологічне навантаження, на які фактори він впливає і які наслідки може спричинити? Розберемо поняття сталого дизайну продуктів.

Сталий дизайн продукту (Sustainable Product Design) – це методологія проєктування, що не завдає шкоди навколишньому середовищу. Підхід до розробки виробів, який враховує екологічні, соціальні та економічні аспекти на всіх етапах життєвого циклу продукту – від вибору матеріалів до утилізації. При цьому враховується вплив на природу та здоров'я людини протягом усього життєвого циклу виробу. Таким чином, реалізація стосується ресурсозберігаючих виробничих процесів, тривалого терміну служби або часу застосування, а також, що для нас дуже важливо, надійної концепції переробки [23]. Розглянемо це з прикладу пластикових вікон, що виготовляються переважно з ПВХ профілів (Рис. 1).

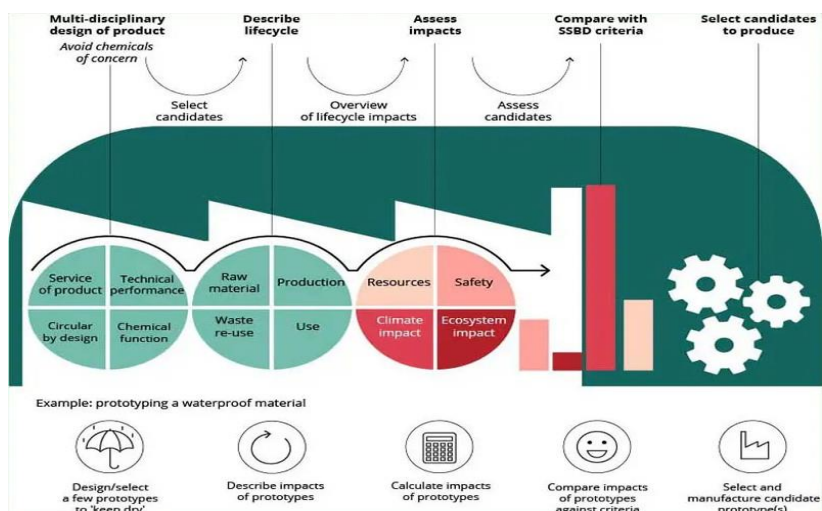


Рис. 1. Схема ресурсозберігаючих виробничих процесів [23]

Основні принципи сталого дизайну:

- використання екологічно безпечних і відновлюваних матеріалів;
- проєктування для тривалого використання (довговічність, ремонтпридатність);
- мінімізація відходів при виробництві та споживанні;
- можливість повторного використання, ресайклінгу або безпечного розкладання;
- енергоефективність при виготовленні та експлуатації продукту;
- зменшення вуглецевого сліду на всіх етапах життєвого циклу.

Якщо сталий дизайн розглядати у контексті використання ПВХ профілів для їх подальшої успішної утилізації, то слід відмітити наступні важливі чинники.

Правильно спроектовані ПВХ профілі в концепції сталого дизайну мають:

- легко розбиратися для сортування матеріалів;
- містити перероблений ПВХ без втрати якості;
- містити менш токсичні добавки або замітники важких металів;
- бути сумісними з існуючими системами ресайклінгу різних типів та методів.

Такий підхід має підтримати циркулярну економіку та допомогти будівельній галузі зменшити свій вплив на довкілля. Реалізація та правильне проектування з урахуванням вторинної переробки впливає на розробку матеріалів та продуктів, тому що саме тут закладається основа для ресурсозберігаючих виробів та процесів. Зважаючи на весь життєвий цикл продукту, сценарії майбутньої переробки необхідно враховувати на етапі проектування. За словами ЕРРА [1], для пластикових вікон це велика проблема. Вікна, що використовуються сьогодні, повернуться до циклу лише через 30-40 років. Оскільки періоди повернення надто тривалі, тому ніхто не знає, чи можуть і як змінитись вимоги за цей час.

Щоб уникнути погіршення якості, прогибання та деформації, а також покращити стійкість, віконні профільні системи з ПВХ армують сталевим профілем, щоб вони могли витримувати температурні зміни, так само як і велику вагу склопакета в залежності від розміру та конструкції. Відомо, що віконні профілі без сталевго армування можуть мати ще кращі теплові властивості. Для зниження тепловтрат успішно розроблені гібридні матеріали, що не вимагають сталі. Але чи можна їх переробляти? [9].

Виробники систем спробували знайти відповідь на це питання у дослідницькому проекті. Результати даного проекту будуть проаналізовані та показані в іншому аналітичному матеріалі, але якщо зробити висновок коротко, то випробування ясно показують, що можна забезпечити придатність вікна до вторинної переробки, здійснивши відповідні кроки на етапі проектування.

Основні виклики для ресайклінгу віконних ПВХ систем. Можна впевнено стверджувати, що переробка є, мабуть, найважливішим критерієм проектування нового продукту. Для цього має бути передбачено можливість ідентифікації матеріалу або його компонентів. Це просте завдання із пластиковими вікнами, які в основному виготовляються із твердого ПВХ. Однак багато інших видів відходів рідко повертаються у розсортованому вигляді, тому сортування та очищення є важливою передумовою для якісної переробки (Рис. 2).



Рис. 2. Пластикові відходи від демонтованих ПВХ вікон

Крім того, виріб повинен бути розбірним, незалежно від того, чи він підлягає механічній або хімічній переробці. Щоб у майбутньому постачати більше продуктів ресайклінгу, необхідно координувати якість переробленого матеріалу та самого продукту. Все це важливо враховувати на етапі проектування дизайну продукту [2].

Для підтримки безперервності циркуляційних процесів потрібна рушійна сила. Очолює список ініціатив схвалення планувальників будівництва та інвесторів, які обирають будівельні продукти, що містять перероблені матеріали. Якщо законодавці, місцеві органи влади та компанії по поводженню з відходами забезпечать, щоб старі вікна перероблялися лише відповідно до ієрархії відходів, компанії, що спеціалізуються на ресайклінгу, зможуть розраховувати на достатню кількість вихідного матеріалу та виводити перероблені матеріали на ринок [16].

На рисунку 3 відображена діаграма динаміки переробки ПВХ у Європі в межах ініціативи VinylPlus з 2001 по 2023 рік. У 2023 році було перероблено 737 645 тонн ПВХ. ПВХ відходи сегментовано за категоріями: віконні профілі, труби, м'який ПВХ, підлога, кабелі та інші жорсткі ПВХ. Найбільшу частку складають віконні профілі та супутні товари, зростання обсягів спостерігається до 2020 року, після чого показники стабілізуються [2].

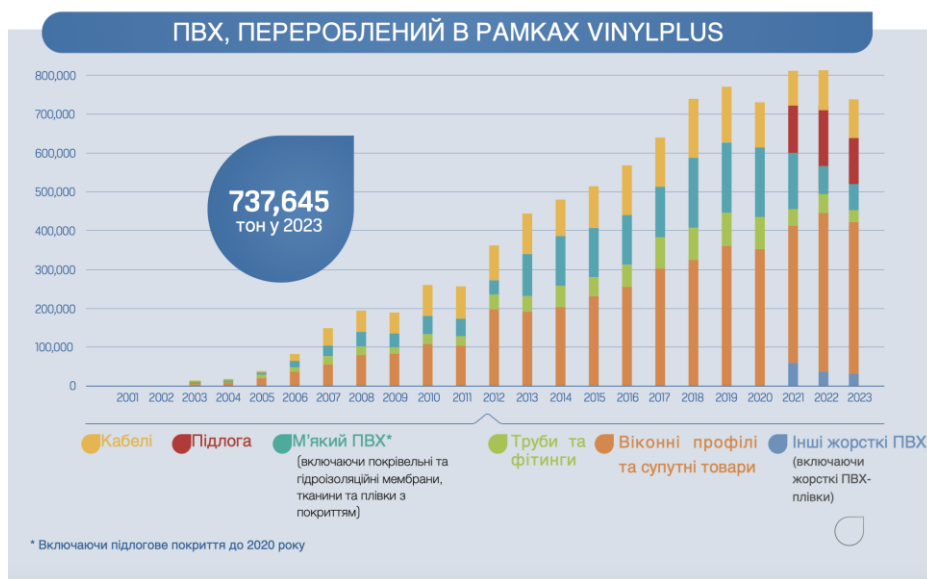


Рис. 3. Динаміка переробки ПВХ у Європі (джерело: VinylPlus)

Приклади, гідні наслідування, або які ініціативи потрібно запроваджувати в Україні, опираючись на міжнародні референси. Асоціація EPPA (European PVC Window Profile and Related Building Products Association) за сприянням VinylPlus підтримує технічні проекти зі збільшення збору та переробки пост-споживчих вікон у Німеччині, Франції та Польщі до 2025 року. Метою проектів є створення інфраструктури та сприятливого клімату для ресайклінгу ПВХ вікон за допомогою співпраці з національними асоціаціями, взаємодії з політиками та зовнішніми зацікавленими сторонами. Успіх проектів в окремих країнах видно вже сьогодні.

Німеччина. Проєкт Rewindo [13] у Німеччині було запущено понад 20 років тому з ініціативи німецьких виробників ПВХ профілів. Охоплює весь виробничо-збутовий ланцюжок віконної промисловості в сегменті пластику, сприяє збору та переробці вікон із ПВХ через організовані пункти збору та публікує інформацію про переробку вікон для зовнішніх зацікавлених сторін. Проєкт вже дуже добре реалізується завдяки розвиненій мережі та численним пунктам збору, а також заохоченню вторинного використання ПВХ, витягнутого з віконного сектора, як частини нових продуктів. Rewindo інтегрує інших партнерів у ланцюжок створення вартості (концепція Rewindo «Преміум-партнер»), піддаючи ресайклінгу не тільки ПВХ, а й скло, фурнітуру, сталеве армування і навіть ламінаційну плівку з віконних профілів.

Франція. EPPA співпрацює з UFME (Французька асоціація виробників вікон) та SnEP (Національний синдикат з екструзії пластмас) [6]. Проєкт був ініційований добровільним залученням виробничо-збутового ланцюжка до збільшення збирання вікон з ПВХ із терміном експлуатації. Весь проєкт Clearinghouse пов'язує ланцюжок створення вартості та повідомляє про зобов'язання та варіанти утилізації [5]. Обидві організації просувають принципи передової практики та використання систем збору та переробки по всій Франції. Створено інтерактивну карту центрів збору пост-споживчих вікон по всій країні. Багаторічна програма Valobat [14] по вікнах і дверях була реалізована для відповідності національним нормативним вимогам щодо фінансової підтримки збору та переробки вікон зі строком експлуатації.

Польща. Проєкт стартував у квітні 2021 року. Ініціатива на першому етапі мала стати пілотним проєктом, спрямованим на поширення інформації, знань та створення пунктів приймання, звідки старі вікна можна буде відправити на переробку. Асоціація PoID та її члени підтримали проєкт, добре розуміючи необхідність поширення інформації про проблеми демонтованих старих вікон.

Організація пунктів збору у співпраці з POiD та компаніями, що займаються вивозом сміття (шляхом створення інфраструктури для збору старих вікон у контейнери, на піддони), ідеально вписалась у програми Czyste Powietrze (Чисте повітря) та Budujesz Dla Pokoleń (Будуємо для поколінь). Ініціатива проводиться під патронатом Міністерства клімату та довкілля Польщі [7].

Практичні застосування альтернативних матеріалів ресайклінгу у віконних профільних системах. У сучасних умовах екологічних викликів та зростаючих вимог до сталого будівництва виробники віконних систем активно впроваджують інноваційні матеріали та технології. Одним із ключових напрямків є використання альтернативних ресайклінг-матеріалів у виробництві ПВХ профілів. Це дозволяє зменшити залежність від первинних ресурсів, зменшити викиди CO₂ та відповідати європейським екологічним стандартам [9].

Перероблений ПВХ (ресайклінг) – основа кругового використання. Одним з найпоширеніших матеріалів є вторинний (рецикльований) ПВХ. Його отримують шляхом механічної переробки старих вікон, дверей, труб та інших виробів із ПВХ.

У більшості випадків ПВХ ресайклінг використовується у внутрішньому шарі віконного профілю (Рис. 4), тоді як зовнішній шар виготовляється з первинного матеріалу. Така технологія коекструзії забезпечує довговічність та стійкість до погодних умов, залишаючись при цьому екологічною.

Основні переваги:

- зменшення обсягів відходів;
- зниження витрат на сировину;
- відповідність критеріям сталого будівництва (BREEAM, LEED) [6, 7];
- збереження якості при багаторазовому переробленні.

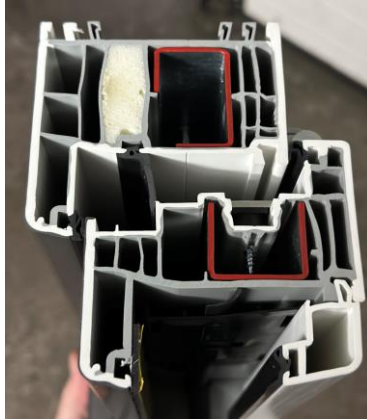


Рис. 4. Віконна ПВХ система з використанням ПВХ ресайклінгу у внутрішньому шарі

ПВХ профілі повністю з ресайклінгу: новий стандарт економії ресурсів. На ринку з'являються рішення, де весь профіль виготовлений із переробленого ПВХ [5], без шарів із первинної сировини (Рис. 5). Такі вироби часто використовуються в умовах, де немає потреби в підвищеному захисті від зовнішнього середовища — наприклад, у підсобних приміщеннях, технічних зонах або внутрішніх конструкціях.



Рис. 5. ПВХ профіль, виготовлений на 100% із ПВХ рецикляту [5]

Попри дещо нижчу атмосферостійкість, повністю рецикльовані профілі демонструють хорошу механічну міцність і значно зменшують вуглецевий слід продукції. І, звісно, такі профілі не можуть бути білого/світлого кольору, бо переважно сам рециклят має сірий відтінок, так як ПВХ переробляється разом з чорним та сірим ущільнювачем, які дають відповідний відтінок.

WPC – поєднання деревини та ПВХ у новому форматі. WPC (Wood Plastic Composite) – це композиційний матеріал, що поєднує перероблену деревину (тирсу або деревне борошно) та полімерну матрицю (найчастіше ПВХ із застосуванням клеєвих сумішей). Це дозволяє створювати естетично привабливі, міцні та довговічні вироби, які імітують текстуру натурального дерева, і у випадку зовнішнього використання залишаються стійкими до вологи, грибків і шкідників (Рис. 6) [22].



Рис. 6. Віконна профільна система з використанням рецикляту із деревини та клеєвих сумішей [22]

WPC активно використовується у:

- віконних профільних системах (внутрішній шар);
- накладках на рами;
- підвіконнях;
- фасадних елементах;
- дверних конструкціях.

Переваги WPC:

- екологічність і повторне використання матеріалів;
- зменшення деформації;
- менші витрати на догляд і обслуговування.

Біополімери та інноваційні матеріали майбутнього. У пошуках ще екологічніших рішень виробники експериментують з біополімерами, такими як: PLA (полілактидна кислота) – полімер на основі кукурудзяного крохмалю або цукрових буряків; PHA (полігідроксиалканоати) – біорозкладні матеріали, отримані з використанням бактерій. Хоча біополімери поки що не застосовуються масово в ПВХ профілях через високу вартість і обмежену довговічність, вони мають потенціал у незвичайних архітектурних рішеннях та еко-будівництві. Але все ж таки одна з біотехнологій прижилась на ринку і почала масово використовуватись.

Біо-ПВХ (Bio-PVC) з рослинних олій: екологічна альтернатива для сталого будівництва. Зростання екологічної свідомості та жорсткі європейські вимоги до токсичності будівельних матеріалів стимулюють пошук безпечніших та сталих альтернатив традиційному ПВХ. Одним із таких інноваційних рішень є

Біо-ПВХ на основі рослинних олій — матеріал нового покоління, що поєднує звичні переваги ПВХ із біологічною безпечністю та низьким вуглецевим слідом (Рис. 7) [4].



Рис. 7. ПВХ профільна система з використанням BIO PVC (не менше 15%) у комбінації з ресайклінгом (не менше 40%) та алюмінієм [4]

Що таке Біо-ПВХ з олій? Біо-ПВХ — це полівінілхлорид, у якому частина нафтохімічних компонентів замінена на відновлювані рослинні джерела. Зокрема, використовуються епоксидовані олії — з сої, ріпаку, соняшника або касторової рослини — як пластифікатори, що надають матеріалу гнучкість та еластичність без використання фталатів. Також активно використовуються як сировина різні типи відходів соняшникових, оливкових, рапсових та інших типів олій (відходи з закладів харчування та ін.). Іноді у певних випадках застосовують біоетанол з біомаси (наприклад, цукрової тростини) для заміни етилену — компонента, необхідного для синтезу ПВХ.

Технологічні особливості Біо-ПВХ:

- Пластифікація на основі природних олій забезпечує довговічність, термостійкість та еластичність матеріалу без токсичних домішок.

- Хімічна стабільність Біо-ПВХ залишається на рівні традиційного ПВХ, що дозволяє застосовувати його у зовнішніх та внутрішніх конструкціях.

- Сумісність з рециклінгом. Біо-ПВХ легко змішується з традиційним при переробці, що спрощує цикл повторного використання.

Переваги Біо-ПВХ:

- Нетоксичність: відсутність фталатів, важких металів та летких органічних сполук (VOC).

- Зниження вуглецевого сліду: заміна нафти на рослинну сировину зменшує екологічний вплив виробництва.

- Сумісність з циркулярною економікою: Біо-ПВХ придатний до повторної переробки.

- Відповідність сучасним стандартам: матеріал відповідає вимогам REACH, RoHS, BREEAM і LEED [10, 20, 8, 9].

Також є певні недоліки даної технології. По-перше, такий вид матеріалу досить дорогий і поки що сировинна база замала для використання його у великих обсягах. Але динаміка і розвиток цієї технології досить стрімка

у розвитку, і з кожним роком сировинна база збільшується, а виробники профільних віконних систем все частіше використовують даний матеріал у своєму виробництві. Іншим недоліком є досить тривалий і складний процес сертифікації виробництва, що має відповідати даній технології. Він тривалий по часу і має значну кількість вимог, що мають виконати виробники профільних систем.

Біо-ПВХ з використанням рослинних олій – це перспективний напрямок для екологізації ПВХ промисловості, в тому числі віконної індустрії. Він дозволяє зменшити токсичність, знизити залежність від нафти та інтегрувати виробництво у систему циркулярної економіки. В умовах сучасного ринку це не лише технологічне, а й репутаційне рішення для компаній, що прагнуть бути «зеленими» та відповідальними перед споживачами та природою.

Отже, інтеграція альтернативних матеріалів у виробництво віконних ПВХ профілів та інших ПВХ матеріалів є не лише трендом, а й необхідністю. Перероблений ПВХ, WPC, Біо-ПВХ та інноваційні композити – усе це демонструє готовність галузі відповідати вимогам часу та адаптуватися до глобальних кліматичних викликів. Завдяки технологічному прогресу та підтримці з боку європейських екологічних програм, віконна галузь рухається до повної циркулярності, де відходи стають ресурсом, а кожен виріб має шанс на друге життя.

Що врешті-решт нам дає ПВХ ресайклінг в рамках розвитку та його споживання у сталому дизайні відповідних продуктів, зокрема ПВХ віконних профілів?

Розрахунок, наведений на рисунку 8, порівнює кумулятивне споживання енергії (у кіловат-годинах) при виробництві 1 тонни віконного профілю з переробленого ПВХ (ресайклінг) та первинного (нового) ПВХ. В результаті чого енергоспоживання для виробництва переробленого ПВХ (ресайклінг) – 3 814 кВт·год, первинного ПВХ – 18 453 кВт·год. У підтвердження ефективності розрахунків отримуємо заощадження – 14 639 кВт·год, що підкреслює ефективність вторинної переробки ПВХ у контексті сталого розвитку та енергоощадних технологій [24].

Кумулятивне споживання енергії в кіловат-годинах (кВт·год) на тонну віконного профілю

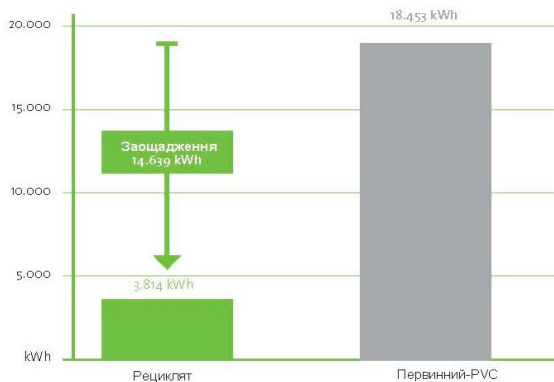


Рис. 8. Кількість енергії, заощадженої завдяки використанню перероблених матеріалів

Розрахунок, наведений на рисунку 9, ілюструє потенціал глобального потепління (ПГП) у тоннах CO₂-еквіваленту (CO₂e), який виникає під час виробництва 1 тонни віконного профілю з ресайклінгу (переробленого ПВХ) та первинного ПВХ (виготовленого з нової сировини). В результаті були отримані наступні дані: для виробництва ресайклінгу викиди CO₂ становлять – 0,7 т CO₂e, для виробництва первинного ПВХ - 2,69 т CO₂e. Відповідно до різниці зафіксованих показників на виробництві ресайклінгу заощаджується до 1,99 т CO₂e [24].

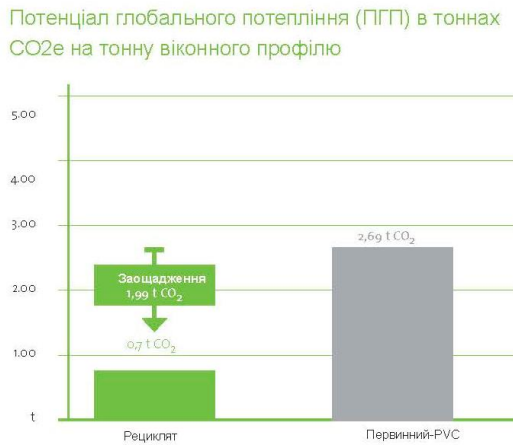


Рис. 9. Скорочення викидів парникових газів завдяки використанню рецикляту

Висновки

1. Сталий дизайн є ключем до ефективного ресайклінгу ПВХ. Правильно спроектовані віконні профілі, які враховують вимоги до розбірності, мінімальної токсичності та сумісності з системами вторинної переробки, істотно полегшують ресайклінг і зменшують екологічне навантаження протягом усього життєвого циклу продукту.

2. Інноваційні матеріали – шлях до циркулярної економіки. Необхідно якомога ширше використовувати матеріали з використанням новітніх еко-технологій, таких як WPC-композити (деревина + ПВХ), Біо-ПВХ з рослинних олій, 100% профілі з ресайклінгу як альтернативні матеріали, що знижують токсичність, вуглецевий слід та підвищують екологічну відповідність будівельної продукції.

3. В Україні необхідно активно впроваджувати енергоефективні програми з переробки ПВХ або імплементувати програми та використовувати досвід сусідніх європейських країн. Європейський досвід демонструє практичну та ефективну реалізацію сталого підходу. Проекти в Німеччині (Rewindo), Франції (Valobat, SnEP) та Польщі (POiD) створюють успішні моделі для збору та переробки старих ПВХ вікон. Вони доводять, що за підтримки державної політики, інвесторів і виробників можливо досягти сталого обороту ПВХ як ресурсу.

4. Застосування перероблених матеріалів дає змогу зменшити енергоспоживання майже в 5 разів, що суттєво скорочує ресурсні витрати та покращує екологічні показники виробництва.

5. Використання переробленого ПВХ дозволяє зменшити викиди парникових газів майже в 4 рази порівняно з виробництвом профілю з первинного ПВХ. Це суттєво знижує вплив на зміну клімату та сприяє досягненню екологічних цілей ЄС та України в контексті декарбонізації та розвитку циркулярної економіки.

6. Кількість енергії, заощадженої завдяки використанню переробленого матеріалу порівняно з використанням первинного ПВХ при виробництві 1 тонни віконного профілю, відповідає 14 639 кВт·год, а отже, річній потребі в електроенергії для 4,5 домогосподарств. Переробка вторинної сировини наприкінці терміну експлуатації дозволяє додатково заощадити 954 кВт·год порівняно зі спалюванням, що відповідає приблизно 30% річної потреби домогосподарства в електроенергії. Використання рецикляту замість первинного ПВХ економить 1,99 тонни, або близько 2 тонн CO₂. Повторна переробка профілів після закінчення терміну служби дозволяє додатково заощадити близько 2 тонн CO₂ порівняно зі спалюванням.

Сталий розвиток ніколи не застаріє, оскільки політичні, економічні та екологічні стратегії у цивілізованому світі мають розроблятися з урахуванням потреб майбутніх поколінь. Це означає, що настав час переосмислення поточних підходів. Але це також дає можливість розвивати нові ідеї та бізнес-моделі. Сьогодні багато компаній доводять, що інвестиції у сталий розвиток зрештою окупаються і він може дуже скоро перетворитися з моделі майбутнього на стратегію успіху сьогодення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. EPPA – The European PVC Window Profile and Related Building Products Association. Retrieved from: <https://www.eppa-profiles.eu>
2. VinylPlus. Progress Report 2022. Retrieved from: <https://www.vinylplus.eu>
3. Rewindo Recycling-Initiative. Retrieved from: <https://www.rewindo.de>
4. Gealan. Balance profiles. Retrieved from: <https://www.gealan.de/en/news/balance-by-gealan/>
5. Kömmerling ReFrame sustainable systems. Retrieved from: <https://www.koemmerling.com/ua/uk/сталий-розвиток/koemmerling-reframe/>
6. BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Retrieved from: <https://www.breeam.com>
7. USGBC. Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). Retrieved from: <https://www.usgbc.org/leed>
8. European Green Deal. Retrieved from: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
9. Sustainable Development Goals – United Nations. Retrieved from: <https://sdgs.un.org/goals>
10. UFME – Union des Fabricants de Menuiseries Extérieures. Retrieved from: <https://www.ufme.fr>
11. SnEP – Syndicat national de l'extrusion plastique. Retrieved from: <https://www.snep.org>
12. POiD – Polish Association of Window and Door Manufacturers. [Польська асоціація виробників вікон і дверей]. Retrieved from: <https://poid.eu>
13. Програма Czyste Powietrze. Retrieved from: <https://czystepowietrze.gov.pl>
14. Budujesz Dla Pokoleń. Retrieved from: <https://budujemydlapokolen.pl>

15. Wildlife Research. CSIRO Publishing. Retrieved from: <https://www.publish.csiro.au/WR>
16. Window consulting. [Віконний консалтинг]. Retrieved from: <https://oknakonsult.com>
17. GKFP – Gütegemeinschaft Kunststoff-Fensterprofilsysteme. Retrieved from: <https://www.gkfp.de>
18. BSRIA. Guidance on Net Zero Carbon Buildings. Retrieved from: <https://www.bsria.com>
19. IPCC Reports. Global Warming Potential. Retrieved from: <https://www.ipcc.ch>
20. ECHA. Regulation (EC) No 1907/2006 (REACH). Retrieved from: <https://echa.europa.eu/regulations/reach>
21. British Zero Carbon Building Standard. [Британський стандарт будівель з нульовим рівнем викидів вуглецю]. Retrieved from: <https://bregroup.com/news/buildings-to-prove-they-are-net-zero-carbon-with-uk-s-first-agreed-methodology-uk-net-zero-carbon-buildings-standard>
22. What is WPC? Care, installation, advantages and disadvantages. Retrieved from: <https://www.deceuninck.de/en-gb/wpc-wissen/what-is-wpc/>
23. Designing safe and sustainable products requires a new approach for chemicals. Retrieved from: <https://www.eea.europa.eu/publications/designing-safe-and-sustainable-products-1>
24. Rewindo annual report 2023: Plastic window recycling: countable for less energy consumption and more climate protection. Retrieved from: <https://rewindo.de/download/2817/?tmstv=1748263266>

Стаття надійшла до редакції 23.05.2025 і прийнята до друку після рецензування 18.08.2025

The article was received 23.05.2025 and was accepted after revision 18.08.2025

Кожевніков Сергій Вікторович

аспірант 3 курсу, спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища» Київського національного університету будівництва і архітектури, представник компанії GEALAN Ukraine

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр. Повітряних Сил, 31

ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0006-3797-680X> **e-mail:** slondie7@gmail.com

Березницька Юлія Олегівна

доцент кафедри «Технології захисту навколишнього середовища та охорони праці» Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр. Повітряних Сил, 31

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7953-3974> **e-mail:** bereznytska.iuo@knuba.edu.ua