

dr inż. Oleksij Kopyłow^{1*)}

ORCID: 0000-0002-8436-2521

prof. dr hab. inż. Roman Domański²⁾

ORCID: 0000-0003-1873-3870

dr hab. inż. arch. Janusz Marchwiński, prof. ATA²⁾

ORCID: 0000-0003-3897-3580

dr inż. Małgorzata Leszczyńska-Domańska, prof. ATA²⁾

Problems of reuse of building materials in façade systems

Problemy powtórnego zastosowania materiałów budowlanych w systemach elewacyjnych

DOI: 10.15199/33.2025.09.28

Abstract. The article presents the problems and challenges associated with the reuse of building materials in façade systems. Presenting the technical and functional characteristics of building products derived from demolitions and intended for reuse during the design and construction of the most common modern façade systems (ventilated façades, cladding walls, and cavity walls). The reuse of building materials in façade systems involves numerous technical issues that require detailed research. The decision to reuse building products in façade systems is possible after evaluating their technical properties in accordance with applicable standards and technical regulations. Laboratory testing of reused building materials is crucial to ensure the durability, safety, and energy efficiency of the designed façade systems.

Keywords: ventilated façades; cladding walls; cavity walls; reuse of building materials in façade systems; recycling.

Streszczenie. W artykule przedstawiono problemy i wyzwania związane z ponownym zastosowaniem materiałów budowlanych w systemach elewacyjnych. Omówiono cechy techniczno-użytkowe wyrobów budowlanych pochodzących z rozbiórek, planowanych do ponownego wykorzystania w projektowaniu i wykonawstwie najbardziej rozpowszechnionych we współczesnym budownictwie elewacji (ścian wentylowanych; ścian osłonowych i ścian szczelinowych). Powtórne zastosowanie materiałów budowlanych w systemach elewacyjnych wiąże się z wieloma problemami technicznymi, wymagającymi szczegółowych badań. Decyzja o powtórnym zastosowaniu wyrobów budowlanych w systemach elewacyjnych jest możliwa po dokonaniu oceny ich właściwości technicznych wg obowiązujących norm i przepisów technicznych. Badania laboratoryjne powtórnie wykorzystywanych materiałów budowlanych są kluczowe dla zapewnienia trwałości, bezpieczeństwa i efektywności energetycznej projektowanych systemów elewacyjnych.

Słowa kluczowe: elewacje wentylowane; ściany osłonowe; ściany szczelinowe; powtórne zastosowanie materiałów budowlanych w systemach elewacyjnych; recykling.

Over time, due to natural wear, façade systems lose their original technical and aesthetic properties and may consequently generate rising operating costs. In many cases, the repair and continued operation of technically obsolete façades is economically inefficient. Often, along with the tightening of legal requirements, façade systems can be deemed unsafe or energy-inefficient, which reduces the value and attractiveness of a building – particularly commercial buildings. In such circumstances, decisions are made to dismantle the façade and replace it with a new, superior technical solution. Investors frequently seek options that reduce capital expenditure, e.g. by reusing components of building systems or reselling them. The former choice may also be driven by the need to adapt a new development to the character of existing buildings, which is especially relevant for projects located in areas under heritage conservation. The reuse of building materials in façade systems is associated with numerous technical problems. A comprehensive assessment

Z upływem czasu, wskutek naturalnego zużycia, systemy elewacyjne tracą swoje pierwotne właściwości techniczne oraz estetyczne, a w efekcie często mogą generować coraz większe koszty użytkowania. W wielu przypadkach naprawa i dalsza eksploatacja technicznie przestarzałych elewacji jest nieefektywna ekonomicznie. Często, wraz z zaostrzeniem przepisów prawnych, systemy elewacyjne mogą być uznane za niebezpieczne lub nieefektywne energetycznie, obniżając wartość oraz atrakcyjność obiektu budowlanego, szczególnie budynków komercyjnych. Wówczas podejmowane są decyzje dotyczące demontażu elewacji i zamiany jej na nowe, lepsze rozwiązanie techniczne. Często inwestorzy szukają rozwiązań pozwalających na obniżenie kosztów inwestycji np. przez powtórne wykorzystanie elementów systemów budowlanych lub ich odsprzedaż, przy czym to pierwsze rozwiązanie może być podyktowane np. koniecznością dostosowania nowo powstającego obiektu budowlanego do istniejących budynków, co jest szczególnie istotne w przypadku inwestycji na obszarach objętych opieką konserwatora zabytków.

Powtórne zastosowanie materiałów budowlanych w systemach elewacyjnych wiąże się z wieloma problemami technicznymi. Konieczna jest kompleksowa ocena właściwości techniczno-użytkowych systemu elewacyjnego (z materiałami zastosowanymi

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej

²⁾ Akademia Techniczno-Artystyczna Nauk Stosowanych w Warszawie

^{*)} Correspondence address: o.kopylow@itb.pl

of the technical and service performance of the façade system (with reused materials) is necessary to confirm its durability, suitability, user safety (including fire safety), thermal insulation performance and, increasingly, acoustics. An issue requiring separate consideration is the growing use of façade elements incorporating PV cells, primarily BIPV [5], whose energy-saving merits will soon be confronted with the challenges at end-of-life. Their reuse and recycling require overcoming both technical and economic barriers [2].

The reuse of building materials in façade systems is feasible and beneficial from both environmental and economic perspectives. It allows several energy-intensive and costly stages in the life cycle of construction materials – such as raw material extraction, transportation and manufacturing – to be bypassed. To illustrate the scale of the positive environmental impact of reusing dismantled façade materials, example values of total Global Warming Potential for various construction materials used in façade works are presented (Table 1).

The aim of the article is to present the fundamental issues related to the reuse of building materials in façade systems most commonly used in contemporary construction: curtain walls, ventilated façades and cavity walls.

powtórnie), potwierdzająca jego trwałość, przydatność, bezpieczeństwo użytkowe (w tym przeciwpożarowe), właściwości termoz izolacyjne oraz, coraz częściej, akustyczne. Zagadnieniem wymagającym oddzielnego omówienia są coraz popularniejsze elementy elewacyjne z ogniw PV, przede wszystkim BIPV [5], których walory energooszczędne zostaną w niedługim czasie skonfrontowane z wyzwaniami związanymi z końcem cyklu życia produktu. Ich ponowne wykorzystanie (reuse) i recykling wymagają pokonania barier technicznych i ekonomicznych [2].

Powtórne zastosowanie materiałów budowlanych w systemach elewacyjnych jest możliwe i korzystne z punktu widzenia ekologii i ekonomii. Pozwala na pominięcie kilku energochłonnych i kosztownych etapów w cyklu życia materiałów budowlanych, takich jak wydobycie i dostawa surowców oraz wytwarzanie. W celu zrozumienia skali pozytywnego wpływu na środowisko powtórnego stosowania materiałów elewacyjnych z rozbiórki przedstawiono przykładowe wartości potencjału tworzenia efektu cieplarnianego (wartość całkowita) w przypadku różnych materiałów budowlanych stosowanych w pracach elewacyjnych (tabela 1).

Celem artykułu jest przedstawienie podstawowych problemów dotyczących powtórnego zastosowania materiałów budowlanych w najczęściej stosowanych we współczesnym budownictwie: ścianach osłonowych, elewacjach wentylowanych oraz ścianach szczelinowych.

Table 1. Environmental impact of selected cladding building materials (during the production stage)

Tabela 1. Oddziaływanie na środowisko wybranych elewacyjnych materiałów budowlanych (na etapie produkcji)

Name of building material/ Nazwa materiału budowlanego	Total Global Warming Potential [kg CO ₂ eq.]/ Całkowity potencjał tworzenia efektu cieplarnianego [kg CO ₂ eq.]	Source/Źródło
Clinker brick/Cegła klinkierowa, 1 kg	1.42E-01	Environmental Declaration No. 486/2023/ Deklaracja Środowiskowa nr 486/2023
Cladding in the form of ceramic roof tiles, 1 tonne/ Okładzina w postaci dachówek ceramicznych, 1 tona	2,60E+02	Environmental Declaration No. 643/2024/ Deklaracja Środowiskowa nr 643/2024
Fibre-cement cladding, 1 m ² / Okładzina włókno-cementowa, 1 m ²	2,22E+00	Environmental Declaration No. B-EPD 21-0135-03-00-00-PL/ Deklaracja Środowiskowa nr B-EPD nr 21-0135-03-00-00-PL
Clinker tiles, 1 m ² / Płytki klinkierowe, 1 m ²	1,51E+01	Environmental Declaration No. 296/2022/ Deklaracja Środowiskowa nr 296/2022
Steel façade brackets for cavity walls, 1 kg/ Konsole elewacyjne stalowe do murów warstwowych, 1 kg	4.43E+0	Environmental Declaration No. EPD-JDL-20200259-IBA1-EN/ Deklaracja Środowiskowa nr EPD-JDL-20200259-IBA1-EN
Aluminium profiles, 1 kg/ Profile aluminiowe, 1 kg	3.47E-01	Environmental Declaration No. 348/2022/ Deklaracja Środowiskowa nr 348/2022

Characteristics of Ventilated Façades

Ventilated façades are among the most widespread façade systems. In Poland, they have been widely used since the late 1990s in public buildings, residential buildings, and road (e.g. fuel stations) and railway infrastructure (station buildings). They consist of claddings – most often fibre-cement boards, composite panels, stone or ceramic tiles – mounted on a substructure, typically aluminium or steel, anchored to the outer wall. Thermal insulation, usually mineral wool, is placed between substructure elements (brackets and rails). To ensure air circulation that removes excess moisture from the mineral wool, a two-centimetre cavity is left between the cladding and the insulation. A typical ventilated façade layout is shown in Figure 1.

Charakterystyka elewacji wentylowanych

Elewacje wentylowane należą do grupy najbardziej rozpowszechnionych systemów elewacyjnych. W Polsce są powszechnie stosowane od końca lat dziewięćdziesiątych XX w. w przypadku budynków użyteczności publicznej, mieszkalnych oraz infrastruktury drogowej (np. stacje benzynowe) i kolejowej (dworce). Składają się z okładzin, najczęściej wykonanych z płyt włókno-cementowych, kompozytowych, kamienia lub płytek ceramicznych, które są montowane na podkonstrukcji zazwyczaj aluminiowej lub stalowej, mocowanej do ściany zewnętrznej. Pomiedzy elementami podkonstrukcji (konsolami i łatami) umieszczana jest termoizolacja, zazwyczaj z wełny mineralnej. W celu zapewnienia cyrkulacji powietrza pozwalającego odprowadzać nadmiar wilgoci z wełny mine-

The most common reasons for replacing ventilated façades installed in 1990 – 2010 are:

- low energy efficiency due to thermal bridges under brackets or insufficient thickness of thermal insulation;
- non-compliance of the façade system with current fire-safety requirements (at the turn of the 21st century, ventilated façades were not comprehensively assessed in terms of non-flaming behaviour and panel fallout under fire exposure);
- damage and loss of aesthetic qualities of claddings or substructure.

Metal substructures in ventilated façades (Photo 1) are practically unsuitable for reuse. This is due to their susceptibility to damage during installation (perforations at mechanical fasteners, deformations introduced to achieve a flat and plumb plane for claddings), service wear (owing to continuously repeating pulsating wind loads at bent connections, progressive micro-cracking may occur) and mechanical damage due to impacts on claddings (most often at ground level).

In the case of claddings bonded to the vertical or horizontal rails of the substructure, adhesive contamination may be present. Therefore, dismantled substructure components should be sorted, cleaned and recycled.

Thermal insulation in ventilated façades is generally unsuitable for reuse. During service, mineral wool often loses density due to wind scour of fibres, bulking (Photo 2) or slippage, and the wind-tight veil degrades.

The most suitable for reuse are claddings attached to the substructure by snap-fit mechanical systems (Figure 2a), bonded to the grid (Figure 2b), or fixed using stone anchors (Figure 2c). They typically exhibit the least mechanical damage compromising their mechanical properties – primarily flexural strength. From the material standpoint, claddings most often reused are fibre-cement, ceramic and stone.

When reusing fibre-cement claddings, attention should be paid

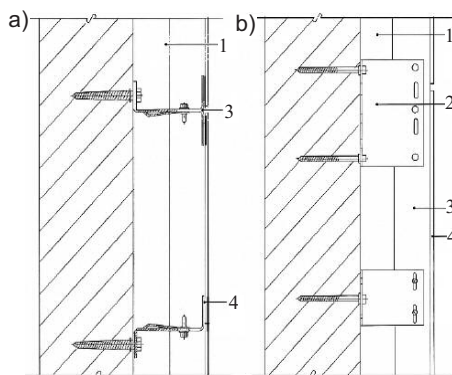


Fig. 1. Scheme of a typical ventilated facade:
a) horizontal section; b) vertical section:
1 – thermal insulation; 2 – bracket; 3 – vertical profile (batten); 4 – façade cladding

Fig. O. Kopyłow

Rys. 1. Schemat typowej elewacji wentylowanej:
a) przekrój poziomy; b) przekrój pionowy: 1 – termoizolacja; 2 – konsola; 3 – pionowy profil (lata); 4 – okładzina elewacyjna

Rys. O. Kopyłow



Photo 1. Aluminum bracket with mounting deformations

Photo: O. Kopyłow

Fot. 1. Aluminiowa konsola z montażowymi deformacjami

Fot.: O. Kopyłow

W związku z tym, zdemontowane podkonstrukcje powinny być poddawane segregacji, czyszczeniu i recyklingowi.

Termoizolacja w elewacjach wentylowanych zazwyczaj nie nadaje się do powtórznego wykorzystania. W trakcie eksploatacji wełna mineralna często traci gęstość wskutek wywiewania jej drobnych fragmentów, rozprężenia się (fotografia 2) lub osuwania, a welon przeciwwiatrowy ulega degradacji.



Photo 2. Expanded mineral wool with damaged wind barrier

Photo: O. Kopyłow

Fot. 2. Rozprężona wełna mineralna z uszkodzonym welonem wiatrowym

Fot. O. Kopyłow

ralnej, pomiędzy okładzinami a termoizolacją pozostawiana jest dwucentymetrowa szczelina. Typowy schemat elewacji wentylowanej przedstawiono na rysunku 1.

Najczęstszymi przyczynami wymiany elewacji wentylowanych wykonanych w okresie lat 1990 – 2010 są:

- mała efektywność energetyczna związana z występowaniem mostków termicznych pod konsolami lub niewystarczającą grubością termoizolacji;
- niespełnienie przez system elewacyjny współczesnych wymagań bezpieczeństwa pożarowego (na przełomie XX i XXI w. elewacje wentylowane nie były kompleksowo oceniane w zakresie NRO oraz odpadania w przypadku oddziaływania ognia);
- uszkodzenia i utrata walorów estetycznych okładzin lub podkonstrukcji.

Podkonstrukcje metalowe w elewacjach wentylowanych (fotografia 1) praktycznie nie nadają się do powtórznego wykorzystania. Jest to związane z ich podatnością na uszkodzenia w trakcie montażu (perforacja w miejscach występowania łączników mechanicznych, deformacje związane z uzyskaniem równej i pionowej płaszczyzny pod okładziną), zużyciem eksploatacyjnym (ze względu na występowanie ciągle powtarzającego pulsującego obciążenia wiatrem na połączeniach giętych mogą występować postępujące mikrospeknięcia) oraz uszkodzeniami mechanicznymi wskutek uderzeń w okładzinę (najczęściej na poziomie parteru).

W przypadku okładzin elewacyjnych klejonych do podkonstrukcji pionowej lub poziomej łaty mogą być zanieczyszczone klejem.

W związku z tym, zdemontowane podkonstrukcje powinny być poddawane segregacji, czyszczeniu i recyklingowi.

Termoizolacja w elewacjach wentylowanych zazwyczaj nie nadaje się do powtórznego wykorzystania. W trakcie eksploatacji wełna mineralna często traci gęstość wskutek wywiewania jej drobnych fragmentów, rozprężenia się (fotografia 2) lub osuwania, a welon przeciwwiatrowy ulega degradacji.

Najbardziej przydatne do powtórznego użytkowania są okładziny mocowane do podkonstrukcji zatrzaskowo (rysunek 2a) lub przyklejane do rusztu (rysunek 2b) lub mocowane za pomocą kotew kamieniarskich (rysunek 2c). Jest to związane z faktem, że wykazują najmniej uszkodzeń mechanicznych osłabiających ich właściwości mechaniczne, przede wszystkim odporność na zginanie. Z punktu widzenia materiału okładzin ponownie stosowane są najczęściej okładziny z włókno-cementu, ceramiki i kamienia.

W przypadku powtórznego zastosowania okładzin z włókno-cementu należy zwrócić uwagę na

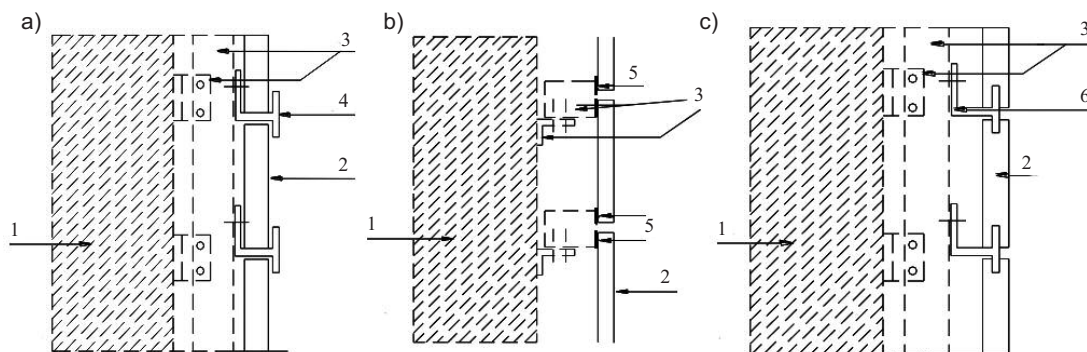


Fig. 2. Ventilated façade systems with different types of cladding attachment: a) mechanical snap fastening; b) adhesive fastening; c) fastening using stone anchors; 1 – wall; 2 – cladding; 3 – substructure (bracket and batten); 4 – metal snap element; 5 – adhesive; 6 – stone anchor

Fig. developed based on [1]

Rys. 2. Systemy elewacji wentylowanych z różnymi typami mocowania okładzin: a) mechaniczne mocowanie zatrzaskowe; b) mocowanie klejowe; c) mocowanie przy użyciu kotew kamieniarskich; 1 – ściana; 2 – okładzina elewacyjna; 3 – podkonstrukcja (konsola i lata); 4 – metalowy element zatrzaskowy; 5 – klej; 6 – kotwa kamieniarska

Rys. opracowanie na podstawie [1]

to discoloration and flatness (Photo 3). Discoloured panels may exhibit up to 30% lower flexural strength compared to the initial value [3].

To confirm the actual strength parameters of reused fibre-cement boards, flexural resistance testing in the longitudinal and transverse directions in accordance with PN-EN 12467+A2:2018-06 [7] is required. These parameters are necessary to design the ventilated façade. For ceramic tiles, the use of elements with visible cracks is inadmissible; flexural strength must be determined according to PN-EN 14411:2016-09 [9]. For stone claddings, elements with visible rust stains (indicating high iron content), local damage in the form of cracks and losses, and damage around stone anchors must not be used. Flexural strength of stone cladding is determined in accordance with PN-EN 12372:2022-08 [6].

Samples for laboratory tests are taken at random. Determination of mechanical properties after freeze – thaw cycles or warm-water immersion (for fibre-cement claddings), as well as resistance to thermal shock, may be omitted because the claddings have naturally been exposed to climatic effects. When reusing claddings in ventilated façades, the resistance of the entire system (cladding with substructure) must be determined with respect to:

- **impact** – the test result determines permissible application zones of the façade system (e.g. public-access zones or zones not exposed to human action);
- **action of a horizontal force** – performed to assess the possibility of leaning a ladder on the façade or cleaning by rope-access teams;
- **wind pressure and suction** – determines applicability of the façade in a given wind zone;



Photo 3. Discolorations on the removed fibre-cement cladding, which may indicate decreased strength properties

Photo: O. Kopyłow

Fot. 3. Przebarwienia na zdemonstrowanej okładzinie włóknisto-cementowej mogącej być przejawem obniżenia właściwości wytrzymałościowych

Fot. O. Kopyłow

ich przebarwienia i płaskość (fotografia 3). Przebarwione okładziny mogą mieć nawet o 30% mniejszą wytrzymałość na zginanie od początkowej [3].

W celu potwierdzenia rzeczywistych parametrów wytrzymałościowych ponownie stosowanych płyt włóknisto-cementowych, konieczne jest wykonanie badań odporności na zginanie w kierunku podłużnym i poprzecznym wg normy PN-EN 12467+A2:2018-06 [7]. Parametry te są niezbędne do zaprojektowania elewacji wentylowanej. W przypadku płytek ceramicznych niedopuszczalne jest zastosowanie elementów z widocznymi pęknięciami. Konieczne jest określenie wytrzymałości na zginanie wg PN-EN 14411:2016-09 [9]. Z kolei

w przypadku okładzin kamiennych nie należy stosować elementów z widocznymi plamami rdzy, które świadczą o dużej zawartości żelaza, miejscowymi uszkodzeniami w postaci pęknięć i ubytków oraz z uszkodzonymi fragmentami przy kotwach kamieniarskich. Odporność na zginanie okładziny kamiennej określa się wg PN-EN 12372:2022-08 [6].

Próbki do badań laboratoryjnych pobiera się w sposób losowy. Można pominąć określenie cech mechanicznych po cyklach zamrażania – rozmrażania lub leżakowania w ciepłej wodzie (w przypadku okładzin włóknisto-cementowych) oraz odporności na szok termiczny, ponieważ okładziny w sposób naturalny zostały poddane oddziaływaniu warunków klimatycznych. W przypadku ponownego wykorzystania okładzin w elewacjach wentylowanych **konieczne jest określenie odporności całego systemu (okładziny z podkonstrukcją) na:**

- **uderzenie** – wynik badania decyduje o możliwych miejscach zastosowania systemu elewacyjnego (np. strefy dostępne dla ogółu lub strefy nienarażone na działanie ludzi);
- **działanie siły poziomej** – badanie jest wykonywane w celu oceny możliwości oparcia o elewację drabiny lub mycia przy pomocy ekip alpinistycznych;
- **parcie i ssanie wiatru** – badanie decyduje o możliwości zastosowania elewacji w konkretnej strefie wiatrowej;
- **działanie siły pionowej** – badanie jest kluczowe z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkowania systemu elewacyj-

■ **action of a vertical force** – key for user safety. If one cladding panel slips (e.g. due to a fixing failure), the panel below should carry the weight of the upper element.

The above tests are performed in accordance with EAD 090062-00-0404 [1].

Manufacturers of ventilated façades are increasingly, in line with circular construction principles and following in-depth laboratory analyses, opting to reuse their products. An interesting example is the refurbishment of the Nij Smellinghe Hospital façade (the Netherlands), with an area of 10,000 m², where approximately 80% of fibre-cement claddings were reused.

Curtain Walls

A curtain wall (Photo 4) is the external wall of a building composed of interconnected vertical mullions and horizontal transoms of the load-bearing frame, most commonly made of metal, timber or PVC-U, and fixed to the building's load-bearing structure. Lightweight curtain walls thus form a continuous enclosure of the building's interior that – independently or together with the primary structure – performs all typical functions of an external wall except the load-bearing function. The spaces between mullions and transoms can be filled with transparent components (e.g. insulating glass units) or opaque infills (e.g. stone or aluminium claddings).

The first curtain wall in Poland, in the contemporary sense, was the wall of the Marriott Hotel in Warsaw, built in 1989. During service, curtain walls are exposed to, inter alia: UV radiation; freeze – thaw cycles; cyclic dynamic wind loads; chemicals (during washing or airborne pollutants); and anthropogenic loads (impacts from outside and inside, users leaning against wall components), etc. Deterioration most frequently results from gasket ageing, which leads to water leakage and increased air infiltration, as well as seal failure of insulating glass units, ultimately reducing the façade's thermal insulation performance. Older profiles may also fail to meet current thermal requirements [4].

Not every element of a curtain wall can be recycled or reused. Due to possible micro-damage, insulating glass units are not suitable for reuse: a minimal edge chip caused during dismantling may lead to pane failure under wind load in the new application. For recycling, laminated glass, fire-resistant gel-filled units and surface-coated glass are typically excluded due to cleaning and reprocessing difficulties (metallic coatings may contaminate remelted

nego. W przypadku osunięcia się jednej z okładzin (np. wskutek uszkodzenia mocowania) niżej położona okładzina powinna przenieść ciężar wyżej położonego elementu.

Wymienione badania wykonywane są wg EAD 090062-00-0404 [1].

Coraz częściej producenci elewacji wentylowanych, działając w myśl zasad cyrkularnego budownictwa, po dokonaniu dogłębnych analiz laboratoryjnych decydują się na ponowne zastosowanie swoich wyrobów. Ciekawym przykładem jest projekt modernizacji elewacji szpitala w Nij Smellinghe (Niderlandy), o powierzchni 10 tys. m², gdzie ponownie wykorzystano ok. 80% okładzin elewacyjnych z włókno-cementu.

Ściany osłonowe

Ściana osłonowa (fotografia 4) nazywana jest zewnętrzną ścianą budynku i składa się z połączonych między sobą pionowych oraz poziomych elementów szkieletu nośnego najczęściej wykonanych z metalu, drewna lub PVC-U i przymocowanych do konstrukcji nośnej budynku. Lekkie ściany osłonowe tworzą więc ciągłą osłonę przestrzeni wewnętrznej budynku, która samodzielnie lub wraz z konstrukcją nośną obiektu pełni wszystkie typowe funkcje ściany zewnętrznej, poza nośną. Wypełnienie przestrzeni między pionowymi i poziomymi elementami szkieletu może być przeźierne (np. z szyb zespolonych) lub nieprzeźierne (np. okładziny kamienne, aluminiowe itp.).

Pierwszą, we współczesnym rozumieniu ścianą osłonową w Polsce była ściana hotelu Marriott w Warszawie wybudowanego w 1989 r. W trakcie eksploatacji obiektu ściany osłonowe narażone są na oddziaływanie m. in.: promieniowania UV; cykli zamrażania – rozmrażania; powtarzających się cyklicznie dynamicznych obciążeń wiatrem, chemikaliów (podczas mycia lub związków chemicznych zawartych w powietrzu), obciążeń antropogenicznych (uderzeń od zewnątrz i wewnątrz, oparcia użytkowników o elementy składowe ściany) itp. Najczęściej ulegają destrukcji wskutek starzenia się uszczeltek, co prowadzi do przecieków wody i zwiększonej infiltracji powietrza, a także rozszczelnienia się szyb zespolonych, a w efekcie obniżenia właściwości termoizolacyjnych elewacji oraz niespełnienia aktualnych wymagań termoizolacyjnych profili [4].

Nie każdy element ściany osłonowej może być poddany recyklingowi lub powtórnemu wykorzystaniu. Ze względu na możliwe mikrouszkodzenia powtórnemu wykorzystaniu nie podlegają szyby zespolone: minimalne wyszczerbienie na krawędzi szyb powstałe podczas demontażu może prowadzić do jej uszkodzenia podczas obciążenia wiatrem w nowym zastosowaniu. Ze względu na problemy z czyszczeniem szkła i dalszą przeróbką nie poddaje się recyklingowi szyb laminowanych, wypełnionych żelą przeciwoogniowym oraz szyb barwionych powierzchniowo (warstwa napylenia metalami może stanowić źródło zanieczyszczenia przetopionej masy szklanej). Najczęściej powtórnemu wykorzystaniu oraz recyklingowi poddawane są profile metalowe ścian osłonowych pod warunkiem, że nie uległy uszkodzeniom mechanicznym i nie

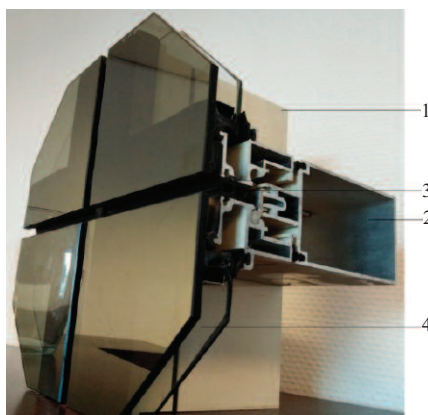


Photo 4. Model of a typical lightweight curtain wall: 1 – mullion; 2 – transom; 3 – sealing and thermal insulation fastening element; 4 – double-glazed unit

*Photo: O. Kopyłow
Fot. 4. Model typowej lekkiej ściany osłonowej: 1 – słup; 2 – rygiel; 3 – element mocowania uszczelnienia i termoizolacji; 4 – szyba zespolona*

Fot. O. Kopyłow

glass). Most often, metal profiles of curtain walls are reused or recycled provided they have not suffered mechanical damage, deformation or corrosion. Recycling 1 tonne of aluminium saves 6 tonnes of bauxite and 9 tonnes of CO₂ emissions. Contemporary design offices increasingly seek to specify products containing recycled components at the design stage to reduce a project's environmental footprint. An example is the aluminium curtain wall of the Mercator One building in Duisburg, designed by Hadi Teherani Architects of Hamburg. The mullions and transoms were made from aluminium originating from demolition projects. In addition, up to 75% of the curtain-wall profiles can be recycled again after service life.

When reusing profiles in curtain walls (with new gaskets and different insulating glass), it is necessary to determine the technical and service properties of the curtain wall in accordance with PN-EN 13830:2015-06 [8], including thermal properties. In many cases, previously used profiles do not meet present-day thermal conductivity requirements and require modifications, e.g. by introducing: high-performance thermal breaks between adjacent panes (Figures 3a, b, e); insulation under the cover/pressure plate (Figure 3c); or wrapping profiles with a high-performance insulant such as aerogel (Figure 3d).

zostały zdeformowane lub nie są skorodowane. Recykling 1 tonny aluminium pozwala zaoszczędzić 6 ton boksytu i 9 ton emisji CO₂. Nowoczesne biura projektowe coraz częściej na etapie projektowania ścian osłonowych starają się proponować wyrób zawierający elementy pochodzące z recyklingu, w celu ograniczenia negatywnego wpływu inwestycji na środowisko. Przykładem jest aluminiowa ściana osłonowa budynku Mercator One w mieście Duisburg zaprojektowana przez Hadi Teherani Architects z Hamburga. Słupy i rygle ściany osłonowej wykonano z aluminium pochodzącego z projektów rozbiórkowych. Dodatkowo profile ze ściany osłonowej mogą być w 75% ponownie zrecyklingowane po zakończeniu eksploatacji.

W przypadku powtórnego wykorzystania profili w ścianach osłonowych (po zastosowaniu nowych uszczeltek, innych szyb zespolonych) konieczne jest określenie właściwości techniczno-użytkowych ściany osłonowej wg PN-EN 13830:2015-06 [8], w tym właściwości termoisolacyjnych. W wielu przypadkach wcześniej użytkowane profile nie spełniają współczesnych wymagań dotyczących przewodnictwa cieplnego i wymagają modyfikacji np. przez wprowadzenie: wysokoefektywnych przekładek termicznych pomiędzy sąsiadującymi szybami (rysunek 3 a, b, e); termoizolacji pod listwą maskującą/dociskową (rysunek 3c) lub oklejenie profili wysokoefektywnym termoizolatorem, np. aerogelem (rysunek 3d).

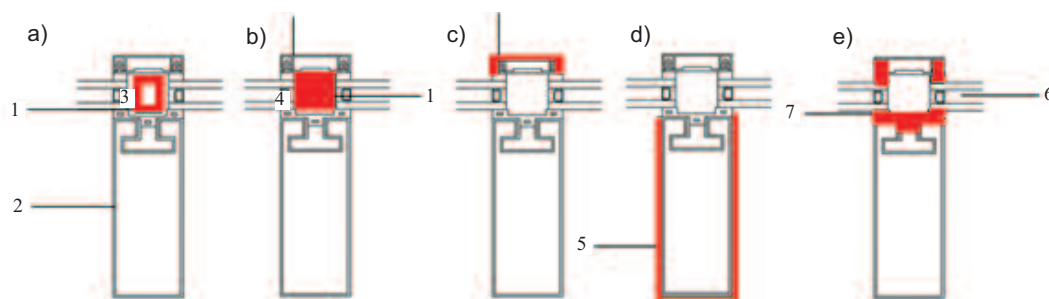


Fig. 3. Possible directions for wall profile thermomodernization (red lines indicate the locations for installing thermal insulation inserts). A detailed description is provided in the text: 1 – thermal insulator in the profile; 2 – mullion or post; 3 – cover/pressure strip; 4 – substrip insulator; 5 – high-performance insulator on the profile; 6 – double-glazed window; 7 – insulator under the profile

Fig. O. Kopyłow

Rys. 3. Możliwe kierunki termomodernizacji profili ściany osłonowej (czerwonymi liniami pokazano miejsca wprowadzenia wkładek termoizolacyjnych). Szczegółowy opis w tekście: 1 – termoizolator w profilu; 2 – rygiel lub słup; 3 – listwa maskująca/dociskowa; 4 – izolator podlistwowy; 5 – wysokoefektywny termoizolator na profilu; 6 – szyba zespolona; 7 – termoizolator pod profilem

Rys. O. Kopyłow

Cavity Walls

A cavity wall consists of an inner load-bearing wall and a separated outer masonry veneer made of brick or stone (Figure 4). To achieve the required thermal transmittance, the cavity is filled with thermal insulation, while an air space is left between the veneer and the insulation to allow the insulation to dry.

For the veneer, reclaimed bricks and stone blocks are frequently used. Masonry units should meet strength requirements confirmed by testing. The minimum compressive strength of blocks made of light limestones should be not less than 5 MPa. The thickness of the veneer should be at least 70 mm. Cracked stone blocks must not be used (Photo 5). When using reclaimed ceramic bricks, it must be demonstrated that their compressive strength is ≥ 7.5 MPa.

Ściany szczelinowe

Ściana szczelinowa składa się z wewnętrznej ściany nośnej i z odsuniętej od niej zewnętrznej murowanej warstwy elewacyjnej z cegły lub kamienia (rysunek 4). W celu uzyskania odpowiedniego współczynnika przenikania ciepła, szczelina ściany jest wypełniana materiałem termoizolacyjnym, ale pomiędzy warstwą elewacyjną a termoizolacyjną pozostawiana jest szczelina wentylacyjna pozwalająca na osuszenie termoizolacji.

Do wykonania warstwy elewacyjnej bardzo często wykorzystuje się cegły porozbiórkowe oraz bloki kamienne. Elementy murarskie powinny spełniać wymagania wytrzymałościowe, potwierdzone badaniami. Minimalna wytrzymałość na ściskanie bloczków z lekkich wapieni nie powinna być mniejsza niż 5 MPa. Grubość warstwy elewacyjnej powinna być nie mniejsza niż 70 mm. Nie wolno stosować pękniętych bloków ka-

Masonry products should have a declaration of conformity with PN-EN 771-1+A1: 2015-10 [10]. It is important to determine the content of active soluble salts in the product, which, in contact with moisture, may cause efflorescence and staining and, consequently, have a detrimental effect on the wall ties connecting the veneer to the structural wall. One of the most interesting façades made of reclaimed bricks is the façade of the History Museum in Ningbo (Photo 6).

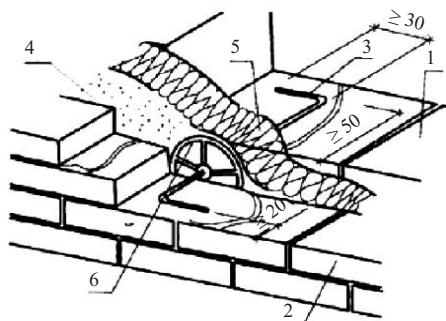


Fig. 4. Diagram of the cavity wall according to ITB Instructions [11]: 1 – load-bearing wall, 2 – brick veneer, 3 – anchor, 4 – air space, 5 – insulation, 6 – insulation compression disc

Rys. 4. Schemat muru szczelinowego wg Instrukcji ITB [11]: 1 – warstwa konstrukcyjna, 2 – warstwa elewacyjna, 3 – kotwa, 4 – szczelina wentylowana, 5 – izolacja, 6 – krążek dociskowy izolacji



Photo 5. Damaged elements in the layered wall
*Photo: O. Kopyłow
Fot. 5. Uszkodzone elementy w murze warstwowym
Fot. O. Kopyłow*

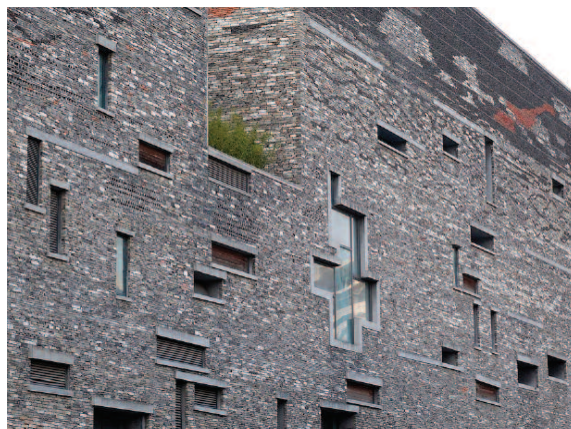


Photo 6. Elevation of the Historical Museum in Ningbo
*Photo: Wikipedia, Autor: Siyuwj, building designed by Wang Shu
Fot. 6. Elewacja muzeum historycznego w Ningbo
Fot.: Wikipedia, Autor: Siyuwj, building designed by Wang Shu*

Conclusions

For the safe reuse of building materials, laboratory tests of façade components and of façade systems as a whole are required, in accordance with applicable standards. Technical regulations in the European Union do not explicitly address building materials reused in façade systems. To align technical regulations with the EU's circular-economy policy for the construction sector, recent years have seen intensified analytical and research efforts into technologies and assessment methods for post-demolition materials. These efforts aim to enable a more precise determination of their suitability for reuse. Façade systems constitute an important research area that can significantly contribute to sustainable development.

An essential challenge is the integration of deconstruction technologies with the concept of material reuse. The drive to

miennych (fotografia 5). W przypadku zastosowania cegły ceramicznej z rozbiórki należy wykazać, że jej wytrzymałość na ściskanie jest $\geq 7,5$ MPa. Wyroby do murowania powinny mieć deklarację zgodności z PN-EN 771-1+A1:2015-10 [10]. Istotne jest określenie zawartości w wyrobie aktywnych soli rozpuszczalnych, które w kontakcie z wilgocią mogą powodować wykwyty i przebarwienia, a w efekcie mieć destrukcyjny wpływ na kotwy montażowe łączące część elewacyjną ściany z konstrukcyjną. Jednym z najciekawszych rozwiązań elewacyjnych wykonanych z cegieł pochodzących z rozbiórki jest elewacja muzeum w Ningbo (fotografia 6).

Wnioski

W celu bezpiecznego powtórnego zastosowania materiałów budowlanych konieczne jest wykonanie badań laboratoryjnych elementów składowych elewacji oraz systemów elewacyjnych (jako całości), zgodnie z obowiązującymi normami. Przepisy techniczne w Unii Europejskiej nie odnoszą się wprost do materiałów budowlanych wykorzystywanych powtórnie w systemach elewacyjnych. W celu dostosowania przepisów technicznych do polityki UE dotyczącej gospodarki cyrkularnej w sektorze budowlanym, w ostatnich latach obserwuje się pogłębienie prac analityczno-badawczych nad technologiami i metodami oceny właściwości materiałów porzecznych. Mają one umożliwić bardziej precyzyjne określenie ich przydatności do ponownego zastosowania. Systemy elewacyjne stanowią istotny obszar badań, który w znaczny sposób może przyczynić się do zrównoważonego rozwoju.

minimise waste and maximise resource use requires the development of innovative construction methods that facilitate dismantling and selective sorting of materials. A major element of future activities related to the reuse of building materials in façade systems is the development of technologies for their cleaning and refurbishment, along with comprehensive recycling procedures covering both sorting guidelines and methods for assessing the quality of materials after dismantling – measures that will increase the degree of their reuse. The discussion on reuse challenges should also consider legislative and economic aspects. It is necessary to develop legal mechanisms that promote recycling and reuse while ensuring stringent safety and quality standards. Equally important is to develop economic models and support schemes for investors and contractors that incentivise the use of recycled materials, e.g. through tax reliefs or environmental certification.

The future of building-material reuse in façade systems depends on technological progress and legislative frameworks that together support sustainable and safe solutions. Raising awareness of the environmental and economic benefits of reusing construction products is essential to the long-term development strategy of the construction sector. The implementation of innovative solutions in this area will significantly reduce environmental impacts while improving the safety and durability of façade systems, in line with global sustainability trends.

Received: 12.05.2025

Revised: 30.06.2025

Published: 19.09.2025

Istotnym wyzwaniem jest integracja technologii robót demontażowych z koncepcją powtórnego wykorzystania materiałów budowlanych. Dążenie do minimalizacji odpadów i maksymalizacji wykorzystania zasobów wymaga rozwoju innowacyjnych systemów robót budowlanych, które ułatwią demontaż i selektywną segregację materiałów.

Ważnym elementem przyszłych działań związanych z powtórnym wykorzystaniem materiałów budowlanych w systemach elewacyjnych jest opracowanie technologii ich oczyszczania i renowacji oraz kompleksowych procedur recyklingu, obejmujących zarówno wytyczne dotyczące segregacji, jak i metody oceny jakości materiałów po demontażu, co wpłynie na zwiększenie poziomu ich powtórnego wykorzystania.

Dyskusja nad problemami powtórnego zastosowania materiałów powinna uwzględniać aspekty legislacyjne i ekonomiczne. Konieczne jest opracowanie mechanizmów prawnych, które będą promować recykling i ponowne wykorzystanie materiałów, jednocześnie zapewniając spełnienie rygorystycznych norm bezpieczeństwa i jakości. Istotne jest także opracowanie modeli ekonomicznych i systemów wsparcia dla inwestorów i wykonawców, które będą zachęcały do stosowania materiałów z recyklingu, np. przez ulgi podatkowe czy certyfikaty ekologiczne.

Przyszłość powtórnego zastosowania materiałów budowlanych w systemach elewacyjnych zależy od rozwoju technologii i regulacji legislacyjnych, które wspólnie będą wspierać zrównoważone i bezpieczne rozwiązania. Konieczne jest zwiększenie świadomości na temat korzyści ekologicznych i ekonomicznych wynikających z powtórnego zastosowania wyrobów budowlanych, co stanowi kluczowy element długoterminowej strategii rozwoju sektora budowlanego. Wdrożenie innowacyjnych rozwiązań w tym obszarze pozwoli na znaczne ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko, a jednocześnie podniesie poziom bezpieczeństwa i trwałości systemów elewacyjnych, wpisując się w globalne trendy zrównoważonego rozwoju.

Artykuł wpłynął do redakcji: 12.05.2025 r.

Otrzymał poprawiony po recenzjach: 30.06.2025 r.

Opublikowano: 19.09.2025 r.

Literature

- [1] EAD 090062-00-0404 Kits for external wall claddings mechanically fixed, 2018.
- [2] Farrell et al. Technical challenges and opportunities in realising a circular economy for waste photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. DOI: 10.1016/j.rser.2020.109911.
- [3] Kopyłow O. Techniczne uwarunkowania wymiany okładzin włóknisto-cementowych podczas remontów elewacji wentylowanych, *Materiały Budowlane*. 2023. DOI: 10.15199/33.2023.06.02.
- [4] Kopyłow O. Ściany osłonowe. Konserwacja i naprawy. Rozdział książki: *Naprawy i wzmocnienia konstrukcji budowlanych. Konstrukcje metalowe, posadzki przemysłowe, lekka obudowa, rusztowania. Monografia Wzmacnianie konstrukcji stalowych. Posadzki przemysłowe T. 3*. 2025; s. 73-88. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Bielsko-Bialskiego. ISBN: 978-83-67652-33-9.

- [5] Marchwiński J. Fasady fotowoltaiczne. *Technologia PV w architekturze*. WSEiZ, 2012.
- [6] PN-EN 12372:2022-08 Metody badań kamienia naturalnego – Oznaczanie wytrzymałości na zginanie pod działaniem siły skupionej.
- [7] PN-EN 12467+A2:2018-06 Płyty płaskie włóknisto-cementowe – Właściwości wyrobu i metody badań.
- [8] PN-EN 13830:2015-06 Ściany osłonowe. Norma wyrobu.
- [9] PN-EN 14411:2016-09 Płytki ceramiczne – Definicja, klasyfikacja, właściwości, ocena i weryfikacja stałości właściwości użytkowych i znakowanie.
- [10] PN-EN 771-1+A1:2015-10 Wymagania dotyczące elementów murowych – Część 1: Elementy murowe ceramiczne.
- [10] PN-EN 771-1+A1:2015-10 Wymagania dotyczące elementów murowych – Część 1: Elementy murowe ceramiczne.
- [11] Instrukcja ITB 341/96 Projektowanie i wykonywanie murowanych ścian szczelinowych.