

mgr inż. Łukasz Zawisłak^{1*)}

ORCID: 0000-0003-2828-5899

mgr inż. Paweł Staniów¹⁾

ORCID: 0000-0001-6266-293X

prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz¹⁾

ORCID: 0000-0001-6320-9539

Rodzaje podkonstrukcji elewacji wentylowanych ze szczególnym uwzględnieniem podkonstrukcji pasywnych

Types of substructures for ventilated facades with special emphasis on passive substructures

DOI: 10.15199/33.2021.09.02

Streszczenie. Elewacje wentylowane stają się coraz popularniejszym rozwiązaniem technicznym elewacji szczególnie tam, gdzie są stawiane duże wymagania dotyczące efektywności energetycznej budynku i dużego komfortu użytkownika. Elewacje takie spełniają oczekiwania najbardziej wymagających inwestorów i niewątpliwie, szczególnie w okresie letnim, ograniczają przewodzenie ciepła przez ciała stałe. Ponadto rozwój budownictwa efektywnego energetycznie i problematyka mostków termicznych spowodowały, że producenci podkonstrukcji systemów elewacji wentylowanych poszukują rozwiązań „pasywnych” konsol. W artykule zestawiono podział konstrukcji z uwagi na obowiązujący europejski dokument oceny EAD 090062-00-0404 [1] oraz rodzaj materiałów, z jakich są wykonane. Przedstawiono też rozwiązania konsol dla inwestorów wymagających maksymalnego ograniczenia strat energii spowodowanych przez mostki termiczne.

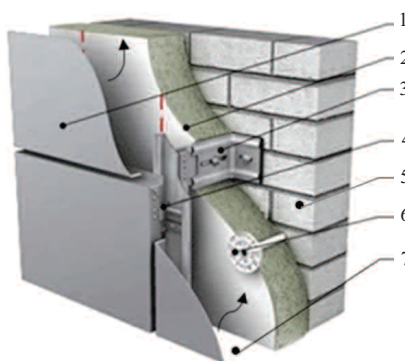
Słowa kluczowe: elewacje wentylowane; budownictwo efektywne energetycznie; ściany zewnętrzne; budownictwo pasywne.

Abstract. Ventiladed facades are becoming increasingly popular technical solution facades, especially where there are high demands on energy efficiency building and high thermal comfort of use. Ventiladed facades meet the expectations of the most demanding investors, especially in summer when conduction is restricted. In addition, the development of energy-efficient construction and the problems of thermal bridges caused that manufacturers of substructures of ventilated facade systems are looking for „passive” substructures solutions. The article presents the structure division due to the applicable EAD 090062-00-0404 [1] and the type of materials from which they are made. A solution was also presented consoles for investors who require maximum reducing energy losses caused by thermal bridges.

Keywords: ventiladed facades; energy-efficient construction; exterior walls; passive construction.

W budownictwie energooszczędnym i pasywnym bardzo dobrym rozwiązaniem są elewacje wentylowane. Na rysunku 1 przedstawiono schematyczne rozwiązanie systemu elewacji wentylowanej, z zastosowaniem podkonstrukcji w formie zimnogiętych profili pionowych oraz konsol.

Okładziny zewnętrzne (nazywane okładzinami elewacyjnymi) stosowane w elewacjach wentylowanych mogą być wykonane m.in. z płyt włóknisto-cementowych, płyt betonowych, elementów stalowych, ceramicznych i kompozytowych. Ze względu na estetykę i trwałość elewacje wentylowane są coraz częściej stosowane jako rozwiązania elewacyjne ściany zewnętrznej nowo budowanych obiektów, lecz



1 – okładzina elewacyjna; 2 – izolacja; 3 – konsola; 4 – profil pionowy podkonstrukcji; 5 – ściana zewnętrzna (podłoże); 6 – kołki do izolacji; 7 – przestrzeń wentylacyjna

Rys. 1. Przykładowe rozwiązanie systemowe elewacji wentylowanej [3]

Fig. 1. An example of a system solution for a ventilated facade [3]

również doskonale sprawdzają się w przypadku budynków poddawanych remontom.

Elewacja wentylowana to kompletny zestaw wyrobów budowlanych, które składają się na rozwiązanie systemowe.

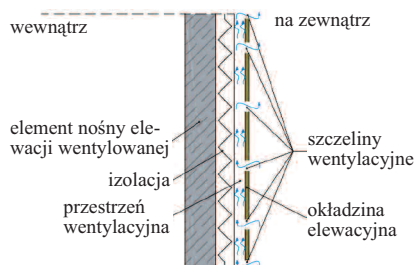
System elewacji wentylowanej jest wprowadzany do obrotu na polskim rynku na podstawie europejskiego dokumentu oceny EAD 090062-00-0404 [1]. Został on przyjęty w 2018 r. przez Europejską Organizację ds. Oceny Technicznej (EOTA) i w przypadku konkretnego systemu elewacji wentylowanej pozwala na uzyskanie Krajowej lub Europejskiej Oceny Technicznej (ETA). Ponadto poszczególne elementy systemu elewacji wentylowanej muszą dodatkowo spełniać wymagania krajowe. Elementem wyróżniającym elewację wentylowaną jest przestrzeń wentylacyjna znajdująca się między elewacyjną okładziną zewnętrzną, a warstwą izolacji lub w przypadku braku zastosowania tej warstwy – elementem konstrukcyjnym lub osłonowym ściany zewnętrznej (podłożem).

Przestrzeń wentylacyjna (pustka powietrzna), zgodnie z EAD 090062-00-0404 [1], powinna wynosić co najmniej 20 mm,

¹⁾ Politechnika Wroclawska; Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Adres do korespondencji: lukasz.zawislak@pwr.edu.pl

lecz lokalnie dopuszcza się jej zmniejszenie do 5 mm, pod warunkiem sprawdzenia, czy nie wpłynie to na funkcję sprawności całego systemu. Źródła literaturowe podają, że przestrzeń wentylacyjna może wynosić 20 – 50 mm [6, 9], co pokrywa się z wymaganiami EAD 090062-00-0404 [1]. Parametrem koniecznym, niezależnym od wymiaru przestrzeni wentylacyjnej, jest odpowiednie umożliwienie przepływu przez nią powietrza. Zapewnia to również odpowiednia liczba szczelin wentylacyjnych (rysunek 2).



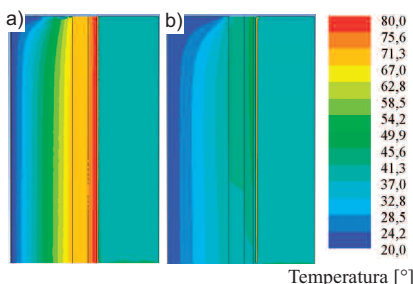
Rys. 2. Przepływ powietrza w przestrzeni wentylacyjnej
Fig. 2. The flow of air in air gap

Niewątpliwą zaletą elewacji wentylowanych jest redukcja przewodzenia ciepła przez ciała stałe, co znacznie zmniejsza zużycie energii na chłodzenie budynku w przypadku wysokiej temperatury i dużego nasłonecznienia. Przykładowe wyniki w przypadku skrajnie wysokiej temperatury na terenie Polski przedstawiono w [10]. Na podstawie symulacji termodynamicznych przegród wykazano, że redukcja przewodzenia ciepła przez ciała stałe, która wpływa na obniżenie temperatury na wewnętrznej krawędzi przegrody, wynosi 44%. Mapy temperatury przez przegrodę przedstawiono na rysunku 3 [10].

Obecnie w przypadku budynków biurowych, ze względu na dużą liczbę przeszkleń, energia wykorzystywana na chłodzenie może nawet wielokrotnie przewyższać ilość energii potrzebnej do ogrzania budynku w okresie zimowym.

Podział podkonstrukcji wg EAD 090062-00-0404 [1]

Jednym z podstawowych elementów elewacji wentylowanej jest podkonstrukcja składająca się z konsol oraz profili pionowych, poziomych lub pionowych i poziomych. Podkonstrukcja pozwala



Rys. 3. Rozkład mapy temperatury różnych rozwiązań elewacji: a) elewacja typu ETICS; b) elewacja wentylowana [10]

Fig. 3. Distribution of the temperature map of different versions of facades: a) ETICS type facade; b) ventilated facade [10]

na montaż okładziny w zadanej odległości, która uwzględni grubość izolacji termicznej (w przypadku jej występowania) oraz wymaganą przestrzeń wentylacyjną. Elementem dystansującym w podkonstrukcji jest konsola „przecinająca” izolację. Odległość powstała w wyniku montażu podkonstrukcji może być zmienna na wysokości ściany. Powstają w ten sposób ciekawe trójwymiarowe elewacje.

Podstawowym dokumentem przedstawiającym wymagania dotyczące elewacji wentylowanych jest EAD 090062-00-0404 [1], który porządkuje sposób montażu z uwzględnieniem technologii wykonania podkonstrukcji i okładziny. **Poszczególne typy elewacji wentylowanych to** (rysunek 4) [1]:

■ **typ A:** – okładziny zewnętrzne montowane są do podkonstrukcji za pomocą łączników mechanicznych, przechodzących przez okładzinę, takich jak np. gwoździe, śruby lub nity;

■ **typ B** – łączenie okładziny zewnętrznej z podkonstrukcją następuje przez np. wyfrezowanie otworów od wewnętrznej strony okładziny pod specjalne łączniki rozprężne, np. kotwy tylnonacinające, czy tylnowkrętki – rozwiązanie niewidoczne z zewnątrz;

■ **typ C** – w rozwiązaniu pojawia się mocowanie typu „T”, które utrzymuje okładzinę w specjalnie przygotowanych do tego otworach (przez „wcisk”);

■ **typ D** – elewacja wentylowana składa się z okładzin elewacyjnych, zintegrowanych z sąsiednimi elementami przez połączenie typu pióro-wpusz; okładziny są mechanicznie przymocowane do podkonstrukcji;

■ **typ E** – system składa się z okładzin elewacyjnych mechanicznie przy-

mocowanych do ramy pomocniczej; mocowanie jest na górnej krawędzi płyty okładzinowej i zamaskowane krawędzią płyty górnej; łączenie jest całkowicie niewidoczne z zewnątrz;

■ **typ F** – płyty okładzinowe są mocowane do ściany konstrukcyjnej przez widoczne z zewnątrz klipsy lub klamry bezpośrednio lub pośrednio przez dodatkową podkonstrukcję. W przeciwieństwie do typu C rozwiązanie nie wymaga wykonania otworów w okładzinie;

■ **typ G** – do podkonstrukcji montuje się ruszt w postaci wieszaków, na których mocuje się płyty z przygotowanymi zawieszami; rozwiązanie niewidoczne z zewnątrz;

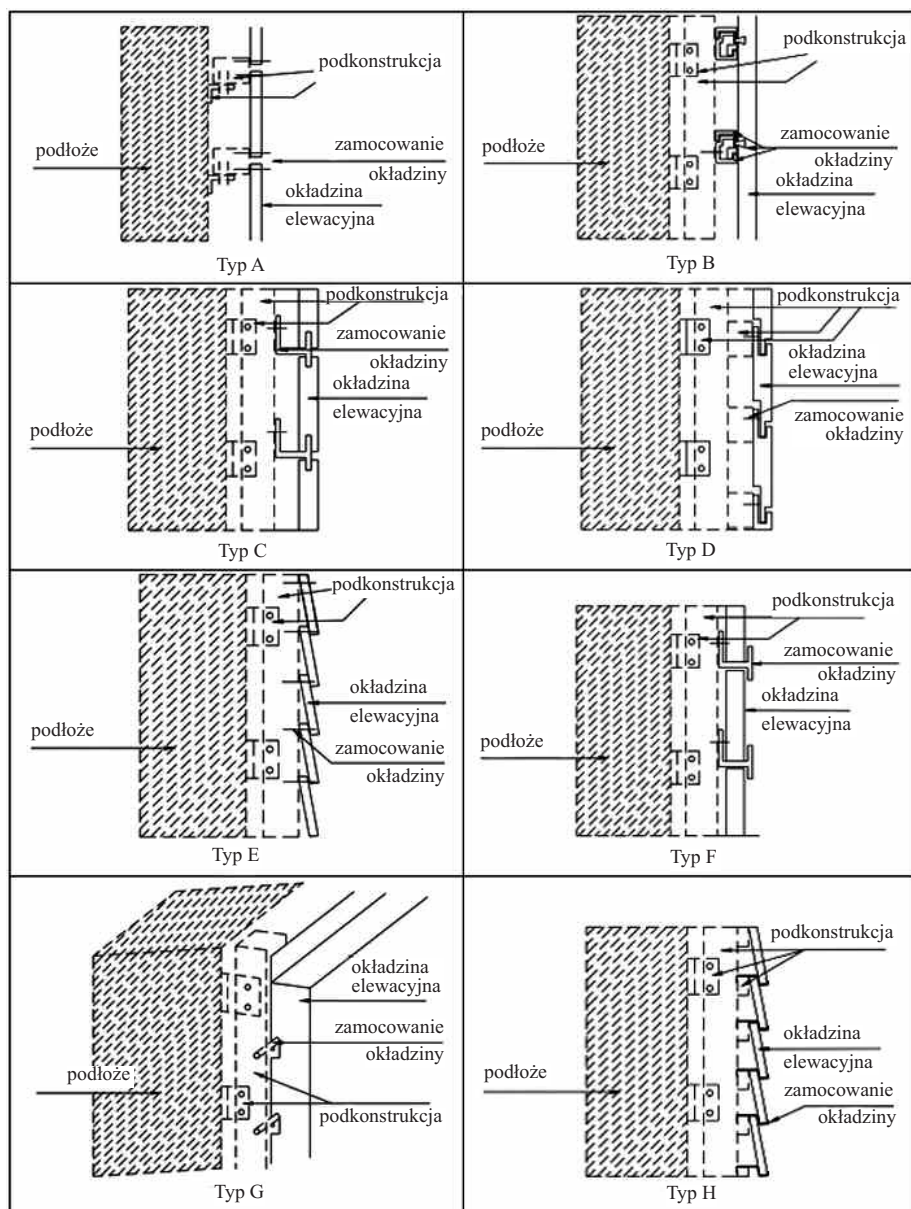
■ **typ H** – przypomina rozwiązanie E, natomiast w ruszcie tego typu występuje dodatkowy element poziomy, do którego montowane są płyty okładzinowe. Stosowanie dodatkowego elementu pozwala np. na regulację kąta nachylenia płyt.

W EAD 090062-00-0404 [1] nie występują połączenia adhezyjne i w świetle tego dokumentu są niedopuszczalne. W przypadku rozwiązań dostępnych na rynku **najpopularniejszymi typami podkonstrukcji są A i B.**

Rozwiązania materiałowe podkonstrukcji

Materiały, z jakich wykonywane są podkonstrukcje elewacji wentylowanych, to **aluminium lub stal** (różne stopy) oraz **drewno. Najczęściej stosuje się aluminium.** Jego parametry termiczne różnią się w zależności od zastosowanego stopu. Współczynnik przewodzenia ciepła wynosi 88 – 251 W/mK, natomiast współczynnik rozszerzalności termicznej ok. 23 $\mu\text{m}/\text{mK}$. Zgodnie z EAD 090062-00-0404 [1] parametry aluminium wykorzystywanego do produkcji podkonstrukcji powinny spełniać wymagania PN-EN 1999-1-1 [7]. Stopy stosowane do wykonywania podkonstrukcji elewacji wentylowanych charakteryzują się współczynnikiem przewodzenia ciepła ok. 160 W/mK.

Elementami składowymi podkonstrukcji są pionowe, poziome lub pionowe i poziome profile aluminiowe oraz konsole. Profile aluminiowe stosowane w podkonstrukcjach to najczęściej teownik lub kątownik. W ostatnich latach wielu producentów kształtuje je w spo-



Rys. 4. Podział sposobu montażu elewacji wentylowanych zgodnie z EAD 090062-00-0404 [1]
 Fig. 4. Classification of the assembly method of ventilated facades in accordance with EAD 090062-00-0404 [1]

sób indywidualny, uwypuklając ich zalety. Szerokość profilu, do którego mocowana będzie okładzina, wynika z wymaganego oparcia dwóch płyt na profilu oraz konieczności zachowania szczeliny dylatacyjnej między płytami, która powinna wynosić 8 – 12 mm [11].

Konsole to uchwyty, najczęściej w kształcie kątownika lub teowników, mocowane bezpośrednio do ściany za pomocą łączników mechanicznych. Wymagania dotyczące współczynnika przenikania ciepła [8] przegród są coraz większe, dlatego konsole pełnią szczególnie istotną rolę w aspekcie obliczania go. Dokonując wyboru konsoli, oprócz

parametrów izolacyjnych, należy wziąć pod uwagę również rodzaj i sposób mocowania okładziny, materiał z którego wykonana jest ściana, strefę wiatrową i korozyjną oraz ogniotrwałość (wraz ze spełnieniem warunków nośności okładziny oraz nieodpadania elementów w trakcie pożaru). Do konsoli przytwierdzony jest profil aluminiowy przy użyciu łącznika mechanicznego. Wysięg konsol warunkuje grubość projektowanej izolacji termicznej oraz przestrzeń wentylacyjną. Obecnie coraz więcej firm oferuje konsole wykonane na indywidualne zlecenie – zgodnie z wymiarami podanymi przez klienta.

Podkonstrukcje stalowe charakteryzują się lepszymi parametrami mechanicznymi i fizycznymi w porównaniu z aluminium. Parametry takie jak moduł sprężystości, temperatura topnienia, współczynnik przewodzenia ciepła, współczynnik rozszerzalności termicznej mają kluczowy wpływ na bezpieczeństwo użytkowania, bezpieczeństwo pożarowe oraz właściwości termoizolacyjne. W przypadku stali współczynnik przewodzenia ciepła wynosi ok. 58 W/mK, współczynnik rozszerzalności termicznej to ok. 12 $\mu\text{m/mK}$, a moduł Younga $E_s = 190 \div 210 \text{ GPa}$ (w przypadku aluminium ok. 69 GPa). Wymienione cechy stali powodują, że konstrukcje z niej wykonane przenoszą znacznie większe obciążenia niż konstrukcje aluminiowe o takich samych wymiarach. Konstrukcje stalowe w zestawieniu z aluminium znacznie dłużej utrzymują nośność i stateczność w warunkach pożaru. Mniejszy współczynnik przewodzenia ciepła powoduje również mniejsze mostki termiczne.

Podkonstrukcje stalowe, podobnie jak aluminiowe, tworzą konsole oraz profile stalowe mocowane, w zależności od układu okładziny zewnętrznej, w poziomie, pionie lub poziomie i pionie. Całość podkonstrukcji wykonuje się najczęściej ze stali nierdzewnej, rzadziej ze stali powlekanej. W celu zwiększenia wytrzymałości konsol stalowych na siłę pionową stosuje się dodatkowe profilowanie.

Chcąc ograniczyć mostki termiczne i przewodzenie ciepła zarówno w przypadku konsol aluminiowych, jak i stalowych, zaleca się używanie przekładki termoizolacyjnej na styku konsola-ściana. Poprawę właściwości termoizolacyjnych konsol stalowych i aluminiowych można uzyskać dzięki wykonaniu w nich perforacji.

Materiałem wykorzystywanym do tworzenia podkonstrukcji jest także drewno. Opis stosowania **podkonstrukcji drewnianych** oraz zalecenia dotyczące ich montażu przedstawiono w [12]. Jednym z najistotniejszych aspektów zapewnienia trwałości rusztów drewnianych jest odpowiednia impregnacja

drewna oraz zabezpieczenie go przed korozją biologiczną. Podkonstrukcje drewniane dodatkowo nie mogą być stosowane na ścianach oddzielenia przeciwpożarowego w rozumieniu warunków technicznych [8]. Dodatkowo niewielu producentów podkonstrukcji drewnianych może przedstawić odpowiednie dokumenty spełniające wymagania zawarte w § 225 W-T [8].

Głównym elementem składowym podkonstrukcji drewnianej są elementy pionowe – łąty montowane bezpośrednio do ściany lub przez przekładki dystansowe. Możliwe jest również mocowanie łąt do elementów poziomych (rygli). Całość tworzy wtedy ruszt krzyżowy.

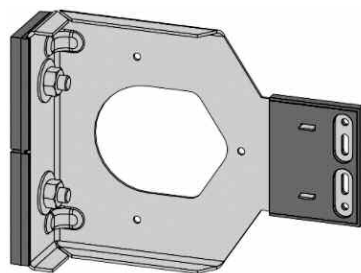
Do połączenia okładziny zewnętrznej i łąt wykorzystuje się wkręty do drewna, natomiast między płytą okładzinową a łątą należy umieścić przekładkę z taśmy EPDM ułatwiającą pracę płyty i podkonstrukcji oraz oddylatowującą elementy. Standardową podkonstrukcją drewnianą na łątach – bez konsol, stosuje się przeważnie na ścianach osłonowych, w których izolacja jest w wewnętrznej części ściany osłonowej, pomiędzy warstwami poszycia, a nie pomiędzy podkonstrukcją. W innym przypadku mostki wynikające z takiego rozwiązania byłyby bardzo duże.

Systemy podkonstrukcji elewacji wentylowanych budynków pasywnych

Wyśrubowane wymagania dotyczące minimalnego zużycia energii pierwotnej w przypadku budynków pasywnych spowodowały, iż producenci systemów podkonstrukcji zaczęli poszukiwać rozwiązań redukujących mostki termiczne w rozwiązaniach elewacji wentylowanych. Mostki termiczne powstają najczęściej przy łączeniu rusztu elewacji wentylowanych ze ścianą konstrukcyjną przez „przecięcie” izolacji termicznej przez konsole. W związku z tym producenci podkonstrukcji sukcesywnie wprowadzają pasywne systemy podkonstrukcji elewacji wentylowanych. Wraz ze wzrostem zapotrzebowania na budynki pasywne zwiększa się również wachlarz dostępnych rozwiązań elewacyjnych z minimalnymi mostkami termicznymi.

Głównym elementem różniącym podkonstrukcje pasywne od zwykłych

jest konsola, na której występują największe straty ciepła. Obecnie na rynku dostępnych jest kilka rozwiązań konsol ograniczających powstawanie mostków termicznych. Jedno z nich polega na wykonywaniu perforacji w konsolach, ograniczających straty ciepła. Konsole pasywne są na ogół wykonywane ze stali nierdzewnej, która charakteryzuje się mniejszym współczynnikiem przewodzenia ciepła niż aluminium. Na rysunku 5 przedstawiono konsolę pasywną z perforacją, wykonaną ze stali nierdzewnej, dodatkowo wyposażoną w izolatory termiczne na połączeniu z profilami pionowymi oraz podłożem.



Rys. 5. Pasywna, nierdzewna konsola z izolatorami termicznymi

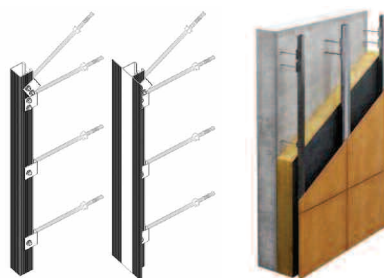
Źródło: <https://wido.pl/> [3]

Fig. 5. Passive, stainless console with thermal insulators

Kolejnym rozwiązaniem jest stosowanie konsol hybrydowych, w których część konsoli wykonywana jest z tworzywa sztucznego lub laminatu epoksydowo-szklanego, którego współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 0,36 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Istnieją również rozwiązania polegające na zastąpieniu konwencjonalnej konsoli, konsolą wykonaną z elementów prętowych (rysunek 6), co znacznie zmniejsza jej powierzchnię, liczbę mostków oraz pojemność cieplną.

Opisane systemy stosuje się w zależności od potrzeb oraz rodzaju robót przeprowadzanych w budynku – mo-



Rys. 6. Konsola z elementami prętowymi

Źródło: www.bspsystem.com [4]

Fig. 6. Console with bar elements

dernizacja lub wznoszenie nowego obiektu. Przedstawiane przez producentów, coraz powszechniej stosowane, pasywne systemy podkonstrukcji elewacji wentylowanych przyczyniają się w dużej mierze do ograniczenia strat ciepła, co wpisuje się w koncepcje budownictwa efektywnego energetycznie.

Podsumowanie

Producenci systemów elewacji wentylowanych niewątpliwie podążają za trendami, jakimi są budownictwo efektywne energetycznie i coraz większe wymagania dotyczące komfortu użytkowania budynków, przede wszystkim przez rozwój podkonstrukcji. Wielu producentów wprowadza do swojej oferty „pasywne” konsole, które w świetle wymagań przedstawionych w EAD 090062-00-0404 [1], w coraz większym stopniu ograniczają powstawanie mostków cieplnych, np. przez łączenie różnych materiałów w obrębie konsoli.

Literatura

- [1] EAD 090062-00-0404: Kits for external wall claddings mechanically fixed.
- [2] EOTA ETAG 034 Part 1: Ventilated Cladding Kits comprising Cladding components and associated fixings.
- [3] <https://wido.pl>.
- [4] <https://www.bspsystem.com>.
- [5] Kopyłow O. 2020. „Ocena techniczna elewacji wentylowanych wg EAD 090062-00-0404”. *Izolacje* 3.
- [6] PN-EN 1991-1-5:2005. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-5: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania termiczne.
- [7] PN-EN 1991-1-6:2007. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-6: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z 12 kwietnia 2002 (Dz.U. nr 75, poz. 690).
- [9] Sanjuan C., M. J. Suárez, M. González, J. Pistono, E. Blanco. 2011. „Energy performance of an open-joint ventilated facade compared with a conventional sealed cavity facade”. *Solar Energy* 85, pp. 1851-1863.
- [10] Schabowicz K., Ł. Zawisłak. 2020. „Numerical comparison of thermal behaviour between ventilated facades”. *Studia Geotechnica et Mechanica*, tom 4, nr 42, pp. 297-305.
- [11] Schabowicz K., M. Szymków. 2016. „Elewacje wentylowane z płyt włóknisto-cementowych na podkonstrukcji aluminiowej”. *Materiały Budowlane* 3, 9.
- [12] Schabowicz K., M. Szymków. 2017. „Elewacje wentylowane na podkonstrukcji drewnianej”. *Izolacje* 10.
- [13] Šadauskienė J., J. Ramanauskas i A. Vasylius. 2019. „Impact of point thermal bridges on thermal properties of building envelopes”. *Thermal Science*, nr 24. Przyjęto do druku: 25.08.2021 r.