

dr inż. Oleksji Kopyłow^{1*)}

ORCID: 0000-0002-8436-2521

inż. Filip Chelkowski²⁾

ORCID: 0009-0007-6729-0419

Problems of using passive brackets in ventilated facades systems

Problemy stosowania konsoli pasywnych w elewacjach wentylowanych

DOI: 10.15199/33.2024.12.05

Abstract. This article discusses the development of ventilated facades with passive brackets. A key element of any ventilated facade is the substructure, which is responsible for the mechanical properties of the facade systems, safety of use, and thermal insulation characteristics.

Passive brackets in ventilated facades help minimize the negative impact of thermal bridges on the building envelope. However, the use of polymer insulators can significantly affect the mechanical properties, usability, and safety of buildings. The article analyses the issues associated with the application of passive brackets with polymer insulators in facade systems based on the collected research results.

The conducted analysis indicates the need for further refinement and adaptation of research methods and techniques to the specifics of innovative passive brackets in order to gain a deeper understanding of their technical and usability properties, particularly in the context of their durability and load-bearing capacity.

Keywords: ventilated façade; subframe; thermal insulation properties; passive brackets

Streszczenie. Artykuł dotyczy problematyki rozwoju elewacji wentylowanych z konsolami pasywnymi. Kluczowym elementem każdej elewacji wentylowanej jest podkonstrukcja. Odpowiada ona za właściwości mechaniczne systemów elewacyjnych, bezpieczeństwo użytkowania oraz właściwości termoizolacyjne.

Pasywne konsole w elewacjach wentylowanych pozwalają zminimalizować negatywny wpływ mostków cieplnych na przegrodę, ale zastosowanie polimerowych izolatorów może mieć duży wpływ na właściwości mechaniczne, użytkowe oraz bezpieczeństwo użytkowania obiektów budowlanych. W artykule, na podstawie wyników badań, przeanalizowano problemy stosowania podkonstrukcji pasywnych z polimerowymi izolatorami w systemach elewacyjnych.

Przeprowadzona analiza wskazuje na potrzebę dalszego doskonalenia i dostosowania metod i technik badawczych do specyfiki innowacyjnych konsoli pasywnych w celu dokładniejszego poznania ich właściwości techniczno-użytkowych, szczególnie w kontekście ich trwałości i nośności.

Słowa kluczowe: elewacja wentylowana; podkonstrukcja; właściwości termoizolacyjne; konsole pasywne

The pursuit of improving energy efficiency in buildings forces manufacturers of façade systems to develop innovative solutions, previously unseen, that allow for the minimization of energy consumption for heating in buildings and the acquisition of energy from external sources. In the case of ventilated façades, these solutions can be divided into **active and passive types**. Active solutions involve the acquisition of renewable energy (e.g., by installing photovoltaic panels instead of traditional cladding), while passive solutions aim to minimize thermal bridges and reduce heat loss through building envelopes. One of the most popular passive solutions is the use of ventilated façades with substructures incorporating polymer elements in the brackets (Figures 1, 2a, 2b, 2c) or the perforation of monomaterial brackets (Figure 2d). The principles of operation of such façades do not differ from the classic solutions described in [1] and [2].

The revised Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) by the European Parliament will undoubtedly lead

do poprawy efektywności energetycznej budynków zmusza producentów systemów elewacyjnych do opracowywania innowacyjnych, wcześniej niespotykanych rozwiązań pozwalających na minimalizację zużycia energii na ogrzewanie w budynkach oraz pozyskanie energii z zewnątrz. W przypadku elewacji wentylowanych rozwiązania te można podzielić na **aktywne i pasywne**. Rozwiązania aktywne przewidują pozyskiwanie energii odnawialnej (np. montując panele fotowoltaiczne zamiast tradycyjnych okładzin), a pasywne do minimalizacji mostków termicznych oraz ograniczenia strat ciepła przez przegrody. Jednym z najbardziej popularnych rozwiązań pasywnych są elewacje wentylowane z podkonstrukcjami z zastosowaniem elementów polimerowych w konsolach (rysunek 1, rysunek 2a, 2b, 2c) lub perforacja konsoli jednomateriałowych (rysunek 2d). Zasady działania tego typu elewacji nie różnią się od klasycznych rozwiązań opisanych w [1 i 2].

Znowelizowana przez Parlament Europejski dyrektywa o efektywności energetycznej budynków (Energy Performance of Buildings Directive) doprowadzi niewątpliwie do zastąpienia tradycyjnych rozwiązań, z litymi metalowymi konsolami, podkonstrukcjami z elementami pasywnymi. Podstawową ideą konsoli pasywnej jest minimalizacja oddziaływania mostka ter-

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej;

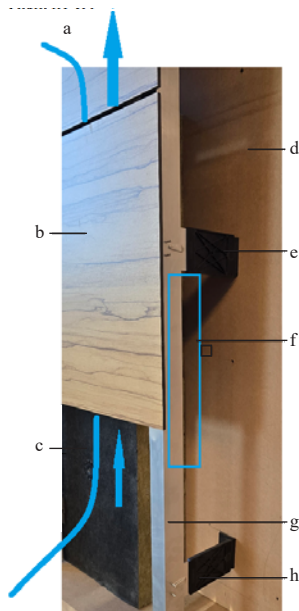
²⁾ Akademia Techniczno-Artystyczna Nauk Stosowanych w Warszawie

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

to the replacement of traditional solutions, with solid metal brackets, by substructures featuring passive elements. The fundamental idea behind the passive bracket is to minimize the thermal bridge effect, associated with the presence of metal with a high thermal conductivity coefficient in traditional brackets. In practice, this minimization is achieved by perforating part of the bracket or replacing a segment of the metal bracket with a plastic component (Figure 2). It should be emphasized that perforated brackets (Figure 2d) have a higher thermal conductivity than brackets with plastic spacers (Figures 2a, b, c).

Passive brackets with polymer elements, due to their innovativeness, have not been included in European Assessment Documents [1, 2]. To date, technical requirements defining their usability have not been formulated. The evaluation of the properties of passive brackets (using polymers), based on methods dedicated to metal brackets, will be incomplete and prone to errors due to the fact that the properties of polymers differ significantly from those of metals. For this reason, passive brackets remain the subject of interest for many researchers who are attempting to understand the behavior of such products in the context of various technical challenges.

The substructure in ventilated façade systems serves a load-bearing function, which main goal is to transfer loads resulting from the weight of cladding materials, as well as forces caused by wind (both static and dynamic forces), anthropogenic loads (such as impacts or pressures during façade cleaning), and, in extreme cases, loads caused by high temperatures and fire. Furthermore, the load-bearing structure in ventilated façades should allow for the compensation of length changes in the cladding and structure due to temperature variations. In addition to its mechanical functions, the structure has a significant impact on the thermal insulation parameters of the building. An improperly designed bracket, in terms of thermal



a – air/powietrze;
b – cladding/okładzina;
c – thermal insulation/termoizolacja;
d – substrate/sciana;
e – passive bracket/konsola pasywna;
f – ventilated space/przestrzeń wentylowana;
g – subframe/podkonstrukcja;
h – brackets/podkonstrukcja/konsola

Fig. 1. The ventilated facade
Rys. 1. Elewacja wentylowana

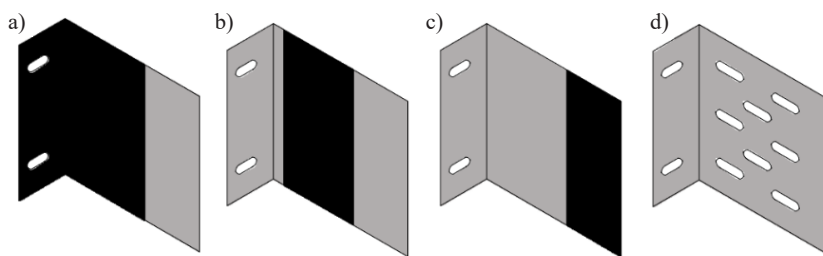


Fig. 2. Modern brackets that minimize thermal bridges used in ventilated façades: a – bracket with a plastic base; b – bracket with a plastic middle section; c – bracket with a plastic arm; d – perforated metal bracket. The metal is marked in gray, and the plastic is marked in black

Fig. authors
Rys. 2. Konsole pozwalające na minimalizację mostka termicznego stosowane w elewacjach wentylowanych: a – konsola z tworzywową stopką; b – konsola z tworzywową częścią środkową; c – konsola z tworzywowym wysięgnikiem; d – konsola metalowa, perforowana. Kolorem szarym zaznaczono metal, czarnym – tworzywo sztuczne

micznego, związanego z występowaniem metalu o dużym współczynniku przewodzenia ciepła w tradycyjnych konsolach. W praktyce taka minimalizacja osiągnięta jest przez perforację części konsoli lub zastąpienie fragmentu metalowej konsoli elementem z tworzywa sztucznego (rysunek 2). Należy przy tym podkreślić, że konsole perforowane (rysunek 2d) charakteryzują się większą przewodnością cieplną niż konsole z przekładkami z tworzywa sztucznego (rysunek 2. a,b,c)

Konsole pasywne z elementami polimerowymi, ze względu na innowacyjność, nie zostały objęte europejskimi specyfikacjami technicznymi [1, 2]. Do dziś nie sformułowano wymagań technicznych określających ich przydatność użytkową. Ocena właściwości konsoli pasywnych (z zastosowaniem polimerów), wg metod dedykowanych konsolom metalowym, będzie niepełna i obciążona błędami ze względu na fakt, że właściwości polimerów w sposób istotny różnią się od metali. Z tego powodu konsole pasywne pozostają przedmiotem zainteresowań wielu badaczy, próbujących zrozumieć zachowanie tego typu wy-

robów w kontekście różnych wyzwań technicznych.

Podkonstrukcja w systemach elewacji wentylowanych pełni funkcję elementu nośnego, której głównym celem jest przeno-

szenie obciążeń wynikających z ciężaru materiałów okładzinowych, a także sił wywołanych wiatrem (siły statyczne i dynamiczne), obciążeń antropogenicznych (uderzenia czy naciski podczas czyszczenia elewacji) oraz, w skrajnych przypadkach, obciążeń spowodowanych wysoką temperaturą i ogniem. Ponadto,

konstrukcja nośna w elewacjach wentylowanych powinna umożliwiać kompensację zmian długości okładzin oraz konstrukcji w wyniku zmian temperatury. Oprócz funkcji mechanicznych, konstrukcja ma istotny wpływ na parametry termiczne budynku. Niewłaściwie zaprojektowana konsola pod względem przewodności cieplnej może prowadzić do powstawania tzw. mostków termicznych w elewacji wentylowa-

conductivity, may lead to the formation of so-called thermal bridges in the ventilated façade, which significantly deteriorate the thermal performance of the entire façade system. Façade brackets are used in a wide range of temperature and humidity conditions: they may be exposed to rain, operated at high and low temperatures, and sometimes subjected to UV radiation.

The aim of this paper is to analyze the possibilities of using so-called passive substructures with polymer elements in construction.

Thermal Insulation

A point thermal bridge (thermal bridge), according to [3], can occur in a part of the building envelope where the thermal resistance is significantly reduced due to its complete or partial penetration by materials with a different thermal conductivity coefficient. In the case of ventilated façades, the thermal bridge occurs at the brackets piercing the thermal insulation. The elimination of the negative impact of this bridge is possible by introducing an insulator in the path of the heat flow. It should be made of a material that, in addition to meeting thermal insulation requirements, exhibits mechanical properties comparable to those of metal. Current insulators are made of resins with the addition of fiberglass, which are laid in the brackets element evenly along its arm. Anisotropy in the structure of the bracket is necessary to increase the bracket's resistance to vertical forces.

Our numerical simulations, concerning heat flow through an aluminum bracket and a passive bracket (with a polymer spacer made of polyamide and fiberglass PA66 + GF50), both having the same arm length and thickness of the protruding metal parts, clearly demonstrated the superiority of „passive” brackets over traditional metal brackets in terms of reducing thermal bridges in façade systems (Figures 3 and 4).

As shown, the polymer insulator in the bracket can effectively protect the envelope from the penetration of heat and cold. This allows for the application of ventilated façade systems in various climatic zones.

Mechanical Properties

Previous research related to the mechanical strength of façade brackets primarily focused on their resistance to vertical forces [4÷6]. These studies were iterative in nature and concentrated on comparing empirical laboratory tests with the results of computational FEM analyses. The cited works identified significant discrepancies between the behavior of the computational model and the actual brackets subjected to vertical loads. The „load-deformation” curves and the mode of failure differed. All analyses were conducted at laboratory temperature (+20°C), without considering the plasticization of the thermal spacer material in elevated temperatures.

Façade systems with polymer spacers, covered by European standards (e.g., profiles for curtain walls), are tested under elevated temperature conditions [7]. Laboratory tests of passive brackets with polymer spacers showed that at +70°C, the resis-

nej, które w znacznym stopniu pogarszają właściwości termoizolacyjne całego systemu elewacyjnego. Konsolle elewacyjne użytkowane są w bardzo szerokim zakresie warunków temperaturowo-wilgotnościowych: mogą być zalewane deszczem, eksploatowane w wysokiej i niskiej temperaturze, a niekiedy narażane na działanie UV.

Celem artykułu jest analiza możliwości stosowania tzw. pasywnych podkonstrukcji z elementami polimerowymi w budownictwie.

Termoizolacja

Punktowy mostek termiczny (mostek cieplny), zgodnie z [3] może występować w części obudowy budynku, której opór cieplny jest znacznie zmniejszony wskutek całkowitego lub częściowego jej przebiccia przez materiały o innym współczynniku przewodzenia ciepła. W przypadku elewacji wentylowanych mostek termiczny występuje na konsoli przebijającej termoizolację. Eliminacja negatywnego oddziaływania tego mostka jest możliwa przez wprowadzenie izolatora na drodze strumienia ciepła. Powinien on być wykonany z materiału, który oprócz wymagań termoizolacyjnych charakteryzuje się porównywalnymi właściwościami mechanicznymi z metalem. Obecne izolatory wykonywane są z żywicy z dodatkiem włókien szklanych, które układane są w elementach konsoli równomiernie do kierunku wysięgu. Anizotropia w budowie konsoli jest konieczna w celu zwiększenia wytrzymałości konsoli na działanie siły pionowej.

Nasze symulacje numeryczne, dotyczące przepływu strumienia ciepła w konsoli aluminiowej i konsoli pasywnej (z przekładką polimerową na bazie poliamidu i włókna szklanego PA66 + GF50) o tym samym wysięgu i grubości wystających części metalowych, wykazały jednoznaczną przewagę konsoli „pasywnej” nad tradycyjnymi konsolami metalowymi pod względem ograniczenia mostków termicznych w systemach elewacyjnych (rysunki 3 i 4).

Jak widać, izolator polimerowy w konsoli może skutecznie chronić przegrodę przed przenikaniem ciepła i zimna. Pozwala to na zastosowanie systemów elewacji wentylowanych w różnych strefach klimatycznych.

Właściwości mechaniczne

Dotychczasowe prace badawcze, związane z wytrzymałością mechaniczną konsoli elewacyjnych, dotyczyły przede wszystkim odporności na działanie siły pionowej [4÷6]. Prace te miały charakter iteracyjny i skupiały się na porównaniu empirycznych badań laboratoryjnych z wynikami analiz obliczeniowych. W przytoczonych pracach stwierdzono występowanie dużych rozbieżności pomiędzy zachowaniem modelu obliczeniowego a rzeczywistymi konsolami obciążonymi siłą pionową. Różniły się krzywe „obciążenie – odkształcenie” oraz sposób zniszczenia. Wszystkie analizy wykonano w temperaturze laboratoryjnej (+20°C), nie uwzględniając uplastycznienia materiału przekładki termicznej konsoli w temperaturze podwyższonej.

Systemy elewacyjne z przekładkami polimerowymi, objęte normami europejskimi (np. kształtowniki do ścian osłonowych), badane są w warunkach podwyższonej temperatury

tance to vertical force could decrease by approximately 17% compared to samples tested at +20°C [8].

Continuing the experiment described in [8], a study was conducted to compare the strength characteristics of passive brackets and traditional brackets made entirely of metal. The study focused on testing the vertical load resistance of these two bracket solutions (Figure 5).

In the experiment, brackets with the same arm length and comparable thickness of metal elements (the thickness of the aluminum bracket was 3.0 mm, and for the passive stainless-steel bracket, it was 2.5 mm) were compared under point vertical load. The testing method remained the same as described in [8].

The tests of the aluminum bracket (Figure 6), conducted at +20°C and compared with the passive bracket tests ([8]), show that the **vertical load resistance of passive and traditional brackets made of solid metal** (in this case, aluminum) is comparable. In the displacement range ≤ 4 mm, the tested passive brackets exhibited greater load-bearing capacity than the aluminum ones (even under elevated temperature conditions).

Undoubtedly, the mechanical load-bearing capacity of the brackets is significantly influenced by the physical and me-

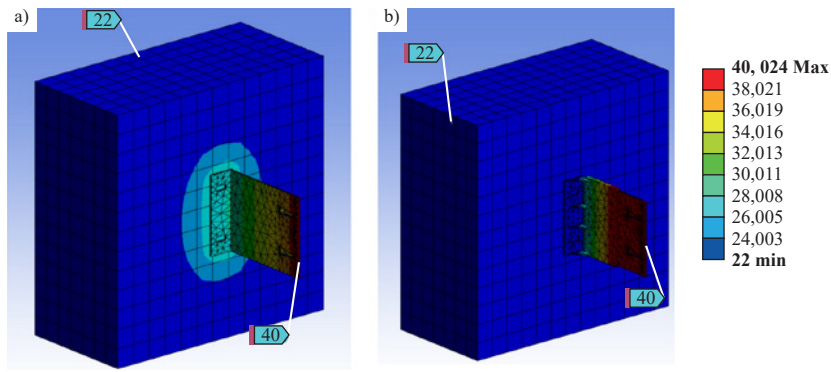


Fig. 3. Temperature distribution on the aluminium brackets (a) and the 'passive' with a polymer spacer (b). External temperature +40°C, internal temperature +20°C

Rys. 3. Rozkład temperatury na konsoli aluminiowej (a) oraz „pasywnej” z przekładką polimerową (b). Temperatura na zewnątrz +40°C, wewnątrz pomieszczenia +20°C

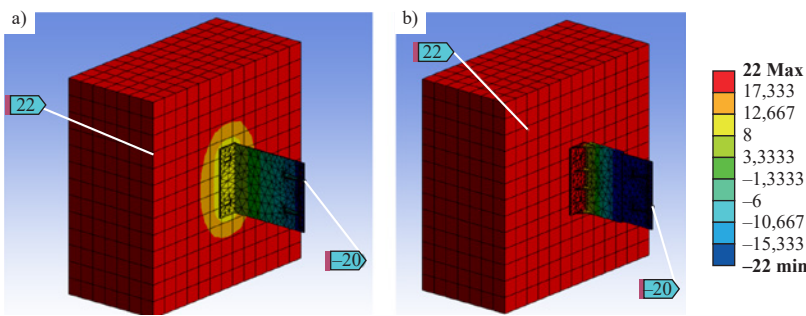


Fig. 4. Temperature distribution on the aluminium brackets (a) and the 'passive' with a polymer spacer. External temperature -20°C, internal temperature +22°C

Rys. 4. Rozkład temperatury na konsoli aluminiowej (a) oraz „pasywnej” z przekładką polimerową (b). Temperatura na zewnątrz -20°C, wewnątrz pomieszczenia +22°C

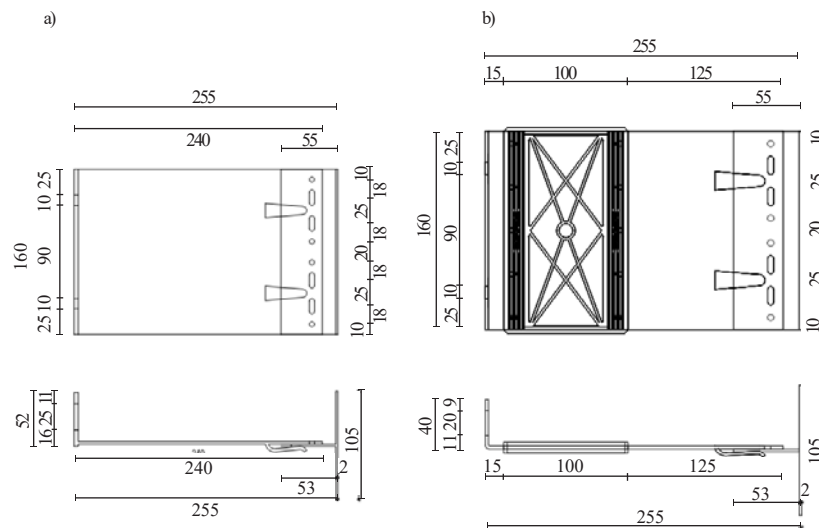


Fig. 5. Brackets used to compare resistance to vertical load: a – aluminium bracket; b – passive bracket

Rys. 5. Konsoly porównywane pod względem odporności na działanie siły pionowej: a – konsola aluminiowa; b – konsola pasywna

konsoli pasywnej ([8]) wykazują, że **wytrzymałość na oddziaływanie siły pionowej konsoli pasywnych i tradycyjnych, wykonanych z litego metalu** (w tym przypadku aluminium) są porównywalne. W obszarze przemieszczeń ≤ 4 mm przeba-

[7]. Badania laboratoryjne konsoli pasywnych z przekładkami polimerowymi wykazały, że w temperaturze +70°C odporność na działanie siły pionowej może zmniejszyć się o ok. 17% w porównaniu z próbkami przebadanymi w temperaturze +20°C [8]. Kontynuując eksperyment, opisany w [8], w celu porównania charakterystyk wytrzymałościowych konsoli pasywnych i tradycyjnych, wykonanych w całości z metali, przeprowadzono badanie wytrzymałości na obciążenie siłą pionową tych dwóch rozwiązań konsoli (rysunek 5).

W ramach eksperymentu porównano zachowanie konsoli, jak na rysunku 5, o tym samym wyśięgu i porównywalnej grubości elementów metalowych (grubość konsoli aluminiowej wynosiła 3,0 mm, a w przypadku konsoli pasywno-nierdzewnych 2,5 mm) pod obciążeniem punktowej siły pionowej. Metoda badań pozostała taka, jak opisana w [8].

Badania konsoli aluminiowej (rysunek 6) przeprowadzone w temperaturze +20°C odniesione do badań

chanical properties of the insulator material and the design specifics of the bracket solutions.

In our opinion, further research is needed to determine the changes in the mechanical properties of passive brackets (e.g., resistance to vertical and horizontal forces) during their use, resulting from aging processes occurring in the insulator material.

The anisotropy of fiberglass in the insulator and improper selection of the bracket's geometric parameters may lead to warping (Figure 1) during horizontal load tests of the façade system (e.g., wind pressure).

We believe that, from the perspective of assessing the load-bearing capacity of passive brackets with polymer insulators, it is essential to supplement the substructure testing program, as mentioned in [1] and [2], with horizontal load testing.

In evaluating the usability of passive brackets, it is crucial to determine the load-bearing lifespan of such products. There is a lack of data in the literature regarding the behavior of brackets with polymer insulators of various types under varying temperatures, humidity, or fluctuating wind loads.

Fire Safety

Façade brackets have a direct impact on the safety of building usage. The behavior of passive brackets under fire conditions is particularly important, as they often have spacers made from composites containing organic components (e.g., resins), which are more or less susceptible to fire exposure. According to [9], § 216 and § 225: Façade cladding elements should be fixed to the building structure in a way that prevents them from detaching in the event of a fire within a time period shorter than that required by the fire resistance class for the external wall, as specified in § 216(1), according to the fire resistance class of the building in which they are

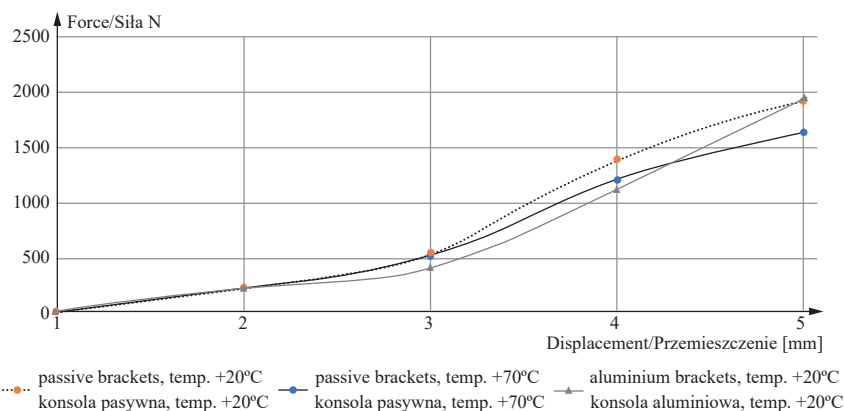


Fig. 6. Relationship between vertical force and displacement of aluminium and passive brackets [8]
Rys. 6. Zależność pomiędzy siłą pionową a przemieszczeniem konsoli aluminiowej oraz pasywnej [8]

dane konsolle pasywne charakteryzowały się większą nośnością niż aluminiowe (nawet w warunkach podwyższonej temperatury).

Nie wątpliwie duży wpływ na nośność konsoli mają parametry fizyko mechaniczne tworzywa izolatora oraz specyfika rozwiązań konsoli. W naszej opinii konieczne są dalsze prace badawcze pozwalające określić

zmianę właściwości mechanicznych konsoli pasywnych (np. odporność na działanie siły pionowej i poziomej), podczas ich użytkowania, wynikającą z procesów starzenia zachodzących w tworzywie izolatora.

Anizotropia włókien szklanych w izolatorze, niewłaściwy wybór parametrów geometrycznych konsoli może prowadzić do jej wykrzywienia (fotografia 1) podczas badań obciążenia siłą poziomą systemu elewacyjnego (np. parcie wiatru). Uważamy, że z punktu widzenia oceny nośności konsoli pasywnych z izolatorami polimerowymi istotne jest uzupełnienie programu badań podkonstrukcji, o którym mowa w [1 i 2], o badanie siły poziomej.

W przypadku oceny przydatności użytkowych konsoli pasywnych bardzo istotne jest określenie rezerwy nośności tego typu wyrobów. W literaturze przedmiotu brakuje danych o zachowaniu się konsoli z izolatorami polimerowymi różnych typów po działaniu zmiennej temperatury, wilgotności czy pulsujących obciążeniach wiatrowych.



Photo 1. Deformation of the brackets in the rainscreen system under horizontal loading – wind pressure

Fot. 1. Deformacja konsoli w systemie elewacyjnym podczas obciążenia siłą poziomą – parcie wiatru

Fot. archiwum ITB

Bezpieczeństwo pożarowe

Konsolle elewacyjne mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo użytkownika budynku. Szczególnie ważne jest zachowanie konsoli pasywnych w warunkach pożaru, ponieważ mają one często przekładki z kompozytów, zawierających składowe organiczne (np. żywice), które w większym lub mniejszym stopniu są podatne na działanie ognia. Zgodnie z [9] § 216 i § 225: *Elementy okładzin elewacyjnych powinny być mocowane do konstrukcji budynku w sposób uniemożliwiający ich odpadanie w przypadku pożaru w czasie krótszym niż wy-*

installed. For buildings with fire resistance class A, this time is 120 minutes; for class B, it is 60 minutes; and for classes C and D, it is 30 minutes.

Passive brackets have most often been tested for fire safety as part of a complete façade system [10]. According to available sources [11, 12], brackets submerged in mineral wool can protect the façade cladding from detachment for up to 120 minutes.

An interesting result comes from a fire experiment conducted at the Building Technology Institute (author: D. Izydorzycyk, MSc), which found that a ventilated façade with passive brackets (as shown in Figure 5, but with an arm length of 180 mm), submerged in mineral wool with a density of 45 kg/m³ and glass veil over a 180 mm segment, did not pose a risk to the entire façade system during the fire for 120 minutes (Figure 5, Photograph 2). The result was comparable to the findings of K. Schabowicz, P. Sulik, and Ł. Zawiślak regarding steel brackets [10].

The experiment indicates that despite the significant difference in the melting points of steel and polymers, passive façade brackets, fully submerged in mineral wool, behave similarly to metal brackets in fire conditions, even after 120 minutes of exposure to fire. This allows for the use of passive brackets in buildings with a fire resistance class of A.

Installation Technology

In the reference documents related to ventilated façades [1, 2] and in previously published research works [4÷6, 8], the influence of brackets properties on the technology of construction and installation work has not been considered. In many cases, to achieve a flat surface for the external cladding of ventilated façades (when the wall surface on which the substructure is mounted is not sufficiently flat), installers try to compensate for wall imperfections by slightly bending the brackets. This is most often done by striking the side of the bracket with a hammer. In some cases, such as during in-

nikający z wymaganej klasy odporności ogniowej dla ściany zewnętrznej, określonej w § 216 ust.1, odpowiednio dla klasy odporności pożarowej budynku, w którym są one zamocowane. W przypadku budynków o klasie odporności pożarowej A czas ten wynosi 120 min, klasie B – 60 min, w klasach C i D – 30 min.

Konsole pasywne najczęściej były badane pod względem bezpieczeństwa pożarowego w pełnym zestawie elewacyjnym [10]. Z dostępnych źródeł [11, 12] wynika, że konsole ukryte w wełnie mineralnej mogą zabezpieczyć okładziny elewacyjne przed odpadaniem nawet przez 120 min. Ciekawy może być wynik eksperymentu pożarowego przeprowadzonego w Instytucie Techniki Budowlanej (autor: mgr inż. D. Izydorzycyk), mówiący, że: elewacja wentylowana z konsolami pasywnymi (o budowie jak na rysunku 5, lecz o wysięgu 180 mm), obłożonymi wełną mineralną o gęstości 45 kg/m³ oraz welonem szklanym na odcinku 180 mm, w warunkach pożaru w ciągu 120 min, nie stwarzała zagrożenia dla systemu elewacyjnego jako całości (rysunek 5, fotografia 2). Uzyskany wynik był porównywalny z wynikami badań K. Schabowicza, P. Sulika i Ł. Zawiślaka dotyczących konsoli stalowych [10].

Z przeprowadzonego eksperymentu wynika, że mimo dużej różnicy temperatury topnienia stali i polimerów, pasywne konsole elewacyjne szczelnie zabezpieczone wełną mineralną zachowują się w warunkach pożaru podobnie do konsoli metalowych nawet po 120 min oddziaływania ognia. Pozwala to na zastosowanie konsoli pasywnych w budynkach o klasie odporności pożarowej A.

Technologia montażu

W dokumentach referencyjnych dotyczących elewacji wentylowanych [1, 2] oraz dotychczas opublikowanych prac badawczych [4÷6, 8] nie uwzględniano wpływu właściwości konsoli na technologię wykonania prac budowlano-montażowych. W wielu przypadkach, w celu uzyskania równej



Photo. 2. Behavior of passive brackets in the facade system after 120 minutes of fire exposure
Fot. 2. Zachowanie się konsoli pasywnych w systemie elewacyjnym po 120 min oddziaływania ognia

Photo: authors' archive
Fot. archiwum autorów

stallation in low temperatures, this can lead to damage to the bracket (Photograph 3). To avoid this phenomenon, leading manufacturers of passive brackets pay particular attention to the mechanical properties of the material used in their products, including Charpy impact toughness.

The impact resistance of the bracket was not considered in [1 and 2] because most metals used in the production of conventional substructures (steel, aluminum) have sufficient plasticity to withstand lateral (including impact) loads, allowing for slight deformation of the bracket.

We believe that **there is a need to develop new testing methods** to assess the installation loads of brackets with polymer spacers. In the absence of such a technical assessment in the installation instructions, clear warnings regarding the possibility of bracket damage due to attempts at deformation should be introduced.

Conclusions

Brackets with polymer insulators provide an effective solution to the issue of thermal bridging in ventilated façades.

Passive brackets can have mechanical properties that are no worse than traditional brackets made of solid metal. In our opinion, further research is needed to answer the question of whether the strength characteristics of brackets with polymer insulators remain unchanged over time.

The emergence of ventilated façades

with passive brackets requires the adaptation of testing methods and technical-user properties to the specific nature of these products. In the case of passive brackets using insulators made of isotropic materials that are sensitive to temperature changes, it is necessary to expand testing methods (primarily mechanical properties) compared to the methods used in the technical evaluation of metal brackets.

When considering the use of passive brackets in a ventilated façade system, the behavior of these products under fire conditions should be taken into account. Only through laboratory testing can the target fire resistance class of buildings, where the façade system may be applied, be determined. Despite the fact that the softening temperature of the polymers used in bracket insulators is much lower than the melting temperature of metals, research shows that properly sealed passive brackets with mineral wool behave similarly to metal brackets during 120 minutes of fire exposure. This allows for the use of certain passive brackets in buildings with fire resistance class A.

plaszczyny okładzin zewnętrznych elewacji wentylowanych (kiedy powierzchnia ściany, na której zawieszano podkonstrukcję, jest niewystarczająco równa), montażyści próbują zrekomensować niedoskonałości ścian przez lekkie wyginanie konsoli. Odbywa się to najczęściej przez uderzenie młotkiem w bok konsoli. W niektórych przypadkach, np. występowania obniżonej temperatury podczas montażu, może to doprowadzić do uszkodzenia konsoli (fotografia 3). W celu uniknięcia tego zjawiska, czołowi producenci konsoli pasywnych zwracają szczególną uwagę na właściwości mechaniczne tworzywa stosowanego w swoich wyrobach, m.in. na udatność Charpy'ego.

Badanie odporności na uderzenie konsoli nie zostało uwzględnione w [1 i 2], ponieważ większość metali, stosowanych do produkcji konwencjonalnych podkonstrukcji (stal, aluminium) ma wystarczającą plastyczność, by przenieść obciążenie boczne (w tym udarowe) pozwalające na niewielką deformację konsoli.

Uważamy, że **konieczne jest opracowanie nowych metod badawczych** pozwalających na ocenę obciążeń montażowych konsoli z przekładkami polimerowymi. W przypadku braku takiej

oceny technicznej w instrukcjach montażu należy rozważyć wprowadzenie wyraźnych ostrzeżeń związanych z możliwością uszkodzenia konsoli po próbie jej deformacji.

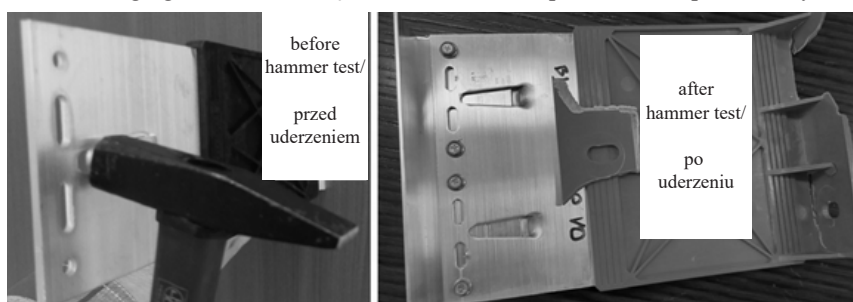


Photo 3. Damage to the prototype of the bracket with a polymer spacer under a lateral impact load. The bracket at the design stage – research for the purpose of product optimization

Fot. 3. Uszkodzenie prototypu konsoli z przekładką polimerową pod obciążeniem udarowym, bocznym. Konsola w stadium projektu – badanie na potrzeby optymalizacji wyrobu

Photo: authors

Fot. autorzy

Wnioski

Konsole z izolatorami polimerowymi stanowią skuteczne rozwiązanie proble-

mu mostków termicznych w elewacjach wentylowanych. Pasywne konsole mogą mieć parametry wytrzymałościowe nie gorsze od konsoli tradycyjnych, wykonanych z litego metalu. W naszej opinii potrzebne są dalsze badania dające odpowiedź na pytanie, czy cechy wytrzymałościowe konsoli z izolatorami polimerowymi pozostają niezmiennie z upływem czasu.

Pojawienie się na rynku elewacji wentylowanych z konsolami pasywnymi wymaga dostosowania metod badawczych, właściwości techniczno-użytkowych do specyfiki tego typu wyrobów. W przypadku zastosowania w konsolach pasywnych izolatorów z materiałów izotropowych, podatnych na zmianę temperatury, niezbędne jest rozszerzenie metod badawczych (przede wszystkim parametrów mechanicznych) w stosunku do metod stosowanych podczas oceny technicznej konsoli metalowych.

Rozważając zastosowanie konsoli pasywnych w systemie elewacji wentylowanych, należy uwzględnić zachowanie tych wyrobów w warunkach pożaru. Wyłącznie na podstawie badań laboratoryjnych można określić docelową klasę odporności

Passive brackets with polymer insulators are innovative products that require thorough investigation of their technical and user characteristics. We believe that special attention should be paid to the durability of brackets and the determination of their load-bearing capacity after aging cycles.

pożarowej budynków, w których system elewacyjny może być zastosowany. Mimo tego, że temperatura mięknienia polimerów stosowanych w izolatorach konsoli jest znacznie niższa od temperatury topnienia metali, badania świadczą, że właściwie uszczelnione wełną mineralną konsole pasywne zachowują się w sposób podobny do konsoli wykonanych z metalu w ciągu 120 min pożaru. Pozwala to na zastosowanie niektórych konsoli pasywnych w budynkach o klasie odporności pożarowej A.

Konsole pasywne z izolatorami polimerowymi są wyrobami innowacyjnymi i wymagają dokładnego zbadania cech techniczno-użytkowych. Uważamy, że szczególną uwagę należy zwrócić na trwałość konsoli oraz określenie rezerwy ich nośności po cyklach starzeniowych.

Received: 09.09.2024 r.

Revised: 07.10.2024 r.

Published: 20.12.2024 r.

Wpłynął do redakcji: 09.09.2024 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 07.10.2024 r.

Opublikowano: 20.12.2024 r.

Literature

- [1] EAD 090062-00-0404, „Kits for external wall claddings mechanically fixed”.
- [2] EAD 090034-00-0404, „Kit composed by subframe and fixings for fastening cladding and external wall elements”.
- [3] PN-EN ISO 10211-1 Mostki cieplne w budynkach. Obliczanie strumieni cieplnych i temperatury powierzchni. Część 1: Metody ogólne
- [4] Cwyl M, Prochera M, Wojda J, Wilga K, Radzimirski P. Badanie nośności wybranych poliamidowo-aluminiowych konsoli nośnych dla okładzin fasad budynków. *Builder*, 2023; 9: 28–33.
- [5] Cwyl M, Dmowska-Michalak I, Michalczyk R, Kaczmarczyk A. Laboratory tests and numerical analysis of aluminum helping hand brackets with polyamide thermal break. *Archives of Civil Engineering* 2022; 2: 409–426.
- [6] Kopyłow O, Chełkowski F. Stosowanie narzędzi obliczeniowych do określenia właściwości mechanicznych konsoli do elewacji wentylowanych. *Materiały Budowlane* 2023; 9: 58–61.
- [7] PN-EN 14024:2024-01 Kształtowniki metalowe z przekładką termiczną -- Właściwości mechaniczne -- Wymagania, sprawdzenia i badania do oceny
- [8] Kopyłow O. The influence of temperature on the mechanical properties of ventilated facade consoles with polymer elements. *Materiały Budowlane*. 2024. Volume 627. Issue 11. Pages 189–194.
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2022 r. poz. 1225)
- [10] Schabowicz K., Sulik P., Zawisłak Ł.: Elewacja wentylowana podczas oddziaływania pożarem. *Izolacje* 2020; 5.
- [11] strona internetowa: <https://www.bspsystem.com/wp-content/uploads/2020/09/Opinia-techniczna-ITB-dotycz%C4%85ca-konsol-pasywnych-BSP-w-%C5%9Bwietle-paragrafu-225-oraz-powy%C5%BCej-25-m-i-w-pasach-p-po%C5%BC.pdf>