

dr inż. Ołeksij Kopyłow¹⁾
ORCID: 0000-0002-8436-2521

Wpływ wybranych czynników klimatycznych na wytrzymałość połączeń mechanicznych okładzin włóknisto-cementowych w elewacjach wentylowanych

The influence of selected climatic factors on the strength of mechanical joints of fiber-cement claddings in ventilated facades

DOI: 10.15199/33.2023.03.03

Streszczenie. Z doświadczenia eksperckiego ITB wynika, że w elewacjach wentylowanych połączenie „okładzina – łącznik mechaniczny – profil podkonstrukcji” charakteryzuje się dużą awaryjnością. Jedną z najczęstszych przyczyn uszkodzeń jest nieuwzględnienie zmian właściwości mechanicznych połączeń zachodzących wskutek oddziaływań klimatycznych. Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych udowodniono, że zmniejszenie odporności na wrywanie łączników mechanicznych z okładzin włóknisto-cementowych po oddziaływaniach klimatycznych może wynosić 40% w stosunku do wartości początkowej. Znajomość rzeczywistego poziomu zmiany tego parametru jest konieczna do zaprojektowania trwałej i bezpiecznej elewacji wentylowanej.

Słowa kluczowe: elewacja wentylowana; okładzina włóknisto-cementowa; oddziaływania klimatyczne; odporność na wyrwanie łącznika mechanicznego.

Abstract. The ITB expert experience shows that in ventilated facades, the join "cladding – mechanical connector – substructure profile" is characterized by a high failure rate. One of the common causes of damage is failure to take into account changes in the mechanical properties of joints due to climatic effects. Based on the conducted laboratory tests, it was proved that the drop in the resistance to tearing mechanical fasteners from fibercement linings after climatic influences may be 40% compared to the initial value. Knowledge about the real level of changes in the pull-out resistance of the connection "cladding – mechanical connector – substructure profile" after climatic influences is necessary to design a durable and safe ventilated facade.

Keywords: ventilated façade; fiber-cement cladding; climatic influences; pull-out resistance of the mechanical fastener.

Elewacje wentylowane z okładzinami włóknisto-cementowymi należą do grupy najczęściej spotykanych rozwiązań elewacyjnych we współczesnym budownictwie. Omawiane systemy elewacyjne występują na ścianach budynków o różnych funkcjach: mieszkalnych; użyteczności publicznej; infrastruktury transportowej; przemysłowych, etc. [1]. Duże zainteresowanie projektantów tego typu rozwiązaniami wynika m.in. z dostępności na rynku płyt włóknisto-cementowych, różniących się fakturą, kolorem, kształtem oraz charakteryzujących się łatwością montażu i konkurencyjną ceną w porównaniu z innymi systemami elewacyjnymi.

Elewacje wentylowane z okładzinami włóknisto-cementowymi są co do zasady oceniane wg kryteriów i metod badawczych opisanych w EAD 090062-00-0404 [2] i wprowadzane do obrotu

w budownictwie (jako system kompatybilnych elementów składowych) na podstawie Krajowych lub Europejskich Ocen Technicznych. Dodatkowo, płyty włóknisto-cementowe powinny spełniać wymagania normy zharmonizowanej PN-EN 12467+A2:2018-06 [3] dotyczące trwałości stawiane okładzinom zewnętrznym.

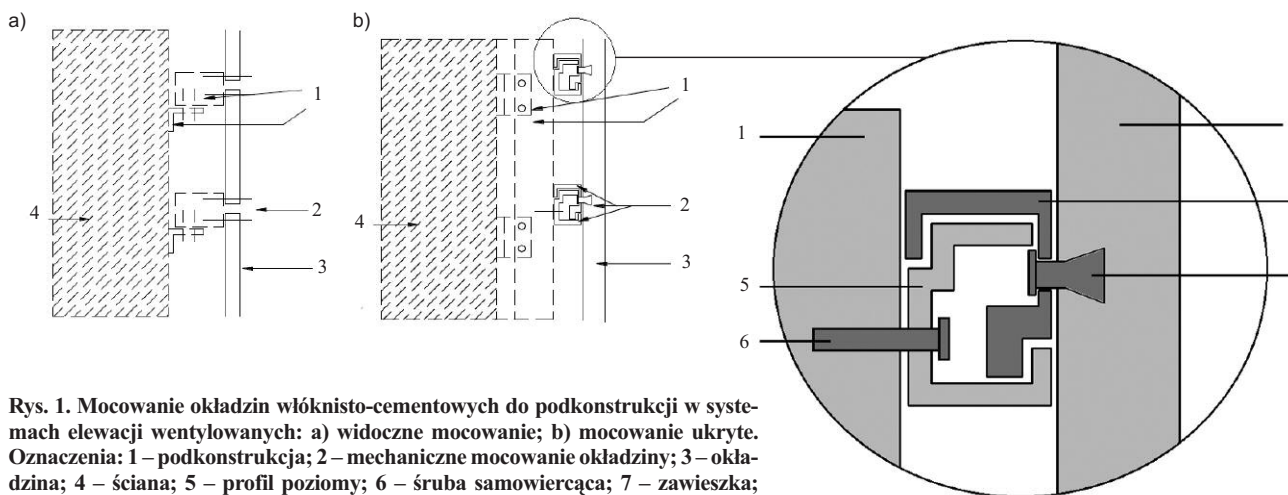
Zgodnie z EAD 090062-00-0404 [2] okładziny włóknisto-cementowe mocuje się do podkonstrukcji za pomocą łączników mechanicznych: widocznych (rysunek 1a) lub niewidocznych (rysunek 1b). Z analizy zawartości, wydanych w ciągu ostatnich pięciu lat, Krajowych oraz Europejskich Aprobatach Technicznych wynika, że rozwiązania z niewidocznymi mocowaniami okładzin występują o wiele rzadziej niż z widocznymi.

Mechaniczne połączenia widoczne wykonywane są najczęściej z zastosowaniem nitów dociskających okładzinę do podkonstrukcji, a niewidoczne w postaci

specjalnych łączników (poz. 8 rysunek 1) z zawieszka (poz. 7 rysunek 1) wkręcanych w okładzinę od tylnej strony.

Przy mocowaniu okładzin elewacyjnych do podkonstrukcji za pomocą nitów wykorzystywane są zazwyczaj dwie odmiany łączników: tzw. nity stałe (średnica otworu w okładzinie i trzpienia nitu z tuleją są takie same) oraz nity przesuwne (średnica otworu w okładzinie jest ok. 2 mm większa od średnicy trzpienia nitu), pozwalające zrekompensować niewielkie deformacje okładziny włóknisto-cementowej związane ze zmianą temperatury lub wilgotności. Zazwyczaj w jednym systemie elewacyjnym nity stałe i przesuwne mają identyczną konstrukcję części metalowej (trzpienia), odpowiedzialnej za przeniesienie obciążenia wyrwującego. Różnica między nitami polega na tym, że przy trzpieniu nitu stałego występuje tuleja tworzywowa wypełniająca luz pomiędzy okładziną a nitem. Brak tej tulei powoduje lekki luz pomiędzy łączni-

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej; o.kopylov@itb.pl



Rys. 1. Mocowanie okładzin włóknisto-cementowych do podkonstrukcji w systemach elewacji wentylowanych: a) widoczne mocowanie; b) mocowanie ukryte. Oznaczenia: 1 – podkonstrukcja; 2 – mechaniczne mocowanie okładziny; 3 – okładzina; 4 – ściana; 5 – profil poziomy; 6 – śruba samowiercąca; 7 – zawieszka; 8 – łącznik do płyty włóknisto-cementowej

Źródło [2]

Fig. 1. Fastening of fiber-cement cladding to the subframe in ventilated facade systems: a) visible fastening; b) concealed fastening. Designations: 1 – subframe; 2 – fasteners; 3 – cladding; 4 – substrate (wall); 5 – horizontal profile; 6 – self-drilling screw; 7 – pendant; 8 – anchors (connector for fiber-cement board)

Source [2]

kiem a okładziną. Rozstaw nitów stałych i przesuwnych jest podawany w kartach technicznych producentów okładzin włóknisto-cementowych.

Z doświadczenia eksperckiego ITB wynika, że w systemach elewacji wentylowanych z okładzinami włóknisto-cementowymi mocowanymi mechanicznie jednym z najbardziej awaryjnych miejsc są połączenia „łącznik mechaniczny – okładzina – profil podkonstrukcji” [4]. Potwierdzają to wyniki wielu przeglądów okresowych elewacji wentylowanych. W miejscach mocowania okładziny łącznikiem często można zaobserwować uszkodzenia mechaniczne w postaci spękań, które stanowią zagrożenie dla życia i zdrowia użytkowników [4]. Przyczyną uszkodzeń mogą być:

- zmiany właściwości fizykomechanicznych w okładzinach zachodzące podczas użytkowania (np. obniżenie odporności na zginanie, skurcz okładzin);
- niedoszacowanie dopuszczalnej wartości obciążenia wiatrem lub nieuwzględnienie w projekcie odporności okładziny na wrywanie łącznika mechanicznego;
- niewłaściwy montaż (np. mocowanie okładzin do podkonstrukcji w sposób uniemożliwiający kompensację ich rozszerzalności liniowej).

Zgodnie z PN-EN 12467+A2:2018-06 [3] wytrzymałość na zginanie płyt włóknisto-cementowych może się zmniejszyć po cyklach oddziaływań kli-

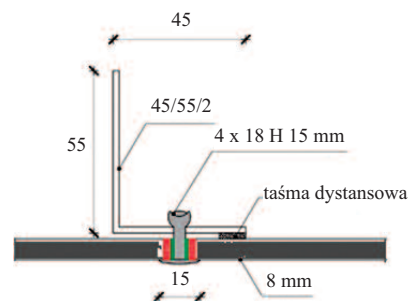
matycznych nawet o 25%. Niewątpliwie, wiedza o zmianach wytrzymałości na zginanie płyt po oddziaływaniu warunków środowiskowych jest niewystarczająca do zaprojektowania bezpiecznego systemu elewacyjnego. Konieczne są bowiem dane na temat odporności na wrywanie łączników mechanicznych. EAD 090062-00-0404 [2] przewiduje jej określenie na próbkach niepoddanych sezonowaniu w warunkach odwzorowujących oddziaływania klimatyczne (np. leżakowanie w wodzie, cykle zamrażania – rozmrażania). W publikacjach związanych z badaniami płyt włóknisto-cementowych [1] lub innych płyt elewacyjnych na bazie cementów [5] nie przedstawiono związku pomiędzy zmianami wytrzymałości na zginanie a odpornością na wrywanie łączników mechanicznych z okładzin. Brak danych na temat zachowania połączenia „okładzina – łącznik – okładzina” po cyklach oddziaływania warunków środowiskowych nie pozwala przewidzieć zachowania elewacji wentylowanej w warunkach rzeczywistego użytkowania.

Celem artykułu jest ustalenie wpływu oddziaływań klimatycznych na odporność na wrywanie połączenia „okładzina – łącznik mechaniczny – podkonstrukcja”. W tym celu przeprowadzono badania odporności na wrywanie łączników mechanicznych wg [2] na próbkach klimatyzowanych w warunkach laboratoryjnych oraz poddanych leżakowaniu w wodzie i cyklem „zamrażania – rozmrażania”.

Badania laboratoryjne

Ze względu na fakt, że najbardziej rozpowszechnionym mocowaniem płyt włóknisto-cementowych do podkonstrukcji w systemach elewacji wentylowanych jest mocowanie widoczne, przeprowadzono badania połączenia „nit – okładzina – profil elewacyjny”. Zbadano 90 próbek (jak na rysunkach 2 i 3) składających się z:

- płyt włóknisto-cementowych grubości 8 mm (płyta do zastosowania zewnętrznego, zgodna z [3], o deklarowanej gęstości 1750 kg/m^3 , z określonym spadkiem wytrzymałości na zginanie po cyklach mrozoodporności / leżakowaniu w wodzie $\geq 0,75$), w których nawiercono otwory o średnicy 11 mm w celu zamocowania nitów;

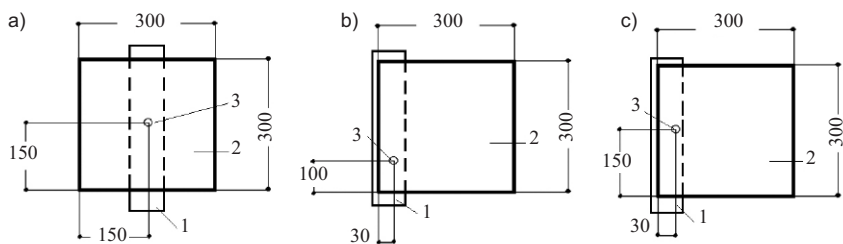


Rys. 2. Schemat badanego połączenia „okładzina – łącznik mechaniczny – profil podkonstrukcji”

Źródło: rysunek archiwalny ze zbiorów Laboratorium ITB

Fig. 2. Scheme of the tested connection “cladding – mechanical connector – subframe profile”

Source: archival drawing from the collection of the ITB Laboratory



Rys. 3. Usytuowanie łączników mechanicznych w okładzinach z płyt włóknisto-cementowych do badania wytrzymałości na wrywanie: a) pośrodku okładziny; b) w narożniku; c) na bocznej krawędzi; 1 – profil, 2 – okładzina, 3 – łącznik mechaniczny

Rys. autor
Fig. 3. Location of fasteners in the cladding made of fiber-cement boards for pull-out strength tests: a) in the middle of the cladding; b) in the corner; c) on the side edge; 1 – profile; 2 – cladding; 3 – mechanical fasteners
Author's drawing

■ nitów z trzpieniem stalowym o wymiarach 4 x 18 x 15 mm („stały nit”);

■ profili aluminiowych (kątownik L 45/55/2 mm).

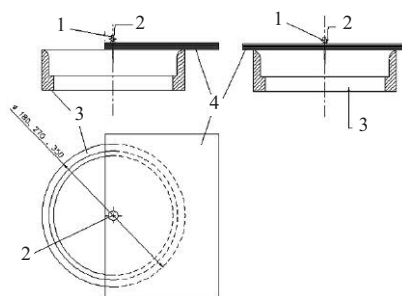
Łączniki mechaniczne (nity) występowały w narożnikach, w środku i z brzoгу okładziny o wymiarach 300 x 300 mm (rysunek 3). Przed badaniami odporności na wrywanie nitów próbki poddano:

- kondycjonowaniu w warunkach laboratoryjnych w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$ w ciągu dwóch godzin (30 próbek);
- leżakowaniu w wodzie w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$ w ciągu 500 h (30 próbek),
- działaniu 30 cykli zamrażania – rozmrażania (30 próbek).

Po kondycjonowaniu w podanych warunkach przeprowadzono badania odporności na wrywanie łącznika mechanicznego wg metody badawczej opisanej w EAD 090062-00-0404 [2]. Jest ona wyrażana w postaci maksymalnej siły niszczącej. W celu odwzorowania różnych sposobów podparcia okładzin w warunkach rzeczywistych, podczas badań umieszczano je na pierścieniach podtrzymujących o średnicy 330, 240 i 180 mm (rysunek 4). Prędkość wzrostu siły wrywającej podczas badania wynosiła 5 mm/min. Badanie prowadzono do zniszczenia połączenia.

Przebadano 90 próbek: 30 kondycjonowano w warunkach laboratoryjnych, 30 – poddano cyklem zamrażania – rozmrażania i 30 – leżakowaniu w wodzie. Każdą partię próbek dzielono na trzy części w celu przebadania na pierścieniach podporowych o różnej średnicy: 180, 240 oraz 330 mm.

Po klimatyzacji w warunkach laboratoryjnych największa odporność na przeciąganie nitów występowała na



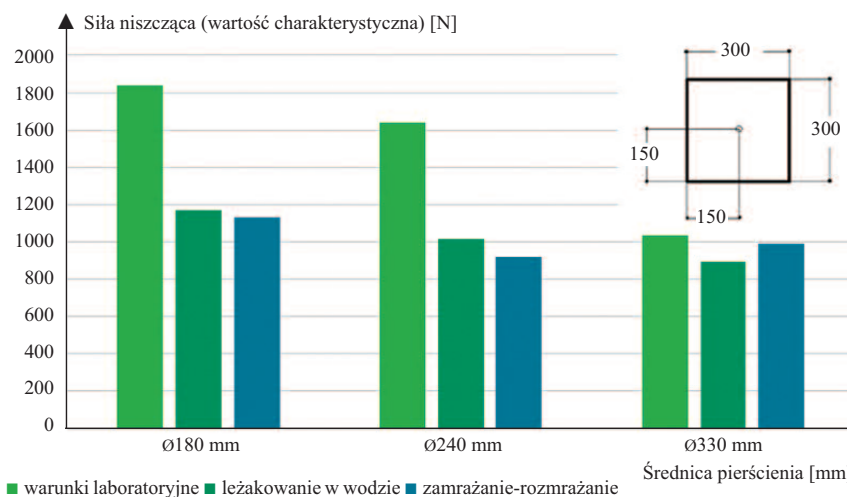
Rys. 4. Zasada badania odporności na wrywanie łączników mechanicznych z okładziny (z części środkowej i przykrawędziowej): 1 – miejsce przyłożenia obciążenia; 2 – łącznik mechaniczny; 3 – pierścień podtrzymujący; 4 – okładzina
Źródło [2]
Fig. 4. Concept of pull-through test in edge and centre. 1 – load; 2 – mechanical fasteners; 3 – supporting ring; 4 – cladding element
Source: [2]

próbkach ułożonych na pierścieniach 180 i 240 mm. Po cyklach zamrażania – rozmrażania oraz leżakowaniu w wodzie zmniejszyła się odporność na wy-

rywanie nitów z okładziny włóknisto-cementowej w porównaniu z próbkami klimatyzowanymi w warunkach laboratoryjnych. Największy spadek (rzędu 40%) stwierdzono w przypadku próbek o małej rozpiętości podparcia (180 i 240 mm). W próbkach o rozpiętości podparcia 330 mm różnica wytrzymałości na wrywanie nie przekraczała 5%. Interesujący jest fakt, że po oddziaływaniach klimatycznych wartości odporności na wrywanie łączników mechanicznych, niezależnie od sposobu podparcia okładzin (średnicy pierścienia), były bardzo zbliżone. Niwelowało to przewagi wynikające ze sposobu podparcia próbek (szczególnie widoczne przed oddziaływaniem warunków klimatycznych). Graficzną ilustrację zmian odporności na wrywanie nitu z okładziny włóknisto-cementowej po cyklach oddziaływania warunków klimatycznych przedstawia rysunek 5 (reprezentatywny wynik dla próbki z nitem występującym w środku okładziny).

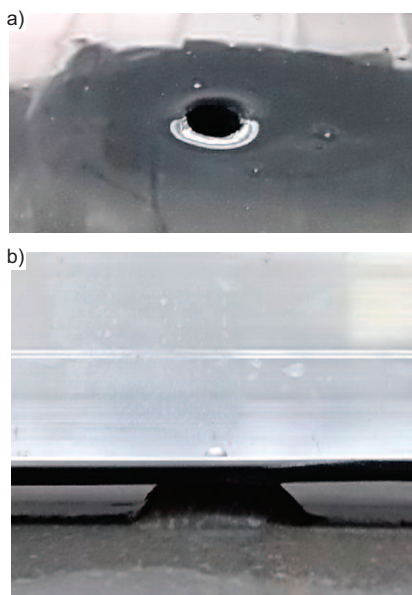
Procentowa zmiana odporności na wrywanie nitów próbek poddanych oddziaływaniu cykli klimatycznych jest większa od zmian wytrzymałości na zginanie. Podczas badań zauważono istotne zmiany w charakterze zniszczenia próbek po różnych cyklach klimatycznych (fotografie 1 ÷ 3).

Po przechowywaniu w wodzie (badano próbki tuż po wyjęciu z wody) widoczne było uplastycznienie okładziny włóknisto-cementowej. Łeb nitu defor-



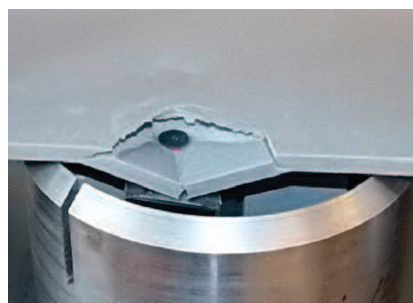
Rys. 5. Graficzna ilustracja zmian odporności na wrywanie nitu z okładziny włóknisto-cementowej po cyklach oddziaływania warunków klimatycznych

Rys. autor
Fig. 5. Graphic illustration of changes in rivet pull-out resistance of a fiber-cement cladding after cycles of climatic conditions
Author's drawing



Fot. 1. Zniszczenie próbki po kondycjonowaniu w wodzie. Widok próbki po zniszczeniu: a) od góry; b) od dołu Fot. autor
 Photo 1. Destruction of the sample after conditioning in water. View of the sample after destruction: a) top; b) bottom

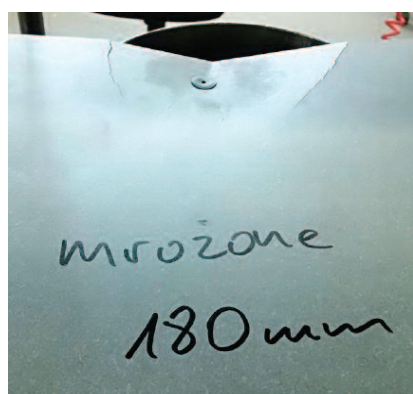
Author's photography



Fot. 2. Zniszczenie próbki po kondycjonowaniu w warunkach laboratoryjnych

Fot. autor
 Photo 2. Destruction of the sample after conditioning in laboratory conditions

Author's photography



Fot. 3. Zniszczenie próbki po cyklach zamrażania – rozmrażania Fot. autor

Photo 3. Sample destruction after freeze-thaw cycles

Author's photography

mował okładzinę (fotografia 3). W przypadku badania próbek kondycjonowanych w warunkach laboratoryjnych i poddanych cyklom zamrażania – rozmrażania uszkodzenia próbek były podobne – dochodziło do pęknięcia w odległości ok. 10 cm od łba nitu, a charakter zniszczenia zbliżony do przedstawionego na fotografii 1 (po rzeczywistych oddziaływaniach klimatycznych).

Wnioski

Przeprowadzone badania laboratoryjne potwierdziły, że w wentylowanych systemach elewacji połączenie „okładzina włóknisto-cementowa – łącznik mechaniczny – podkonstrukcja” jest bardzo wrażliwe na oddziaływanie czynników klimatycznych (wody, zmiennej temperatury). Po takim oddziaływaniu odporność na wrywanie nitu z okładziny może się zmniejszyć o ponad 40%.

Podczas projektowania elewacji wentylowanych z płyt włóknisto-cementowych projektanci, kierując się normą PN-EN 12467+A2:2018-06 [3], uwzględniają zmniejszenie parametrów mechanicznych okładziny jedynie na poziomie 25%. Uzyskane zmniejszenie wytrzymałości na wrywanie nitów jest znacznie większe od granicznych wartości zmian odporności na zginanie okładzin, o których mowa w [3].

Największe zmiany odporności na wrywanie mogą występować w systemach elewacyjnych o dużym zagęszczeniu rusztu i rozstawie łączników mechanicznych ok. 30 cm znajdujących się w miejscach narażonych na największe obciążenia wiatrem, m.in. na atykach lub narożach budynków.

Zaobserwowane podczas badań laboratoryjnych zmiany wytrzymałości na przeciąganie nitów przez okładzinę po oddziaływaniu warunków klimatycznych należy uznać za bardzo niebezpieczne w kontekście bezpieczeństwa użytkowania systemów elewacyjnych, przede wszystkim ze względu na odporność na obciążenie wiatrem. Badania odporności systemów elewacyjnych na działanie wiatru wg [2] EAD 090062-00-0404 przeprowadzane są na okładzinach niepoddawanych oddziaływaniom klimatycznym. Zazwyczaj producenci tych systemów deklarują poziom odporności na działanie wiatru na poziomie 2400 Pa.

Przy wyższym ciśnieniu często dochodzi do uszkodzenia systemów elewacyjnych.

Zaobserwowane zmniejszenie odporności na przeciąganie nitów przez okładzinę włóknisto-cementową po cyklach klimatycznych daje podstawę do rozważenia konieczności wprowadzenia do praktyki oceny elewacji wentylowanych na bazie płyt włóknisto-cementowych współczynników korygujących, uwzględniających zaobserwowane zmiany lub przeprowadzenie badań na próbkach poddanych wcześniej oddziaływaniom klimatycznym.

Podczas projektowania elewacji wentylowanych, z płytami włóknisto-cementowymi mocowanymi mechanicznie do podkonstrukcji, należy uwzględnić zmniejszenie wytrzymałości okładzin na zginanie oraz odporności na wrywanie nitów po oddziaływaniu warunków klimatycznych. Zmiany te zaleca się brać pod uwagę przede wszystkim w momencie analizy wpływu obciążenia wiatrem na system elewacyjny.

Nieuwzględnienie zmian odporności na wrywanie łączników mechanicznych z okładzin włóknisto-cementowych, w systemach elewacji wentylowanych po oddziaływaniu warunków klimatycznych, może prowadzić do niekontrolowanych uszkodzeń, w tym pęknięć oraz odpadania okładzin. Zmniejszenie odporności na wrywanie nitów z okładzin włóknisto-cementowych należy uwzględnić również podczas oceny stanu technicznego elewacji wentylowanych w przypadku stwierdzenia na nich spękań w miejscach występowania łączników mechanicznych.

Literatura

- [1] Schabowicz K. Elewacje wentylowane. Technologia produkcji i metody badania płyt włóknisto-cementowych. Wrocław. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2018.
- [2] EAD 090062-00-0404 Kits for external wall claddings mechanically fixed, 2018
- [3] PN-EN 12467+A2:2018-06 Płyty płaskie włóknisto-cementowe – Właściwości wyrobu i metody badań.
- [4] Runkiewicz L, Kopyłow O, Sieczkowski J. Elewacje wentylowane. Diagnostyka stanu technicznego. Instrukcje, Wytyczne, Poradniki. Instytut Techniki Budowlanej. 2021 r.
- [5] Drobiec Ł. Problemy eksploatacyjne elewacji z prefabrykowanych płyt betonowych. Materiały Budowlane. 2020. DOI: 10.15199/33.2020.09.04.

Przyjęto do druku: 30.01.2023 r.