



Wpływ niektórych błędów montażowych i rozwiązań materiałowych na jakość zamocowań w konstrukcjach betonowych

Dr inż. Kazimierz Konieczny, dr inż. Daniel Dudek, Instytut Techniki Budowlanej

1. Wprowadzenie

Obecnie stosowane systemy zamocowań w konstrukcjach betonowych można podzielić na te, które są wykonane w trakcie betonowania konstrukcji, oraz na zamocowania w gotowych podłożach. Najczęściej stosowane są łączniki rozporowe tworzywowo-metalowe oraz wklejane. Ich konstrukcja umożliwia przenoszenie obciążeń rozciągających, ścinających i złożonych. Nośność wykonywanych zamocowań (rozciągające obciążenia niszczące) sięga poziomu ok. 160 kN dla jednego stalowego łącznika mocowanego w zarysowaniach konstrukcyjnych betonowych klasy powyżej C20/25 i ok. 15 kN dla łączników tworzywowo-metalowych w wielopunktowych zamocowaniach instalacyjnych. Łączniki te są tak zaprojektowane, by przez cały zamierzony czas użytkowania spełniały swoje zadania w zakresie użyteczności, nośności i stateczności, bez istotnego obniżenia swojej przydatności oraz nadmiernych, nieprzewidzianych kosztów eksploatacji.

2. Wymagania

Zarówno w trakcie montażu, jak i w okresie eksploatacji łączniki podlegają oddziaływaniu wielu zewnętrznych czynników mogących w znaczący sposób oddziaływać na ich nośność. Do takich czynników należy zaliczyć m.in. zastosowane parametry montażowe, rodzaj i charakter przenoszonego obciążenia, wytrzymałość podłoża, temperaturę, w jakiej łączniki będą eksploatowane itp.

Ostateczne techniczne parametry zamocowań nadal nie są na tyle rozpoznane, aby jedynie za pomocą teoretycznych obliczeń określić ich wpływ na zachowanie zamocowań w okresie ich długoletniej eksploatacji. Istnieje co prawda kilka teoretycznych modeli obliczeniowych do oceny nośności zamocowań, ale nadal wymagana jest ich doświadczalna weryfikacja.

Zgodnie z obowiązującymi w Unii Europejskiej wymaganiami opracowanymi przez Europejską Organizację ds. Ocen Technicznych ocenę łączników przeprowadza się w oparciu o ujednoczone badania wraz z interpretacją uzyskanych wyników i zalecanymi metodami

projektowania zamocowań [1], [2]. Zgodnie z przyjętym w wytycznych podejściem kotwy rozporowe i wklejane mają przenosić obciążenia w taki sposób, aby nie doprowadzić do:

- zniszczenia całości lub części obiektu,
- znacznych odkształceń o niedopuszczalnej wielkości,
- uszkodzenia innych części obiektu, połączeń bądź zainstalowanego wyposażenia na skutek znacznej deformacji konstrukcji nośnej,
- powstania uszkodzenia konstrukcji na skutek zdarzenia w stopniu nieproporcjonalnym do pierwotnej przyczyny.

Badania łączników obejmują dwa aspekty:

- badania na przydatność,
- badania na dopuszczalne warunki użytkowania.

W badaniach na przydatność ustala się praktyczny wpływ możliwych do wystąpienia na budowie odstępstw od zaleceń producenta łączników i wymagań zamieszczonych w odpowiednich ocenach technicznych na nośność wykonanych połączeń. Badania te ustalają wpływ takich parametrów na jakość zamocowań jak:

- wytrzymałość podłoża,
- jakość i sposób czyszczenia otworu wykonanego w podłożu,
- wilgotność podłoża,
- jakość mieszania zaprawy klejącej,
- zarysowanie podłoża betonowego (jeśli producent przewiduje taki zakres stosowania kotew),
- temperatura otoczenia w chwili montażu oraz późniejsza eksploatacja połączenia.

Badania te nie obejmują jednak ustalenia wpływów tzw. „grubych” błędów na nośność łączników. Do takich błędów zalicza się m.in. błędy, których można uniknąć poprzez właściwe wyszkolenie montażystów, właściwy nadzór w trakcie instalacji łączników, a w tym np.:

- brak czyszczenia wywierconego otworu w betonie,
- dla kotew wklejanych brak wymieszania składników zaprawy klejowej itp.

Badania dopuszczalnych warunków użytkowania mają natomiast za zadanie ustalenie parametrów technicznych łączników niezbędnych dla celów projektowych w warunkach odzwierciedlających praktyczne ich stosowanie na miejscu budowy. Badania te obejmują m.in.



ustalenie wpływu takich czynników na nośność łączników, jak np.:

- sposób obciążenia,
 - rozmieszczenie łączników w połączeniu,
 - funkcjonowanie pod obciążeniem długotrwałym itp.
- Określone w badaniach parametry techniczne łączników zamieszczone są w Krajowych Ocenach Technicznych (KOT) lub Europejskich Ocenach Technicznych (dawniej ETA) wydawanych przez upoważnione jednostki. Dokumenty te stanowią prawną podstawę do wprowadzenia do obrotu i stosowania łączników w naszym kraju lub UE po wystawieniu przez producentów deklaracji właściwości użytkowych wraz z właściwym oznakowaniem tych wyrobów znakami CE lub B.

Ważnym jest, aby wszelkie wymagania zamieszczone w ETA lub KOT były spełniane zarówno na etapie projektowania zamocowań, jak i w fazie montażu łączników. W przypadku niedotrzymania wymagań zamieszczonych w ETA lub KOT należy liczyć się z obniżeniem nośności realizowanych połączeń, a niekiedy wręcz z brakiem możliwości ich eksploatacji. Wpływ często popełnianych w trakcie montażu błędów, które w istotny sposób wpływają na jakość wykonywanych zamocowań przedstawiono poniżej.

3. Wpływ niektórych czynników instalacyjnych na nośność łączników

3.1. Rysy i tolerancje otworów w podłożu

Wymagania zamieszczone w wytycznych EOTA [1], [2] przewidują, aby dla stalowych łączników rozporowych instalowanych w podłożach betonowych określać ich nośność na wyrywanie. Łączniki te mogą być stosowane w różnych układach montażowo-konstrukcyjnych, co przekłada się na końcową ich nośność. Należy określić głębokości zakotwienia łączników w podłożu, momenty instalacyjne, wymagania dotyczące podłoża, a także średnice wierconych otworów.

Większość łączników umożliwia wykonywanie zamocowań w betonowym podłożu bez rys oraz w podłożu zarysowanym, gdzie rozwarości rys wynoszą: 0,10; 0,30 oraz 0,50 mm.

Wpływ zarysowania betonowego podłoża i rodzaju obciążeń na nośność łączników jest przedmiotem licznych badań ITB, który od wielu lat zajmuje się problematyką zamocowań w budownictwie. Wyniki z badań nośności stalowych łączników rozporowych mocowanych w betonowym podłożu klasy C20/25 w zróżnicowanych warunkach przedstawiono poniżej [1]:

- podłoże – beton niezarysowany klasy C20/25,
- podłoże – beton zarysowany klasy C20/25, rysy 0,30 mm,
- podłoże – beton zarysowany klasy C20/25, rysy 0,50 mm,
- podłoże – beton zarysowany klasy C20/25, rysy od 0,10 do 0,30 mm rozwierane w 100 cyklach dla obciążeń max N (stałe obciążenie),

- podłoże – beton zarysowany klasy C20/25, rysy od 0,10 do 0,30 mm rozwierane w 100 cyklach przy zmiennych obciążeniach min N i max N .

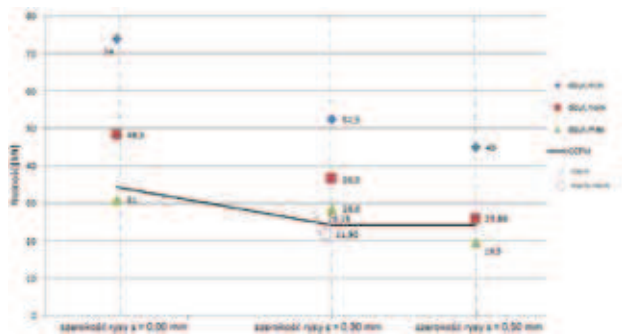
Zgodnie z wymaganiami EOTA [2] stosowane w badaniach obciążenia rozciągające zmieniają swoje wartości w przedziale:

$$N_{p,min} = 0,1 \times N_R \quad (1)$$

$$N_{p,max} = 0,4 \times N_R \quad (2)$$

gdzie:

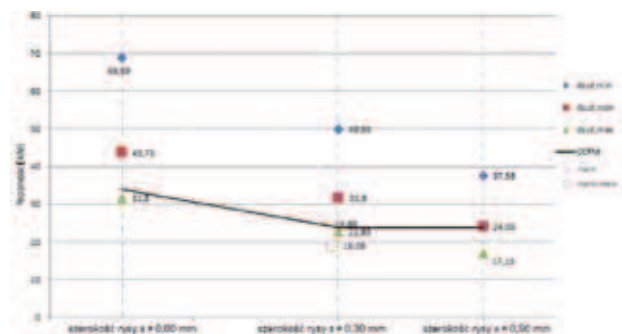
- $N_{p,min}$ – minimalne obciążenie łącznika w cyklu [kN],
- $N_{p,max}$ – maksymalne obciążenie łącznika w cyklu [kN],
- N_R – nośność charakterystyczna łącznika na wyrywanie [kN].



Rys. 1. Nośności na wyrywanie łączników tulejowych M12 dla betonu klasy C20/25



Rys. 2. Nośności na wyrywanie łączników segmentowych M12 dla betonu klasy C20/25



Rys. 3. Nośności na wyrywanie łączników pierścieniowych M12 dla betonu klasy C20/25



Dla łączników poddanych działaniu obciążeń długotrwałych – ocenę nośności przeprowadzono w badaniach wytrzymałościowych po 100 cyklach rozwierania rys i zamykania w przedziale 0,10–0,30 mm. W takich badaniach łączniki poddaje się działaniu stałego obciążenia, którego wielkość wynosi:

$$\max N = 0,6 \cdot N_{R,m} \quad (3)$$

gdzie:

$\max N$ – maksymalna siła długotrwała obciążająca łącznik,
 $N_{R,m}$ – średnia nośność łącznika na wyrwanie.

Otwory w podłożu były wykonywane przy użyciu wiertel o trzech średnicach:

- $d_{cut,min}$ (minimalna średnica wierconego otworu),
- $d_{cut,nom}$ (nominalna średnica wierconego otworu),
- $d_{cut,max}$ (maksymalna średnica wierconego otworu).

Obliczone nośności łączników wg stosowanej w UE metody CCFM [2] naniesiono również na rysunkach 1–3. Analizując przedstawione na rysunkach 1–3 wyniki z badań nośności zamocowań łącznikami w betonie z rysami, można wyciągnąć poniższe wnioski.

- Wyznaczone w badaniach nośności stalowych kotew rozporowych są zależne od stanu podłoża (szerokości rozwarcia rys) oraz średnicy wierconego otworu, w którym osadzono łączniki.
- Wykonując w podłożu otwory o średnicy wiertel $d_{cut,min}$ obserwuje się wyraźny wzrost nośności w porównaniu do nośności określanej przy osadzeniu tego samego rodzaju i rozmiaru kotew w otworach, które wykonane są wiertłem o średnicy $d_{cut,nom}$. Przyrosty te wahały się w przedziale od 123 do prawie 200% (średnio ok. 160%).
- Stosując wiertła o średnicy $d_{cut,max}$ w badaniach odnotowuje się spadek nośności łączników, który w zależności od typu i rozmiaru łącznika oraz szerokości rozwarcia rys w podłożu waha się w granicach od ok. 90 do 65% (średnio ok. 72%).

Tabela 1. Nośności na wyrwanie z podłoża betonowych stalowych łączników pierścieniowych

Kombi-nacja badawcza	Efektywna głębokość zakotwienia h_{ef} [mm]	Moment instalacyjny T_{inst} [Nm]	Siła niszcząca N_{Ru} [kN]	Średnia siła niszcząca $N_{Ru,m}$ [kN]	Obraz zniszczenia
I	60	80	49,97	43,75	5 x wyrwanie
			46,66		
			46,88		
			49,20		
			46,90		
III	60	40	39,86	30,70	5 x wyrwanie
			35,11		
			33,20		
			29,89		
			30,10		

- Dla łączników osadzanych w zarysowanym podłożu betonowym (rozwartość rys $s = 0,30$ mm), które są poddane działaniom obciążeń cyklicznych, obserwuje się dalszy spadek nośności o ok. 10–15% w stosunku do nośności łączników osadzanych w otworach wykonanych wiertłami o średnicy $d_{cut,max}$.
 - Dla większości przebadanych łączników rozporowych mocowanych w betonowym podłożu określone w badaniach nośności są wyższe od wartości wyznaczonych teoretycznie metodą CCFM.
- Podobny do charakteru zmian w nośnościach rozporowych łączników przedstawiony na rysunkach 1–3 obserwowano dla zamocowań łączników rozporowych osadzanych w podłożach betonowych klasy C50/60.

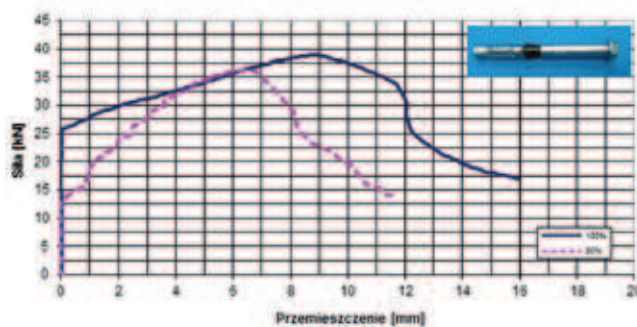
3.2. Moment obrotowy

Dotychczas brak jest udokumentowania wpływu wielkości zastosowanego momentu obrotowego powodującego rozprężenie łącznika z kontrolowanym momentem obrotowym na jego nośność. Trudności te wiążą się m.in. z odmienną konstrukcją łączników i jakością podłoża, w których są one osadzone. W dotychczas przeprowadzonych badaniach ustalono, iż stosowany moment obrotowy powodujący rozprężanie łączników wyraźnie wpływa na końcową nośność zrealizowanych zamocowań. Ilustrują to przykładowe wyniki z badań nośności pierścieniowych łączników rozporowych M12 z kontrolowanym momentem obrotowym, kotwione w betonowym podłożu C20/25 bez rys zamieszczone w tabeli 1. Zmniejszając wartości rozprężającego momentu obrotowego, obserwuje się obniżenie nośności łączników zamocowanych w niezarysowanym podłożu betonowym o ok. 30%. Przy innej konstrukcji łączników rozporowych z kontrolowanym momentem obrotowym wielkości te są inne.

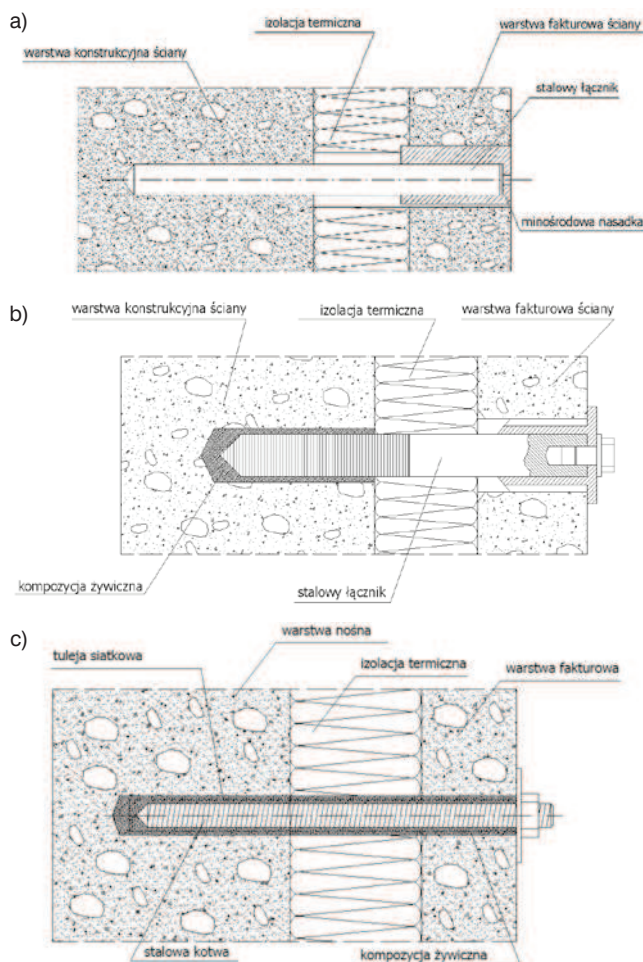
Przykładowo wpływ wielkości momentu obrotowego na nośność i charakter pracy segmentowego łącznika rozporowego przedstawiono na rysunku 4.

3.3. Błędy we wzmocnieniach ścian warstwowych

W ścianach warstwowych konstrukcji żelbetowej dodatkowe połączenia warstwy fakturowej z warstwą konstrukcyjną realizowane są w oparciu o połączenia trzpieniowe (rys. 5) lub układy cięgnowe. Łączniki te są



Rys. 4. Wpływ wielkości rozprężającego momentu obrotowego na nośność łączników segmentowych M10 [8]



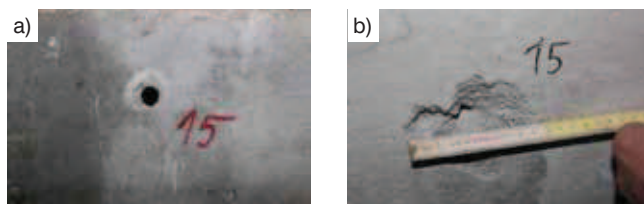
Rys. 5. Dodatkowe połączenia w ścianach warstwowych stalowymi trzpieniami: a) łączniki z trzpieniem osadzonym w pasowanym otworze „na sucho”, b) łącznik z trzpieniem wklejanym w warstwie nośnej, c) łącznik z trzpieniem wklejanym w warstwie nośnej i fakturowej

wykonywane ze stali nierdzewnej gatunku A-4/700 lub A-4/800. Przyjmują one pionowe obciążenia z warstwy fakturowej i przekazują je do warstwy konstrukcyjnej ściany warstwowej.

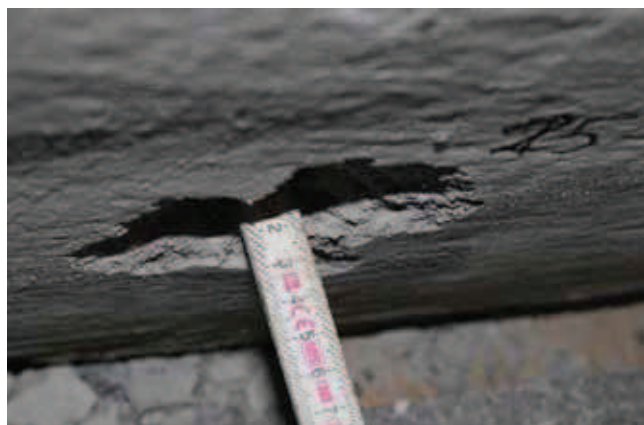
Przy konstruowaniu dodatkowych zamocowań w ścianach warstwowych zaleca się, aby spełniały one następujące wymagania:

- minimalna głębokość zamocowania łączników w betonie klasy $\geq C20/25$ wynosiła $h_{ef} \geq 40$ mm,
- minimalna grubość elementu, w którym mocowane są łączniki wynosiła $h_n \geq 2 h_{ef}$ i $h_n \geq 100$ mm.

Spełnienie powyżej przedstawionych zaleceń nie zawsze jest jednak możliwe. Grubość warstwy nośnej, w której mocowane są dodatkowe łączniki, wynosi bowiem (w zależności od rozwiązania konstrukcyjnego ścian) od 8 do 15 cm. Grubość warstwy fakturowej waha się natomiast w granicach od 4 do 7 cm. Określane w badaniach nośności wykonywanych połączeń wzmacniających mieszczą się w granicach od ok. 30 do ok. 48 kN.



Rys. 6. Przelotowe otwory o średnicy $\varnothing 16$ mm wykonywane w betonowej ścianie grubości 5 cm: a) w widoku od strony frontowej, b) uszkodzone podłoże warstwy fakturowej od strony przyległej do izolacji termicznej ściany warstwowej



Rys. 7. Uszkodzone podłoże warstwy fakturowej od strony przyległej do izolacji termicznej ściany warstwowej z odspojonym betonowym stożkiem przy wierceniu w warstwie fakturowej grubości 5 cm wiertłem o średnicy $\varnothing 25$ mm

Zniszczenie dodatkowych połączeń następuje na skutek:

- uszkodzenia betonu (warstwy nośnej lub fakturowej ściany w obszarze zamocowania łącznika),
- nadmiernego ugięcia stalowego łącznika,
- zniszczenia stalowego łącznika.

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż wierząc w sposób udarowo-obrotowy w betonowych płytach, tzw. otwory przelotowe w pewnym zakresie uszkadzają to podłoże. Wykonując otwór w stosunkowo cieniwej warstwie fakturowej ściany, następuje odspojenie (odłupanie) warstwy betonu po przeciwległej stronie betonu (w stosunku do jego płaszczyzny frontowej). Głębokość i obszar takiego uszkodzenia zależy m.in. od średnicy wykonywanego otworu, grubości i stanu betonowego podłoża, stosowanego urządzenia itp. Charakterystyczne obrazy uszkodzeń betonu w przypadku wykonywania otworów przelotowych przedstawiono kolejno na rysunkach 6a, b i 7 oraz w tabeli 2.

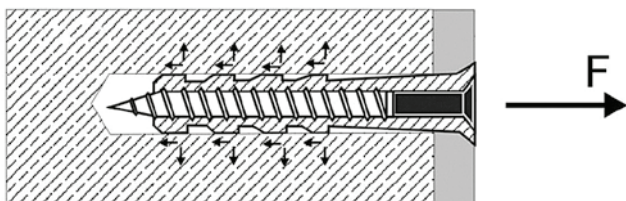
3.4. Łączniki tworzywowo-metalowe

To popularne i powszechnie stosowane łączniki. Są przeznaczone głównie do wykonywania mniej odpowiedzialnych zamocowań o charakterze montażowo-instalacyjnym (rys. 8). Pomimo tego, że ich nośności nie przekraczają na ogół wartości 5 kN (dotyczy to kotków o średnicy $\varnothing 12$ mm osadzonych w betonie klasy

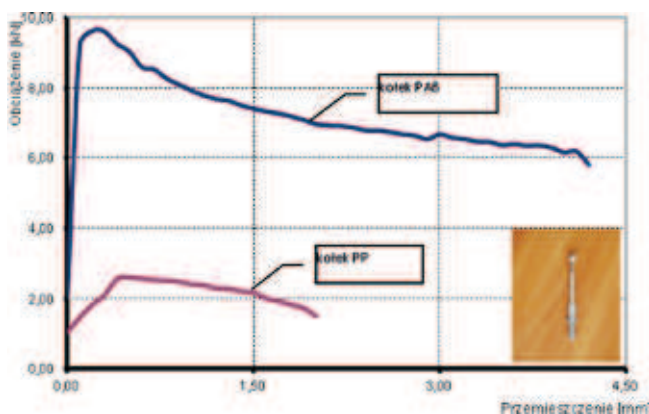


Tabela 2. Wielkości uszkodzeń w betonowej warstwie fakturowej ścian warstwowych

Uszkodzony obszar	Wielkości uszkodzeń przy etapowym wykonywaniu otworów średnicy \varnothing [mm]			Jednorazowe wiercenie docelowej średnicy otworu
	\varnothing 5-7 mm	\varnothing 15 mm	\varnothing 25 mm	25 mm
Kierunek X (w płaszczyźnie lica ściany)	30-50	60-80	80-110	100-120
Głębokość odlupanego stożka	8-10	10-15	12-24	15-28



Rys. 8. Łącznik tworzywowo-metalowy do zamocowań instalacyjnych [8]

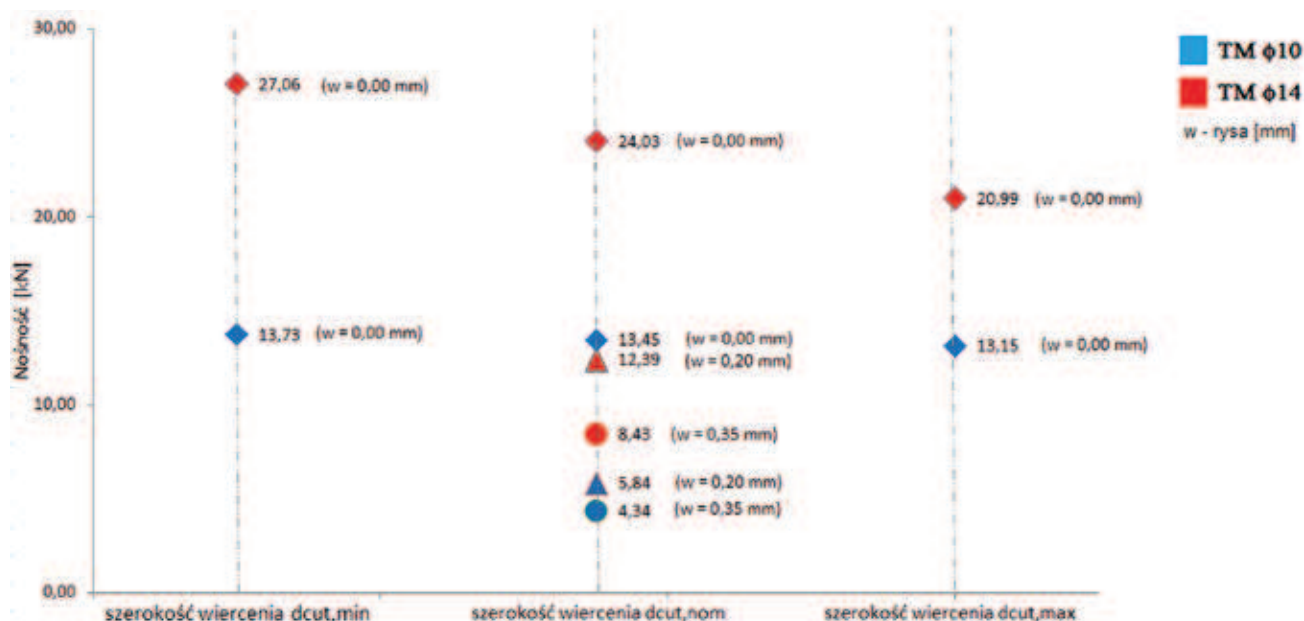


Rys. 9. Wykresy obciążenie/przemieszczenie dla rozporowych łączników tworzywowo-metalowych \varnothing 10 mm z tuleją z polipropylenu (PP) i poliamidu (PA 6)

C15/20), dla tego rodzaju łączników obowiązują podobne wymagania, jak dla łączników przeznaczonych do wykonywania zamocowań konstrukcyjnych.

Zgodnie z zaleceniami zamieszczonymi w wytycznych EOTA tworzywowe części łączników rozporowych mogą być wytwarzane z poliamidów lub polipropylenu, rzadziej z polietylenu. Charakterystyczne wykresy: obciążenie rozciągające/przemieszczenie dla tworzywowych kołków rozporowych średnicy \varnothing 10 mm wykonywanych z poliamidu PA6 oraz z polipropylenu J 330 przedstawiono na rysunku 9. Różnice w nośnościach zamocowań są bardzo wyraźne, ale czy każdy z nas w oparciu o wizualne oględziny potrafi rozpoznać materiał, z jakiego wykonany jest taki łącznik?

W praktyce spotyka się także tuleje tworzywowych łączników rozporowych wyprodukowane z mieszaniny różnego rodzaju tworzyw sztucznych o bliżej nieokreślonym składzie (często będących odpadami po różnych produktach) i dość przypadkowej ilości w stosunku do użytego w produkcji pierwotnego regranulatu. Może to skutkować obniżeniem jakości takich łączników i dalszym spadkiem nośności wykonywanych zamocowań. Bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na jakość zamocowań łącznikami tworzywowo-metalowymi jest wykonanie właściwego otworu w podłożu (średnica i głębokość), a także stan podłoża, w którym łączniki te są



Rys. 10. Średnia nośność na wrywanie łączników tworzywowych TM10 i TM14



Rys. 11. Zniszczone łączniki tworzywowo-metalowe do mocowania termoizolacji osadzone w zbyt płytko wykonanym otworze lub w otworze o zbyt małej średnicy

instalowane. Przykłady wpływu tolerancji wierconych otworów i stanu podłoża (zarysowania) na nośność badanych łączników tworzywowo-metalowych [7] przedstawiono na rysunku 10.

W przypadku łączników tworzywowych ze stalowym elementem rozporowym rejestrowany w badaniach spadek nośności przy wystąpieniu w podłożu rys o rozwartości 0,20 mm wynosi ok. 50% i nie zależał od głębokości zakotwienia. Jednak wzrost zarysowania podłoża powodował spadek nośności połączeń o kolejne 30%. Dla betonów zarysowanych o inicjacji zarysowań 0,35 mm stwierdzono spadki nośności rzędu ok. 70%.

Podobne zjawisko obniżania nośności łączników tworzywowo-metalowych obserwujemy w przypadku niewłaściwego oczyszczenia otworu z pyłu pochodzącego z wiercenia. Warstwa nieusuniętego pyłu umiejscowiona na styku tworzywowej tulei łącznika z poboczną otworu podłoża znacząco obniża siły tarcia niezbędne do prawidłowego zamocowania łącznika. Ocenia się, iż nośność tak osadzonych łączników może obniżyć się nawet o ok. 20%. Kształt tulei rozporowej może niekiedy zredukować ujemnie skutki pozostawionego w otworze urobku (ale w pewnych rozsądnych granicach).

Należy zwrócić uwagę na niekonsekwencje w materiałach technicznych niektórych producentów kołków tworzywowo-metalowych. Zdarzają się przypadki podawania przez nich w technicznych informatorach alternatywnych średnic dla metalowych wkrętów stanowiących podstawowy element rozprężający. Na przykład

dla łączników o zewnętrznej średnicy 8 mm zaleca się stosowanie wkrętów o średnicach w przedziale od 4,5 do 6,0 mm, a dla łączników $\varnothing 12$ mm odpowiednio wkrętów o średnicach 8–10 mm. Różnice w nośnościach zamocowań takimi łącznikami mogą dochodzić do 40%. Również głębokość otworu w podłożu i sposób jego przygotowania w istotny sposób wpływa na nośność połączeń. W tego rodzaju łącznikach stalowy trzpień rozprężający musi mieć możliwość wysunięcia się poza końcową część tulei tworzywowej o około 0,5–1,0 średnicy stalowego wkręta będącego integralną częścią konstrukcji łącznika. W przeciwnym wypadku powierzchnia docisku tworzywowej tulei do ścianek otworu będzie ograniczona, a tym samym redukcji ulegnie również siła docisku utrzymująca łącznik w podłożu. W skrajnym przypadku zbyt płytko nawiercony w podłożu otwór nie umożliwi poprawnego osadzenia łącznika, co bezpośrednio będzie skutkowało wadliwie wykonanym mocowaniem – patrz rysunek 11.

4. Podsumowanie

Obecnie stosowane łączniki umożliwiają wykonywanie różnego rodzaju odpowiedzialnych zamocowań konstrukcyjnych o dużych nośnościach i zamocowań instalacyjnych. Co zatem zrobić, aby nie dopuścić do popełnienia błędów w trakcie ich montażu?

Po pierwsze należy stosować tylko łączniki mające odpowiednie dokumenty dopuszczające je do stosowania. W dokumentach tych są zamieszczone wymagania techniczne umożliwiające właściwe zaprojektowanie i wykonanie połączeń. Kolejne zalecenie – łączniki muszą być instalowane we właściwy sposób przez przeszkolony personel i pod odpowiednim nadzorem. Należy pamiętać także, iż aby zapewnić bezpieczną eksploatację wykonywanych zamocowań, należy wykonywać na budowach odpowiednie badania odbiorcze realizowanych zamocowań.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dudek D., Wpływ zmiennych obciążeń łączników rozporowych na ich nośność w zarysowanym podłożu betonowym. Rozprawa doktorska, ITB, Warszawa, 2017
- [2] European Assessment Document, EAD 330232-00-0601 Mechanical Fasteners for use in concrete.
- [3] European Assessment Document EAD 330284-00-604 Plastic Anchors for redundant non-structural systems in concrete and masonry
- [4] Konieczny K., Zamocowania w konstrukcjach budowlanych, ITB, Warszawa, 2004
- [5] Konieczny K., Wpływ obciążeń długotrwałych na nośność rozporowymi łącznikami z kontrolowanym momentem dokręcającym. Sprawozdanie z pracy badawczej, ITB, Warszawa, 2004
- [6] Konieczny K., Dudek D., Krajowe doświadczenia ze stosowania nowych technik zamocowań w budownictwie, XXXIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 2018
- [7] Knap P., Dudek D., Impact of the Degree of Concrete Cracking on the Pull-out Resistance of Steel and Plastic/Metal Sleeve Anchors. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 245, Praga, 2017
- [8] Runkiewicz L., Konieczny K., O badaniach połączeń i zamocowań kołkami tworzywowo-metalowymi w konstrukcjach budowlanych, Inżynieria i budownictwo 10/2003