

# Niedoceniany wpływ błędów montażowych na nośność stalowych łączników rozporowych

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

## 1. Wprowadzenie

Obecnie trudno sobie wyobrazić, aby w pracach budowlano-montażowych nie były instalowane różnego rodzaju łączniki rozporowe lub wklejane do zamocowań konstrukcyjnych, a w lekkich zamocowaniach instalacyjnych rozporowe łączniki tworzywowe lub tworzywowo-metalowe. W zależności od zastosowanego materiału ich konstrukcji oraz stanu podłoża nośność pojedynczego takiego łącznika może sięgać nawet poziomu 160 kN.

## 2. Wymagania

Na nośność łączników wpływa cały szereg czynników technicznych i montażowych branych pod uwagę już na etapie projektowania zamocowań. Niezbędne do projektowania połączeń parametry techniczne są zapisane w odpowiednich krajowych lub europejskich ocenach technicznych (dawniej w aprobatkach technicznych). Podane tam wielkości ustalone są doświadczalnie w badaniach laboratoryjnych. Zakres badań regulują zapisy w Europejskich Dokumentach Oceny EOTA [1]. Są one tak skonstruowane, aby projektowane zamocowania mogły bezpiecznie przenosić zewnętrzne obciążenia przy zasadach, by nie doprowadzić do:

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

Zamontowane w podłożu łączniki powinny przenosić zakładane obciążenia obliczeniowe, w postaci sił rozciągających, ścinających oraz łącznego rozciągania i ścinania, któremu są poddane w założonym okresie eksploatacji, pod warunkiem:

- zapewnienia ich odpowiedniej nośności i stateczności w stanie granicznym,
- ograniczenia przemieszczeń konstruowanych zamocowań w stanie granicznym użytkowania.

Zakłada się, iż poprawne funkcjonowanie łączników, wraz ze zdolnością do przenoszenia obciążeń obliczeniowych z uwzględnieniem właściwego współczynnika oraz przy ograniczeniu przemieszczeń, powinno być co najmniej

porównywalne z okresem eksploatacji mocowanego elementu.

Zgodnie z wymaganiami EOTA [1, 2] zakres wymaganych badań łączników obejmuje:

- badania przydatności,
- badania dopuszczalnych warunków użytkowania,
- ocenę trwałości,
- identyfikację.

W badaniach na przydatność do stosowania określa się m.in. nośność łączników osadzanych w betonie o niskiej (C20/25) i wysokiej wytrzymałości (C50/60), ustala się wpływ średnicy wiertła na nośność połączeń, obserwuje się zachowanie łączników w zarysowanych podłożach betonowych (rozwartość rys do 0,5 mm), prowadzi się badania zamocowań pod obciążeniami wielokrotnie zmiennymi i długotrwałymi, obserwuje się zachowanie łączników w kontakcie ze zbrojeniem, a także ustala się wpływ momentu obrotowego rozprężającego łączniki na jakość wykonywanych zamocowań [3].

Badania przydatności użytkowania mają natomiast za zadanie określenie charakterystyki technicznej łączników dla celów projektowych. Uwzględniają one m.in. takie czynniki, jak:

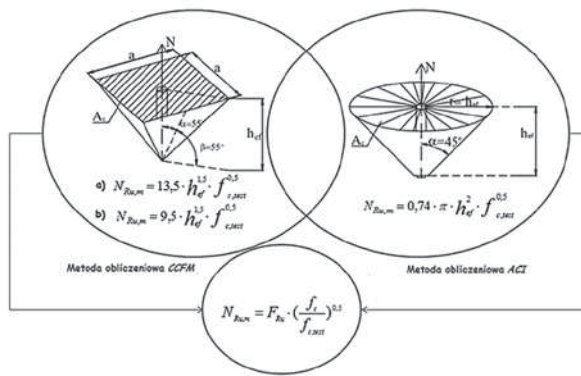
- rodzaj i właściwości łączników, a w tym ich rozmiar, średnicę otworu w podłożu, zalecanej głębokości osadzenia wytrzymałości materiału łącznika itp.,
- kierunku obciążenia łącznika (rozciąganie, ścinanie, zginanie),
- wytrzymałości i stanu podłoża (beton zarysowany lub niezarysowany),
- rozmieszczenia kotew w podłożach (rozstaw, odległości od krawędzi) itp.

Wszystkie badania na dopuszczalne warunki użytkowania wykonuje się w warunkach laboratoryjnych. W badaniach tych nie uwzględnia się „grubych” błędów, których należy bezwzględnie unikać poprzez prawidłowe szkolenie montażystów oraz właściwy nadzór na miejscu budowy. Błędy te mogą obejmować na przykład:

- używanie wiertel o niewłaściwej średnicy,
- brak czyszczenia otworu, w przypadku gdy takie czyszczenie było wymagane przez producenta.

## 3. Nośność łączników

Nośność łączników zamocowanych w podłożu betonowym może być oceniana w oparciu o teoretyczną analizę modeli



Rys. 1. Metody obliczenia nośności łączników [4]

obliczeniowych, ale nadal wymagana jest doświadczalna weryfikacja tak określonych wielkości [4].

W Europie do obliczenia nośności na wrywanie stalowych łączników rozporowych stosuje się metodę obliczeniową „psi” – Concrete-Cone Failure Mode [5]. W metodzie tej przyjmuje się, że obszar zamocowania jest w kształcie ostrosłupa prawidłowego zgodnie z rysunkiem 1, gdzie:

$a$  – odległość niszczenia podłoża [mm],  
 $A_c$  – pole powierzchni niszczenia podłoża [mm<sup>2</sup>],  
 $N$  – siła wrywająca łącznik [kN],  
 $h_{ef}$  – efektywna głębokość zakotwienia łącznika [mm],  
 $\alpha, \beta$  – kąty funkcji efektywnej głębokości zakotwienia od krawędzi pola powierzchni niszczenia podłoża.

Dla betonów niezarysowanych klasy C20/25 nośność łączników na wrywanie opisuje równanie [1]:

$$N_{Ru,m} = 13,5 \times h_{ef}^{1,5} \times f_{c,test}^{0,5} \quad (1)$$

gdzie:

$N_{Ru,m}$  – średnia nośność na wrywanie łącznika [kN],  
 $h_{ef}$  – efektywna głębokość zakotwienia łącznika [mm],  
 $f_{c,test}$  – wytrzymałość na ściskanie betonu uzyskana na podstawie badań [MPa].

Dla betonów zarysowanych klasy C20/25 nośność łączników na wrywanie ustala się w oparciu o:

$$N_{Ru,m} = 9,5 \times h_{ef}^{1,5} \times f_{c,test}^{0,5} \quad (2)$$

gdzie:

$N_{Ru,m}$  – średnia nośność na wrywanie łącznika [kN],  
 $h_{ef}$  – efektywna głębokość zakotwienia łącznika [mm],  
 $f_{c,test}$  – wytrzymałość na ściskanie betonu uzyskana na podstawie badań [MPa].

Jeżeli nośność łączników ustalana jest w oparciu o badania laboratoryjne, to średnią ich nośność niezależnie od stanu podłoża oraz klasy betonu oblicza się zgodnie z równaniem (3)

$$N_{Ru,m} = F_{Ru} \times \left(\frac{f_c}{f_{c,test}}\right)^{0,5} \quad (3)$$

gdzie:

$N_{Ru,m}$  – średnia nośność na wrywanie [kN],  
 $F_{Ru}$  – średnia siła niszcząca [kN],  
 $f_c$  – wytrzymałość normowa na ściskanie betonu [MPa],  
 $f_{c,test}$  – wytrzymałość testowa na ściskanie betonu [MPa].  
W metodzie ACI – American Concrete Institute zakłada się, że obraz zniszczenia połączenia będzie miał kształt stożka. Dla tego modelu nośność łączników będzie wyznaczona z zależności:

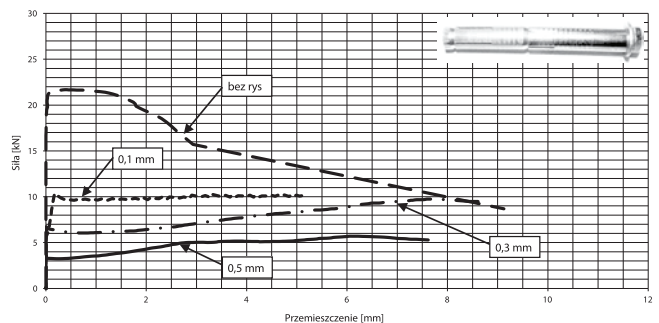
$$N_{Ru,m} = 0,74 \times \pi \times h_{ef}^2 \times f_{c,test}^{0,5} \quad (4)$$

gdzie:

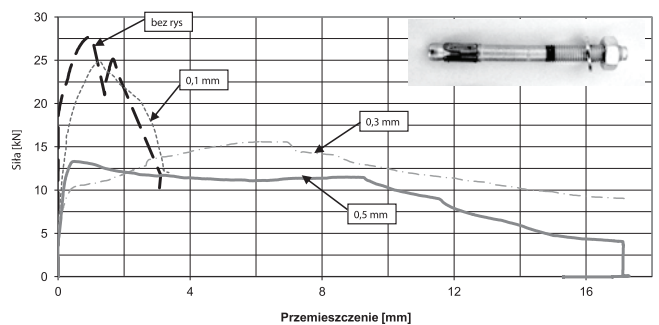
$N_{Ru,m}$  – średnia nośność na wrywanie [kN],  
 $h_{ef}$  – efektywna głębokość zakotwienia łącznika [mm],  
 $f_{c,test}$  – wytrzymałość testowa na ściskanie betonu [MPa].

#### 4. Wpływ niektórych błędów montażowych na nośność łączników

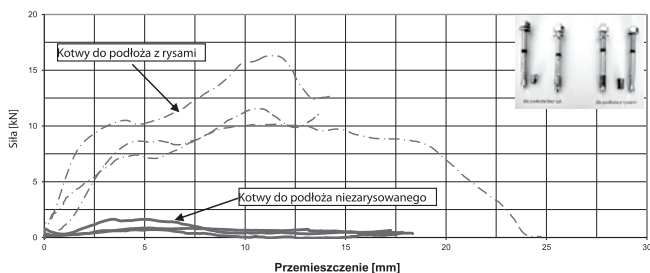
W praktyce często bagatelizuje się wpływ odstępstw od technicznych wymagań instalacyjnych zamieszczonych w ocenach technicznych dla poszczególnych rodzajów łączników. Wyniki badań laboratoryjnych ilustrujące wpływ często popełnianych błędów montażowych lub nieuwzględnienie stanu podłoża na nośność tak eksploatowanych łączników [6, 7] przedstawiono poniżej.



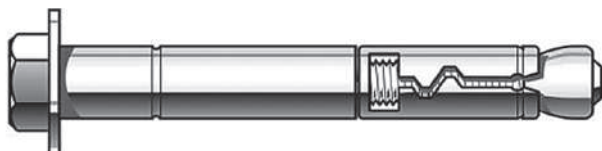
Rys. 2. Wpływ zarysowania betonu klasy C20/25 na nośność rozporowych kotew M8 [2]



Rys. 3. Przebieg zależności: obciążenie/przemieszczenie dla kotew wklejanych M10 do betonu B25 [2]



Rys. 4. Wpływ konstrukcji łączników rozporowych M10 zamocowanych w betonie [2]



Rys. 5. Stalowy łącznik tulejowy

Tabela 1. Parametry instalacyjne łączników tulejowych [6]

Lp	Łącznik M12	I	II	III	IV
1	Nominalna średnica wiertła $d_o$ [mm]	20	20	20	20
2	Min. głębokość wierconego otworu $h_1$ [mm]	95	75	95	75
3	Całkowita głębokość zakotwienia łącznika $h_{ef}$ [mm]	60	40	60	40
4	Całkowita głębokość montażowa $h_o$ [mm]	85	85	85	85
5	Minimalna grubość podłoża $h_{min}$ [mm]	150	150	150	150
6	Rozstaw łączników $s$ [mm]	180	180	180	180
7	Odległość od krawędzi $c$ [mm]	120	120	120	120
8	Moment instalacyjny $T_{inst}$ [Nm]	80	80	40	40
Rodzaj podłoża betonowego: beton zwykły niezarysowany i zarysowany (rysa 0,30 mm) klasy C20/25					

Tabela 2. Nośności na wyrwanie z podłoża betonowych zarysowanych (rysa 0,30 mm) klasy C20/25 łączników tulejowych [2]

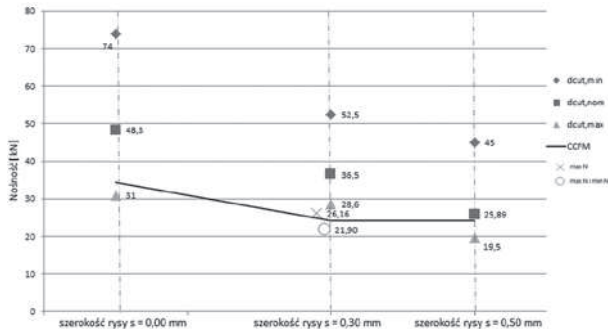
Kombinacja badawcza	Efektywna głębokość zakotwienia $h_{ef}$ [mm]	Moment instalacyjny $T_{inst}$ [Nm]	Siła niszcząca $N_{Ru}$ [kN]	Średnia siła niszcząca $N_{Ru,m}$ [kN]	Obraz zniszczenia
I	60	80	35,33 37,22 35,58 35,23 39,14 35,70	36,37*	10 × wyrwanie
II	40	80	21,33 19,78 17,60 22,00 21,71 20,10	20,42*	10 × wyrwanie
III	60	40	23,44 27,00 25,89 29,00 29,16 26,99	26,91*	10 × wyrwanie
IV	40	40	15,66 14,68 13,00 18,00 19,66 17,11	16,35*	10 × wyrwanie
CCFM – I	60	80		94,11*	wyrwanie
CCFM – II	40	80		51,23*	wyrwanie
CCFM – III	60	40		94,11*	wyrwanie
CCFM – IV	40	40		52,23*	wyrwanie

\* przy wytrzymałości na ściskanie podłoża betonowego  $f_{cm} = 30$  MPa

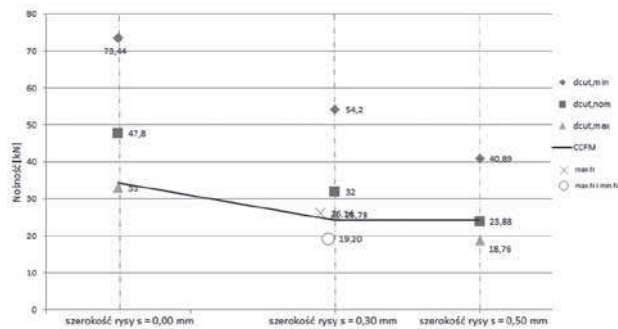
#### 4.1. Rysy i tolerancja otworów

Wymagania zamieszczone w wytycznych EOTA [1] przewidują, aby przy ocenie nośności na wyrwanie stalowych łączników rozporowych instalowanych w podłożach betonowych

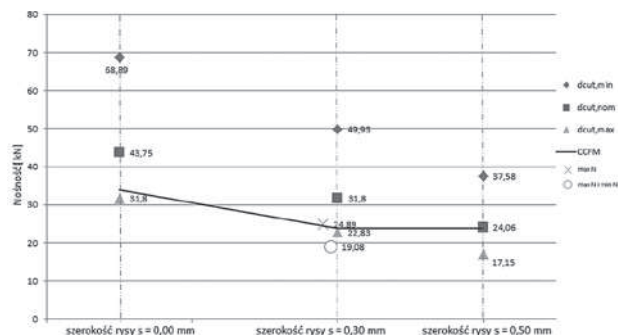
brać pod uwagę takie czynniki, jak np. głębokości zakotwienia w podłożu oraz określić wymagania dotyczące podłoża i momenty instalacyjne, średnice wierconych otworów. Ponadto bierze się pod uwagę stan betonowego podłoża,



Rys. 6. Nośności na wrywanie łączników tulejowych M12 dla betonu klasy C20/25 [2]



Rys. 7. Nośności na wrywanie łączników segmentowych M12 dla betonu klasy C20/25 [2]



Rys. 8. Nośności na wrywanie łączników pierścieniowych M12 dla betonu klasy C20/25 [2]

Tabela 3. Nośności na wrywanie z podłoża betonowych stalowych łączników pierścieniowych

Kombinacja 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 wrywanie
			46,66		
			46,88		
			49,20		
			46,90		
III	60	40	39,86	30,70	5 x wrywanie
			35,11		
			33,20		
			29,89		
			30,10		

tj. czy mamy do czynienia z podłożem bez rys, czy też rysy w podłożu występują.

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.

Wpływ zarysowania podłoża betonowego na nośność stalowych kotew rozporowych przedstawiono w oparciu o prowadzone w ITB badania (rys. 2 i 3) [2].

Również konstrukcja łączników może w istotny sposób rzutować na nośność połączeń. Wyniki z badań wytrzymałościowych dla stalowych łączników rozporowych o odmiennej konstrukcji kotwionych w betonie bez zarysowań i w betonie zarysowanym przedstawiono na rysunku 4.

Wyniki z badań łączników pierścieniowych przy różnych parametrach montażowych zamieszczono w tabelach 1 i 2. Wyniki z badań nośności stalowych łączników rozporowych mocowanych w betonowym podłożu C20/25 przy różnych uwarunkowaniach montażowych uwzględniających:

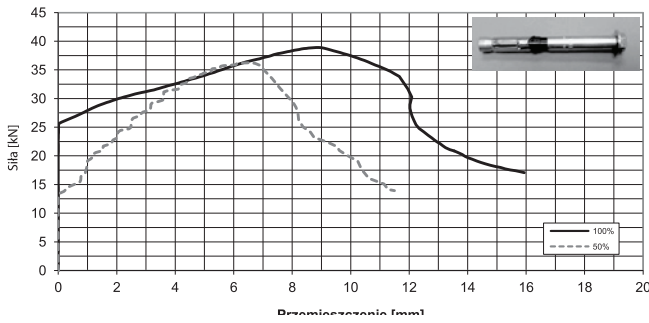
- podłoże – beton niezarysowany klasy C20/25,
- podłoże – beton zarysowany klasy C20/25; rysy 0,30 mm,
- podłoże – beton zarysowany klasy C20/25; rysy 0,50 mm,
- podłoże – beton zarysowany klasy C20/25; rysy od 0,10 do 0,30 mm rozwierane w 100 cyklach dla obciążeń max N (stałe obciążenie),
- podłoże – 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 – przedstawiono na rysunkach 6–8.

Obliczoną nośność łączników zaznaczoną z teoretycznej zależności metodą CCFM [2] zamieszczono również na rysunkach 6–8.

#### 4.2. Moment obrotowy

Dotychczas brakuje pełnego udokumentowania wpływu wielkości stosowanego momentu obrotowego instalacyjnego powodującego rozprężenia łącznika z kontrolowanym momentem obrotowym na ich nośność. Badania laboratoryjne pozwalają jednak na wyciągnięcie wniosku iż, jest to

## KONSTRUKCJE – ELEMENTY – MATERIAŁY



**Rys. 9.** Wpływ wielkości rozprężającego momentu obrotowego na nośność łączników tulejowych M10 [2]

znaczący wpływ. Ilustrują to zamieszczone w tabeli 3 wyniki z badań nośności na wyrywanie pierścieniowych łączników rozporowych M12 z kontrolowanym momentem obrotowym kotwionych w betonowym podłożu bez rys.

Zmniejszając wartości rozprężającego momentu obrotowego, obserwuje się obniżenie nośności nawet o ok. 30%. Przy innej konstrukcji łączników rozporowych z kontrolowanym momentem obrotowym rejestrowany jest spadek nośności o ok. 10–25%.

Wpływ wielkości momentu na nośność łączników tulejowych zilustrowano na rysunku 9.

Istotnym również czynnikiem wpływającym na nośność kotew z kontrolowanym momentem rozporowym może być jakość wykonania i przygotowania otworu, w którym nastąpi instalacja łącznika. Często w sposób świadomy (brak na budowie odpowiednich wiertel lub źle pojęta oszczędność i stosowanie wiertel prawie już zużytych) lub przypadkowy (brak oznaczenia średnicy wiertła) może spowodować wadliwe wykonanie takiego otworu. Skutki tak wykorzystywanych zamocowań można prześledzić na rysunku 10 w oparciu o zarejestrowane wyniki badań laboratoryjnych dla tulejowych łączników kotwionych w niezarysowanym podłożu betonowym klasy C20/25.

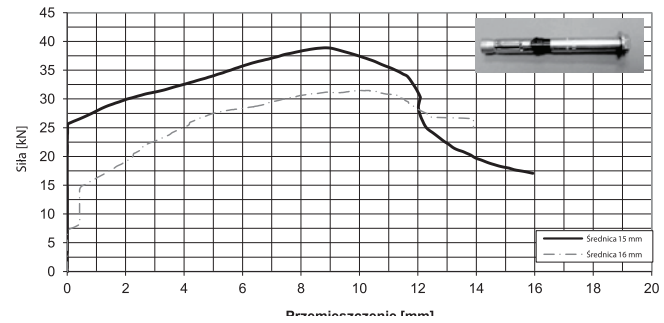
## 5. Posumowanie

Oceniane w badaniach nośności stalowych kotew rozporowych były zależne od stanu podłoża (szerokości rozwarcia rys) oraz technologii ich montażu, a w tym: średnicy wierconego otworu, w którym kotwione były łączniki, wielkości momentu obrotowego itp.

Z obserwacji wyników badań laboratoryjnych można wyciągnąć poniższe spostrzeżenia.

- Wykonując w podłożu otwory o średnicy wiertel  $d_{cut,min}$  obserwowano wyraźny wzrost nośności w porównaniu do nośności określonej przy osadzeniu tego samego rodzaju i rozmiaru kotew w otworach, które wykonane były wiertłem o średnicy  $d_{cut,nom}$ . Przyrosty te wahają się w przedziale od +123% do prawie 200% (średnio ok. 160%).

- Stosując wiertła o średnicy  $d_{cut,max}$  odnotowywano w badaniach spadek nośności łączników, który w zależności od typu i rozmiaru łącznika, a także szerokości rozwarcia rys



**Rys. 10.** Wpływ średnicy otworu w podłożu betonowym na nośność kotew rozporowych M10

w podłożu wahał się w granicach od ok. 90% do 65% (średnio ok. 72%).

- Dla łączników osadzanych w zarysowanym podłożu betonowym (rozwartość rys  $s = 0,30$  mm), które były poddane działaniom obciążeń cyklicznych obserwowano dalszy spadek nośności o ok. 10-15% w stosunku do nośności łączników osadzanych w otworach wykonanych wiertłami o średnicy  $d_{cut,max}$

- Określane w badaniach laboratoryjnych nośności nie są identyczne z nośnościami uzyskanymi na drodze obliczeń teoretycznych z metodą CCFM, bowiem metody te nie ujmują rzeczywistych uwarunkowań pracy łączników w konkretnych zamocowaniach. Wobec powyższego wymaganie EOTA, aby nośność łączników była weryfikowana doświadczalnie, wydaje się jak najbardziej zasadne.

Z analizy wykresów zamieszczonych na rysunku 10 widać, iż wpływ konstrukcji łączników na ich nośność może być bardzo istotny. Ale czy przy tak znacznym prawdopodobieństwie mniej doświadczony monter lub inspektor nadzoru bez dodatkowego opisu będzie w stanie rozpoznać, które z przedstawionych powyżej kotwy będą odpowiednie dla zastosowania w betonie z rysami? A przecież takie pomyłki mogą się zdarzać, na przykład jeśli z fabrycznego opakowania kilka kotew wyjęto i dostarczono do montażu „luzem”, w razie nieprecyzyjnego ich oznakowania lub niedopatrzenia monterów na budowie.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] EAD 330232: Metal anchors for use in concrete
- [2] Dudek D., Wpływ zmiennych obciążeń łączników rozporowych na ich nośność w zarysowanym podłożu betonowym, rozprawa doktorska, mps, ITB, Warszawa, 2017
- [3] Dudek D., Kadela M., Pull-out strength of resin anchors in non-cracked and cracked concrete and masonry substrates, Procedia Engineering 161/2016, str. 864–867
- [4] fib Model Code for Concrete Structures 2010, Ernst&Sohn, Berlin, 2013
- [5] Norma: PN- EN 1992-4 (PN-EN 1992-4:2018 Eurokod 2, część 4: Projektowanie zamocowań do stosowania w betonie
- [6] Konieczny K., Dudek D., Wpływ niektórych błędów montażowych i rozwiązań materiałowych na jakość zamocowań w konstrukcjach betonowych, Przegląd Budowlany 12/2018, str. 41–46
- [7] PN-EN 206:2014-04. Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność