ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2006
Seria: Budownictwo z. 109 Nr kol. 1735

Michał SZYMAŃSKI*
Politechnika Gdańska

# WPŁYW REDUKCJI GRUBOŚCI ELEMENTU NA NOŚNOŚĆ KOTEW METALOWYCH W BETONIE

**Streszczenie.** Coraz częściej producenci kotew stawiają pytanie o możliwość ograniczenia grubości podłoża, w którym montowany jest łącznik. Na podstawie „Wytycznej do Europejskich Aprobat Technicznych" – ETAG 001 powinien być on zakotwiony w elemencie, który ma wymaganą grubość minimalną, równą podwójnej efektywnej głębokości zamocowania i nie mniejszą niż 10 cm. Podczas badań aprobujących ETA zauważono jednak, że rzeczywista grubość podłoża może być nawet do 20% mniejsza. Redukcja ta, przy zachowaniu bezpiecznego rozstawu łączników i odległości od krawędzi elementu, pozwala na osiągnięcie pełnej nośności charakterystycznej kotwy, jak w elemencie o standardowej grubości. W zależności od kierunku obciążenia łącznika należy zdefiniować tylko minimalne rozstawy i odległości od krawędzi, tak by uzyskać wymaganą nośność charakterystyczną.

# THE INFLUENCE OF THE REDUCTION OF THE MEMBER THICKNESS ON THE CHARACTERISTIC RESISTANCE OF ANCHORS IN CONCRETE

**Summary.** The common question, which ask the anchors' producers is about the possibility of the thickness reduction of the concrete members, in which anchors are installed. According to the current "European Technical Approvals Guidelines" – ETAG 001 they should be anchored in a concrete member, which is of the required minimum thickness equal to the double effective anchorage depth and at least 10cm. During the tests carried out for an European Technical Approval it was observed, that the real member can be thinner even up to 20%. This reduction allows to obtain the whole value of characteristic anchor's loading capacity, as for the standard thickness concrete member. Depending on the anchor's loading direction, it should just be defined minimal spacing and edge distances to keep the required characteristic resistance.

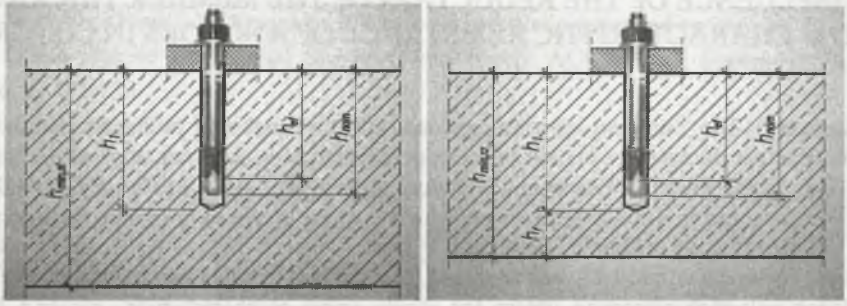
* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Krystyna Nagrodzka-Godycka

## 1. Wprowadzenie

Odpowiedź na pytanie o możliwość ograniczenia grubości elementu, w którym montowana jest kotew, jest o tyle ważna, o ile wpływa na zasadność zastosowania tego typu łączników i zmniejsza nakłady poniesione przy realizacji inwestycji. Przy bardzo cienkich podłożach dla przeniesienia określonej siły należy zainstalować większą liczbę kotew o mniejszej głębokości zamocowania, zmienić typ łączników lub w ogóle z nich zrezygnować na rzecz listew montażowych [1]. Na etapie projektowania można wprawdzie zwiększyć grubość podłoża do wymaganej przez [2]. Nie zawsze jest to jednak racjonalne ze względu na stany graniczne nośności i użytkowalności konstrukcji wsporczej.

## 2. Grubość elementu betonowego

Minimalną grubość podłoża betonowego (rys. 1), przy ubieganiu się o europejską aprobatę techniczną (ETA), dla kotew reguluje wytyczna ETAG 001 [2]. Zakres stosowania obejmuje te elementy, których grubość (zwana dalej standardową) $h_{min,st}$ jest nie mniejsza niż podwójna efektywna głębokość zamocowania łącznika $(h_{min,st} \geq 2h_{ef})$ i wynosi minimum 10 cm.




Rys. 1. Kotew w elemencie o standardowej (lewy) i rzeczywistej (prawy) grubości minimalnej
Fig. 1. The Anchor in the member of standard (left) and real (right) minimum thickness

Rzeczywista minimalna grubość elementu $h_{min,rz}$ musi obejmować grubość $h_r$ (rys. 1), która pozostaje po wykonaniu otworu o głębokości $h_l$ za pomocą wiertarki z udarem. Pomimo oczyszczenia otworu z urobku, podczas osadzania w nim kotwy, we wnętrzu zbiera się pył. Dlatego musi być on nieco głębszy niż nominalna długość łącznika $(h_l > h_{nom})$. O grubości $h_r$ decydują estetyka podłoża i trwałość zakotwienia w razie przebicia otworu na wylot od udaru wiertarki. Na podstawie testów autora niniejszego referatu przy użyciu wierteł różnych

średnic i urządzeń o różnych mocach nominalnych określono, że np. bezpieczna wartość $h_r$ dla średnicy M8 powinna wynosić około 20 mm.

Jeśli wyniki ponad 200 badań wstępnych uogólni się na wszystkie łączniki rozprężne o kontrolowanym momencie obrotowym, to redukcja grubości podłoża może wynieść do 20% standardowej wysokości minimalnej, a grubość elementu można przyjmować jako 1,5 długości nominalnej kotwy $(h_{min,rz} = 1,5h_{nom})$.

## 3. Badania nośności kotew w elemencie o zredukowanej grubości

W elementach o grubości $h_{min}$ należy wykonać badania dla dopuszczalnych warunków pracy o numerach 14 i 20 [2]. Pierwsze z nich ma na celu określenie odległości od krawędzi $c_{cr,sp}$ dla pojedynczej kotwy w narożniku elementu, która to zapewni kotwie przekazanie charakterystycznego obciążenia przez stożek betonowy. Drugie, dla podwójnej grupy kotew na krawędzi elementu betonowego, sprawdza ich minimalną odległość od krawędzi $(c = c_{min})$ i wzajemny rozstaw $(s = s_{min})$. Celem porównania wykonano badania nośności charakterystycznej dla obciążeń rozciągających wg nr 1 (tab. 1, kol. 3 od lewej).

Tabela 1

Badania dla dopuszczalnych warunków pracy (wg [2])

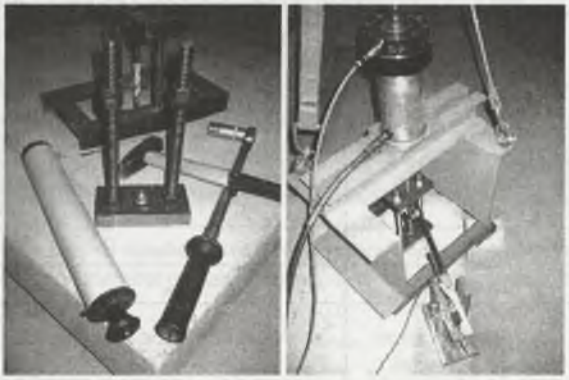
| Nr badania | 14 | 1 | 20 |
|---|---|---|---|
| Cel badań | Odległość od krawędzi dla charakterystycznej nośności na rozciąganie | Nośność charakterystyczna dla obciążeń rozciągających bez wpływu krawędzi i rozstawu | Minimalna odległość od krawędzi i rozstaw kotew |
| Beton | B25 (C20/25) | B25 (C20/25) | B25 (C20/25) |
| Rysa $\Delta w$ [mm] | 0 | 0 | 0 |
| Kierunek obciążenia | N | N | Moment obrotowy w przyrostach $0,2T_{inst}$ |
| Odległości | $s > s_{cr,sp}$, $c_1 = c_2 = c_{cr,sp}$ | – | $c = c_{min}$, $s = s_{min}$ |
| Grubość elementu | $h = h_{min}$ | $h \geq h_{min}$ | $h = h_{min}$ |
| Uwagi | Badanie z pojedynczymi kotwami w narożniku | – | Podwójna grupa kotew na krawędzi przy niezabetonowanym boku badanego elementu |

## 4. Materiał do badań

Dostarczone do badań łączniki produkowane są ze stali automatowej i przeciąganej na zimno, w trzech wariantach: ocynkowanej galwanicznie oraz stali nierdzewnych A4 i HCR. Badania realizowane przez autora na Uniwersytecie Kaiserslautern były prowadzone na rozporowych kotwach metalowych o kontrolowanym momencie obrotowym w betonie klasy B25. Wykonane testy dotyczyły łączników M8, M10, M12 i M16. Parametrami zmiennymi w badaniach były grubość podłoża, głębokość wierconego otworu, rozstaw łączników i odległości od krawędzi elementu betonowego. Pozostałe charakterystyki, jak głębokość zamocowania kotwy, moment montażowy oraz warunki wykonywania badań pozostawiono baz zmian celem bezpośredniego porównania wyników. Poniżej przedstawiono rezultaty badań dla łączników średnicy M12 wykonanych ze stali ocynkowanej przeciąganej na zimno.

## 5. Odległość od krawędzi dla charakterystycznej nośności na rozciąganie

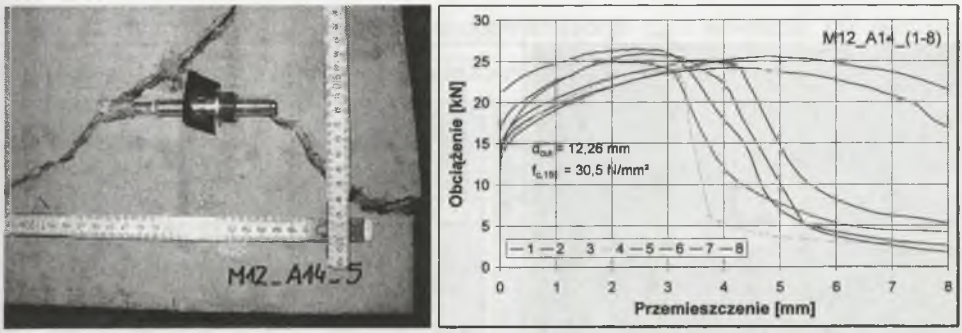
Przyjęta przez producenta efektywna głębokość zamocowania wynosi $h_{ef} = 65\ mm$. Standardową grubość elementu, równą $h_{min,st} = 130\ mm$, zmniejszono do $h_{min,st} = 110\ mm$. Założoną w pierwszym wariancie odległość pod krawędzi $c_{cr,sp} = 2h_{ef}$ zwiększono dla rzeczywistej wysokości minimalnej do $c_{cr,sp} = 2{,}5h_{ef}$.



Rys. 2. Montaż kotwy (lewy) i widok na stanowisko badawcze (prawy)
Fig. 2. Installation of the anchor (left) and the view of the test stand (right)

Po zamontowaniu kotew w odległości $c_{cr,sp}$ od obu krawędzi badanego elementu i podłączeniu do aparatury badawczej obciążano je siłą $N$ aż do zniszczenia zakotwienia.

Podczas badania rejestrowano siłę w kotwie i jej przesunięcie względem powierzchni betonu przemieszczeniomierzem potencjometrycznym ustawionym na czole łącznika. W badaniach umożliwiono swobodne zniszczenie naroża elementu. Ze względu na niewielkie odległości od krawędzi podpory instalacji badawczej musiały znajdować się poza elementem betonowym, w którym prowadzono badanie (rys. 2).




Rys. 3. Badanie nr 5 (lewy) i wyniki serii badań M12_A14_(1-8) (prawy)
Fig. 3. Test no. 5 (left) and results in the test series M12_A14_(1-8) (right)

Z serii ośmiu badań otrzymano średnie obciążenie graniczne równe $F^t_{Ru,m} = 25{,}02kN$. Przemieszczenie kotew przy połowie tej wartości było pomijalnie małe. Przy obliczaniu wartości kwantyla obciążenia granicznego rzędu 5% $(F^t_{Rk,5\%})$ założono statystyczny rozkład normalny i nieznane odchylenie standardowe populacji – $s = 0{,}96kN$ i $k_s = 2{,}754$. Przy współczynniku zmienności rzędu $v = 3{,}85\%$ otrzymano:

$$F^t_{Rk,5\%} = F^t_{Ru,m}(1 - k_s v) = 25{,}02kN(1 - 2{,}754 \cdot 0{,}0385) = 22{,}37kN \quad (1)$$

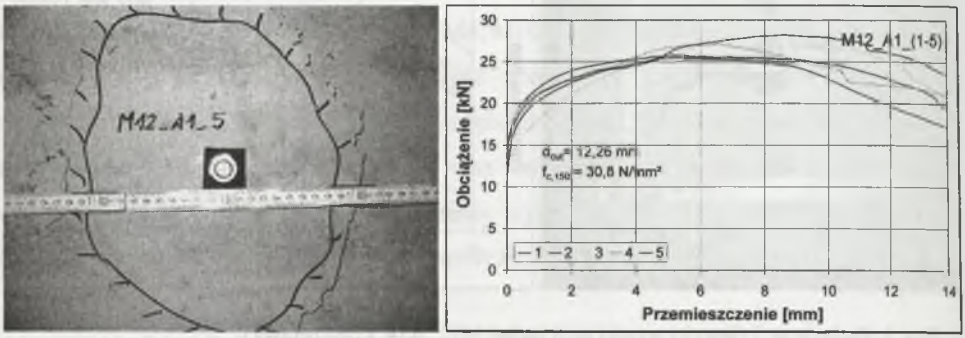
Średnia wytrzymałość betonu na ściskanie określona na kostkach o boku 150 mm w dniu testu wynosiła $f_{c,test} = 30{,}5MPa$, dlatego przy zniszczeniu betonu (w tym przypadku przez rozłupanie – rys. 3) konieczna była konwersja wyników do wytrzymałości $25MPa$.

$$F^t_{Rk} = F^t_{Rk,5\%}\left(\frac{f_{c,25}}{f_{c,test}}\right)^{0,5} = 22{,}37kN\left(\frac{25MPa}{30{,}5MPa}\right)^{0,5} = 20{,}25kN \quad (2)$$

W porównaniu z elementem o standardowej grubości minimalnej uzyskany wynik dla odległości od krawędzi $c_{cr,sp} = 2{,}5h_{ef}$ pozwolił zakwalifikować kotwy M12 do tej samej klasy nośności charakterystycznej $F_{Rk} = 20kN$. Te same zależności (zwiększenie odległości o $0{,}5h_{ef}$) uzyskano dla łączników pozostałych średnic.

## 6. Nośność charakterystyczna dla obciążeń rozciągających

Badania nośności charakterystycznej bez wpływu krawędzi elementu i rozstawu łączników wykonano celem sprawdzenia i wykluczenia możliwości przedwczesnego zniszczenia betonu przez rozłupanie.




Rys. 4. Badanie nr 5 (lewy) i wyniki serii badań M12_A1_(1-5) (prawy)
Fig. 4. Test no. 5 (left) and results in the test series M12_A1_(1-5) (right)

W serii pięciu badań dla pojedynczych kotew uzyskano średnie obciążenie graniczne równe $F^t_{Ru,m} = 26,72kN$. Również w tych testach przemieszczenie kotew przy połowie tej wartości było pomijalnie małe. Przy założeniach z pozycji poprzedniej otrzymano $s = 1,10kN$, $k_s = 3,401$ i $v = 4,10\%$, co w wyniku dało 5% kwantyl obciążenia granicznego równy:

$$F^t_{Rk,5\%} = F^t_{Ru,m}(1 - k_s v) = 26,72kN(1 - 3,401 \cdot 0,041) = 22,99kN \tag{3}$$

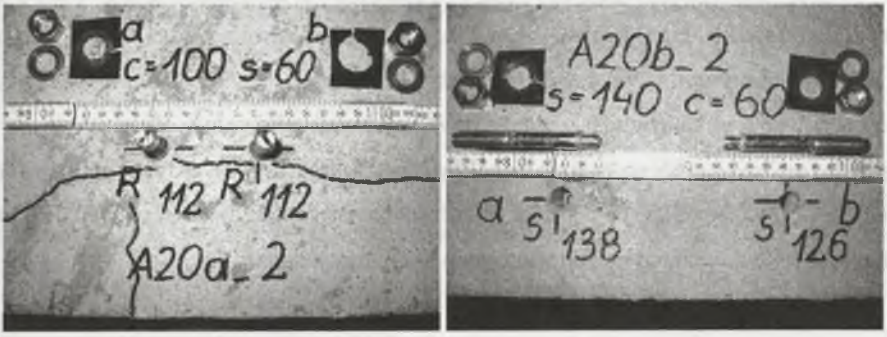
Konwersja wyników przy zniszczeniu betonu dla wytrzymałości na ściskanie w dniu testu $f_{c,test} = 30,8MPa$ do wytrzymałości $25MPa$ dała w wyniku:

$$F^t_{Rk} = F^t_{Rk,5\%}\left(\frac{f_{c,25}}{f_{c,test}}\right)^{0,5} = 22,37kN\left(\frac{25MPa}{30,8MPa}\right)^{0,5} = 20,72kN \tag{4}$$

W całej serii badań zniszczenie zakotwienia następowało przez wyrwanie łącznika lub zniszczenie stożka (rys. 4). Przyjęto tu tę samą klasę nośności charakterystycznej od obciążenia rozciągającego co w elementach o standardowej grubości minimalnej. Również podczas testów na kotwach pozostałych średnic nie zaistniała groźba przedwczesnego zniszczenia betonu przez rozłupanie.

## 7. Minimalna odległość od krawędzi i rozstaw kotew

Minimalną odległość od krawędzi elementu betonowego – $c_{min}$ i minimalny rozstaw osiowy kotew – $s_{min}$ określa się na podstawie badań bezpieczeństwa instalacji na podwójnej grupie kotew przy niezabetonowanym boku badanego elementu. W przeprowadzonych badaniach dla przyjętego $s_{min}$ poszukiwano opowiadającego $c_{odp}$ i odwrotnie, dla założonego $c_{min}$, szukano $s_{odp}$. Przykładowe usytuowanie kotew M12 przedstawia rys. 5.




Rys. 5. Badanie nr 2 dla $s_{min}$ (lewy) i nr 2 dla $c_{min}$ (prawy)
Fig. 5. Test no. 2 for $s_{min}$ (left) and no. 2 for $c_{min}$ (right)

Naprężenia od przykładanego momentu obrotowego z podwójnej grupy kotew przekazywane są na beton za pośrednictwem płyty podbudowy, której wymiary określa [2]. Na przemian na każdą z kotew w krokach nie większych niż $0,2T_{inst}$ przykładany był moment napinający. Po każdym kroku obciążenia powierzchnia betonu sprawdzana była na obecność rys. Badanie przerywano w przypadku, gdy nie można było osiągnąć kolejnego stadium obciążenia. Podczas badania notowano liczbę obrotów dla kolejnych kroków obciążenia, a poza tym moment napinający przy powstaniu pierwszej rysy włosowatej lub przed zerwaniem trzpienia kotwy (maksymalne wartości, jakie przenosi grupa kotew).

Zalecany przez producenta moment montażowy dla łączników M12 wynosił $T_{inst} = 45Nm$. W serii pięciu badań dla założonego $s_{min}$ dla betonu, w którym dopuszcza się zarysowanie, średnie obciążenie graniczne wyniosło $T^t_{Ru,m} = 122,2Nm$. Przy założeniach co do statystyki wyników z p. 5 otrzymano $s = 10,9Nm$, $k_s = 3,401$ i $v = 8,9\%$, co daje w wyniku 5% kwantyl obciążenia granicznego równy:

$$T^t_{Rk,5\%} = T^t_{Ru,m}(1 - k_s v) = 122,2Nm(1 - 3,401 \cdot 0,089) = 85,22Nm \quad (5)$$

Średnia kostkowa wytrzymałość betonu na ściskanie w dniu testu wynosiła $f_{c,test} = 32,1MPa$. Przy zapewnieniu, że „rozrzut współczynników tarcia, które określają wielkość sił

rozłupujących dla (...) zalecanego momentu obrotowego jest kontrolowany w trakcie produkcji do poziomu, jaki określono w badaniach aprobacyjnych" [2], to przy instalacji kotew w betonie zarysowanym $\gamma_{inst} = 1,3$. Kwantyl rzędu 5% dla momentów obrotowych wg równania (5) musi spełnić nierówność:

$$F^{t}_{Rk,5\%} = 85,22Nm > \gamma_{inst} \cdot T_{inst}\left(\frac{f_{c,test}}{f_{c,25}}\right)^{0,5} = 1,3 \cdot 45Nm\left(\frac{32,1MPa}{25MPa}\right)^{0,5} = 66,29Nm \quad (6)$$

W analogiczny sposób spełniono również pozostałe warunki dla kotew M12 (łącznie cztery serie po pięć badań) i łączników pozostałych średnic zarówno w betonie zarysowanym, jak i niezarysowanym. Dokonano również porównania wyników własnych testów z rezultatami badań w elementach o standardowej grubości minimalnej. Ze względu na wiele czynników wpływających na rozrzut wyników badań nie udało się określić prostej formuły opisującej wpływ zmniejszenia grubości elementu na wzrost wzajemnego rozstawu łączników i odległości od krawędzi, co skłoniło autora do kontynuacji badań.

## LITERATURA

1. Eligehausen R., Mallée R.: *Befestigungstechnik im Beton- und Mauerwerkbau*. Ernst & Sohn, Berlin 2000.
2. Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors For Use in Concrete. ETAG 001. EOTA – Edition 1997, Brussels 1997.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Starosolski