

dr inż. Roman Wróblewski*

Zbrojenie minimalne w ścianach żelbetowych

Minimum reinforcement of RC walls

Streszczenie. Pole przekroju zbrojenia minimalnego wymagane wg EN 1992-1-1 jest proporcjonalne do wytrzymałości betonu na rozciąganie, co powoduje, że w przypadku betonu wyższej klasy znacznie rośnie ilość potrzebnego zbrojenia minimalnego. W artykule określono wpływ wytrzymałości betonu na stopień zbrojenia minimalnego oraz na szerokość rozwarcia rys. Wskazano także możliwości ograniczenia pola przekroju zbrojenia na podstawie dokładniejszych obliczeń.

Słowa kluczowe: zbrojenie przeciwskurczowe, rysy, konstrukcje żelbetowe, skurcz i pęcznienie betonu.

Abstract. Minimum area of reinforcement required according to EN 1992-1-1 is proportional to concrete tensile strength which in case of higher class concrete increases area of minimum reinforcement. Influence of concrete strength on minimum reinforcement ratio and crack width is presented in the paper. Possible limitation of the reinforcement area based on accurate computation is also indicated.

Keywords: anti-shrinkage reinforcement, cracks, RC structures, shrinkage and creep of concrete.

Skurcz i pęcznienie betonu występują najczęściej w tym samym czasie i zależą od tych samych czynników materiałowych i środowiskowych. W związku z tym zasadne jest rozpatrywanie ich jednoczesnego wpływu. Problem wyznaczania pola zbrojenia minimalnego w konstrukcjach żelbetowych z uwagi na odkształcenia reologiczne jest poruszany przez wielu autorów [1 ÷ 4] i często ogranicza się do prostych przypadków, jak np. w zbiornikach [2, 3]. Połączenie wielu elementów konstrukcyjnych, betonowanie konstrukcji rozłożone w czasie oraz warunki klimatyczne zmuszają do stosowania rozwiązań numerycznych w celu określenia stanu naprężeń w konstrukcji.

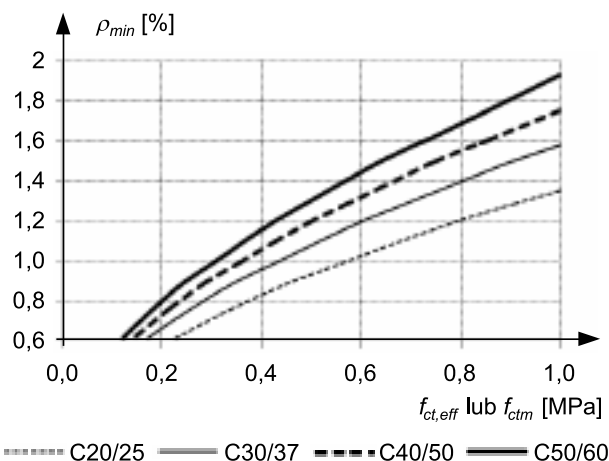
Wymagania normy [5] dotyczące wyznaczania minimalnego pola przekroju zbrojenia są ogólne i prowadzą do przyjmowania dużej ilości zbrojenia [3]. Bez dokładniejszych analiz nie można też określić zróżnicowania wpływu odkształceń reologicznych w obrębie elementu wywołanych np. więzami zewnętrznymi lub wewnętrznymi. Zgodnie z [4, 6] po zarysowaniu ścian siły wewnętrzne wywołane skurczem ulegają redukcji, co jest związane z częściowym zmniejszeniem sztywności elementów. Dalszy przyrost sił jest możliwy do chwili powstania kolejnych rys.

Charakterystyka zbrojenia minimalnego

Rysy w konstrukcji żelbetowej, np. od skurczu betonu, z wyjątkiem klas środowiska XC0 i XC1, wymagają ograniczenia szerokości rozwarcia. W ścianach żelbetowych większość rys spowodowanych skurczem lub zmianami temperatury otoczenia przebiega w kierunku pionowym. Za kontrolę ich rozwarcia odpowiedzialne jest zbrojenie poziome, które w ścianach obciążonych pionowo (np. w budynkach) lub długich (np. ściany oporowe) pełni rolę drugorzędną (inaczej niż w zbiornikach lub silosach). Istnieje zatem możliwość optymalizacji poziomego zbrojenia przeciwskurczowego w ścianach żelbetowych.

Minimalne pole przekroju zbrojenia ścian z uwagi na skurcz betonu z jednoczesnym ograniczeniem szerokości rozwarcia rys (przy stałej średnicy prętów ϕ 14 mm i zmiennym ich rozstawie) uzyskano na podstawie własnych obliczeń $A_{s,min}$ zgodnie z [5]. Powierzchnię zbrojenia $A_{s,min}$ oraz szerokość rozwarcia rys w_k wyznaczono jako funkcje wytrzymałości betonu na rozciąganie, która decyduje także o wartości siły rysującej N_{cr} . Zmianę tej wytrzymałości można interpretować jako przyrost wytrzymałości w okresie dojrzewania lub jako zmianę wytrzymałości związaną z klasą betonu. Uzyskane na podstawie obliczeń wyniki (rysunek 1) wskazują, że ograniczenie szerokości rozwarcia rys do 0,3 mm wymaga zastosowania znacznej ilości zbrojenia ($\rho = 1,25 \pm 2\%$) i ograniczenia naprężeń w zbrojeniu rozciągającym do ok. 50% jego wytrzymałości charakterystycznej ($f_{yk} \approx 500$ MPa).

W praktyce takie ilości zbrojenia nie są stosowane w ścianach. Stopień zbrojenia wynosi zwykle ok. $\rho = 0,5\%$, również w przypadku ścian obciążonych ciśnieniem cieczy lub naporem materiału sypkiego poza strefami największych sił wewnętrznych. Zgodnie z [5] ilość wymaganego zbrojenia

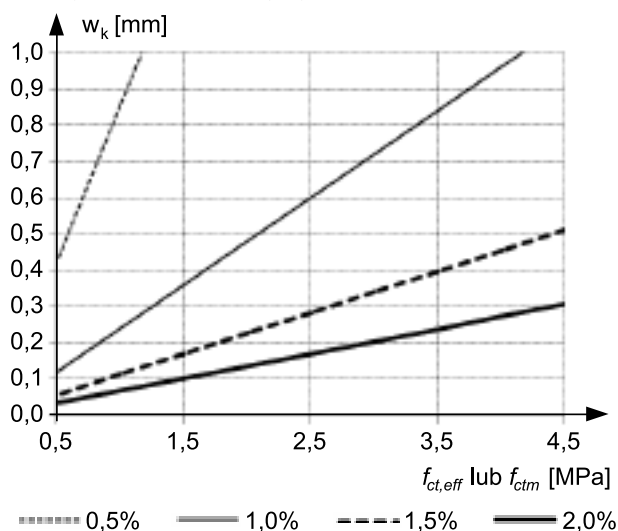


Rys. 1. Zmiana minimalnego stopnia zbrojenia w zależności od wytrzymałości betonu na rozciąganie w przypadku $w_k = 0,3$ mm

* Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

wzrasta wraz z wytrzymałością betonu na rozciąganie. Z rysunku 2 wynika, że ograniczenie szerokości rozwarcia rys do 0,3 mm w przypadku betonu klasy C50/60 wymaga zastosowania ok. 2% zbrojenia, a betonu klasy C25/30 ok. 1,5%. Mniejsze ilości zbrojenia nie gwarantują wg [5] odpowiedniego ograniczenia szerokości rozwarcia rys.

Z drugiej strony warunkiem koniecznym braku rys jest wolniejszy przyrost naprężeń od skurczu niż przyrost wytrzymałości betonu na rozciąganie. Obserwacje i szczegółowe obliczenia konstrukcji wykazują, że zarysowaniu ulegają często tylko niektóre ich strefy (np. przy połączeniu z płytą fundamentową). Wówczas zbrojenie z uwagi na skurcz może być ograniczone, co pokazano w dalszej części artykułu na przykładzie dokładniejszych obliczeń.

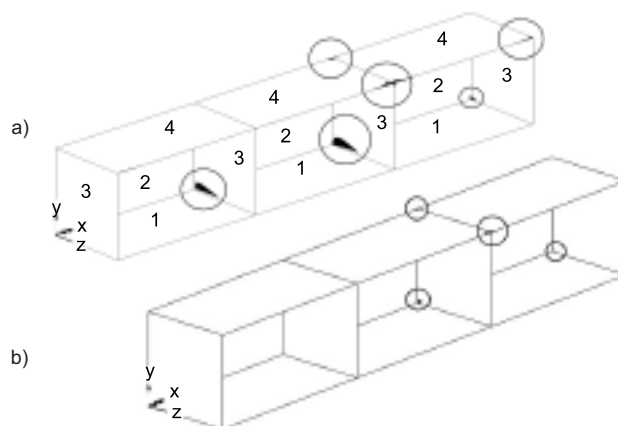


Rys. 2. Zmiana szerokości rozwarcia rys np. od skurczu betonu w zależności od wytrzymałości betonu na rozciąganie

Analiza konstrukcji z uwzględnieniem odkształceń reologicznych

Analizowano fragment budynku, w którym występują dwa typy połączeń ścian (naroże i połączenie ściany wewnętrznej z zewnętrzną) oraz połączenia ścian z płytą fundamentową i stropową (rysunek 3). Połączenia elementów konstrukcji wpływają na ograniczenie odkształceń, co może prowadzić do powstawania rys. W obliczeniach uwzględniono etapy betonowania konstrukcji, co pokazano na rysunku 3. Założono, że okres dojrzewania betonu przed betonowaniem kolejnego etapu wynosi 14 dni, a strop będzie utrzymywany na stemplach przez okres 30 dni. Obliczenia metodą elementów skończonych [8] uwzględniają działanie ciężaru własnego konstrukcji oraz jednoczesny wpływ skurczu i pełzania betonu wraz ze zmianami w czasie jego modułu sprężystości i odkształceń wg [7]. Wyniki obliczeń obrazują zachowanie się konstrukcji w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, gdzie odkształceniom skurczowym towarzyszy pełzanie redukujące negatywne efekty zmniejszania się objętości betonu.

Porównano naprężenia w całej konstrukcji z wytrzymałością betonu na rozciąganie. Przekroczenie tej wytrzymałości nastąpi po ok. 140 dniach w przypadku konstrukcji z betonu C20/25 i po ok. 360 dniach w przypadku konstrukcji



Rys. 3. Obszary konstrukcji, w których przekroczona jest wytrzymałość betonu na rozciąganie (zaczernione obszary wewnątrz okręgów) w zależności od klasy betonu: a) C20/25; b) C50/60 w przypadku wieku betonu 590 dni (1 – dno; 2 – podłużna ściana zewnętrzna; 3 – ściany poprzeczne; 4 – strop)

z betonu C50/60. Z rysunku 3 wynika, że zastosowanie betonu o wyższej wytrzymałości ogranicza strefy, w których wymagane jest zbrojenie z uwagi na skurcz (przeciwnie niż wymaga tego norma [5]).

Wnioski

Ilość zbrojenia minimalnego z uwagi na skurcz wyznaczana zgodnie z [5] jest proporcjonalna do wytrzymałości betonu na rozciąganie, co powoduje, że w wielu przypadkach traci sens stosowanie betonu o wyższej wytrzymałości. Obliczone pole powierzchni zbrojenia jest często większe niż wymagane ze względu na nośność (np. w ścianach żelbetowych). Wyniki dokładniejszych obliczeń prowadzą do przeciwnych wniosków i umożliwiają znaczne ograniczenie potrzebnego zbrojenia minimalnego. Można wykazać, że zastosowanie betonu wyższej klasy ogranicza obszary, gdzie naprężenia przekraczają wytrzymałość betonu na rozciąganie. W praktyce należy wziąć pod uwagę również uwarunkowania dotyczące wykonywania konstrukcji oraz warunki klimatyczne.

Literatura

- [1] Flaga K.: Naprężenia skurczowe i zbrojenie przypowierzchniowe w konstrukcjach betonowych. Monografia 391. Seria Inżynieria Lądowa. Politechnika Krakowska. Kraków 2011.
- [2] Csíki B.: Effect of temperature variation and shrinkage on circular tanks. Concrete Structures, 2000, vol. 1. s. 14 – 18.
- [3] Ghali A.: Circular storage tanks and silos. E & FN Spon, London 2000.
- [4] Flaga K., Furtak K.: Problems of thermal and shrinkage cracking in tanks vertical walls and retaining walls near their contact with solid foundation slabs. Architecture Civil Engineering Environment, no. 2 2009. s. 23-30.
- [5] PN-EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [6] Seruga A.: Analiza stanów naprężenia i odkształcenia w powłokach zbiorników cylindrycznych z betonu sprężonego. Politechnika Krakowska, Seria Inżynieria Lądowa, Monografia 289, Kraków 2003.
- [7] CEB Comité-International du Béton. Bulletin d'Information no. 199. Evaluation of the Time Dependent Behaviour of Concrete 1990.
- [8] Solver Reference Manual, Version 14.7, Lusas, Kingston upon Thames, 2011.