

dr inż. Tomasz Trapko ^{1*)}
mgr inż. Tomasz Kowalik ¹⁾
mgr inż. Dorota Urbańska ¹⁾

Wzmocnienia kompozytowe otworów w żelbetowych ścianach zbiorników

Composites reinforcements of RC walls with openings in reservoirs

DOI: 10.15199/33.2015.09.33

(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwość zastosowania materiałów kompozytowych, na bazie włókien kompozytowych, do wzmocnienia stref wokół otworów w ścianach żelbetowych. Rozważania przeprowadzono na podstawie własnych doświadczeń inżynierskich z tego typu wzmocnieniami, a także własnych badań doświadczalnych wykonanych na tarczach żelbetowych.
Słowa kluczowe: tarcze żelbetowe, wzmocnienie, CFRP, PBO-FRCM.

Abstract. This paper presents possibilities of the application of composite materials, based on composite fibers for strengthening the areas near by openings in reinforced concrete walls. The analysis was conducted on the basis of the own engineering experiences concerning such type strengthening and on the basis of the experiments performed on three reinforced concrete deep beams.

Keywords: RC wall, strengthening, CFRP, PBO-FRCM.

W obiektach inżynierskich, takich jak zbiorniki, silosy czy bunkry, dużym problemem są otwory technologiczne, zlokalizowane przede wszystkim w strefach koncentracji naprężeń. Wycięcie betonu oraz zbrojenia w tych strefach wiąże się z koniecznością ich wzmocnienia. Otwory o niewielkich rozmiarach często są pomijane w obliczeniach ze względu na możliwą redystrybucję sił wewnętrznych. Przy większych otworach mogą powstawać naprężenia przekraczające wytrzymałość betonu na rozciąganie, co w konsekwencji prowadzi do nadmiernych zarysowań. Zgodnie z zaleceniami [1] szczególnej uwagi wymagają wszystkie otwory, w których przecinane jest zbrojenie. Nie przeprowadzając szczegółowych obliczeń, należy je zastąpić dodatkowym zbrojeniem, równym co do powierzchni zbrojeniu usuniętemu, które powinno być rozmieszczone po obu stronach otworu l_{bd} [2]. Dodatkowo, naroża otworów należy dobrać prętami ułożonymi pod kątem, w każdym narożu. Taka możliwość istnieje jednak tylko na etapie prac projektowych lub wykonawczych. Jeżeli otwory wykonywane są w istniejącej konstrukcji, to jedynym rozwiązaniem jest zastosowanie wzmocnienia wokół otworów.

Tradycyjne metody wzmocniania polegały na klejeniu wokół otworów dodatkowych prętów zbrojeniowych. Prostszy, a zarazem

coraz bardziej popularnym rozwiązaniem, jest zastosowanie dodatkowego, zewnętrznego wzmocnienia kompozytowego.

W pracy [3] przedstawiono przykład uszkodzeń i wzmocnienia żelbetowych ścian zbiornika wody przeciwpożarowej. Analizując dostępną dokumentację obiektu, autorzy ustalili, że na obrzeżach otworów rezyjnych brakuje dodatkowego zbrojenia wynikającego z przecięcia ciągłości głównego zbrojenia w ścianach. Zaproponowano uzupełnienie zbrojenia w okolicach otworów przez doklejenie taśm z włókien węglowych CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymers). Dodatkowo przewidziano wzmocnienie pod kątem przy narożach otworów z taśmy z włókien węglowych.

Badania własne

Przeprowadzono badania skuteczności wzmocnień kompozytowych tarcz żelbetowych z otworami. Wykonano tarcze o wymiarach 1000x1000x150 mm, w których jeden otwór 200x200 mm zlokalizowano w strefie przypodporowej. Tarcze zostały wykonane z betonu o $f_{cm} = 45,4$ MPa, a zbrojenie wykonano ze stali gatunku B500SP o $f_{ym} = 501,9$ MPa. Tarcze zazbrojono obustronnie siatkami $\phi 8/200 \times 200$ mm, a w strefie rozciąganej (dolnej) zastosowano zbrojenie z dwóch prętów $\phi 25$. Wokół otworów nie zastosowano dodatkowego zbrojenia.

Obciążenie zrealizowano w postaci jednej siły skupionej w środku rozpiętości. W pierwszym etapie elementy poddano obciążeniu monotonicznemu do wartości 600 kN, pod wpływem którego pomierzono maksymalną założoną rozwartość rysy

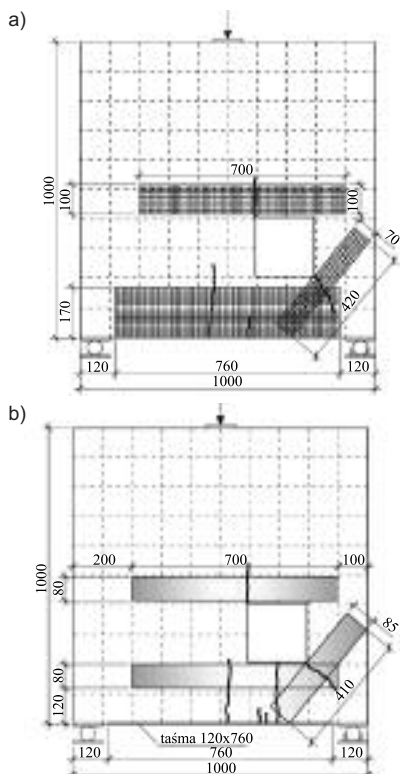
$w = 0,3$ mm. Po odciążeniu elementów przecięto główne pręty zbrojeniowe $\phi 25$ w dwóch miejscach największego zarysowania prostopadłego. Taki zabieg miał na celu zasymulowanie sytuacji, w której konieczne jest wycięcie głównego zbrojenia, w miejscach wykonywania lub powiększania otworów. Następnie tarcze zostały wzmocnione za pomocą materiałów kompozytowych. Sposób wzmocnienia dostosowano do zaobserwowanego przebiegu rysy po pierwszym obciążeniu (rysunek 1). W pierwszej tarczy zastosowano siatkę z włókien PBO (p-Phenylene BenzobisOxazole) łączoną z betonem za pomocą zaprawy mineralnej [3]. W drugiej tarczy wykorzystano, znane i powszechnie stosowane w budownictwie, taśmy z włókien węglowych CFRP. Zastosowano system taśm Sika CarboDur typu M [4].

W drugim etapie elementy zostały poddane obciążeniom wielokrotnie zmiennym. W każdym kolejnym cyklu zwiększano poziom obciążenia o 50 kN, a następnie odciążano elementy do poziomu 10 kN (pierwsze dwa cykle), a następnie do 50 kN (kolejne cykle). W przypadku każdego elementu zrealizowano 15 cykli obciążenie – odciążenie, a następnie elementy obciążono monotonicznie do zniszczenia.

Nośność tarczy z otworem, wzmocnionej za pomocą taśmy z włókien węglowych, była większa od elementu wzmocnionego w systemie PBO-FRCM o ok. 35%. Mechanizmy zniszczenia elementów znacznie różnią się od siebie. Element wzmocniony taśmami z włókna węglowego CFRP podczas obciążania nie wykazywał zarysowa-

¹⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Autor do korespondencji:
e-mail: tomasz.trapko@pwr.edu.pl



Rys. 1. Wzmocnienie tarcz: a) siatką z włókien PBO; b) taśmami CFRP

Fig. 1. Strengthening of the RC deep beams: a) with the PBO mesh; b) with the CFRP strips

nia. Moment zniszczenia został poprzedzony krótkimi odgłosami niszczonego połączenia betonu i kompozytu, a następnie wraz z otuliną betonową odsłoniła się taśma na dolnej części, a następnie po zniszczeniu dolnego połączenia, kolejno niszczyły się wzmocnienia poziome wokół otworu (fotografia 1). Natomiast w przypadku wzmocnienia systemem PBO-FRCM od pewnego poziomu obciążenia widoczne było zarysowanie. Wraz ze wzrostem siły zwiększała się rozwartość rys w dolnej części tarczy i w obrębie otworu. Jednocześnie zauważono poślizg wzmocnienia w obrębie otworu, który postępował aż do zniszczenia elementu (fotografia 2).

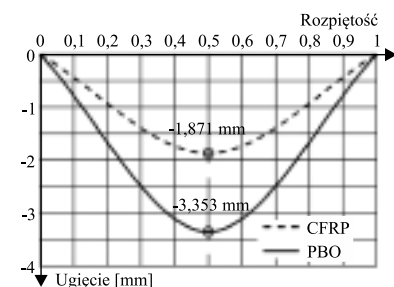
Na rysunku 2 porównano ugięcie elementu wzmocnionego taśmami z włókien węglowych (linia przerywana) oraz wzmocnionego siatką z włókien PBO (linia ciągła)



Fot. 1. Obraz zniszczenia tarczy wzmocnionej taśmami CFRP
Photo 1. The failure view of deep beam strengthened with the CFRP strips



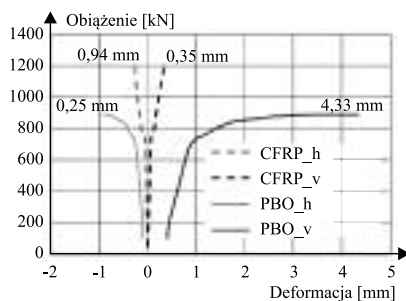
Fot. 2. Obraz zniszczenia tarczy wzmocnionej siatką z włókien PBO
Photo 2. The failure view of deep beam strengthened with the PBO mesh



Rys. 2. Porównanie maksymalnych ugięć w środku rozpiętości

Fig. 2. Comparison of the maximum deflections in the middle of the span

gła). Wykres sporządzono dla obciążenia równego obciążeniu niszczeniowemu elementu wzmocnionego PBO-FRCM, które wyniosło 889,03 kN. Ugięcie elementu wzmocnionego siatką z włókien PBO jest większa o ok. 80% od ugięcia elementu wzmocnionego taśmami CFRP. Można zatem stwierdzić, że wzmocnienie siatką z włókien PBO znacznie poprawia plastyczność wzmacnianego elementu. Na rysunku 3 porównano deformacje otworów w obydwu elemen-



Rys. 3. Porównanie deformacji otworu (h – poziome, v – pionowe)

Fig. 3. Comparison of the opening deformations (h – horizontal, v-vertical)

tach. Linią przerywaną zaznaczono element wzmocniony taśmami z włókien węglowych, natomiast linią ciągłą element wzmocniony siatką z włókien PBO. W obu przypadkach deformacja pionowa osiąga większe wartości niż pozioma, a deformacje otworu na początku ostatniego cyklu obciążenia znacznie różnią się od siebie. W elemencie wzmocnionym taśmami CFRP, po wielokrotnym obciążeniu – odciążeniu, deformacja otworu przed ostatnim cyklem jest niewielka, bliska zeru. Natomiast w tarczy wzmocnionej siatką z włókien PBO wynosiła 0,41 mm.

Podsumowanie

Badania porównawcze dwóch tarcz żelbetowych wzmocnionych za pomocą materiałów kompozytowych – siatki z włókien PBO i taśm z włókien węglowych CFRP pokazują duży potencjał wzmocnień PBO-FRCM. Elementy wzmocnione siatką z włókien PBO na zaprawie mineralnej charakteryzują się większą plastycznością i zdolnością do większych deformacji, niż elementy wzmocnione taśmami CFRP połączonymi z betonem za pomocą żywicy epoksydowej.

Sygnalizowane zniszczenie elementu wzmocnionego siatką z włókien PBO jest bezpieczniejsze, niż występujące gwałtownie w systemie CFRP. Istnieje wówczas możliwość wykrycia stanu awaryjnego i odpowiedniego zareagowania.

Literatura

- [1] Starosolski W.: Konstrukcje żelbetowe według PN-B-03264:2002 i Eurokodu 2. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
- [2] PN-EN 1992-1-1:2008: Eurokod 2 – projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [3] Kamiński M., Trapko T., Bywalski Cz.: Uszkodzenia i wzmocnienia żelbetowych ścian zbiornika wody przeciwpożarowej. Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych. Praca zbiorowa pod red. Mięczysława Kamińskiego [i in.]. Wrocław, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2007, s. 185 – 192.
- [4] Aprobata Techniczna Instytutu Badawczego Dróg i Mostów nr AT/2011-02-2701/1, 2012.
- [5] Aprobata techniczna Instytut Techniki Budowlanej nr AT-15-5604/2011, 2011.

Przyjęto do druku: 31.07.2015 r.