

Ocena uszkodzeń korozyjnych w słupach żelbetowych

JACEK KORENTZ*

Uniwersytet Zielonogórski

Streszczenie: Konstrukcje żelbetowe w czasie eksploatacji pracują w różnych warunkach środowiskowych, które mogą wywołać korozję prętów zbrojeniowych i betonu o różnej intensywności. Wówczas mamy do czynienia z uszkodzeniami korozyjnymi, którym towarzyszą zarysowanie i ubytki betonu, zmniejszenie przekroju prętów zbrojeniowych, a także obniżenie parametrów cech mechanicznych betonu i stali zbrojeniowej. W konsekwencji wpływa to na dalsze bezpieczeństwo i użyteczność konstrukcji żelbetowych. W artykule przedstawiono wyniki analizy zachowania się krępych słupów żelbetowych, w których występują uszkodzenia korozyjne betonu i prętów zbrojeniowych. Na podstawie krzywych interakcji pomiędzy momentem zginającym a siłą podłużną oszacowano wpływ intensywności uszkodzeń korozyjnych betonu i prętów zbrojeniowych na nośność graniczną przekrojów mimośrodowo ściskanych. Uszkodzenia korozyjne obniżają nośność przekrojów mimośrodowo ściskanych, której spadek zależy od wielkości uszkodzeń korozyjnych i mimośrodu siły podłużnej.

Słowa kluczowe: słup żelbetowy, korozja betonu, korozja zbrojenia, ściskanie mimośrodowe, nośność graniczna.

1. Wprowadzenie

Każdy budynek i obiekt budowlany ulegają degradacji w wyniku oddziaływania na nie środowiska, w którym są eksploatowane. Uszkodzenia konstrukcji żelbetowych wynikające z warunków użytkowania są powodowane czynnikami fizycznymi i chemicznymi, działającymi odrębnie lub jednocześnie. W efekcie dochodzi do uszkodzeń powierzchni betonu oraz otuliny betonowej zbrojenia i w dalszej kolejności następuje korozja zbrojenia. Procesy niszczenia mogą doprowadzić do zmniejszenia użyteczności elementów i materiałów do takiego stopnia, że konstrukcja obiektu nie będzie w stanie spełniać podstawowych wymagań dotyczących jej nośności i użyteczności przed upływem projektowanego czasu eksploatacji. Z tych względów, w niektórych przypadkach, konstrukcje żelbetowe wymagają częstej konserwacji i kosztownych napraw.

W artykule przedstawiono przyczyny i skutki korozji w konstrukcjach żelbetowych oraz wyniki analizy nośności słupów żelbetowych mimośrodowo ściskanych, w których wystąpiły

*Autor do korespondencji: j.korentz@ib.uz.zgora.pl

uszkodzenia o korozyjne betonu i prętów zbrojenia o różnej intensywności. Celem przeprowadzonych analiz jest ocena nośności resztkowej słupów żelbetonowych, w których doszło do korozji betonu i zbrojenia.

2. Przyczyny i skutki korozji betonu i prętów zbrojeniowych

Klasyfikację i podział najczęstszych przyczyny uszkodzeń powierzchni betonu oraz otuliny betonowej zbrojenia, powodowanych warunkami użytkowania, a także korozji zbrojenia podaje norma [1]. Są one zgodne z klasami ekspozycji betonu związanymi z oddziaływaniem środowiska według [2]. Jednak oddziaływania korozyjne wpływające na cechy betonu i zbrojenia nie są uwzględniane jako obciążenia. Według [3, 4] konieczne jest projektowanie konstrukcji z uwzględnieniem ich trwałości. Oznacza to, że trwałość konstrukcji jest rozważana, jako jeden z trzech równorzędnych elementów niezawodności konstrukcji, obok bezpieczeństwa i użyteczności. Odpowiednią trwałość konstrukcji żelbetonowych można zagwarantować między innymi odpowiednią grubością otuliny, klasą wytrzymałości betonu [5].

Proces niszczenia betonu w wyniku oddziaływania środowiska definiuje się jako korozję. Wyróżnia się dwa rodzaje korozji betonu: wewnętrzną i zewnętrzną. Przyczyną korozji wewnętrznej mogą być składniki, z których wykonano beton; są to głównie alkalia obecne w cemencie lub domieszkach, a także zbyt duża zawartość gipsu. Korozja zewnętrzna zachodzi pod działaniem niekorzystnych czynników środowiskowych. Najczęściej występującymi rodzajami korozji betonu są: karbonatyzacja, korozja chlorkowa, korozja siarczanowa, korozja spowodowana reakcją alkalia-kruszywo, korozja ogólnokwasowa, a także korozja ługująca i korozja wywołana działaniem mrozu [6, 7].

Karbonatyzacja nie ma wpływu na właściwości betonu, ale prowadzi do obniżenia jego wskaźnika pH i po przekroczeniu granicznej wartości dochodzi do korozji zbrojenia. Agresja chlorkowa prowadzi również do obniżenia pH betonu oraz powstawania ekspansywnych związków, które mogą powodować spękanie betonu i korozję prętów zbrojeniowych. Do skutków fizycznych agresji siarczanowej należy zaliczyć ekspansję, spękania, łuszczenie czy spadek wytrzymałości betonu oraz korozję zbrojenia. Z kolei reaktywność alkaliczna kruszyw skutkuje naprężeniami wewnętrznymi, które powodują spękanie i rozpad betonu, natomiast korozja ługująca i działanie mrozu naruszają strukturę betonu.

Proces korozji zbrojenia przekształca stal w rdzę, co prowadzi do zmniejszenia przekroju stalowego prętów i zwiększania objętości rdzy, która generuje naprężenia rozszczepiające w betonie. W konsekwencji naprężenia wywierane przez produkty korozji powodują mikrozarzysowanie betonu otaczającego pręty, utratę wiązania między betonem a prętami zbrojenia, a także miejscowe lub całkowite odspojenie otuliny. Są to uszkodzenia typowe dla korozji powierzchniowej, która charakteryzuje się równomiernym lub nierównomiernym ubytkiem na długości pręta. W przypadku korozji wżerowej ubytki występują lokalnie na bardzo małej powierzchni, przy czym ubytki przekroju mogą sięgać głęboko w materiał.

Na rys. 1 przedstawiono przykłady obserwowanych uszkodzeń korozyjnych w słupach żelbetonowych o zaawansowanym stanie degradacji. Na tym rysunku można wyróżnić: (a) miejscowe odspojenie otuliny i korozję zbrojenia, (b) odspojenie otuliny i korozję zbrojenia na jednej z powierzchni bocznych słupa, (c) odspojenie otuliny i korozję zbrojenia na całym obwodzie słupa i (d) ubytki betonu wewnątrz rdzenia przekroju i korozję zbrojenia. We wszystkich przedstawionych przypadkach słupy te nie uległy zniszczeniu.

Uszkodzeniom korozyjnym betonu i prętów zbrojeniowych towarzyszą zmiany właściwości mechanicznych betonu i stali. Badania [8] wykazały, że alkalia powodują wzrost wytrzymałości betonu w młodym wieku (7 dni), a wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 dniach jest mniejsza nawet o 24%. Podobnie, wyższą wytrzymałość wczesną i niższą

wytrzymałość późną zaobserwowano dla betonu w obecności korozyjnego chlorku wapnia. Według badań [9] wytrzymałość betonu na ściskanie zmniejsza się, gdy jest on zanurzony w słonej wodzie, o 51% dla betonu zwykłego i 38% dla betonu o wysokiej wytrzymałości. Jest to spowodowane tym, że beton uprzednio zarysowany ma niższą wytrzymałość na ściskanie niż beton w jednoosiowym stanie naprężenia [10]. Jest to tzw. zjawisko zmiękczenia betonu przy ścisaniu (compression softening).



Rys. 1. Uszkodzenia korozyjne słupów żelbetowych: a) <https://www.wesavestructures.info/corrosion-evaluation> (31.01.2022 r.), b) <https://www.fprimec.com/structural-effects-corrosion/> (31.01.2022 r.), c) <https://www.theengineerincommunity.org/types-and-causes-of-concrete-deterioration/> (31.01.2022 r.), d) <https://www.techdry.com.au/how-to-avoid-salt-water-corrosion-within-reinforced-concrete/> (31.01.2022 r.).

Wczesne badania z zakresu korozji stali zbrojeniowej koncentrowały się na przyczynach i mechanizmach przemiany stali w rdzę [11]. Badania [12] wykazały istotny spadek granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie prętów stalowych o podwyższonej wytrzymałości wraz ze stopniem ich korozji. Spadki te wynosiły maksymalnie 28%. Korozja zbrojenia powoduje również zmniejszenie ciągliwości stali. Według badań [13] odkształcenia końcowe prętów skorodowanych mogą być mniejsze o 26% niż prętów bez korozji. Badania [14] pokazały, że stopień korozji prętów stalowych ma duży wpływ na moduł Younga stali, z której są wykonane, a spadek modułu w skrajnych przypadkach może osiągać nawet 30%. Według badań [15] korozja zbrojenia ma istotny wpływ na granicę plastyczności i ciągliwość, natomiast moduł Younga ulega obniżeniu w nieznacznym stopniu. Badania wpływu obetonowania skorodowanych prętów na ich zachowanie się podczas osiowego rozciągania [16] pokazują, że granica plastyczności i wytrzymałość na rozciąganie takich prętów są znacznie większe (o 100%) niż w przypadku prętów bez otuliny o takim samym stopniu korozji wyrażonej redukcją średnicy zbrojenia o 9.5%. Wyniki badań [17] wykazały, że korozja zbrojenia może zmniejszyć wytrzymałość przyczepności betonu do prętów o 32%.

Przedstawione wyniki badań doświadczalnych betonu i prętów zbrojeniowych wskazują, że w ocenie nośności resztkowej skorodowanych elementów żelbetowych należy uwzględnić nie tylko ubytki korozyjne pola powierzchni betonu i prętów, ale także odmienne właściwości mechaniczne betonu, a w szczególności stali.

3. Wpływ korozji na zachowanie się elementów żelbetowych

Ostatnie badania skorodowanych konstrukcji żelbetowych są poświęcone przede wszystkim ocenie ryzyka ich eksploatacji, ich niezawodność i ich nośność resztkowej. Prowadzone są przede wszystkim badania belek i słupów żelbetowych.

Analizy numeryczne przeprowadzone przez [18] wykazały, że redukcja wytrzymałości przyczepności spowodowana korozją zbrojenia obniża około dwukrotnie ciągliwość badanych belek, natomiast nie ma wpływu na nośność tych belek. W badaniach [19] nośność na zginanie belek ze skorodowanym zbrojeniem spadała nawet o 50%. W belkach badanych przez [20], w których skorodowało 6% masy zbrojenia stwierdzono spadek nośności do 30% i zwiększone ugięcia o 40–70% w porównaniu z belkami referencyjnymi. Korozja zbrojenia ma również istotny wpływ na zachowanie się elementów obciążonych cyklicznie ze zmianą znaku wymuszanych przemieszczeń. W badaniach [21] stwierdzono około 30% spadek nośności i około 50% spadek ciągliwości belki, w której stopień utraty masy prętów wynosił około 20% w porównaniu z belką bez korozji.

Wyniki badań słupów obciążonych osiowo [22] wykazały, że korozja zbrojenia istotnie wpływa na granicę plastyczności i nośność słupa. Nośności elementów skorodowanych zmniejszyła się o 18,27% w porównaniu z elementami nieskorodowanymi, gdy ubytek wzdłużny masy prętów zbrojeniowych wynosił 7,16%. W badaniach krępych słupów obciążonych mimośrodowo ($e/h = 0,38$), poddanych przyspieszonej korozji [23], spadek nośności w słupach z ubytkiem masy zbrojenia 13% wynosił 17%, a w przypadku słupów z ubytkiem masy zbrojenia 9% spadek wynosił 11%. Według badań [24] spadek nośności i ciągliwość zależą od stopnia korozji. W przypadku 25% stopnia korozji zbrojenia nośność badanych słupów na ściskanie osiowe zmniejsza się o 12%, a ciągliwość mierzona rozpraszaną energią jest zredukowana o 9%.

Analizy MES [25] wskazują, że korozja zbrojenia powoduje nie tylko spadek nośności słupów, ale także ich ciągliwości. Zachowanie się słupów po wpływie obciążeń poprzecznych zależy od bardzo wielu czynników; od stopnia korozji, stopnia zbrojenia podłużnego i poprzecznego, grubości otuliny, kształtu przekroju poprzecznego i udziału siły podłużnej. W skrajnych przypadkach stopień nośności zmienia się w granicach od 10 do 90%.

Miarą uszkodzeń korozyjnych betonu jest zmniejszenie wymiarów przekroju poprzecznego, które jest efektem kruszenia i odpajania otuliny, a czasem rdzenia przekroju. Miarą uszkodzeń korozyjnych prętów zbrojenia jest ubytek ich masy wyrażany współczynnikiem utraty masy γ lub zredukowaną średnicą d_o [26].

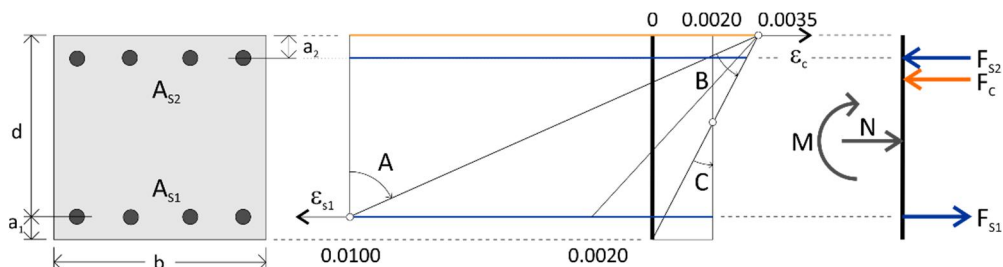
4. Analiza nośności słupów krępych mimośrodowo ściskanych

Rozpatruje się słupy krępe o przekroju kwadratowym w których zastosowano zbrojenie podłużne z prętów stalowych o granicy plastyczności $f_{yd} = 400$ MPa (rys. 2). Usytuowanie zbrojenia w przekroju określa parametr $a_1/d = 0,10$. Łączny stopień zbrojenia podłużnego rozciąganego i ściskanego wynosi $\rho = 1,50\%$. Dla betonu o wytrzymałości na ściskanie $f_{cd} = 30$ MPa przyjęto paraboliczno-prostokątny wykres zależności między naprężeniami a odkształceniami. W przypadku prętów stalowych przyjęto model sprężysto plastyczny bez wzmocnienia. W przeprowadzonych obliczeniach nie uwzględniono wpływu uzwojenia betonu w rdzeniu przekroju na zwiększenie jego wytrzymałości na ściskanie i zmian właściwości mechanicznych betonu i stali spowodowanych ich korozją.

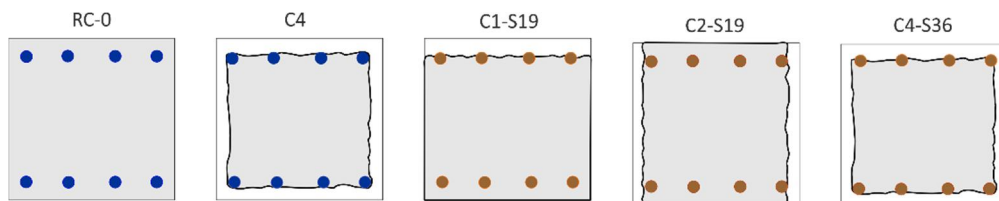
Nośność graniczna przekroju mimośrodowo ściskanego jest równa wartościom momentu zginającego i siły podłużnej leżącym na krzywej interakcji momentu zginającego i siły podłużnej zdeterminowanej przez dopuszczalny stan odkształceń. Na rys. 2 zamieszczono rozkład odkształceń granicznych w analizowanym przekroju zbrojonym mimośrodowo ściskaniem ilustrujących wyężenia przekroju od osiowego rozciągania do osiowego ściskania (punkty obrotu A, B i C). Odkształcenia w rozciąganych prętach ograniczono do 0,01. Graniczne odkształcenia betonu w skrajnym ściskanym włóknie ograniczone są do 0,0035,

przy czym nie mogą one być większe od 0,002 dla ściskania osiowego [5]. W tym samym zakresie zmieniają się odkształcenia w prętach ściskanych.

Przedmiotem analizy jest pięć przekrojów o takich samych wymiarach i takim samym stopniu zbrojenia (rys. 3): przekrój RC-0 bez uszkodzeń korozyjnych, przekrój C4 z otuliną odspojoną na całym obwodzie, przekrój C1-S19 z otuliną odspojoną na jednej krawędzi i masowym stopniem korozji zbrojenia $\gamma = 0,19$, przekrój C2-S19 z otuliną odspojoną na dwóch krawędziach i stopniem korozji zbrojenia $\gamma = 0,19$ i przekrój C4-S/36 z otuliną odspojoną na czterech krawędziach i stopniem korozji zbrojenia $\gamma = 0,36$.



Rys. 2. Stan odkształceń i siły przekrojowe w stanie granicznym nośności.



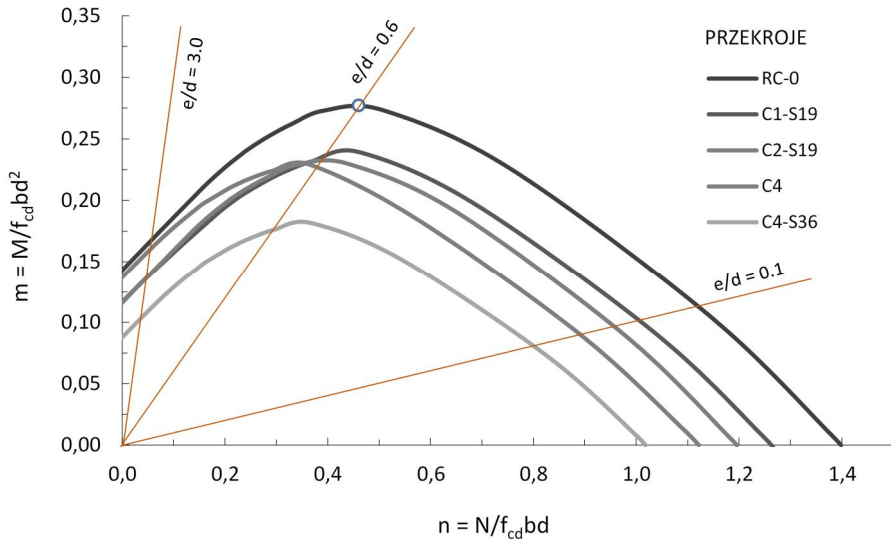
Rys. 3. Analizowane przekroje słupów.

Krzywe interakcji moment zginający – siła podłużna rozpatrywanych przekrojów otrzymano na podstawie przeprowadzonych analiz MES wykonanych aplikacją XTRACT firmy Imbsen Software Systems. Na rys. 4 zamieszczone są wykresy interakcji pomiędzy bezwymiarowym momentem zginającym m a bezwymiarową siłą podłużną n dla przekroju bez uszkodzeń i przekrojów o różnym zakresie uszkodzeń korozyjnych. Na rysunku tym naniesiono także linie trzech mimośrodków siły podłużnej e znormalizowanych względem użytecznej wysokości przekroju d . Linia mimośrodu względnego $e/d = 0,6$ przechodzi przez tzw. punkt „równowagi” leżący na krzywej interakcji dla przekroju bez uszkodzeń RC-0. W punkcie tym mamy do czynienia z jednoczesnym uplastycznieniem zbrojenia rozciąganego ($\epsilon_{s1} = \epsilon_{sy} = 0,002$) i wyczerpaniem nośności betonu strefy ściskanej ($\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0,0035$). Dla mimośrodków siły podłużnej $e/d < 0,6$ o nośności przekroju decyduje beton strefy ściskanej, a dla mimośrodków siły podłużnej $e/d > 0,6$ o nośności przekroju decyduje zbrojenie rozciągane. Ponadto na rysunku poprowadzono linie mimośrodków $e/d = 0,1$ odpowiadającą przypadkowi małego mimośrodu i $e/d = 3,0$ odpowiadającą przypadkowi dużego mimośrodu. Krzywa interakcji dla przekroju bez uszkodzeń RC-0 jest traktowana jako krzywa referencyjna do której będą odnoszone krzywe interakcji dla pozostałych przekrojów.

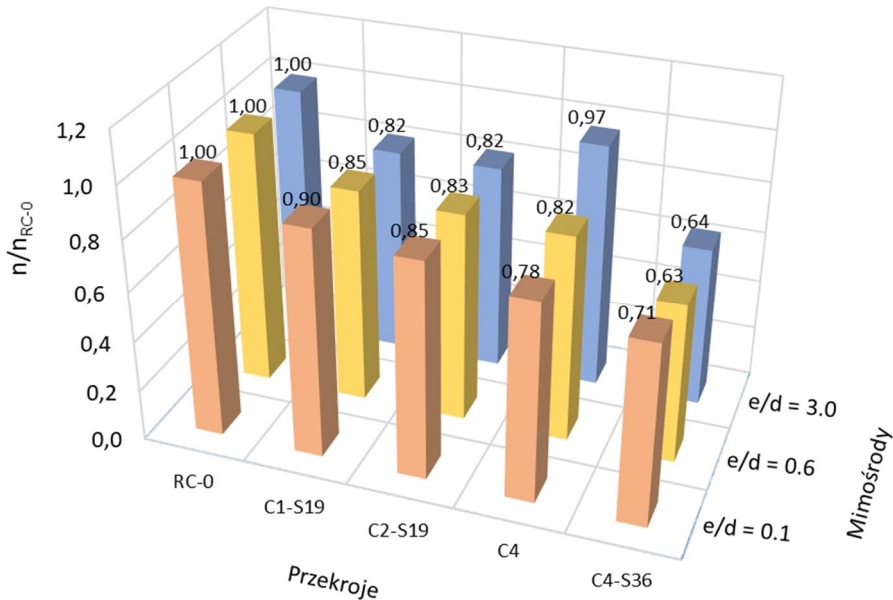
Jak można zauważyć na rys. 4 istotny wpływ na nośność analizowanych przekrojów ma stopień ich uszkodzeń, a spadki nośności zależą od zakresu uszkodzeń poszczególnych przekrojów i wielkości mimośrodu siły podłużnej. Na rys. 5 zamieszczono wykresy słupkowe bezwymiarowych sił podłużnych n , działających na trzech mimośrodkach $e/d = 0,1; 0,6$ i $3,0$.

Siły te zostały znormalizowane względem siły podłużnej n_{CR-0} przenoszonej przez przekrój bez uszkodzeń RC-0.

Największy spadek nośności jest widoczny dla przekroju C4-S38 tj. przekroju bez otuliny na całym obwodzie i z ubytkiem masy zbrojenia o 38% i w zależności od mimośrodru siły podłużnej e/d spadek nośności zmienia się w granicach od 29% do 36%. Najmniejszy spadek nośności wykazuje przekrój C4, bez otuliny na całym obwodzie, ale bez korozji zbrojenia podłużnego i dla mimośrodru siły podłużnej $e/d = 3,0$ wynosi on zaledwie 3%. W pozostałych przypadkach uszkodzeń korozyjnych spadki nośności wahają się od 10 do 22%.



Rys. 4. Krzywe interakcji bezwymiarowy moment zginając m – bezwymiarowa siła podłużna n .



Rys. 5. Wpływ mimośrodku siły podłużnej i uszkodzeń korozyjnych na nośność przekrojów.

5. Podsumowanie

Procesy destrukcji elementów żelbetowych spowodowane korozją betonu i prętów zbrojeniowych mogą spowodować, że konstrukcja obiektu nie będzie w stanie spełniać podstawowych wymagań dotyczących nie tylko stanów granicznych nośności i użyteczności przed wpływem projektowanego czasu eksploatacji, ale także ich trwałości.

W przypadku wystąpienia uszkodzeń korozyjnych konstrukcji żelbetowych konieczne jest zastosowanie odpowiednich metod oceny ich aktualnej nośności. Do tego celu bardzo przydatne są proste narzędzia umożliwiające określenie nośności resztkowej uszkodzonych korozją elementów żelbetowych. W przypadku belek żelbetowych to może być zależność moment zginający – krzywizna, a w przypadku słupów żelbetowych są to krzywe interakcji pomiędzy momentem zginającym a siłą podłużną. Metody te pozwalają na ocenę zachowania się belek i słupów żelbetowych w całym zakresie obciążeń.

Przeprowadzone analizy nośności mimośrodowo ściskanych przekrojów słupów żelbetowych z uszkodzeniami korozyjnymi betonu i prętów zbrojeniowych, które są najczęściej spotykane w praktyce, wykazały, że spadki nośności nie są aż tak duże. Nośność resztkowa nie jest mniejsza od 2/3 nośności pierwotnej.

Literatura

1. PN-EN 1504-9:2010. Wyroby i systemy do ochrony i naprawy konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 9: Ogólne zasady dotyczące stosowania wyrobów i systemów.
2. PN-EN 206:2014-04. Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
3. Ajdukiewicz A., 2014, Prenorma konstrukcji betonowych – fib Model Code 2010, Polski Cement, Kraków.
4. PN-EN 1990:2004/A1:2008. Eurokod 0. Podstawy projektowania konstrukcji.
5. PN-EN 1992-1-1:2008, Eurokod 2, Projektowanie konstrukcji z betonu, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
6. Kurdowski W., 2018, Podstawy chemiczne mineralnych materiałów budowlanych i ich właściwości, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków.
7. Ścisławski Z., Ochrona konstrukcji żelbetowych, Wydawnictwo “Arkady”, Warszawa, 1999.
8. Attar A., Gencturk B., Aryan H., Wei J., Impact of Laboratory-Accelerated Aging Methods to Study Alkali-Silica Reaction and Reinforcement Corrosion on the Properties of Concrete, *Materials*, 2020, 13, 3273; doi:10.3390/ma13153273.
9. Ali T.A., Effect of ground water sodium chloride attack on reinforced concrete footings, *Journal of Geotechnical Engineering*, 4(1), 2017, 1–8.
10. Vecchio, F. J., and Collins, M. P., Compression Response of Cracked Reinforced Concrete, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 1993, 119(12), 3590–3610.
11. Hanjari K.Z., Kettil P., Lundgren K., Analysis of mechanical behavior of corroded reinforced concrete structures, *ACI Structural Journal*, 2011, 108(5), 532–541.
12. Chen H., Zhanf J., Yang J., Ye F., Experimental Investigation into Corrosion Effect on Mechanical Properties of High Strength Steel Bars under Dynamic Loadings, *International Journal of Corrosion*, 2018, Article ID 7169681, 1–13.
13. Du Y.G., Clark L.A., Chan A.H.C., Effect of corrosion on ductility of reinforcing bars, *Magazine of Concrete Research*, 2005, 57(7), 407–419.
14. Shopov., Bonev B., Change of Young’s Module on Steel Specimens with Corrosion by Experiment, *International Journal of Modeling and Optimization*, 2019, 9(2), 102–107.
15. Taha N. A., Study of the behavior of corroded steel bar and convenient method of repairing, *HBRC Journal*, 2016, 12, 107–113.

16. Imperatore S., Leonardi A., Rinaldi Z., Mechanical behavior of corroded rebars in RC elements, *Mechanics, Models and Methods in Civil Engineering*, Michel Frémond and Franco Maceri (Eds), Springer, 2012, 207–220.
17. Ismail M., Egba E.I., Proceedings of the 3rd International Conference on Construction and Building Engineering (ICONBUILD), AIP Conf. Proc. 1903, 2017, 020027-1–020027-6; <https://doi.org/10.1063/1.5011507>.
18. Kien N.T., Tan N.N., Modeling the flexural behavior of corroded reinforced concrete beams with considering stirrups corrosion, *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*, 2020, 14(3), 26–39.
19. Azad A.K., Ahmad S., Al-Gohi A., Flexural strength of corroded reinforced concrete beams, *Magazine of Concrete Research*, 2010, 62, 405–414.
20. Ballim Y., Reid J.C.R., Kemp. A. R., Deflection of TRC beams under simultaneous load and steel corrosion, *Magazine of Concrete Research*, 2001, 53(3), 171–181.
21. Meda A., Mostosi S., Rinaldi Z., Riva P., Corroded RC columns repair and strengthening with high performance fiber reinforced concrete jacket, 2015, *Materials and Structures*, DOI 10.1617/s11527-015-0627-1.
22. Yuan Z., Fang C., Parsaeimaram M., Yang S., Cyclic behaviour of corroded concrete bridge piers, *Journal of Bridge Engineering*, 2017, 22(7), 04017020.
23. Al-Akhras N., Al-Mashraqi, Repair of corroded self-compacted reinforced concrete columns loaded eccentrically using carbon fiber reinforced polymer, *Case Studies in Construction Materials*, 2021, 14, e00476.
24. Revathy J., Suguna K., Raghunath P.N., Effect of corrosion damage on the ductility performance concrete column, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2009, 2(2), 324–327.
25. Mohammed A.M.A., Ahmed A., Maekawa K., Effect of corrosion on ductility of RC Columns, APICENS 2016, 5th Asia-Pacific International Congress on Engineering & Natural Sciences, 95–107.
26. Apostolopoulos C.A., Papadopoulos M.P., Pantelakis S.G., Tensile behavior of corroded reinforcing steel bars BSt 500s, *Construction and Building Materials*, 2006, 20, 782–789.

Assessment of corrosion damage in reinforced concrete columns

Summary: Reinforced concrete structures during operation work in various environmental conditions, which may cause corrosion of reinforcing bars and concrete of different intensity. Then we are dealing with corrosion damage, accompanied by scratching and losses of concrete, reduction of the cross-sectional area of reinforcing bars, as well as lowering the parameters of the mechanical properties of concrete and reinforcing steel. Consequently, this affects the further safety and usability of reinforced concrete structures. This paper presents the results of an analysis of the behaviour of stocky reinforced concrete columns with corrosion damage to the concrete of the reinforcing bars. Based on the interaction curves between bending moment and longitudinal force, the influence of the intensity of corrosion damage of concrete and rebar on the ultimate load capacity of eccentrically compressed sections was estimated. The corrosion damage decreases the load capacity of eccentrically compressed sections, the decrease of which depends on the amount of corrosion damage and the eccentricity of the longitudinal force.

Key words: reinforced concrete column, concrete corrosion, reinforcement corrosion, eccentric compression, ultimate load capacity