

Badania polaryzacyjne wpływu chlorków na cynkową powłokę ochronną stali zbrojeniowej w dojrzewającym betonie

Polarization tests concerning chloride impact on protective zinc coatings applied on reinforcing steel in curing concrete

Przeprowadzono analizę wpływu chlorków na stalowe pręty zbrojenio-
we zabezpieczone powłokami cynkowymi oraz porównawczo na pręty
bez żadnych powłok ochronnych. Pręty zbrojeniowe badano w betonie
o zawartości chlorków wynoszącej 2% masy cementu zawartego w be-
tonie, a także w betonie referencyjnym bez chlorków. Badania polaryza-
cyjne realizowano w trybie potencjodynamicznym w układzie trójelek-
trodowym, w którym elektrodą badaną był umieszczony w betonie pręt
z stali żebrowanej gatunku RB500. Badania rozpoczęto po 2 tygodniach
od zabetonowania próbek, a następnie kontynuowano w odstępach
jedno i dwu-tygodniowych. Wyniki badań pokazały, że w początkowym
okresie dojrzewania betonu, niezależnie od występowania lub braku
chlorków w betonie, na powierzchni powłoki cynkowej zachodzą dość
intensywne procesy elektrochemiczne. Po osiągnięciu przez beton nor-
mowej – 28-dniowej dojrzłości, procesy elektrodowe ulegają silnemu
spowolnieniu i stabilizacji.

Słowa kluczowe: konstrukcje betonowe, stal zbrojeniowa, korozja, chlor-
ki, powłoka cynkowa, pomiary potencjodynamiczne, gęstość prądu ko-
rozyjnego

1. Wprowadzenie

Trwałości konstrukcji betonowych zagraża wiele niekorzystnych czyn-
ników środowiskowych. Jednym z najgroźniejszych dla stali zbrojeniowej
w betonie są jony chlorkowe [17, 21, 23]. Występują one w środkach do
topienia lodu, w zbiornikach z wodą chlorowaną, na płytach parkingów
wielopoziomowych, a także na obiektach infrastruktury morskiej. Aby
ograniczyć ryzyko wystąpienia zagrożenia korozją chlorkową na zbro-
jeniu możliwe jest wykonywanie powłok ochronnych na powierzchni
betonu [4, 7], wprowadzanie do betonu inhibitorów korozji [11], a także
wykonywanie na powierzchni stali powłok ochronnych [3]. W praktyce
stosuje się dwa rodzaje zabezpieczeń powłokowych zbrojenia: powłoki
epoksydowe [10, 16] i powłoki cynkowe [6, 9]. Powłoki epoksydowe dzia-
łają na zasadzie elektrycznego izolatora, który do momentu rozszczelnie-
nia skutecznie uniemożliwia rozwój procesów korozyjnych na zbrojeniu.
Natomiast powłoki cynkowe na zbrojeniu działają na zasadzie ochrony
protektorowej stali, przez co znacznie lepiej chronią stal zbrojeniową

We analysed chloride impact on steel rebars with protective zinc coat-
ings and compared them with rebars without any protective coatings.
The rebars were tested in concrete with chloride content of 2% cement
weight and in reference concrete without chlorides. Polarization tests
were conducted in the potentiodynamic mode in the three-electrode
system, where the working electrode was the rebar made of ribbed steel
of grade RB500, placed in concrete. The tests began two weeks after
placing specimens in concrete. They were continued in one- and two-
week intervals. The test results showed that at the early maturity age of
concrete, quite intensive electrochemical processes took place on the
zinc coat surface regardless of chloride presence. When concrete was
fully matured, that is, after 28 days according to the standard, electrode
processes significantly slowed down and then stabilised.

Słowa kluczowe: concrete structures, reinforcing steel, corrosion, chlo-
rides, zinc coating, potentiodynamic measurements, corrosion current
density

1. Introduction

Numerous environmental factors endanger durability of concrete
structures, Chloride ions are among the most dangerous factors for rein-
forcing steel in concrete [17, 21, 23]. They are present in deicing agents,
tanks with chlorinated water, slabs of multilevel parking areas, and on
facilities of maritime infrastructure. The risk of chloride corrosion in rein-
forcement can be reduced by applying protective coatings to concrete
surface [4, 7], introducing corrosion inhibitors into concrete [11], and ap-
plying protective coatings to steel surface [3]. In practice, two types of
coating protection for reinforcement are used. They are epoxy [10, 16]
and zinc coatings [6, 9]. The epoxy coatings work as an electric insula-
tor which effectively inhibits corrosion of reinforcement until they are
sealed. The zinc coatings work as sacrificial anode protection of steel. In
case of damage, they provide greater protection of reinforcing steel. The
zinc coatings have been used worldwide for over 60 years [22]. Galvaniz-
ing of reinforcement is very popular in the United States and Canada,

■ Informacje o Autorze / About the Author:

Mgr inż. Jacek Kołodziej – doktorant w Katedrze Konstrukcji Budowlanych Po-
litechniki Śląskiej. Zajmuje się problemami ochrony powłokowej zbrojenia w
betonie.

e-mail: jacek.kolodziej@polsl.pl

Dr hab. inż. Mariusz Jaśniok, profesor nadzwyczajny w Politechnice Śląskiej, ab-
solwent Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej. Zajmuje się zaawansowaną
diagnostyką korozyjną konstrukcji żelbetonowych metodami elektrochemicznymi,
ochroną powłokową zbrojenia, a także w elektrochemicznymi metodami rege-
neracji betonu.

e-mail: mariusz.jasniok@polsl.pl

■ Otrzymano / Received: 31.05.2017 • Przyjęto / Accepted: 21.08.2017

Mgr inż. Jacek Kołodziej [MSc Eng.] – a PhD student in the Department of Bul-
ding Structures at Silesian University of Technology. He specializes in issues rela-
ted to coating protection of reinforcement in concrete.
e-mail: jacek.kolodziej@polsl.pl

Dr hab. inż. Mariusz Jaśniok [PhD, DSc, Eng.] – Associate Professor at the Silesian
University of Technology, graduated from the Department of Building Structures
at the Silesian University of Technology. The author specializes in advanced di-
agnostic techniques for reinforced concrete structures using electrochemical
methods, coating protection for reinforcement, and electrochemical methods of
concrete recovering.

e-mail: mariusz.jasniok@polsl.pl

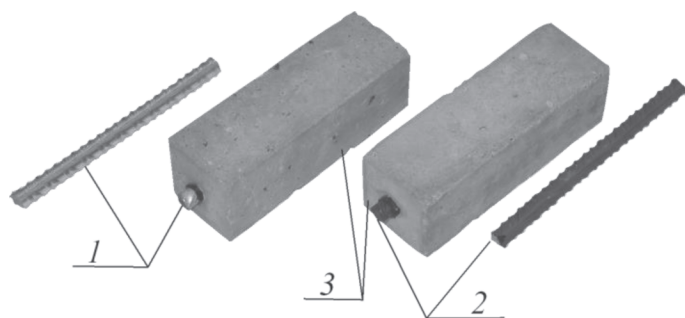
w przypadku uszkodzenia. Na świecie cynkowe powłoki na zbrojeniu mają już ponad 60 letnią tradycję [22]. Cynkowanie zbrojenia najbardziej popularne jest w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie, a także w krajach Europy Zachodniej. Natomiast w Polsce do chwili obecnej nie ma żadnych informacji o zastosowaniu tego typu zabezpieczenia antykorozyjnego w konstrukcjach betonowych.

W przypadku ocynkowanego zbrojenia w betonie wymienia się dwa podstawowe zagrożenia. Nietypowym zagrożeniem z punktu widzenia typowej, niezabezpieczonej powłokowo stali w betonie jest wpływ wysokiego odczynu ($\text{pH} > 12,5$) cieczy porowej na cynk [12, 13, 15]. W świeżej mieszance betonowej może dochodzić do roztwarzania powłoki cynkowej. Drugim zagrożeniem, podobnie jak w przypadku niezabezpieczonej powłokowo stali zbrojeniowej jest oddziaływanie chlorków. Badania prętów ocynkowanych w środowisku chlorków [3, 8, 22] wskazują generalnie na skuteczność tej powłoki. Jednak badacze sygnalizują także jej wady, jak aktywność warstwy cynkowej w początkowym okresie po zabetonowaniu [20], a także podają w wątpliwość rzeczywistą trwałość takiej powłoki [5].

Mając na uwadze brak krajowych doświadczeń w zakresie badania, a także praktycznego stosowania ocynkowanego zbrojenia w betonie, w artykule podjęto próbę przeprowadzenia badań porównawczych wpływu chlorków na powłokę cynkową. W badaniach szczególną wagę skupiono na wpływie dojrzewającego betonu na ocynk. Analizowano pierwsze 8 tygodni wiązania betonu, a w szczególności umowny moment osiągnięcia przez beton normowej wytrzymałości po 28 dniach dojrzewania. Aby ocenić skuteczność działania powłoki w badaniach uwzględniono zbrojenie referencyjne bez powłoki, a także referencyjny beton bez chlorków.

2. Metodyka badań

Do badań zaprojektowano betonowe elementy próbne o wymiarach $40 \times 40 \times 140$ mm, zbrojone pojedynczym stalowym prętem średnicy 8 mm (Rys. 1). Pierwszym krokiem było przygotowanie stali zbrojeniowej do procesu cynkowania [14]. W normach amerykańskich [1, 2] zaleca się, aby minimalna średnia grubość powłoki cynkowej mieściła się w przedziale $80 \div 150$ μm . Pręty zbrojeniowe średnicy 8 mm ze stali żebrowanej gatunku RB500SP ocynkowano w jednym z zakładów na południu Polski. W wyniku 2 minutowego zanurzenia w wannie cynkowniczej uzyskano grubość powłoki wynoszącą około 100 μm . Grubość powłoki zmierzono w trakcie badań pod mikroskopem metalograficznym *Delta Optical MET-200-TRF*. Następnie pręty pocięto na próbki o długości 15 cm. Końce stalowych próbek, w miejscu wyjścia z betonu, zabezpieczono przed korozją szczelinową termokurczliwą folią. Pręty wraz elementami stabilizującymi w czasie betonowania, zostały umieszczone w formach do wykonywania normowych próbek zapraw murarskich, a następnie zabetonowane. Do betonowania użyto mieszanki normowej o współczynniku wodnocementowym $w/c = 0,45$ [18] zawierającej cement CEM I 42,5 – SR3/NA oraz piasek i kruszywo o ziarnach średnicy $2 \div 8$ mm. Z tak przygotowanej mieszanki wykonano dwa rodzaje elementów próbnych z ocynkowanym



Rys. 1. Betonowe elementy próbne $140 \times 40 \times 40$ mm zbrojone pojedynczym, stalowym prętem średnicy 8 mm: 1 – pręt ocynkowany, 2 – pręt bez powłoki cynkowej; 3 – betonowa próbka

Fig. 1. Concrete test elements with dimensions of $140 \times 40 \times 40$ mm, with a single steel rebar with a diameter of 8 mm: 1 – galvanized rebar, 2 – rebar without zinc coating; 3 – concrete specimen

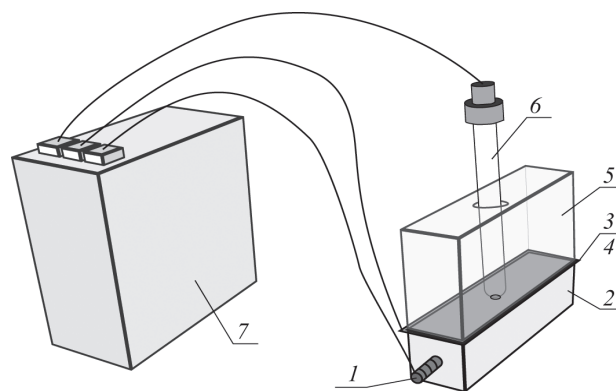
as well as in West European countries, while in Poland there is still no information on using that type of anti-corrosion protection for concrete structures.

For galvanized reinforcement in concrete, two types of risk are mentioned. The impact of high pH value ($\text{pH} > 12.5$) of pore water on zinc is not typical hazard for standard, unprotected steel in concrete [12, 13, 15]. Zinc coating may solubilise in fresh concrete mix. Similarly, as for reinforcing steel without coating protection, chloride impact is considered as second type of hazard. Tests on galvanized rebars in chloride medium [3, 8, 22] show that coating is generally effective. However, scientists also signal its disadvantages, such as activity of zinc coating at the initial stage after its embedding in concrete [20], and cast doubt on real durability of such a coating [5].

As we, at the national level, have no experience in testing and practical use of galvanized reinforcement in concrete, this paper presents an effort to perform comparative tests of chloride impact on zinc coating. Those tests particularly focused on the impact of curing concrete on zinc. We analysed first eight weeks of concrete hardening, and especially a conventional moment when concrete reached the standard strength after 28 days of curing. Reference reinforcement without coating and reference concrete without chlorides were included in the tests to evaluate coating effectiveness.

2. Methodology of tests

Concrete test elements with dimensions of $40 \times 40 \times 140$ mm, reinforced with a single steel bar having a diameter of 8 mm were formed for tests (Fig. 1). Preparing reinforcing steel for galvanization was the first step [14]. According to U.S. standards [1, 2] the minimum average thickness of zinc coating is recommended within a range of $80 \div 150$ μm . Rebars with a diameter of 8 mm, made of ribbed steel of grade RB500, were galvanized in a plant in southern Poland. A two-minute immersion in a bath with zinc resulted in the coating thickness of ca. 100 μm . During the tests, thickness of coating was measured under the metallographic microscope *Delta Optical MET-200-TRF*. Then, the rebars were cut into specimens of 15 cm in length. Ends of steel specimens, at the site where they stuck out from concrete, were protected against corrosion with cast shrink film. While concreting, the rebars and stabilising elements were placed in moulds for preparing standard specimens of masonry mortars, and then poured with concrete. The standard mix with water-cement ratio $w/c = 0.45$ [18], containing cement CEM I 42,5 – SR3/NA, sand and aggregate with grains of $2 \div 8$ mm in diameter, was used to perform concreting. Two types of test elements with and without a galvanized rebar were prepared from that mix. Later, concrete mix content identical to the above,



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe do badań polaryzacyjnych zbrojenia ocynkowanego i nieocynkowanego w betonowych elementach próbnych – opis w tekście

Fig. 2. A test stand for polarization measurements of galvanized and non-galvanized reinforcement in concrete test elements – described in the text

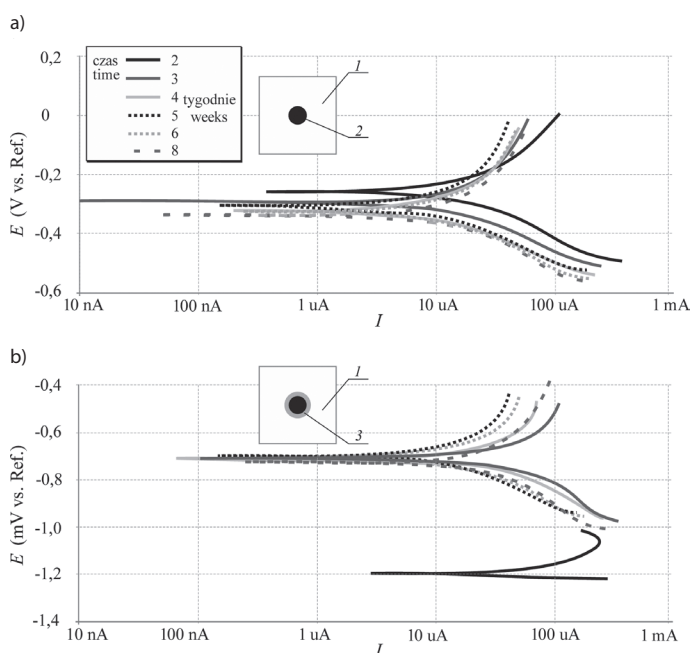
i nieocynkowanym prętem zbrojeniowym. Następnie zachowując identyczny jak opisany wyżej skład mieszanki betonowej, ale z dodatkiem CaCl_2 w ilości ok. 3,13% masy cementu do wody zarobowej, wykonano drugą partię próbek betonowych. Łącznie wykonano 12 próbek betonowych, po 3 sztuki dla każdej serii badanej. Po 2 dniach od zabetonowania próbki zostały rozformowane, a po 2 tygodniach dojrzewania betonu przystąpiono do realizacji pomiarów polaryzacyjnych zbrojenia. W pierwszym etapie pomiary realizowano w odstępach 1-tygodniowych, a następnie w odstępach 2-tygodniowych.

Badania polaryzacyjne zbrojenia betonowych elementów próbnych zostały wykonane w układzie trójelektrodowym przedstawionym na rys. 2. Stalowy pręt 1 w przygotowanych próbkach 2 stanowił elektrodę badaną. Elektrodę pomocniczą 3 stanowiła blacha o wymiarach 140×40 mm z stali odpornej na korozję, umieszczona na wilgotnym filcu 4. Trzecią elektrodą była elektroda odniesienia 6 ($\text{Cl}^-/\text{AgCl}/\text{Ag}$), która została ustabilizowana pionowo w przewodnicy balastu 5. Wszystkie trzy elektrody zostały podłączone do potencjostatu 7 Gamry Reference 600. W tak przygotowanym układzie pomiarowym, po ustabilizowaniu się potencjału na poziomie zmienności 0,1 mV/s, wykonywano pomiary potencjodynamiczne z szybkością 1 mV/s w zakresie zmiany potencjału od -150 mV do +100 mV względem potencjału stacjonarnego.

3. Wyniki i analiza badań polaryzacyjnych zbrojenia w betonie

Otrzymane wyniki pomiarów z rozróżnieniem na badania stali w betonie bez i z dodatkiem chlorków pokazano odpowiednio na rys. 3 i 4. Analizując wszystkie krzywe polaryzacji można zauważyć bardzo dużą powtarzalność kształtów i brak zaburzeń, zarówno w zakresie anodowym, jak i katodowym. Ale widać również wyraźne różnice pomiędzy grupami wykresów dla każdej z czterech próbek.

Dla próbki betonowej bez chlorków i bez powłoki ochronnej na stali wykresy mają zbliżony kształt, co świadczy o braku znaczących zmian na powierzchni stali (Rys. 3a). Jest to sytuacja typowa i dominująca w początkowym okresie eksploatacji konstrukcji żelbetowej, kiedy stal w wysokoalkalicznej mieszance betonowej ulega pasywacji. W przypadku betonu bez dodatku chlorków, ale z ocynkowanym prętem zbrojeniowym (Rys. 3b), po początkowym lekkim przesunięciu grupy krzywych w kierunku wyższych gęstości prądu (w porównaniu do rys. 3a), po 4 tygodniach nastąpiło przesunięcie do zakresu prądów jak na rys. 3a. Warto zauważyć, że potencjały korozyjne w przypadku stali ocynkowanej są o około 300 mV niższe, niż dla stali bez powłoki cynkowej (Rys. 3).



Rys. 3. Wyniki badań polaryzacyjnych próbek stali zbrojeniowej w betonie bez chlorków – 1: a) pręt bez powłoki – 2, b) pręt z powłoką cynkową – 3

Fig. 3 Results from polarization measurements of reinforcing steel specimens in concrete without chlorides – 1: a) rebar without coating – 2, b) rebar with zinc coating – 3

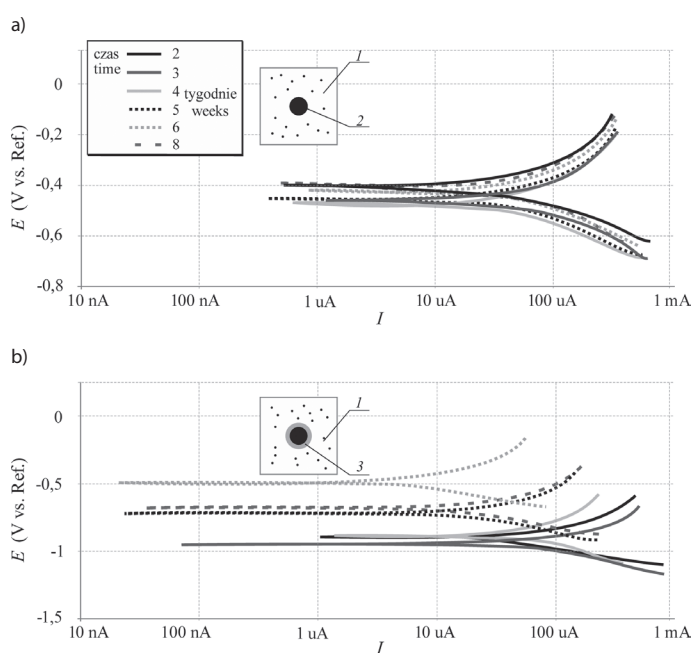
but with additive of CaCl_2 in the quantity of ca. 3.13% of cement mass to batched water, was used for the second series of concrete specimens. Twelve concrete specimens in total were made, three per each tested series. After two days from concreting, the specimens were stripped from the mould. Two weeks after concrete curing, polarization measurements of reinforcement began. The first stage of measurements was carried out at one-week intervals, and later at two-week intervals.

Polarization measurements of reinforcement in concrete test elements were conducted in a three-electrode arrangement illustrated in Fig. 2. The steel rebar 1 in the prepared specimens 2 was the working electrode. The counter electrode 3 made of stainless steel sheet having dimensions of 140×40 mm was placed on a wet felt pad 4. A third electrode was the reference electrode 6 ($\text{Cl}^-/\text{AgCl}/\text{Ag}$) horizontally stabilised in the ballast guide 5. All three electrodes were connected to the potentiostat 7 Gamry Reference 600. When potential was stabilised in the above arrangement at the variation level of 0.1 mV/s, potentiodynamic measurements were conducted at a scanning rate of 1 mV/s in the potential range from -150 mV to +100 mV over the stationary potential.

3. Results and analysis of polarization tests of reinforcement in concrete

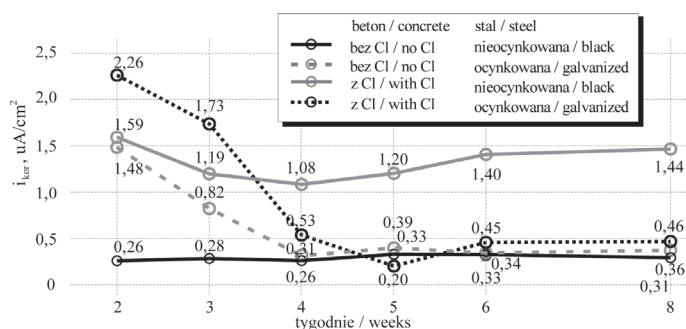
The obtained results according to tests on steel in concrete with and without chlorides are shown in Figs. 3 and 4. While analysing all polarization curves, the considerable repeatability of shapes and lack of disturbances, both within cathode and anode range, could be observed. But also differences between groups of graphs were noticeable for each of four specimens.

The graphs for concrete specimen without chlorides and protective coating on steel were similar in shape which indicated no significant changes on steel surface (Fig. 3a). The above is typical and predominant situation at the initial service life of reinforced concrete structure when steel undergoes passivation in highly alkaline concrete mix. For concrete without chlorides but with galvanized rebar (Fig. 3b), at first we could observe a slight shift of the curve group to greater values of current density (in comparison to Fig. 3a), and after four weeks there was a shift towards values of current density as shown in Fig. 3a. It is worth mentioning that corrosion potential of galvanized steel was lower by ca. 300 mV when compared to steel without galvanized coating (Fig. 3).



Rys. 4. Wyniki badań polaryzacyjnych próbek stali zbrojeniowej w betonie zawierającym chlorki – 1: a) pręt bez powłoki – 2, b) pręt z powłoką cynkową – 3

Fig. 4 Results from polarization measurements of reinforcing steel specimens in concrete with chlorides – 1: a) rebar without coating – 2, b) rebar with zinc coating – 3



Rys. 5. Zmiany gęstości prądu korozyjnego i_{kor} w funkcji czasu na ocynkowanej i nieocynkowanej stali zbrojeniowej, w betonie bez dodatku i z dodatkiem chlorków w początkowym okresie jego dojrzewania

Fig. 5. Changes in values of corrosion current density i_{corr} over time for galvanized and non-galvanized reinforcing steel in concrete with and without chlorides at the initial stage of concrete maturity

Natomiast dla próbki z tym samym rodzajem zbrojenia zabezpieczonego powłokowo, ale z dodatkiem chlorków do mieszanki betonowej (Rys. 4b) uzyskano zbliżony rozkład wykresów jak dla próbki bez chlorków w betonie (Rys. 3b). Jednak główną różnicą jest początkowo silnie przesunięcie krzywych polaryzacyjnych w kierunku wyższych wartości gęstości prądu (Rys. 4b), które zmniejszyło się po upływie 5 tygodni do zakresu wartości jak na rys. 3a. Dla ostatniej próbki, czyli ze stałą niezabezpieczoną powłoką cynkową w betonie z chlorkami można uznać, że krzywe polaryzacyjne wzajemnie nakładają się (Rys. 4a). W porównaniu do niezabezpieczonej powłokowo stali w betonie bez chlorków (Rys. 3a), na rys. 4b widać wyraźne przesunięcie krzywych polaryzacyjnych w kierunku niższych potencjałów.

Analizę krzywych polaryzacji przeprowadzono wyznaczając w pierwszej kolejności opór polaryzacji R_p w quasi-liniowym zakresie przebiegu krzywej (± 15 mV względem potencjału korozyjnego). Następnie określono współczynniki b_a i b_c na podstawie nachylenia prostoliniowych odcinków krzywych polaryzacyjnych. Ostatecznie na podstawie równania Sterna-Geary'ego [22] obliczono gęstości prądu korozyjnego $i_{kor} = B/(R_p A_p)$, gdzie A_p jest zewnętrzną powierzchnią pręta stalowego w betonowej próbce, a współczynnik $B = b_a b_c / (2,303(b_a + b_c))$. Otrzymane wyniki zamieszczono w formie wykresu na rys. 5.

Z analizy wyznaczonych wartości gęstości prądu korozyjnego i_{kor} wynika, że w próbkach betonowych bez chlorków, zarówno dla stali ocynkowanej jak i bez powłoki cynkowej, po 28 dniach normowego [19] dojrzewania betonu otrzymane wartości wskazywały na małą szybkość korozji. Jedynie w ciągu pierwszych 4 tygodni dojrzewania betonu pojawiły się wyższe szybkości korozji dla stali ocynkowanej, które po tym okresie spadły do poziomu wartości rejestrowanych dla próbek z stałą bez powłoki. Opisane zjawisko należy tłumaczyć złożonymi przemianami chemicznymi związanymi z hydratacją cementu i równocześnie bardzo niekorzystnym dla powłoki cynkowej wysokim odczynem cieczy porowej betonu ($pH > 12,5$).

Natomiast w próbkach betonowych zawierających chlorki w pierwszych tygodniach badań otrzymano znacznie wyższe wartości i_{kor} niż w próbkach referencyjnych bez chlorków, i to niezależnie od zastosowania lub braku powłoki na zbrojeniu. Otrzymane wyniki gęstości prądu korozyjnego dla stali niezabezpieczonej powłokowo utrzymywały się przez cały okres badania (8 tygodni) w przybliżeniu na stałym poziomie i wskazywały na duże ryzyko wystąpienia korozji. Natomiast dla stali zabezpieczonej powłoką cynkową, pomimo początkowych wyższych wartości i_{kor} niż dla próbek pozbawionych tej ochrony, po upływie 4 tygodni spadły one poziomu notowanego dla próbek referencyjnych bez chlorków.

4. Podsumowanie

Opisane w niniejszym artykule badania zostały przeprowadzone na popularnej w polskim budownictwie stali zbrojeniowej gatunku RB500SP, którą zabezpieczono powłoką cynkową w sposób typowy dla cynkowania elementów budowlanych konstrukcji stalowych. Badania polaryzacyjne szybkości korozji zbrojenia prowadzono na prętach ocynkowanych i referencyjnych prętach bez powłoki cynkowej. Pręty zbrojeniowe badano w betonie zawierającym chlorki, a także w referencyjnym betonie bez chlorków.

Uzyskane wyniki wskazują, że w przypadku braku czynnika korozyjnego w postaci chlorków w betonie, gęstości prądu korozyjnego po 28

For the specimen with the same type of reinforcement with coating protection and with chlorides in concrete mix (Fig. 4b), the obtained arrangement of graphs was similar to the specimen with no chlorides in concrete (Fig. 3b). However, initial radical shift of polarization curves towards greater values of current density (Fig. 4b), which after five weeks was reduced to the range of values illustrated in Fig. 3a, was the main difference. For the last specimen, that is, concrete with chlorides and non-galvanized zinc coating, polarization curves could be considered to overlap each other (Fig. 4a). When compared to steel without coating protection in concrete with chlorides (Fig. 3a), there is a clear shift of polarization curves towards lower potentials as seen in Fig. 4b.

Polarization curves were analysed by determining at first polarization resistance R_p in a quasi-linear range of curve shape (± 15 mV to corrosion potential). Later, b_a and b_c coefficients were determined from slope of straight line segments of polarization curves. Finally, Sterna-Geary equation [12] was used to calculate corrosion current density $i_{corr} = B/(R_p A_p)$, where A_p is outer surface of steel bar in concrete specimen, and coefficient $B = b_a b_c / (2,303(b_a + b_c))$. The obtained results are shown as a diagram at Fig. 5.

The analysis of determined values of corrosion current density i_{corr} showed that after 28 days of [19] concrete standard curing, obtained values indicated low rate of corrosion in concrete specimens without chlorides, with galvanized steel as well as without zinc coating. Higher values of corrosion rate in galvanized steel were observed only during first four weeks of concrete curing. After that time, values dropped to the level typical for steel specimens without coating. The above phenomenon can be explained by complex chemical changes related to cement hydration and simultaneously, very high pH value of concrete pore water ($pH > 12,5$) which has very adverse effect on zinc coating.

On the other hand, considerably higher i_{corr} values were observed in concrete specimens with chlorides within first weeks of testing in comparison to reference specimens without chlorides, regardless of coating on reinforcement. The obtained values of corrosion current density for steel without coating protection were at similar level for the whole testing period (8 weeks) and showed no serious risk of corrosion. For steel protected with zinc coating, i_{corr} values were at first greater than in the specimens without protection, and after four weeks dropped to the level observed for reference specimens without chlorides.

4. Conclusions

The tests discussed in this paper were performed on reinforcing steel of grade RB500SP, commonly used in Poland, whose protection with zinc coating is characteristic for galvanizing construction elements of steel structures. Polarization measurements of corrosion rate in reinforcement were conducted for galvanized and reference rebars without zinc coating. The rebars were tested in concrete with chlorides and in reference concrete without chlorides.

According to the results, corrosion current density in concrete without chlorides, being the corrosion factor, was at the similar level after 28-

dniach dojrzewania są na zbliżonym poziomie i to niezależnie od zastosowania lub braku powłoki cynkowej na stali. Natomiast w przypadku, gdy stal zbrojeniowa kontaktuje się z betonem zawierającym chlorki, zastosowanie cynkowej powłoki ochronnej na zbrojeniu znacząco obniża ryzyko wystąpienia korozji. Przeprowadzone badania pokazały również, że w początkowym okresie dojrzewania betonu (do 4 tygodnia), niezależnie od występowania lub braku w betonie chlorków, na powierzchni powłoki cynkowej zachodzą dość intensywne procesy elektrochemiczne, które po osiągnięciu normowej dojrzałości betonu ulegają silnemu spowolnieniu i stabilizacji.

day period of concrete curing, regardless of zinc coating on steel. When reinforcing steel had contact with concrete with chlorides, zinc coating that protected reinforcement reduced the risk of corrosion. The test results showed that at the early maturity age of concrete (up to week four), quite intensive electrochemical processes took place on the zinc coating surface regardless of chloride presence in concrete. Those processes significantly slowed down and became stable when concrete reached the standard maturity age.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ASTM A123/A123M. „Standard Specifications for Zinc (Hot-Dipped Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products”.
- [2] ASTM A767/A767M. 2015. „Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement”.
- [3] Baltazar-Zamora Miguel et al. 2016. „Electrochemical behaviour of galvanized steel embedded in concrete exposed to sand contaminated with NaCl”. *International Journal of Electrochemical Science* 11 (12) : 10306–10319.
- [4] Barbucci Antonio, Marina Delucchi, Giacomo Cerisola. 1997. „Organic coatings for concrete protection: liquid water and water vapour permeabilities”. *Progress in Organic Coatings* 30 (4) : 293–297.
- [5] Bautista A., J.A. González. 1996. „Analysis of the protective efficiency of galvanizing against corrosion of reinforcements embedded in chloride contaminated concrete”. *Cement and Concrete Research* 26 (2) : 215–224.
- [6] Bellezze T., M. Malavolta, A. Quaranta, N. Ruffini, G. Roventi. 2006. „Corrosion behaviour in concrete of three differently galvanized steel bars”. *Cement and Concrete Composites* 28 (3) : 246–255.
- [7] Brenna Andrea, Fabio Bolzoni, Silvia Beretta, Marco Ormellesse. 2013. „Long-term chloride-induced corrosion monitoring of reinforced concrete coated with commercial polymer-modified mortar and polymeric coatings”. *Construction and Building Materials* 48 : 734–744.
- [8] Darwin David, JoAnn Browning, Matthew O'Reilly, Lihua Xing. 2009. „Critical chloride corrosion threshold of galvanized reinforcing bars”. *ACI Materials Journal* 106 (2) : 176–183.
- [9] Dong ShiGang, Bing Zhao, ChangJian Lin, RongGui Du, RongGang Hu, Gregory Xiaoge Zhang. 2012. „Corrosion behavior of epoxy/zinc duplex coated rebar embedded in concrete in ocean environment”. *Construction and Building Materials* 28 (1) : 72–78.
- [10] Erdođdu Sakir, Theodore Bremner, Irina Kondratova. 2001. „Accelerated testing of plain and epoxy-coated reinforcement in simulated seawater and chloride solutions”. *Cement and Concrete Research* 31 (6) : 861–867.
- [11] Faustino Pedro, Ana Brás, Thomaz Ripper. 2014. „Corrosion inhibitors' effect on design service life of RC structures”. *Construction and Building Materials* 53 : 360–369.
- [12] Jaśniok Mariusz, Jacek Kołodziej. 2015. „Badania impedancyjne wpływu alkalicznego odczynu cieczy porowej betonu na cynkową powłokę ochronną stali zbrojeniowej” *Roczniki Inżynierii Budowlanej* 15 : 37–42.
- [13] Jaśniok Mariusz, Jacek. 2016. „Badania elektrochemiczne stali zbrojeniowej chronionej powłoką cynkową w kontakcie z cieczą porową betonu”. *Izolacje* 4 : 53–55.
- [14] Kwiatkowski Lech. 2004. „Cynk i ochrona przed korozją”. *Ochrona przed Korozją* 47 (10) : 256–257.
- [15] Liu Shuan, Huyuan Sun, Lijuan Sun, Huiji Fan. 2012. „Effects of pH and Cl⁻ concentration on corrosion behavior of the galvanized steel in simulated rust layer solution”. *Corrosion Science* 65 : 520–527.
- [16] Manning David. 1996. „Corrosion performance of epoxy-coated reinforcing steel: North American experience”. *Construction and Building Materials* 10 (5) : 349–365.
- [17] Otieno Mike, Hans Beushausen, Mark Alexander. 2016. „Chloride-induced corrosion of steel in cracked concrete – Part II: Corrosion rate prediction models”. *Cement and Concrete Research* 79 : 386–394.
- [18] PN-EN 1766. 2011. „Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Metody badań – Betony wzorcowe do badań”.
- [19] PN-EN 1992-1-1. 2008. „Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków”.
- [20] Rus Vasile, Andreea Hegyi, Horatiu Vermessan, Ancuta Elena Tiuc. 2015. „Kinetics of the corrosion process of hot dip galvanized steel reinforcement in fresh concrete”. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Chemia* 2 : 409–419.
- [21] Szweda Zofia, Adam Zybura. 2013. „Theoretical model and experimental tests on chloride diffusion and migration processes in concrete”. *Procedia Engineering* 57 : 1121–1130.
- [22] Yeomans Stephen. 2004. *Galvanized Steel Reinforcement in Concrete*. Oxford: Elsevier.
- [23] Zybura Adam, Mariusz Jaśniok, Tomasz Jaśniok. 2011. *Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu, t. 2*. Warszawa: PWN.

WYDARZENIA

SurfaceTechnology GERMANY 2018

Surface
Technology
GERMANY

SurfaceTechnology GERMANY to nowa nazwa targów O&S, które odbędą się w Stuttgarcie w dniach 5–7 czerwca 2018. Organizator imprezy, spółka Deutsche Messe, zdecydował o zmianie nazwy na początku tego roku. Data konferencji, miejsce i kategorie wystawowe pozostają niezmiennie. Największą z grup docelowych są firmy zajmujące się obróbką przed nakładaniem materiałów powłokowych, tj. rozwiązaniami wstępnej obróbki mechanicznej i przystosowaniem struktury powierzchniowej materiałów do poszczególnych typów powłok.

Jeśli chodzi o kategorie wystawowe, SurfaceTechnology GERMANY obejmuje wszelkie technologie powierzchni, m.in.: galwanizację, sruutowanie, technologię nano i mikro, natryskiwanie cieplne, technologię powierzchni z użyciem plazmy i lasera, materiały powłokowe, obróbkę powierzchni inżynierię środowiska, obróbkę wstępną, systemy oczyszczania i pomiaru oraz sprzęt do testów i analiz.

Temat przewodni targów – inteligentne systemy wodociągowe i kanalizacyjne – będzie miał swoją powierzchnię wystawową o nazwie Waste Water & Environment.

Odbędą się również pokazy dotyczące aktualnych rozwiązań i przyszłych trendów w dziedzinie powłok na zamówienie, technologii laserowych, nano i mikro, a także powierzchni samoczyszczących się i odpornych na zarysowania.

Targi parts2clean 2017

parts2
clean

Tegoroczne targi **parts2clean** odbędą się w Stuttgarcie, w dniach 24–26 października 2017 r. Na wydarzenie zarejestrowało się już około 200 wystawców, a powierzchnia wystawowa osiągnie 6800 m². To o wiele więcej niż w latach 2015 i 2016.

Nową wystawą specjalną będzie **Cleanroom Analysis Processes**. Podczas tego wydarzenia producenci przedstawią wszystkie elementy potrzebne do stworzenia w pełni funkcjonalnego, czystego laboratorium.

Podczas targów parts2clean 2017 odbędzie się, jak zawsze, **Expert Forum**, czyli prezentacje na różnorodne tematy dotyczące oczyszczania, tłumaczone symultanicznie w parze językowej niemiecki-angielski. Expert Forum spełnia rolę szkoleniową i jest doskonałym źródłem wiedzy specjalistycznej.