Adam ZYBURA, Andrzej GROCHOWSKI

CHARAKTERYSTYKA PROCESÓW KOROZYJNYCH KOMINA ŻELBETOWEGO W ASPEKCIE JEGO NAPRAWY

Streszczenie. Opisano uszkodzenia korozyjne betonu i zbrojenia w eksploatowanym przez 20 lat kominie żelbetowym o wysokości 150 m. Przedstawiono mechanizm elektrochemiczny korozji zbrojenia wywołanej zobojętnieniem betonu. Wyprowadzono równania określające potencjały elektrodowe powierzchni aktywnych zbrojenia.

CHARACTERIZATION OF CORROSION PROCESS OF REINFORCED CONCRETE CHIMNEY IN ASPECT OF ITS REPAIRING

Summary. The corrosions damage of concrete and reinforcement in 150 meters high chimney being in use for 20 years were described. Electrochemical mechanism of reinforcement corrosion caused by neutralization of nerete was presented. The equations defining electrode potentials of active areas of the reinforcement surface were educed.

CARACTÉRISTIQUE DU PROCÉDÉ DE CORROSION DES CHEMINÉES EN BETON ARMÉ ET L'ASPECT DE LEUR RÉPARATION

Résumé. On a procédé a une analyse de la fatigue, de la corrosion du beton, et de l'armature dans la cheminée en béton armé, exploitaé depuis 20 ans, el de 150 m de haut. On a présenté le mécanisme électrochimique de la corrosion de l'armature, causé par la neutralisation du béton. On a introduit une equation qui définit les potentiels des électrodes de la surface active de l'armature.

1. WPROWADZENIE

Zewnętrzne części wykonywanych z betonu budowli są narażone na działanie czynników atmosferycznych oraz szkodliwych substancji zawartych w otoczeniu. Szczególnie niekorzystnym wpływom są poddane kominy żelbetowe, na które oprócz dużych gradientów temperatury działają także agresywne substancje zawarte w spalinach. Agresywne substancje powodują uszkodzenie betonu oraz znajdującego się pod otuliną zbrojenia.

Przeważnie uszkodzenia komina budzą zainteresowanie, gdy procesy korozyjne są bardzo zaawansowane. Dopiero w tym momencie podejmuje się czynności zabezpieczające lub prace naprawcze i rekonstrukcyjne. Skuteczność remontu zależy od właściwego doboru środków przeciwdziałających mechanizmowi niszczącemu. Z tego powodu przed wyborem sposobu naprawy i zastosowaniem materiału do remontu powinno się rozpoznać przyczyny procesów korozyjnych oraz określić w miarę precyzyjnie mechanizm procesów niszczących. Dopiero wtedy można świadomie dokonać wyboru materiałów oraz metod naprawczych, stwarzających warunki gwarantujące niepowtórzenie się przez dłuższy okres czasu podobnych uszkodzeń.

W artykule analizuje się uszkodzenia korozyjne komina żelbetowego powstałe przez 20 lat eksploatacji. Na podstawie występujących najczęściej uszkodzeń opisuje się mechanizm procesów niszczących stosując równania elektrochemii. Równania umożliwiają określenie czynników wpływających na prędkość przebiegu reakcji oraz warunki rozwoju lub hamowania procesu. Analiza tych równań pozwoli w następnej kolejności na opracowanie kryteriów, które należy spełnić, aby wykonana naprawa mogła być uważana za skuteczną i dostatecznie trwałą.

2. STAN TECHNICZNY KOMINA ŻELBETOWEGO O WYSOKOŚCI 150 M

Prezentowany komin żelbetowy jest eksploatowany przez 20 lat w ciepłowni zakładu przemysłowego znajdującego się w województwie katowickim. Ocenę stanu technicznego oraz uszkodzeń przeprowadzono¹ przed planowanym remontem i naprawą miejsc uszkodzonych korozyjnie². Charakterystykę geometryczną komina przedstawiono na rys. I. Komin został wykonany w konstrukcji monolitycznej metodą deskowań przestawnych. Zastosowano beton o średniej wytrzymałości walcowej $\overline{R}_w = 25$ MPa oraz zbrojenie podłużne

¹ Ekspertyza wykonana w Przedsiębiorstwie Usług Technicznych Sp. z o.o. UNISERV, Katowice ul. Puławskiego 7 przez zespół pod kierunkiem dr. inż. M. Lechmana z ITB w Warszawie.

² Naprawę miejsc skorodowanych przeprowadzi PUT Sp. z o.o. UNISERV pod kierunkiem mgr. inż A. Grochowskiego przedstawiciela Firmy Deitermann.



Rys. 1. Schemat komina

Fig. 1. Scheme of chimney

i obwodowe ze stali o granicy plastyczności $R_e = 250$ MPa. Na poziomie +5 m znajduje się strop żelbetowy ze stalowym lejem odpopielenia. Powyżej stropu trzon żelbetowy jest zabezpieczony wymurówką z cegły ceramicznej o grubości 12 cm oraz izolacją termiczną z wełny żużlowej o grubości 7 cm. Komin odprowadza gazy spalinowe o temperaturze t_{max} = 160°C i t_{min} = 125°C z kotłów opalanych miałem węglowym.

Oględziny powierzchni komina przeprowadziła ekipa alpinistyczna. Opis uszkodzeń przedstawia się na podstawie ekspertyzy stanu technicznego. Stwierdzono występowanie na całej powierzchni trzonu komina:

- zarysowań pionowych i ukośnych o szerokości dochodzącej do 1 mm,
- rys i rozwarstwień poziomych, zwłaszcza w miejscu przerw technologicznych,
- ubytków powierzchniowych betonu o głębokości do 5 cm odsłaniających w niektórych miejscach pręty zbrojenia,
- korozji powierzchniowej i wżerowej odsłoniętego zbrojenia;

ponadto w górnej części komina zauważono:

- 5) uszkodzenia betonu o znacznej głębokości od kilku do kilkunastu centymetrów,
- 6) miejsca całkowitej perforacji płaszcza komina, w których beton uległ poważnej destrukcji chemicznej,
- znajdujace się wewnątrz ubytków betonu uszkodzone korozją pręty zbrojeniowe pokryte rdzą (pionowe i poziome).

Liczby wymienionych uszkodzeń występujących w strefach zaznaczonych na rys. 1 zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Opis w	strefa wysokości według rys. 1										
poz.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	18	6	7	4	10	16	11	13	12	15	
2	2	3	4	4	10	9	8	14	13	14	
3	19	31	10	13	34	37	23	27	32	33	
4	8	19	6	9	22	24	3	7	11	14	
5	0	0	0	2	6	7	3	9	8	8	
6	0	0	0	1	2	3	4	6	5	7	
7	0	0	0	8	16	12	2	5	6	7	

Liczba miejsc uszkodzonych

Podczas oględzin stwierdzono w wielu miejscach zbyt cienką otulinę zbrojenia o grubości kilku milimetrów. Zwilżając fenoloftaleiną brzegi ubytków określono zasięg karbonizacji betonu. W dolnej części trzonu grubość strefy zobojętnionego betonu wynosiła 2 - 3 cm, natomiast w górnej części, powyżej poziomu +110 m, zobojetnienie betonu osiągnęło głębokość ponad 5 cm. Ubytki korozyjne przekroju prętów zbrojeniowych w dolnej części trzonu poniżej poziomu +110 m oszacowano na 10% powierzchni początkowej. W górnej części trzonu (H > 110 m) ubytki korozyjne prętów zbrojeniowych były większe, ocenione szacunkowo na 20 % powierzchni początkowej.

Oprócz oględzin wykonano także badania chemiczne próbek betonu pobranych z dwóch charakterystycznych miejsc. W poziomie + 110 m beton wykuto z otuliny zbrojenia, natomiast w poziomie + 147 m próbkę odspojono z partii brzegowej perforacji trzonu. W badaniach określono stopień alkaliczności betonu (pomiar pehametrem wyciągów wodnych) oraz skażenia jonami siarczanowymi i chlorkowymi. Zawartość jonów siarczanowych wyznaczono metodą wagową, natomiast jonów chlorkowych metodą Mohra (po uprzednim rozpuszczeniu próbek betonu w kwasie). Wyniki analiz chemicznych według ekspertyzy¹ przedstawiono w tablicy 2.

Miejsce	pH	Zawartość jonów w [%]				
pobrania		SO ₂ ²⁻	Cŀ			
+110 m	9.7	3.3	0.10			
+147 m	1.8	26.9	7.14			

Wyniki badań chemicznych próbek betonu

3. ANALIZA USZKODZEŃ KOROZYJNYCH TRZONU KOMINA

Eksploataowany przez 20 lat komin żelbetowy uległ znacznym uszkodzeniom korozyjnym w wyniku agresywnego działania środowiska oraz nieprawidłowości wykonawczych. Prawie na całej powierzchni zewnętrznej wystąpiło zobojętnienie betonu o zasięgu obejmującym wkładki zbrojeniowe. Ponieważ ciecz porowa w betonie charakteryzuje się wartością pH < 10,8, więc zbrojenie jest zagorożone korozją powierzchniową - por. [1]. Intensywniejsza korozja wystąpiła w górnej części komina, gdzie stwierdzono głębsze zobojętnienie betonu, większą zawartość siarczanów oraz obecność jonów chlorkowych. Powyżej poziomu +110 m zauważono głębsze ubytki betonu oraz większy postęp korozji odsłoniętego zbrojenia. W miejscach perforacji beton uległ całkowitej destrukcji, o czym świadczy silnie kwasowy odczyn (pH = 1,8) oraz bardzo duże stężenie jonów siarczanowych i chlorkowych. Podejrzewa się, że w tych miejscach nastąpiło uszkodzenie wymurówki ceramicznej i bezpośrednie działanie spalin na beton.

Zobojętnienie betonu oraz obecność w nim jonów chlorkowych jest wynikiem dyfuzji dwutlenku węgla oraz jonów agresywnych z otoczenia. Postęp i zasięg uszkodzeń zależą ogólnie od stężenia w otoczeniu agresywnych jonów oraz szczelności betonu. Mechanizm dyfuzji oraz analityczny opis tego procesu z uwzględnieniem właściwości kapilarnoporowatych betonu przedstawiono w artykułach [2, 3, 4, 5]. Natomiast korozja stalowego zbrojenia otoczonego zobojętnionym betonem lub narażonego na bezpośrednie działanie czynników atmosferycznych jest procesem elektrochemicznym. W dalszej części opracowania skoncentrowano się na analizie przebiegu tego procesu.

Tablica 2

4. SCHEMAT OGNIWA KOROZYJNEGO

Zobojętnienie betonu (pH < 10,8) powoduje rozwój na powierzchni zbrojenia korozji równomiernej. Korozja przebiega w sposób podobny jak przy oddziaływaniu środowiska atmosferycznego. Zbrojenie styka się z cieczą porową betonu lub wilgocią z atmosfery. Na elementarnych powierzchniach przebiegają reakcje anodowe oraz równocześnie na sąsiednich elementarnych powierzchniach reakcje katodowe - rys. 2. W miarę upływu czasu oraz postępu procesu jest możliwa zamiana miejsc anodowych na katodowe i odwrotnie. Z tego powodu całą powierzchnię aktywną metalu można rozpatrywać jako anodę i równocześnie jako katodę - por. [6].



Rys. 2. Schemat procesu korozji zbrojenia w botonie zobojętnionym Fig. 2. Scheme of reinforcing bars' corrosion process in neutralized concrete

Reakcja anodowa

$$Fe \Rightarrow Fe^{2+} + 2e$$
 (1)

uruchamia przepływ ładunków elektrycznych dodatnich za pośrednictwem wynoszonych z sieci krystalicznej zbrojenia jonów żelaza, natomiast reakcja katodowa

$$4e + 2H_2O + O_2 \Longrightarrow 4OH^-$$
(2)

wywołuje przepływ ładunków ujemnych, przenoszonych przez jony wodorotlenowe. Reakcje elektrodowe sa sprzężone. Wystąpienie pierwszej reakcji stymuluje reakcję drugą. Ponieważ odcinki elektrodowe powstają na jednym pręcie stalowym, więc układ elektrochemiczny ma charakter ogniwa zwartego. W zbrojeniu między elementarnymi powierzchniami elektrodowymi płynie prąd wskutek przemieszczania się elektronów. Powierzchnie elektrodowe zostają spolaryzowane proporcjonalnie do gęstości przepływającego przez nie prądu. Intensywność korozji ocenia się przeważnie na podstawie przebiegu polaryzacji (wykresu Evansa) charakteryzującej zmianę potencjału odcinka katodowego i anodowego (por.[6]) - rys.3. Uzyskane doświadczalnie zależności są zgodne z równaniem Tafela [7]

$$\eta = A \ln i - B, \qquad (3)$$

gdzie n jest polaryzacją odcinka elektrodowego, i - gęstością prądu płynącego przez odcinki elektrodowe, A, B są współczynnikami doświadczalnymi. Na podstawie przebiegu krzywych polaryzacji otrzymanych w wyciagach wodnych wnioskuje się o intensywności procesów korozyjnych zbrojenia - por.[1].



Rys.3. Schemat polaryzacji w roztworze wodnym

Fig. 3. Scheme of polarization in water solution

5. OPIS PROCESÓW ELEKTRODOWYCH

Potencjał elektrodowy powierzchni aktywnej elektrochemicznie zależy od wartości potencjału galwanicznego φ° oraz nadnapięcia wywołanego polaryzacją. W warunkach kontaktu zbrojenia z cieczą porową betonu potencjał galwaniczny φ° można aproksymować potencjałem równowagowym (odwracalnym) określonym równaniem Nernsta [7]

187

$$\varphi^{\circ} = \varphi^{\circ} - \frac{\mathbf{RT}}{\mathbf{zF}} \ln \frac{(\mathbf{C})^{\circ}(\mathbf{D})^{d}}{(\mathbf{A})^{\circ}(\mathbf{B})^{b}}, \qquad (4)$$

gdzie (A), (B) oznaczają aktywności formy utlenionej reagentów, (C), (D) - aktywności formy zredukowanej, a,..,d- współczynniki stechiometryczne; R jest uniwersalną stałą gazową, T - temperaturą absolutną, F - stałą Faradaya, z - liczbą elektronów biorących udział w reakcji, φ^{-} standardową siłą elektromotoryczną półogniwa (aktywności wszystkich reagentów są równe jedności). Zgodnie z równaniami (4), (1) i (2) potencjały galwaniczne powierzchni katodowej i anodowej określają zależności

$$\varphi_{K}^{\circ} = \varphi_{K}^{*} - \frac{RT}{4F} \ln(OH^{-})^{4} = \varphi_{K}^{*} + 2,303 \frac{RT}{F} (14 - pH)$$
(5)

$$\varphi_{A}^{o} = \varphi_{A}^{*} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{1}{(Fe^{2+})} = \varphi_{A}^{*} + \frac{RT}{2F} \ln[Fe^{2+}]$$
(6)

gdzie standardowe siły elektromotoryczne wynoszą $\varphi_{K}^{*} = +0,401V$, $\varphi_{A}^{*} = -0,440V$, natomiast aktywność jonów (Fe²⁺), (OH⁻) została aproksymowana stężeniem molowym [Fe²⁺], [OH⁻]. Wyrażając stężenie jonów żelaza [Fe²⁺] za pośrednictwem iloczynu rozpuszczalności wodorotlenku żelazawego $L_{Fe(OH)_{2}}$

$$[Fe^{2+}] = \frac{L_{Fe(OH)_4}}{[OH^-]^2} , \qquad [OH^-] = 10^{pH-14}$$
(7)

wyznacza się potencjały galwaniczne φ_A^* , φ_K^* tylko jednym parametrem określanym doświadczalnie - wskaźnikiem pH cieczy porowej w betonie - por. tabl. 2..

Siła elektromotoryczna $\varphi_{K}^{*} - \varphi_{A}^{*}$ ogniwa otwartego zostaje zmniejszona podczas przepływu prądu elektrycznego, w wyniku polaryzacji. Polaryzacja jest wywołana oporem, na który napotykają jony przemieszczające się w roztworze przez system porów betonu oraz elektrony przepływające w stali. Potencjały φ_{A}^{i} , φ_{K}^{i} odcinków elektrodowych spolaryzowanych określa zależność [7]

$$\varphi_A^i = \varphi_A^* + \eta_A \qquad \qquad \varphi_K^i = \varphi_K^* + \eta_K \tag{8}$$

gdzie η_A , η_K jest nadnapięciem odpowiadajacym różnicy potencjałów między elektrodą spolaryzowaną wskutek przepływu prądu o gęstości i a elektrodą odwracalną w tym samym roztworze. Mechanizmy wywołujące polaryzację powodują powstanie nadnapięcia aktywacyjnego, stężeniowego i oporowego. Polaryzacja aktywacyjna występuje wskutek hamowania przejścia jonów żelaza z sieci krystalicznej zbrojenia do roztworu w reakcji anodowej (1) oraz przyłączania elektronów przez cząsteczki tlenu i wody w reakcji katodowej (2). Pokonanie oporów wymaga dostarczenia z zewnątrz energii aktywacji.

Analityczny opis polaryzacji aktywacyjnej przeprowadza się według teorii stanów przejściowych - por. [7]. Teoria ta zakłada przemianę reagentów w substraty przez aktywny stan przejściowy, który jest chwilowo w równowadze zarówno ze stanem wyjściowym, jak i stanem końcowym.

Rozpatrując reakcję anodową (1) przyjęto, że prędkość wynoszenia jonów żelaza z sieci krystalicznej zbrojenia do roztworu oraz przyłączania do stali jonów żelaza z roztworu jest proporcjonalna do stężenia [Fe[#]] aktywnego stanu przejściowego. Wyrażajac stężenie stanu przejściowego za pośrednictwem stałej równowagi reakcji chemicznej K_A, stosując związki opisujące zmianę entalpii swobodnej ΔG_A i energię aktywacji E_A oraz uwzględniając gęstość prądu anodowego i_A proporcjonalną do prędkości przemieszczania się jonów, otrzymano równanie określające nadnapięcie odcinka anodowego - por.[7]

$$\eta_{Aa} = -\frac{RT}{2\alpha_{A}F} \ln i_{Aw} + \frac{RT}{2\alpha_{A}F} \ln i_{A}$$
(9)

w którym α_A (współczynnik przejścia reakcji anodowej) i i_{Aw} (gęstość prądu wymiany) są parametrami wyznaczanymi doświadczalnie.

Podobnie wyprowadzono równanie określające nadnapięcie aktywacyjne reakcji katodowej

$$\eta_{Ka} = \frac{RT}{4\alpha_{K}F} \ln i_{Kw} - \frac{RT}{4\alpha_{K}F} \ln i_{K}$$
(10)

gdzie i_K jest gęstością prądu katodowego, i_{Kw} , α_K – gęstością prądu wymiany i współczynnikiem przejścia reakcji katodowej.

Przebieg funkcji opisujących nadnapięcie aktywacyjne η_{Aa} i η_{Ka} odpowiada eksperymentalnie otrzymanemu równaniu Tafela (3) - por. rys.3.

Polaryzacja stężeniowa jest wywołana spadkiem aktywności składników potencjałotwórczych na powierzchni elektrody poniżej aktywności w głębi roztworu, wskutek przepływu prądu. Istotny wpływ polaryzacji stężeniowej może wystąpić w reakcji katodowej (2), której składnikiem jest tlen.

Początkowy stały rozkład stężenia molowego cząsteczek tlenu $[O_2]$ wzdłuż hipotetycznych kapilar zmienia się w krótkim czasie po rozpoczęciu procesu i opada w

kierunku powierzchni katodowej. Przyjmuje się upraszczająco liniowy rozkład stężenia molowego tlenu w warstwie przyelektrodowej o grubości d. Zgodnie z prawem Ficka prędkość dyfuzji cząsteczek tlenu z głębi roztworu w porach do powierzchni elektrody jest proporcjonalna do gradientu stężenia w efektywnej warstwie dyfuzyjnej - por.[7]

$$v_{O_{2}} = D \frac{[O_{2}]_{o} - [O_{2}]_{e}}{d}$$
(11)

gdzie D jest współczynnikiem dyfuzji tlenu, $[O_2]_e$, $[O_2]_e$ - stężeniem molowym tlenu w roztworze w głębi porów i na powierzchni katodowej.

Prędkość docierania cząsteczek tlenu v_{O_2} do powierzchni katody jest równa prędkości jonizacji v_{κ} (ładowania jonów wodorotlenowych)

$$\mathbf{v}_{\mathrm{K}} = \frac{\mathbf{I}_{\mathrm{K}}}{\mathrm{z}F} \qquad (\mathbf{v}_{\mathrm{k}} = \mathbf{v}_{\mathrm{O}_{2}}) \tag{12}$$

Porównując zależności (11) i (12) uzyskuje się równanie

$$\mathbf{i}_{\mathrm{K}} = \frac{z \mathrm{FD}}{\mathrm{d}} ([\mathbf{O}_2]_{\mathrm{o}} - [\mathbf{O}_2]_{\mathrm{e}})$$
(13)

Jeżeli stężenie cząsteczek tlenu na katodzie osiągnie wartość zero ($[O_2]=0$), to gęstość prądu katodowego przyjmie wartość graniczną

$$i_{Kgr} = \frac{zFD}{d} [O_2]_o$$
(14)

W warunkach gdy prędkość ładowania jonów wodorotlenowych jest znacznie większa od prędkości dostarczania składników potencjałotwórczych do powierzchni elektrody ($v_K >> v_{o_2}$), potencjał elektrody spolaryzowanej jest prawie równy potencjałowi odwracalnemu -por.[7]. Potencjał elektrody spolaryzowanej ϕ_k^i oraz elektrody w sytuacji bezpradowej ϕ_k^o wyraża się zgodnie z równaniem Nernsta (4) zależnościami

$$\varphi_{K}^{i} \cong \varphi_{K}^{*} - \frac{RT}{F} \ln \frac{[OH^{-}]}{[O_{2}]_{e}} \qquad \qquad \varphi_{K}^{o} = \varphi_{K}^{*} - \frac{RT}{F} \ln \frac{[OH^{-}]}{[O_{2}]_{o}} \qquad (15)$$

Podstawiając do wzoru (8) zwiazki (15), (13) i (14) uzyskuje się równanie opisujące nadnapięcie stężeniowe reakcji katodowej

$$\eta_{Ke} = \varphi_K^i - \varphi_K^e = \frac{RT}{F} \ln \frac{i_{Kgr} - i_K}{i_{Kgr}}$$
(16)

W równaniu tym występuje jeden parametr określany doświadczalnie - współczynnik dyfuzji tlenu D, natomiast stężenie tlenu $[O_2]_o$ zależy od porowatości i wilgotności otuliny oraz rozpuszczalności tlenu w cieczy porowej.

Nadnapięcie oporowe powstaje wskutek spadku potencjału wywołanego oporem elektrycznym roztworu znajdującego się w porach betonu oraz osadzających się produktów reakcji. Nadnapięcie oporowe można określić jedynie doświadczalnie badając opór elektryczny R. Opór elektryczny zależy od szczelności i wilgotności betonu oraz czasu trwania procesu (wpływ produktów reakcji). Wskutek nadnapięcia oporowego ustala się napięcie U między aktywnymi powierzchniami elektrodowymi zbrojenia rys.4.





6. PODSUMOWANIE

Przedstawienie składowych procesów elektrodowych w postaci równań umożliwia jednolity opis analityczny korozji zbrojenia wywołanej zobojętnieniem otuliny betonowej w kominach żelbetowych. Warunki szczególne ujmują parametry materiałowe wyznaczane doświadczalnie. Do parametrów materiałowych zalicza się wskaźnik pH roztworu porowego w betonie (potencjały galwaniczne), współczynniki przejścia reakcji elektrodowych α_A , α_K i gęstość prądu wymiany i_{Aw}, i_{Kw} (nadnapięcie aktywacyjne), współczynnik dyfuzji tlenu D w cieczy porowej betonu (nadnapięcie stężeniowe) oraz opór elektryczny R betonu (nadnapięcie oporowe). Za pośrednictwem tych parametrów można analizować czynniki wpływające na intensywność korozji zbrojenia.

LITERATURA

- Wieczorek G.: Wpływ chlorków na korozję stali zbrojeniowej w betonie, ITB, Warszawa 1993.
- [2] Kubik J., Zybura A.: Analiza procesów fizykochemicznych związanych z korozją żelbetu. Archiwum Inżynierii Lądowej, 26, 3, 1980, s. 481-501.
- [3] Francois R., Maso J.C.: Effect of damage in reinforced concrete on carbonation or chloride penetration. Cement and Concrete Research, 18, 1988, pp. 961-970.
- [4] Gjørv O.E.: Chloride diffusivity and resistance of concrete against chemical deterioration. International Collequium "Corrosion of Cement Paste" Mogilany 1994, Ed. by W.Kurdowski, Kraków 1994, pp. 65-74.
- [5] Chandra A.X.: Assessment of chloride diffusion coefficient test methods. International Colloquium "Corrosion of Cement Paste" Mogilany1994, Ed. by W.Kurdowski, Kraków 1994, pp. 75-84.
- [6] Kubicki J.: Podstawowe procesy korozji metali. Ochrona przed korozją. Poradnik WKŁ, Warszawa 1986, str. 46-68.
- [7] Sobczyk L., Kisza A.: Chemia fizyczna dla przyrodników, PWN, Warszawa 1981.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Jan Kubik

Wpłynęło do Redakcji 20.05.1995 r.

Abstract

Analysis of corrosion damage that occured in 150 m high reinforced concrete chimney shaft was carried out. After 20 years of exploitation the neutralization of concrete in of 2-5 cm depth was stated and high chloride and sulphate levels were found. Local spalling of the cover concrete was found stretched from several to a dozen or 50 centimeters depth. In many places the reinforcement was uncovered, and the corrosion caused losses of steel up to 20 % in first surface of bar cross section. A description of electrochemical corrosion on the reinforcement surface surrounded by neutralized concrete or given under direct influance of atmosferic factors was presented. The corrosion process was described with equations that eouce equilibrum potential and overvoltage of anode and kathode - reactions. Activation overvoltage, overvoltage of concentration and of resistance were taken into consideration. It was proved that voltage of cell current determines a range of reinforcement bars damages.