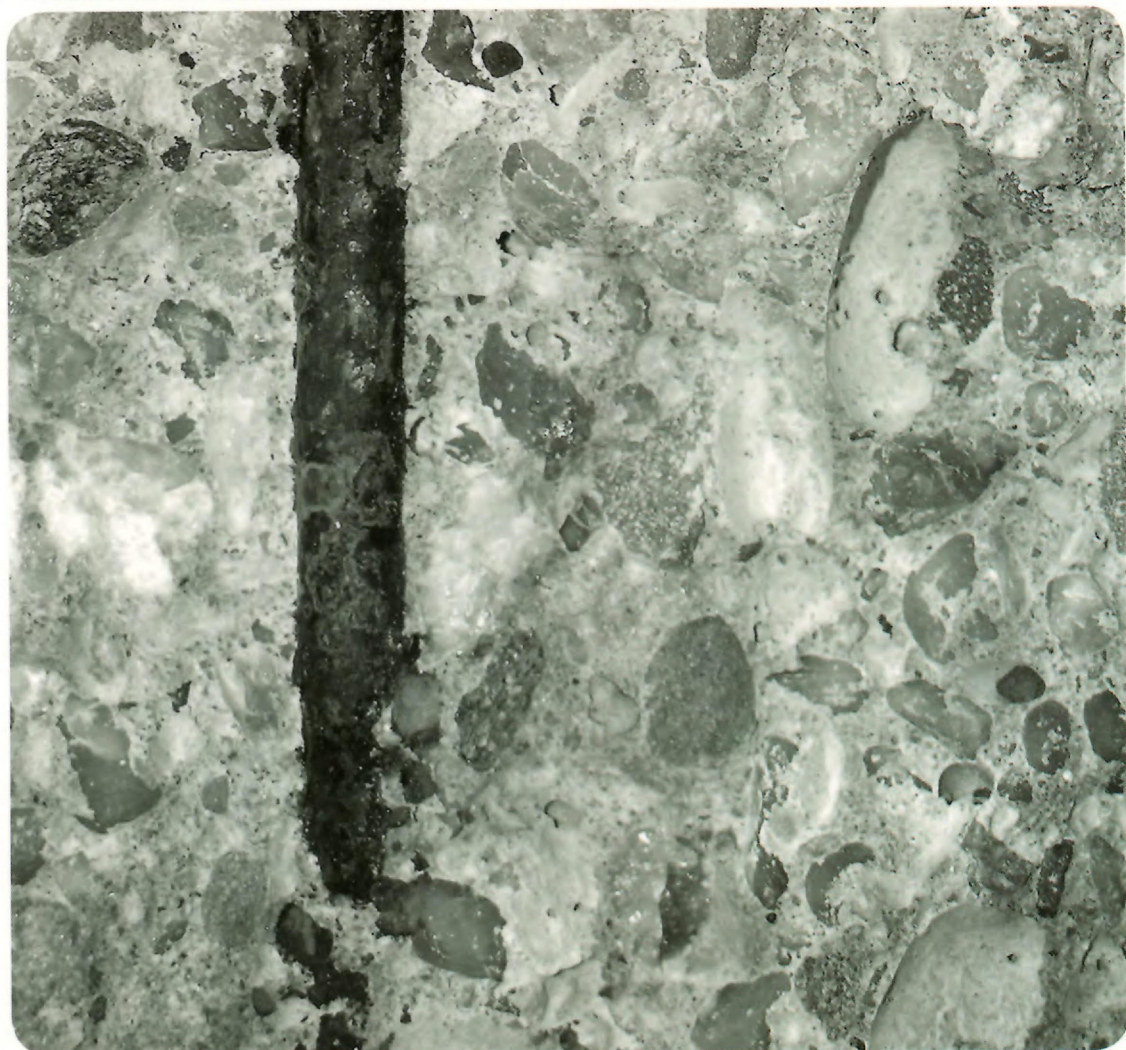


A. Zybura, M. Jaśniok, T. Jaśniok

2

# DIAGNOSTYKA KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH

BADANIA KOROZJI ZBROJENIA  
I WŁAŚCIWOŚCI OCHRONNYCH BETONU



W Y D A W N I C T W O N A U K O W E P W N

Adam Zybura  
Mariusz Jaśniok  
Tomasz Jaśniok

# **DIAGNOSTYKA KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH**

**BADANIA KOROZJI ZBROJENIA  
I WŁAŚCIWOŚCI OCHRONNYCH BETONU**

tom 2

Redakcja naukowa  
Adam Zybura



Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011

# Spis treści

<b>Wprowadzenie</b> . . . . .	<b>IX</b>
<b>1. Oddziaływanie środowiska na żelbet</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1. Trwałość żelbetu w ujęciu normowym . . . . .	1
1.1.1. Ogólne wymagania dotyczące trwałości konstrukcji żelbetowych . . . . .	1
1.1.2. Klasyfikacja warunków środowiskowych . . . . .	3
1.1.3. Warunki konstrukcyjne wpływające na trwałość żelbetu . . . . .	16
1.2. Przebieg procesów zmniejszających trwałość żelbetu . . . . .	21
1.2.1. Zmiany zachodzące w trakcie użytkowania konstrukcji . . . . .	21
1.2.2. Wnikanie substancji z otoczenia do betonu otuliny . . . . .	25
1.2.3. Zasięg strefy pogorszonych właściwości ochronnych betonu . . . . .	31
1.3. Badania odporności betonu na wnikanie substancji agresywnych . . . . .	35
1.3.1. Badania dyfuzyjne . . . . .	35
1.3.2. Badania na podstawie przepływu ładunku elektrycznego . . . . .	45
Literatura do rozdziału 1 . . . . .	49
<b>2. Korozja zbrojenia</b> . . . . .	<b>51</b>
2.1. Ciecz w porach betonu . . . . .	51
2.2. Elektrochemiczny charakter powierzchni zbrojenia w roztworze . . . . .	53
2.3. Krzywa anodowa i wykresy Pourbaix . . . . .	63
2.4. Stan pasywny . . . . .	68
2.5. Mechanizm depasywacji powierzchni zbrojenia . . . . .	70
2.5.1. Depasywacja powierzchni stali wskutek karbonatyzacji . . . . .	70
2.5.2. Depasywacja powierzchni stali jonami chlorkowymi . . . . .	72
2.6. Stan aktywny zbrojenia . . . . .	73
2.6.1. Korozja ogólna zbrojenia w wyniku karbonatyzacji betonu . . . . .	73
2.6.2. Korozja wżerowa zbrojenia wywołana chlorkami w betonie . . . . .	74
2.6.3. Korozja zbrojenia w rysie otuliny betonowej . . . . .	76
2.7. Skutki korozji . . . . .	79
Literatura do rozdziału 2 . . . . .	83



<b>3. Badania właściwości ochronnych betonu</b>	<b>84</b>
3.1. Sposoby pobierania materiału do badań	84
3.1.1. Wycinanie rdzeni betonowych z konstrukcji	85
3.1.2. Pobieranie rozdrobnionego betonu z konstrukcji	87
3.1.3. Warstwowe pobieranie rozdrobnionego betonu z odwiertu	90
3.1.4. Pobór nieregularnych fragmentów betonu	91
3.2. Metody odwzorowywania cieczy porowej betonu	92
3.2.1. Wyciąg wodny z rozdrobnionego betonu	92
3.2.2. Metoda ekstrakcji próżniowej	94
3.2.3. Metoda ekstrakcji ciśnieniowej	94
3.3. Badania zasięgu karbonatyzacji i stężenia chlorków w betonie	96
3.3.1. Badania cieczy porowej w warunkach laboratoryjnych	96
3.3.2. Badania betonu prowadzone <i>in situ</i>	103
3.4. Ocena właściwości ochronnych betonu metodą polaryzacyjną	108
3.4.1. Zasada badania i przygotowanie elementów próbnych	108
3.4.2. Przygotowanie stanowiska pomiarowego	109
3.4.3. Przebieg pomiarów i ocena wyników badań	110
3.5. Określenie wpływu domieszek na właściwości ochronne betonu	112
3.5.1. Zasada badania i zakres stosowania	112
3.5.2. Przygotowanie elementów próbnych i stanowiska pomiarowego	113
3.5.3. Metodyka badań i sprawozdanie	115
3.6. Przykłady badań	116
Przykład 1. Szacowanie zasięgu karbonatyzacji betonu fenoloftaleiną	116
Przykład 2. Badania profilu chlorków i pH betonu konstrukcji dworca kolejowego	117
Przykład 3. Badania profilu chlorków i pH betonu podpory wiaduktu drogowego	125
Przykład 4. Ocena właściwości ochronnych betonu metodą polaryzacyjną	128
Literatura do rozdziału 3	132
<b>4. Elektrochemiczne pomiary zagrożenia korozją zbrojenia w konstrukcji</b>	<b>134</b>
4.1. Wybór i przygotowanie stref pomiarowych	134
4.2. Pomiary potencjału stacjonarnego	138
4.2.1. Podstawy pomiaru	138
4.2.2. Technika wykonywania badań	144
4.2.3. Analiza wyników badań	148
4.3. Pomiary rezystywności otulenia betonowego	149
4.3.1. Podstawy i technika pomiaru	149
4.3.2. Sposób badania w betonie i analiza wyników	151
4.3.3. Analiza wyników	155
4.4. Szybkość korozji	157
4.5. Określenie szybkości korozji na podstawie krzywych polaryzacji	161
4.5.1. Podstawy badania	161

4.5.2.	Wyznaczanie gęstości prądu korozyjnego na podstawie krzywej polaryzacji . . . . .	163
4.5.3.	Technika wykonywania badań . . . . .	165
4.5.4.	Charakterystyka pomiaru w betonie . . . . .	169
4.5.5.	Czynniki wpływające na rejestrację krzywej polaryzacji . . . . .	172
4.6.	Określenie stanu korozyjnego metodą impulsu galwanostatycznego . . . . .	181
4.6.1.	Podstawy badania . . . . .	181
4.6.2.	Wyznaczanie prądu korozyjnego . . . . .	183
4.6.3.	Analiza wyników badań . . . . .	187
4.6.4.	Przykład badania . . . . .	188
4.7.	Metody ciągłego monitorowania korozji zbrojenia konstrukcji żelbetowych . . . . .	189
4.8.	Przykłady badań . . . . .	193
	Przykład 1. Badania prawdopodobieństwa korozji zbrojenia ściany przejścia podziemnego . . . . .	193
	Przykład 2. Badania prawdopodobieństwa korozji zbrojenia kielichowej konstrukcji budynku dworca kolejowego . . . . .	201
	Literatura do rozdziału 4 . . . . .	211
<b>5.</b>	<b>Elektrochemiczne badania laboratoryjne próbek pobranych z konstrukcji . . . . .</b>	<b>213</b>
5.1.	Pobranie próbek i ich przygotowanie do badań . . . . .	213
5.1.1.	Cel i zakres badań . . . . .	213
5.1.2.	Sposób pobierania rdzeni z konstrukcji i ograniczenia metody . . . . .	215
5.1.3.	Przygotowanie próbek do badań w trójelektrodowym układzie pomiarowym . . . . .	217
5.2.	Badania metodą elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej . . . . .	220
5.2.1.	Podstawy teoretyczne EIS . . . . .	220
5.2.2.	Cechy widm impedancyjnych stali w betonie . . . . .	226
5.2.3.	Zasady analizy widm impedancyjnych . . . . .	229
5.2.4.	Metodyka pomiaru i analizy badań impedancyjnych zbrojenia w betonie . . . . .	239
5.3.	Badania metodą pomiaru oporu polaryzacji . . . . .	244
5.3.1.	Czynniki wpływające na kształt krzywych polaryzacji stali w betonie . . . . .	244
5.3.2.	Metodyka badania i analiza pomiaru oporu polaryzacji stali w betonie . . . . .	249
5.4.	Elektrochemiczne badania stali zbrojeniowej w roztworach modelujących ciecz porową . . . . .	252
5.4.1.	Cel, zakres i metodyka badań . . . . .	252
5.4.2.	Przygotowanie stanowiska pomiarowego . . . . .	253
5.4.3.	Pomiary polaryzacyjne stali zbrojeniowej w roztworach modelujących ciecz porową betonu . . . . .	255
5.5.	Przykłady badań . . . . .	259
	Przykład 1. Badania polaryzacyjne zbrojenia konstrukcji budynku dworca kolejowego . . . . .	259
	Przykład 2. Badania polaryzacyjne zbrojenia podpory wiaduktu drogowego . . . . .	265
	Literatura do rozdziału 5 . . . . .	272