

## SPIS TREŚCI

### WAŻNIEJSZE OZNACZENIA 9

#### 1. WPROWADZENIE 11

#### 2. POTENCJAŁY ELEKTRODOWE A KORROZJA STALI W BETONIE 14

##### 2.1. Ogniwa elektrochemiczne 14

##### 2.2. Rodzaje elektrod 19

##### 2.2.1. Elektrody gazowe 20

##### 2.2.2. Elektrody odwracalne względem kationu (I rodzaju) 21

##### 2.2.3. Elektrody odwracalne względem anionu (II rodzaju) 23

##### 2.2.4. Stałe elektrody odniesienia 26

##### 2.2.5. Elektrody jonoselektywne i pomiar pH 30

##### 2.3. Zbrojenie jako ogniwo elektrochemiczne 33

##### 2.3.1. Pasywacja powierzchni stali w betonie. Wykresy Pourbaix 33

##### 2.3.2. Stan aktywny — ogniwo korozyjne 39

##### 2.3.3. Korozja w rysie otuliny betonowej 43

##### 2.4. Skutki korozji zbrojenia 46

##### 2.4.1. Zmniejszenie przekroju poprzecznego 46

##### 2.4.2. Utrata właściwości plastycznych i wytrzymałości stali 48

##### 2.4.3. Utrata przyczepności stali do betonu 50

#### 3. PRZYCZYNY KORROZJI ZBROJENIA W BETONIE I ICH IDENTYFIKACJA 52

##### 3.1. Środowiska korozyjne 52

##### 3.2. Depasywacja powierzchni zbrojenia 53

##### 3.2.1. Depasywacja spowodowana karbonatyzacją 53

##### 3.2.2. Depasywacja powierzchni stali jonami chlorkowymi 54

##### 3.2.3. Wartości graniczne agresji środowiska korozyjnego 58

##### 3.3. Metody określania odczynu cieczy w porach betonu 62

##### 3.3.1. Metody niszczące 62

##### 3.3.2. Metody nieniszczące 70

##### 3.4. Metody określania stężenia jonów chlorkowych w betonie 81

##### 3.4.1. Metody niszczące 81

##### 3.4.2. Metody nieniszczące 85

##### 3.5. Badania własne czujników potencjometrycznych 94

##### 3.5.1. Zakres i przebieg badań 95

##### 3.5.2. Wyniki badań i ich analiza 98

##### 3.5.3. Wnioski 102

##### 3.6. Przykłady własnych badań w istniejących konstrukcjach 103

##### 3.6.1. Niecka basenu I 103

##### 3.6.2. Niecka basenu II z plażą 107

#### 4. OKREŚLANIE SZYBKOŚCI KORROZJI ZBROJENIA W BETONIE 111

##### 4.1. Szybkość korozji 111

##### 4.2. Określenie szybkości korozji na podstawie krzywych polaryzacji 113

##### 4.2.1. Podstawy pomiaru 113

##### 4.2.2. Wyznaczanie prądu korozyjnego na podstawie krzywej polaryzacji 114

##### 4.3. Inne elektrochemiczne metody określania szybkości korozji 119

##### 4.3.1. Elektryczne obwody zastępcze 119

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.2. Metoda impulsu galwanostatycznego                                                  | 121 |
| 4.3.3. Metoda elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej                               | 125 |
| 4.3.4. Wyznaczenie prądu korozyjnego bez krzywej polaryzacji                              | 130 |
| 4.4. Czynniki wpływające na szybkość korozji                                              | 131 |
| 4.4.1. Wpływ przewodności ośrodka (betonu)                                                | 131 |
| 4.4.2. Wpływ dyfuzji reagentów                                                            | 137 |
| 4.5. Technika wykonywania badań                                                           | 140 |
| 4.5.1. Badania w konstrukcji                                                              | 141 |
| 4.5.2. Badania w laboratorium                                                             | 151 |
| 4.6. Autorska adaptacja układu trójelektrodowego do badań w betonie                       | 153 |
| 4.6.1. Budowa układu trójelektrodowego na rdzeniach                                       | 155 |
| 4.6.2. Badania autorskiej powłoki przewodzącej                                            | 157 |
| 4.6.3. Badania sprawdzające układu trójelektrodowego                                      | 158 |
| 4.6.4. Wyniki i analiza badań                                                             | 160 |
| 4.6.5. Wnioski                                                                            | 161 |
| 5. METODY OKREŚLANIA MIARODAJNEJ SZYBKOŚCI KOROZJI ZBROJENIA                              | 164 |
| 5.1. Zmienność i modelowanie szybkości korozji w czasie                                   | 164 |
| 5.2. Badania własne zmienności szybkości korozji w betonie                                | 166 |
| 5.2.1. Wpływ zmian wilgotności i temperatury na szybkość korozji                          | 166 |
| 5.2.2. Wpływ sposobu pomiaru przewodności betonu                                          | 174 |
| 5.2.3. Wnioski                                                                            | 183 |
| 5.3. Określenie miarodajnej szybkości korozji zbrojenia na wyciętych rdzeniach            | 183 |
| 5.3.1. Określenie szybkości korozji zbrojenia na podstawie przewodności betonu            | 184 |
| 5.3.2. Metoda określenia szybkości korozji zbrojenia na podstawie symulacji klimatycznych | 186 |
| 5.3.3. Ocena nośności konstrukcji żelbetowej w warunkach korozji zbrojenia                | 188 |
| 5.3.4. Wnioski                                                                            | 191 |
| 5.4. Przykłady analizy miarodajnej szybkości korozji zbrojenia                            | 192 |
| 5.4.1. Zbiorniki na wodę pitną                                                            | 192 |
| 5.4.2. Silosy na cement                                                                   | 198 |
| 5.5. Monitorowanie konstrukcji żelbetowych                                                | 202 |
| 5.5.1. Monitorowanie prawdopodobieństwa korozji zbrojenia                                 | 203 |
| 5.5.2. Czujniki do pomiaru szybkości korozji zbrojenia                                    | 205 |
| 5.5.3. Wnioski                                                                            | 211 |
| 5.6. Rozwiązania własne czujników korozji zbrojenia                                       | 212 |
| 5.6.1. Rozwiązania własne czujników korozyjnych w nowych konstrukcjach                    | 212 |
| 5.6.2. Rozwiązania własne czujników korozyjnych w istniejących konstrukcjach              | 216 |
| 6. PODSUMOWANIE                                                                           | 227 |
| BIBLIOGRAFIA                                                                              | 232 |
| Publikacje                                                                                | 232 |
| Patenty i zgłoszenia patentowe                                                            | 252 |
| Normy, wytyczne, instrukcje                                                               | 254 |
| Materiały firmowe, strony internetowe                                                     | 254 |
| Prace eksperckie                                                                          | 255 |
| Streszczenie                                                                              | 256 |