

# Korozja elementów urządzenia piorunochronnego umieszczanych w powietrzu i gruncie

Wymagania oraz badania dotyczące korozji elementów urządzeń piorunochronnych są częściowo zawarte w serii norm PN-EN IEC 62561 jako badania środowiskowe. W opublikowanych normach EN (IEC) dotyczących ochrony odgromowej – seria PN-EN 62305 nie są opisane kategorie korozyjności dla wyrobów metalowych umieszczanych w powietrzu oraz gruncie, a także brak jest kryteriów oceny wyników badań korozyjnych na podstawie typowych metod badań. W artykule przedstawiono propozycje dotyczące wprowadzenia do nowych edycji tych norm bardziej precyzyjnych wymagań w zakresie oceny ryzyka korozji i badań korozyjnych.

**U**rządzenie piorunochronne (LPS) jest to kompletny system, który ma za zadanie zminimalizowanie ryzyka porażenia ludzi oraz uszkodzenia obiektów i ich wyposażenia przez wyładowania atmosferyczne bezpośrednie i pobliskie. Wymagania dla projektowania oraz budowy LPS są wyczerpująco opisane w serii norm PN-EN 62305 [1], natomiast wymagania, jakie powinny spełniać elementy urządzenia piorunochronnego, są przedstawione w serii norm PN-EN IEC 62561. Normy te są systematycznie aktualizowane przez komitet techniczny TC 81 IEC w celu ich międzynarodowej akceptacji i stosowania.

Podstawową częścią urządzenia piorunochronnego są elementy zewnętrzne (LPSC), mające na celu przejęcie prądu pioruna (zwody odgromowe), jego odprowadzenie do ziemi (przewody odprowadzające) oraz bezpieczne rozproszenie w gruncie (układ uziomów). Wszystkie te elementy są narażone na korozję, której mechanizm jest złożony, szczególnie wówczas gdy są one częściowo umieszczone w powietrzu i częściowo w gruncie. Dotyczy to głównie elementów układu uziemiającego w postaci:

- przewodów uziemiających (doprowadzających prąd pioruna do uziomu) zdefiniowanych w PN-EN IEC 62561-2 [3] jako

**Marek Łoboda**  
Politechnika Warszawska

**Robert Marciniak**  
CBM Technology

przewody zainstalowane między przewodem odprowadzającym/złączem kontrolnym a uziomem w celu połączenia uziomu ze złączem kontrolnym. Przewody te mogą być wykonane z pręta lub bednarki i na ogół są częściowo umieszczone w powietrzu oraz w gruncie;

- uziomów, które są przewodzącymi elementami mającymi elektryczny kontakt z gruntem bezpośrednio lub poprzez ośrodek przewodzący, np. beton lub środek zmniejszający rezystywność gruntu;
- zacisków oraz złączy do połączenia elementów uziemienia, które mogą być umieszczone zarówno w powietrzu, jak i w gruncie.

Korozja metali (w tym elementów metalowych LPS) przebiega z szybkością uzależnioną od rodzaju metalu oraz cech środowiska, w którym są one umieszczone. Takie parametry jak: wilgotność, roztwory soli stanowiące elektrolity w gruncie lub na powierzchni metalu, stopień aeracji oraz temperatura, a także ich oddziały-

wanie na metale powodują, że zjawiska korozji metali są bardzo złożone. Także lokalne warunki środowiskowe, w których są instalowane urządzenia piorunochronne (wpływ zanieczyszczeń naturalnych lub przemysłowych), mogą znacząco zmieniać się na różnych obszarach i wpływać na ich korozję.

Na fot. 1 przedstawiono przykładowe zdjęcia przewodów uziemiających (doprowadzających) z widocznymi zniszczeniami spowodowanymi przez korozję występującą w gruncie lub/i powietrzu.

Należy podkreślić, że w seriach norm PN-EN IEC 62561 (tj. PN-EN IEC 62561-1 [4] oraz PN-EN IEC 62561-2 [3]) odnoszących się do badań wymaganych dla LPSC nie są zdefiniowane typowe badania korozyjne. Normy te zawierają jedynie wymagania dotyczące badań środowiskowych, które obejmują:

- oddziaływanie mgły solnej zgodnie z PN-EN IEC 60068-2-52 [5],
- próbę z dwutlenkiem siarki w wilgotnej atmosferze zgodnie z PN-EN ISO 22479 [6],
- próbę amoniakalną odporności na korozję naprężeniową stopów miedzi zgodnie z PN-ISO 6957 [7].

Wymienione badania odwzorowują wpływ agresywnych czynników na LPSC, które są umieszczone w powietrzu



**Fot. 1. Przykłady korozji przewodów uziemiających (doprowadzających): a) stalowy pręt ocynkowany na gorąco po 6 miesiącach eksploatacji w Sudanie, b) stalowa bednarka ocynkowana po 12 latach eksploatacji w Polsce, c) złącze kontrolne ze stalowym uziemieniem ocynkowanym połączonym z miedzianym przewodem uziemiającym (brak danych o okresie eksploatacji)**

Kryteria akceptacji badań środowiskowych dla LPSC są zawarte w [3, 4] dla określonych materiałów i bazują na ocenie wzrokowej stanu materiału podstawowego lub powłoki ochronnej. Niestety, w badaniach środowiskowych nie jest określone ryzyko występowania korozji dla elementów metalowych urządzenia piorunochronnego, umieszczonych w całości lub częściowo w gruncie. Problem ten jest scharakteryzowany w niniejszym artykule. Autorzy proponują, aby w kolejnych edycjach serii norm dotyczących badań LPSC, opracowywanych przez zespoły TC 81 IEC, podjąć prace dotyczące wprowadzenia dodatkowych wymagań w zakresie badań korozyjnych materiałów, z których są wykonywane elementy urządzeń piorunochronnych.

### **RYZYKO KORYZJI ELEMENTÓW URZĄDZEŃ PIORUNOCHRONNYCH UMIESZCZANYCH W POWIETRZU (ATMOSFERZE)**

W normie PN-EN ISO 9223 [8] dotyczącej korozji metali i stopów są skategoryzowane korozyjności atmosfer w odniesieniu do jednorocznych zmian korozyjnych, natomiast w normie PN-EN ISO 9224 [9] podano wartości charakteryzujące efekt korozji (ubytek masy, głębokość penetracji i inne parametry) dla metali oraz stopów metali narażonych na oddziaływanie atmosfery zewnętrznej w warunkach naturalnych.

Definiuje się sześć kategorii korozyjności atmosfery: C1 (bardzo niska), C2 (niska), C3 (średnia), C4 (wysoka), C5 (bardzo wysoka) and CX (ekstremalna). Kategorie korozyjności atmosfery mogą być określone w różny sposób:

- na podstawie oceny szybkości korozji (ubytek korozyjny) w oparciu o wyniki pomiarów dla standardowych próbek (zalecane) lub zdefiniowane normatywnie dla ekspozycji wyrobów albo próbek w warunkach polowych,
- na podstawie informacji o parametrach środowiskowych,
- na podstawie opisu warunków ekspozycji materiału (kategoria lokalizacji).

Do parametrów środowiskowych należą:

- parametry klimatyczne: temperatura, ilość opadów, wilgotność względna, czas zwilżania itp.;
- zanieczyszczenia gazowe, w tym  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ ;
- osadzanie się cząstek stałych: chlorków, siarczanów, azotanów lub innych i wpływ lokalnych lub długotrwałych czynników na ich zawartość;
- aktywność mikrobiologiczna.

Ogólnie środowisko eksploatacji urządzeń jest charakteryzowane jako wiejskie, miejskie, morskie oraz przemysłowe. Warto podkreślić, że klasyfikacja ta nie wskazuje kategorii korozyjności, ale sam rodzaj środowiska (i rodzaj dominujących w nim zanieczyszczeń). Jest możliwe wskazanie środowisk wiejskich z atmosferą o wysokiej korozyjności oraz miejskich o małej korozyjności, choć częściej zależności takie są odwrotne.

Typową lokalizacją elementów urządzeń piorunochronnych jest przestrzeń otwarta, chociaż w niektórych sytuacjach są one umieszczane w przestrzeniach zamkniętych lub w miejscach osłoniętych. Warto zauważyć, że warunki ekspozycji LPSC w różnych miejscach nie mogą być w sposób bezpośredni ekstrapolowane ze względu na wpływ m.in. czynników mikroklimatycznych.

Badania korozyjne są ważną częścią oceny, przewidywania i weryfikacji stanu technicznego oraz czasu życia poszczególnych materiałów, układów i składników LPSC. Jest to niezbędne działanie dla wyboru skutecznych metod ochrony przed korozją i niezawodności urządzeń stosowanych w ochronie odgromowej.

Bardzo użyteczne informacje dotyczące oceny korozji elementów urządzeń piorunochronnych umieszczanych w powietrzu (atmosferze) w wielu lokalizacjach na obszarze Europy są zawarte w pierwszej edycji katalogu charakteryzującego miejsca ekspozycji na korozję atmosferyczną, opublikowanego przez European Federation of Corrosion [10]. Zawiera on oszacowane szybkości

(atmosferze) i które mogą być zlokalizowane na obszarach, gdzie występują w sposób ciągły lub czasowo zanieczyszczenia sztuczne (np. na terenach przemysłowych) lub naturalne (obszary nadmorskie).

korozji różnych metali (stali, cynku, miedzi, aluminium) i wiele wpływających na nią parametrów, takich jak intensywność opadów, względna wilgotność powietrza, czas nawilżania, zawartość SO<sub>2</sub>, depozycja chlorków dla 43 lokalizacji w Europie. Lokalizacje te zostały sklasyfikowane zgodnie z kategoriami korozyjności opisanymi w PN-EN ISO 9223 [8] i zostały zaznaczone na mapie na rys. 1 oraz scharakteryzowane w tab. 1.

Podobne mapy korozyjności dla USA i innych krajów mogą być wykreowane przy zastosowaniu narzędzia nazwanego Whole Building Design Guide, opracowanego przez National Institute of Building Sciences (USA) [11]. Zostały one przedstawione na rys. 2.

Przy ocenie odporności na korozję LPSC eksploatowanych na powietrzu jest niezbędne bardziej szczegółowe uwzględnienie wpływu czynników środowiskowych oraz kategorii korozyjności w normach dotyczących wymagań dla urządzeń piorunochronnych [1–4]. Można tu zastosować kryteria, jakie są proponowane dla innych urządzeń i konstrukcji metalowych opisanych w normach ISO [8, 9].



Rys. 1. Lokalizacje miejsc w Europie, gdzie wykonywano badania narażenia korozyjnego, opublikowane w [10]

## RYZYKO KOROZJI LPSC UMIESZCZONYCH W ZIEMI (GRUNCIE)

Ogólny opis czynników wpływających na prawdopodobieństwo występowania korozji elementów metalowych umieszczonych w gruncie jest zawarty w PN-EN

12501-1 [12] oraz PN-EN 12501-2 [13]. Diagram do oceny prawdopodobieństwa wystąpienia korozji ziemnej elementów metalowych na podstawie [12] przedstawiono na rys. 3, a klasy zagrożenia korozją ziemną metalu w tab. 2.

| No. | Site name                      | Atmosphere           | Corrosion rate (g/m² year) |      |        |                | Environmental parameters |                       |                             |                        |            |                                       |
|-----|--------------------------------|----------------------|----------------------------|------|--------|----------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|------------|---------------------------------------|
|     |                                |                      | Steel                      | Zinc | Copper | Alu-<br>minium | Temp.<br>[°C]            | Rainfall<br>[mm/year] | Relative<br>humidity<br>[%] | Time of<br>wetness [%] | SO2(µg/m³) | Chloride<br>deposition<br>(mg/m² day) |
| 1   | AT, Linz                       | Urban, Industrial    | 106                        | 11.4 | 8.2    | 0.3            | 12                       | 735                   | 70                          | 41                     | 7          | 3                                     |
| 2   | CZ, Kasparske Hory             | Rural                | 53                         | 4.5  | 8.7    | 0.01           | 8                        | 693                   | 74                          |                        | 8          |                                       |
| 3   | CZ, Koprivice                  | Industrial           | 131                        | 4.9  | 11.9   | 0.2            | 10                       | 489                   | 73                          |                        | 12         | 2                                     |
| 4   | CZ, Kralupy                    | Urban                | 41                         | 2.0  | 5.0    | 0.1            | 11                       | 581                   | 73                          | 42                     | 5          | <1                                    |
| 5   | CZ, Ostrava                    | Industrial           | 164                        | 10.0 |        |                | 11                       | 488                   | 73                          |                        | 17         |                                       |
| 6   | CZ, Prague                     | Urban                | 56                         | 3.1  | 3.1    | 0.1            | 11                       | 473                   | 70                          |                        | 5          | 3                                     |
| 7   | DE, Berlin A103                | Urban                | 159                        | 4.9  | 14.0   | 1.1            | 11                       | 460                   | 73                          | 35                     | 2          | 94                                    |
| 8   | DE, Berlin B1                  | Urban                | 38                         | 4.3  | 15.9   | 0.2            | 10                       | 725                   | 79                          | 46                     | 2          | 12                                    |
| 9   | DE, Berlin BAM                 | Urban                | 56                         | 5.3  | 9.1    | 0.2            | 10                       | 505                   | 79                          | 45                     | 2          | 12                                    |
| 10  | DE, Helgoland IFAM             | Marine               | 2390                       |      |        |                | 11                       | 874                   | 80                          |                        |            |                                       |
| 11  | DE, Helgoland Seawater         | Marine               | 2376                       | 60.0 | 62.5   | 1.9            | 9                        | 718                   | 75                          | 52                     |            |                                       |
| 12  | DE, Helgoland Südhafen         | Marine               | 251                        | 24.5 | 22.3   | 0.5            | 11                       | 648                   | 81                          | 54                     |            |                                       |
| 13  | DE, Helgoland Uplands          | Marine               |                            | 8.5  |        |                | 9                        | 719                   | 75                          | 52                     |            | 431                                   |
| 14  | DE, Helgoland Seawater IFAM    | Marine               | 2084                       | 21.0 | 89.0   | 3.3            | 10                       | 874                   | 80                          |                        |            |                                       |
| 15  | DE, Helgoland-Westkaje         | Marine               | 296                        | 10.5 | 13.5   | 0.4            | 9                        | 719                   | 75                          | 52                     |            | 431                                   |
| 16  | DE, Horstwalde                 | Rural                | 44                         | 4.0  | 19.7   | 0.1            | 10                       | 636                   | 79                          | 45                     |            |                                       |
| 17  | DE, Leuchtturm alte Weser IFAM | Marine               |                            |      |        |                | 11                       |                       | 82                          |                        |            |                                       |
| 18  | DE, Sylt Seawater IFAM         | Marine               |                            |      | 87.0   |                | 10                       | 797                   | 79                          |                        |            |                                       |
| 19  | ES, Barcelona                  | Rural, Urban         | 53                         | 6.5  |        |                | 15                       | 600                   | 66                          | 51                     | 3          | <3                                    |
| 20  | FR, Brest                      | Marine               | 750                        | 11.0 | 20.0   | 0.6            | 13                       | 1100                  | 83                          | 60                     | <1         | 1300                                  |
| 21  | FR, Le Croisty                 | Rural                | 140                        | 9.0  | 7.0    | 0.2            | 12                       | 1000                  | 84                          | 67                     |            | <5                                    |
| 22  | GR, Athens                     | Urban                | 77                         | 6.4  | 5.0    | 0.1            | 20                       | 448                   | 58                          |                        | 9          |                                       |
| 23  | IT, Genoa                      | Marine, Urban        | 130                        | 11.0 | 14.0   | 1.1            | 18                       | 1254                  | 64                          | 9                      |            | 57                                    |
| 24  | IT, Milano                     | Urban                |                            |      | 4.5    |                | 15                       | 825                   | 61                          |                        | 5          |                                       |
| 25  | IT, Monte Cimone               | High UV              |                            |      |        |                | 2                        | 79                    |                             |                        | <1         |                                       |
| 26  | IT, Plateau Rosa               | High UV              |                            |      |        |                |                          |                       |                             |                        |            |                                       |
| 27  | IT, Trento                     | Urban                |                            |      |        |                | 13                       | 1306                  | 27                          | 30                     | 3          |                                       |
| 28  | NO, Birkenes                   | Rural                | 58                         | 8.1  | 7.6    | 0.4            | 6                        | 1567                  | 79                          |                        | <1         | 7                                     |
| 29  | NO, Oslo                       | Urban                | 19                         | 5.8  | 3.5    |                | 7                        | 716                   | 73                          |                        | 2          |                                       |
| 30  | NO, Svanvik                    | Rural, Industrial    | 69                         | 7.9  | 7.9    | 0.7            | 1                        | 411                   | 78                          |                        | 7          |                                       |
| 31  | NO, Tananger                   | Marine               | 600                        |      |        |                | 9                        | 1552                  |                             |                        | 3          | 211                                   |
| 32  | PL, Katowice                   | Urban                | 18                         | 2.5  | 0.6    | 0.1            | 10                       | 726                   | 74                          |                        | 8          | 2                                     |
| 33  | PT, Alfanzina                  | Marine               | 214                        | 9.8  | 24.0   | 1.0            | 17                       | 417                   | 77                          | 42                     | 14         | 80                                    |
| 34  | PT, Guincho                    | Marine               |                            |      | 61.0   |                | 16                       | 451                   | 76                          | 48                     |            | 768                                   |
| 35  | PT, Lisbon                     | Urban                |                            | 9.5  | 8.3    | 0.7            | 16                       | 723                   | 71                          | 38                     | 32         | 9                                     |
| 36  | PT, Lumiar                     | Urban                | 147                        | 7.0  | 12.0   | 0.2            | 17                       |                       | 72                          | 41                     | 22         | 18                                    |
| 37  | PT, Sines                      | Marine/Indus - trial | 928                        | 45.0 | 57.0   | 2.0            | 17                       |                       | 81                          | 59                     | 132        | 140                                   |
| 38  | SE, Bohus-Malmö Kattсанд       | Marine               | 237                        | 6.9  | 12.0   | 0.5            | 9                        | 967                   | 81                          | 57                     | <1         | 75                                    |
| 39  | SE, Bohus-Malmö Kvarnvik       | Marine               | 751                        | 11.0 | 26.0   | 2.3            | 9                        | 967                   | 81                          | 57                     | <1         | 577                                   |
| 40  | SE, Bohus-Malmö Kvarnvik 3     | Marine               | 269                        | 8.5  | 14.0   | 0.8            | 9                        | 967                   | 81                          | 57                     | <1         | 125                                   |
| 41  | SE, Gällivare                  | Rural                | 38                         | 4.4  | 1.7    | 0.3            | 0                        |                       | 77                          | 20                     |            |                                       |
| 42  | SE, Kristineberg               | Marine               | 378                        | 5.3  | 18.9   |                | 10                       | 1017                  | 81                          | 59                     |            |                                       |
| 43  | SE, Ryda                       | Rural                | 28                         | 2.9  | 3.9    | 0.1            |                          |                       |                             |                        |            |                                       |

Colour code (for explanation, see ISO 9223)

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| C1 | C1 | C1 | C1 |
| C2 | C2 | C2 | C2 |
| C3 | C3 | C3 | C3 |
| C4 | C4 | C4 | C4 |
| C5 | C5 | C5 | C5 |
| CX | CX | CX | CX |

|    |    |    |
|----|----|----|
|    | P0 | S0 |
| τ3 | P1 | S1 |
| τ4 | P2 | S2 |
| τ5 | P3 | S3 |

Tab. 1. Wybrane parametry i klasyfikacja korozyjności miejsc ekspozycji metali opisanych w [10]



Rys. 2. Mapa lokalizacji miejsc w różnych kategoriach korozyjności określonych według normy ISO [9], utworzona przy wykorzystaniu Whole Building Design Guide Toolbox [11]

Poziomy ryzyko wystąpienia uszkodzeń korozyjnych ziemnych dla LPSC umieszczonych w gruncie zamieszczono w tab. 3, a czynniki wpływające na agresywność korozyjną gruntu są podane w tab. 4.

Ogólny schemat oddziaływań poszczególnych czynników wpływających na agresywność korozyjną środowiska oraz szybkość korozji ziemnej elementów metalowych przedstawiono na rys. 4.

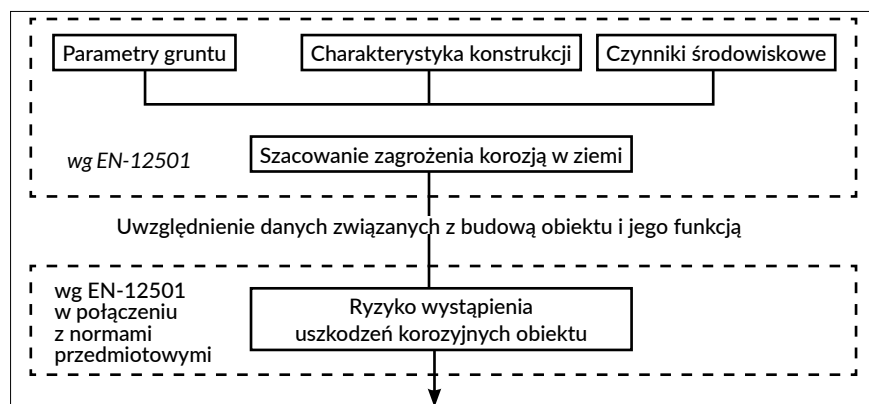
### EFEKTY USZKODZEŃ KOROZYJNYCH ELEMENTÓW URZĄDZEŃ PIORUNOCHRONNYCH UMIESZCZONYCH W RÓŻNYCH ŚRODOWISKACH (W POWIETRZU I GRUNCIE)

Elementy LPS w całości lub częściowo umieszczone w ziemi (gruncie) odgrywają kluczową rolę we właściwym funkcjonowaniu urządzenia piorunochronnego i zapewniają także poprawne funkcjonowanie instalacji technicznych (elektrycznych oraz telekomunikacyjnych), mających wspólny układ uziemienia z urządzeniem piorunochronnym.

Wiele instytucji przeprowadzało badania eksperymentalne dotyczące oceny szybkości korozji określonych metali umieszczonych w warunkach naturalnych w powietrzu oraz ich interakcji z materiałami, z których są wykonywane elementy LPSC znajdujące się w gruncie. Jednakże liczba dostępnych publikacji dotyczących tego zagadnienia jest bardzo ograniczona.

Elementy układu uziemienia urządzeń piorunochronnych (uziomy, przewody uziemiające i ich połączenia), rekomendowane w normach [1–4], są wykonywane ze stali pomiedziowanej lub ocynkowanej, miedzi, stali nierdzewnej albo stali gołej pograżonej w betonie. W czasie eksploatacji są one narażone na korozję, co w istotny sposób wpływa na efektywność urządzeń piorunochronnych.

Niektóre opublikowane wyniki badań wpływu efektów korozji metali wykorzystywanych do konstrukcji elementów LPSC, wybrane przez autorów, są opisane w dalszej części artykułu.



Rys. 3. Diagram do oceny wystąpienia korozji ziemnej [12]

Tab. 2. Klasy zagrożenia korozją ziemną [12]

| Klasy zagrożenia korozją                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Klasyfikacja prawdopodobieństwa                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Niska                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Niskie prawdopodobieństwo, że ubytek korozyjny będzie powyżej wartości progowej lub że wystąpi specyficzny efekt korozyjny (patrz: UWAGA). |
| Średnia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Wysokie prawdopodobieństwo, że ubytek korozyjny będzie pomiędzy górnym a dolnym poziomem wartości progowych.                               |
| Wysoka                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Wysokie prawdopodobieństwo, że ubytek korozyjny będzie powyżej wartości progowej lub wystąpi specyficzny efekt korozyjny.                  |
| UWAGA! Specyficzny efekt korozyjny zależy od rodzaju korozji: wżerowej, szczelinowej, bimetalicznej, wodorowej, zmęczeniowej lub naprężeniowej. Jeżeli są spodziewane wymienione rodzaje korozji, zagrożenie korozyjne zaleca się zawsze przyjmować jako WYSOKIE, ponieważ jest niemożliwa ocena ilościowa tych zmian. |                                                                                                                                            |

Tab. 3. Ryzyko uszkodzeń LPSC umieszczonych w gruncie na podstawie [12]

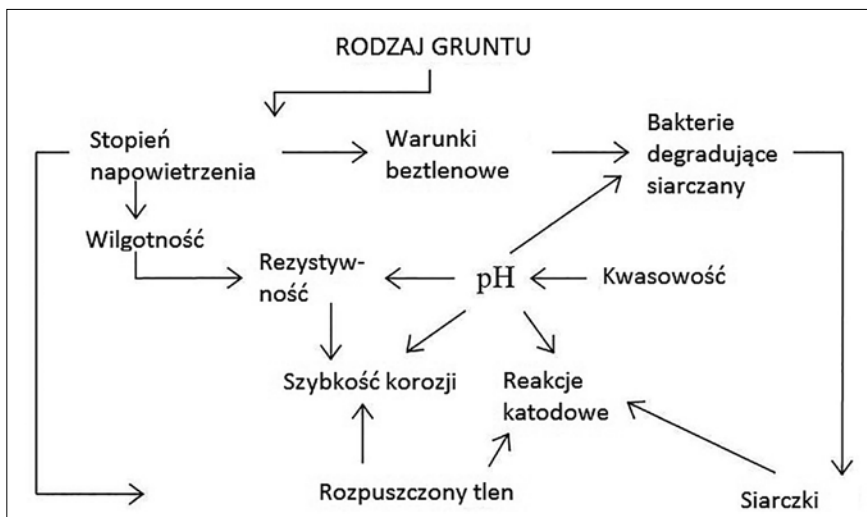
| Ryzyko wystąpienia uszkodzeń korozyjnych | Wymagania dotyczące trwałości | Uwagi                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Niskie                                   | spełnione całkowicie          | Wystarczająca odporność korozyjna. Niewymagany dodatkowy środek ochrony antykorozyjnej.                                                                                              |
| Średnie                                  | nie zawsze spełnione          | Nie zawsze wystarczająca odporność korozyjna. Zalecany monitoring do oceny ryzyka uszkodzeń korozyjnych i podjęcia decyzji, czy są wymagane dodatkowe środki ochrony antykorozyjnej. |
| Wysokie                                  | niecałkowicie spełnione       | Niewystarczająca odporność korozyjna. Wymagane są dodatkowe środki ochrony antykorozyjnej.                                                                                           |

### 1. Raport Naval Civil Engineering Laboratory (NCEL)

W raporcie laboratorium NCEL w USA [14] są opisane wyniki zniszczeń korozyjnych

uziomów pionowych wykonanych z różnych metali po rocznej, trzyletniej oraz siedmioletniej ekspozycji w dwóch różnych rodzajach gruntów na polstkach badawczych:

- **NCEL test site**, gdzie występuje grunt o mniejszej agresywności korozyjnej, oraz
- **Point Mugu site** z gruntem bardzo agresywnym korazyjnie.



Rys. 4. Schemat ogólny wpływu głównych czynników na agresywność korozji ziemnej

Tab. 4. Czynniki wpływające na agresywność korozji ziemnej

| Czynnik                                 | Klasa agresywności korazyjnej |          |                         |
|-----------------------------------------|-------------------------------|----------|-------------------------|
|                                         | niska                         | średnia  | wysoka                  |
| Rezystywność gruntu [ $W \times m$ ]    | <100                          | 30–100   | >30                     |
| pH                                      | 7                             | 6        | <5 lub >8               |
| Wskaźnik degradacji bakterii ( $H_2S$ ) | nie                           | nie      | tak                     |
| Zawartość siarczanów [mg/kg]            | >200                          | 200–1000 | >1000                   |
| Zawartość chlorków [mg/kg]              | >100                          | 100–200  | >200                    |
| Poziom wody gruntowej                   | –                             | –        | aż do obiektu w gruncie |
| Prądy błędzące                          |                               |          | tak                     |

Tab. 5. Wybrane wyniki badań korazyjnych wykonanych w NCEL po 7 latach ekspozycji w gruncie [14]

| Materiał uziomu         | Ubytek masy po 7 latach | Uwagi                                                                                                                                            |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Miękka goła stal        | 7,61%                   | Nierównomierna korozja wżerowa i rdza. Niektóre wżery szerokie i głębokie. Rdza przylegająca ściśle do podłoża.                                  |
| Stal ocynkowana         | 2,20%                   | Większość powłoki cynkowej zanikła. Rdza w największym stopniu znajdowała się przy powierzchni gruntu. Najwięcej wżerów przy wierzchołku uziomu. |
| Stal pomiedziowana      | 0,93%                   | Powierzchnia powłoki miedzianej bez śladów korozji. Stalowy rdzeń skorodowany od wierzchołka uziomu do ok. 2 cali (5 cm) pod miedzianą powłoką.  |
| Stal nierdzewna typ 302 | 0,53%                   | Bardzo małe ślady korozji za wyjątkiem głębokich wżerów w pobliżu wierzchołka uziomu i przy powierzchni gruntu.                                  |

Każdy uziom pionowy był instalowany oddzielnie i miał następujące wymiary: długość 8 stóp (243 cm), średnica 5/8 cala (1,6 cm). Fragmenty każdego uziomu o długości 3 cali (7,6 cm) wystawały powyżej powierzchni ziemi (znajdowały się w powietrzu) w celu umożliwienia połączenia z innymi uziomami oraz wykonywania okresowo pomiarów. Podsumowanie efektów oddziaływania korozji pojedynczych uziomów po siedmioletnim okresie ekspozycji jest opisane w tab. 5. Przykładowe zdjęcia skorodowanych uziomów po 3 i 8 latach ekspozycji są zamieszczone na fot. 2.

Dla badanych metali procentowe ubytki masy wskutek korozji różnią się w znacznym zakresie. Roczne ubytki zmniejszały się w funkcji czasu wskutek utworzenia się pasywnej warstwy utrudniającej dalszą korozję. Najbardziej widoczne zniszczenia korazyjne tworzyły się na fragmencie uziomu w gruncie w pobliżu powierzchni gruntu.

## 2. Przykłady korozji fragmentów LPSC po ekspozycji w różnych środowiskach naturalnych

Przykłady efektów korozji metalowych elementów LPSC umieszczonych w powietrzu i/lub gruncie, wybrane z opublikowanych opracowań, a także archiwum autorów, są zamieszczone na fot. 3–5.

Na fot. 3 są przedstawione fragmenty przewodów uziemiających umieszczonych częściowo w powietrzu i gruncie, będących fragmentem uziemienia stacji WN, po dziesięcioletnim okresie eksploatacji w Chinach [14].

Zmierzone wymiary przekroju poprzecznego przewodów uziemiających przedstawionych na fot. 3 wynosiły:

- fot. 3a: 0 mm, brak ciągłości (korozja całkowita);
- fot. 3b: średnica pręta zmniejszona z 12,0 do 9,0 mm;
- fot. 3c: grubość bednarki zmniejszona z 4,0 do 1,5 mm.

Inne typowe efekty korozji LPSC są przedstawione na fot. 4. Bardziej szczegółowy opis tych zniszczeń korazyjnych zamieszczono w [16].



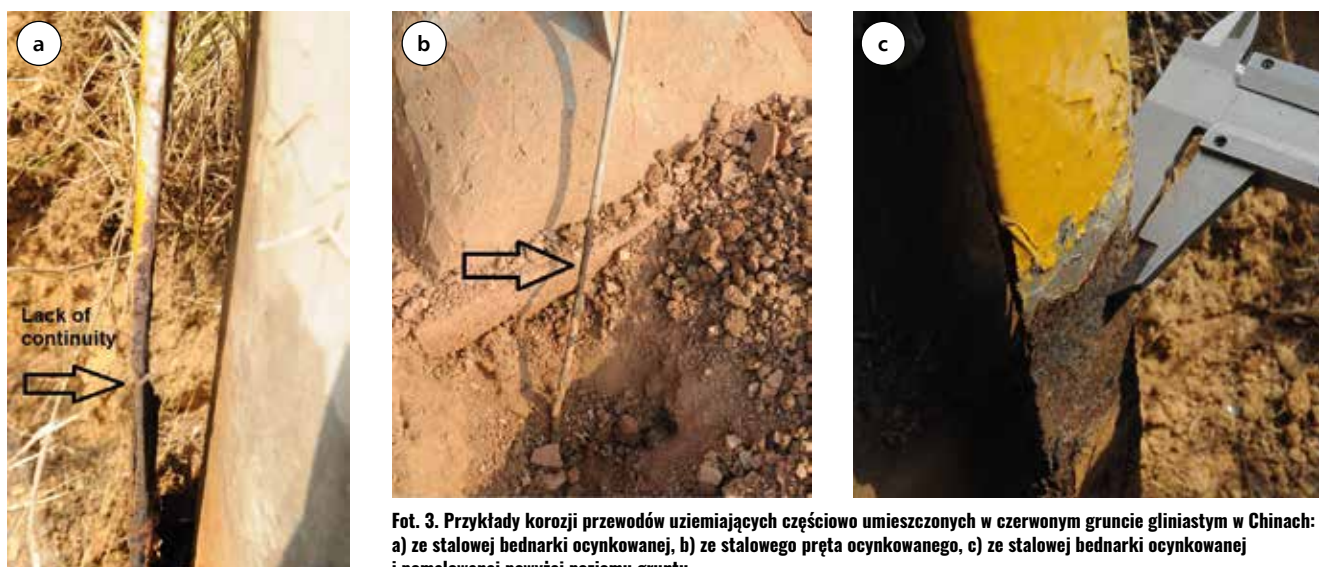
Fot. 2. Obrazy skorodowanych fragmentów uziomów pionowych: a) stalowego pomiedziowanego po ośmioletniej ekspozycji w gruncie, b) stalowego ocynkowanego po trzyletniej ekspozycji w gruncie (pH gruntu = 6,1–6,5) [14]

Na fot. 5 są pokazane efekty korozji uziomów pionowych wykonanych ze stali z różnymi powłokami ochronnymi:

a) stali pomiedziowanej, b) stali ocynkowanej na gorąco. Uziomy te były ekspozowane przez 6 lat w ziemi w dwóch lokaliza-

cjach na terenie Polski w celu porównania wpływu naturalnych warunków na korozję ziemną uziomów z różnymi powłokami. Bardziej szczegółowy opis jest dostępny w publikacji autorów [17].

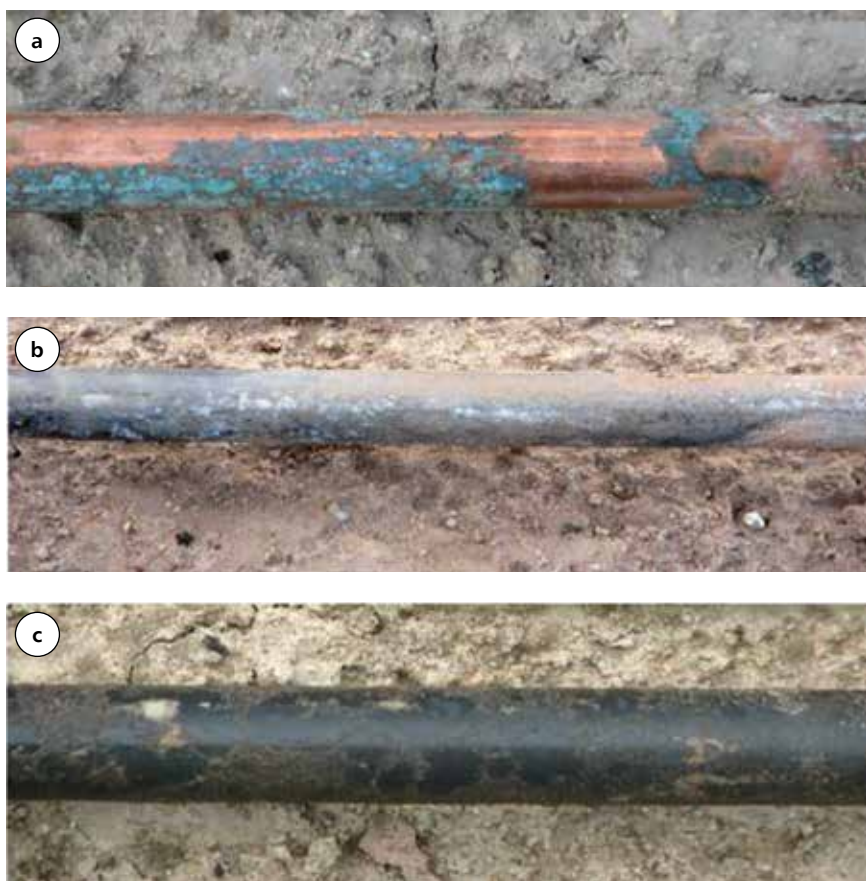
Po wyjęciu uziomów z gruntu zmierzono grubość powłok, które w przypadku stali ocynkowanej były znacznie cieńsze od początkowych (przed pogrążeniem uziomów), a nawet na niektórych fragmentach uległy całkowitej degradacji. Natomiast grubość powłok miedzianych nie zmieniła się w stosunku do grubości zmierzonej przed pogrążeniem uziomów w gruncie [17].



Fot. 3. Przykłady korozji przewodów uziemiających częściowo umieszczonych w czerwonym gruncie gliniastym w Chinach: a) ze stalowej bednarki ocynkowanej, b) ze stalowego pręta ocynkowanego, c) ze stalowej bednarki ocynkowanej i pomalowanej powyżej poziomu gruntu



Fot. 4. Skorodowane elementy LPSC: a) wielopunktowy styk kilku metali (miedzi, stali gołej i ocynkowanej) z powierzchniami stalowymi pomalowanymi, b) styk pomalowanej skrzynki ze stali ocynkowanej z ocynkowanym przewodem stalowym uziemiającym i przewodem odgromowym (ze stali ocynkowanej pomalowanej), c) poziomy, miedziany przewód odgromowy i złącze z brązu stykające się z blachą ze stali ocynkowanej [17]



Fot. 5. Zdjęcia fragmentów stalowych uzimów pionowych po sześciolletniej ekspozycji w gruncie: a) z powłoką miedzianą, b) z powłoką ocynkowaną na gorąco, c) z powłoką ocynkowaną nałożoną elektrochemicznie [17]

### 3. Komentarze i propozycje dotyczące wymagań w zakresie odporności korozyjnej LPSC umieszczanych w powietrzu i gruncie

W obecnie opublikowanych, a także będących w trakcie aktualizacji nowej edycji serii norm IEC dotyczących ochrony odgromowej (seria norm IEC 62305) oraz wymagań dla elementów urządzeń piorunochronnych (seria norm 62561) jest zawartych wiele odniesień i wymagań dla minimalizacji oddziaływań korozyjnych na LPSC.

Aktualny opis warunków stosowania materiałów do wykonywania LPS (uwzględniających zagadnienia korozji) jest zawarty w tab. 5 normy PN-EN 62305-3 (identycznej z IEC 62305-3 [2]), podczas gdy rekomendacje dotyczące ochrony przed korozją poszczególnych elementów LPS są zawarte w załączniku D (informacyjnym).

Niektóre z tych wymagań to [2]:

- „Materiał i jego wymiary powinny być wybierane z myślą o możliwości korozji LPS obiektu poddawanego ochronie i spełniać wymagania w zakresie badań zgodnie z serią norm IEC 62561” (w p. 5.6.1 w obecnie aktualizowanej wersji normy);
- „Podczas badania okresowego jest szczególnie ważne sprawdzenie:
  - pogorszenia się parametrów oraz efektów korozji elementów zwodów, przewodów i połączeń;
  - korozji uzimów (...)“ (w p. 7.3 opublikowanej wersji normy);
- „Właściwości mechaniczne i elektryczne, a także odporność na korozję powinny spełniać wymagania serii norm IEC 62561” (zawartych w tab. 7 w opublikowanej wersji normy PN-EN 62305-2 i w tab. 8 w aktualizowanej wersji tej normy).

W opinii autorów wymagania odnoszące się do wpływu korozji na elementy

LPS powinny być opisane bardziej szczegółowo w normach przedmiotowych i uwzględniać wymienione wcześniej rekomendacje dotyczące:

- agresywności korozyjnej atmosfery (powietrza) z uwzględnieniem lokalizacji LPS w oparciu o mapy korozyjności zdefiniowane na podstawie metodologii opisanych w [10, 11];
- kategoryzacji korozyjności atmosfery dla chronionego obiektu na podstawie normy ISO 9223 [8];
- oszacowania prawdopodobieństwa ryzyka korozji elementów metalowych LPSC umieszczanych w gruncie, zgodnie z EN 12501-1 [12].

W oparciu o wymienione propozycje sugeruje się, aby w nowej wersji normy IEC 62305-3 [2] wprowadzić rekomendacje dotyczące doboru materiałów dla LPSC na podstawie kategorii korozyjności atmosfery w miejscu lokalizacji obiektu chronionego, a dla LPSC umieszczanych w gruncie w oparciu o ryzyko korozji ziemnej.

Ogólne stwierdzenia dotyczące korozji materiałów LPS zawarte w tab. 5 w IEC 62305-3 [2] powinny być uzupełnione o bardziej szczegółowe wymagania zgodne z ISO 9223, ISO 9224 i EN 12501 [8, 9, 12].

Przykładowa propozycja autorów dotycząca punktu D.5.6.2.2 z załącznika normatywnego D nowo opracowywanej wersji normy jest następująca: „Przewody uziemujące (doprowadzające) umieszczone w atmosferze (powietrzu) o kategorii korozyjności C4 (wysoka), C5 (bardzo wysoka) i CX (ekstremalna) powinny być dodatkowo chronione przed korozją na całej długości – od początku do zacisku kontrolnego”. W obecnie opracowywanej wersji normy jest rekomendacja odnosząca się jedynie do takiej ochrony na odcinku 30 cm przewodu w gruncie przez osłonięcie przewodu dodatkową taśmą lub wykorzystanie rękawa izolacyjnego.

Ponadto materiały stosowane do wyrobu przewodów oraz ich połączenia (złączy) powinny mieć taką samą odporność na korozję w powietrzu lub/i na korozję ziemną.

Budzi zdziwienie fakt, że ani w opublikowanych, ani w nowo opracowywanych wersjach serii norm dotyczących badań elementów LPSC (seria IEC 52651) nie ma sformułowanych wymagań dla badań korozyjnych w środowisku odwzorującym narażenia korozyjne metali w gruncie. Także dla obecnie wymaganych badań środowiskowych nie ma jednoznacznie zdefiniowanych kryteriów akceptacji tych wyników bazujących na typowych ocenach badań korozyjnych, takich jak szybkość korozji, ubytki masy lub zmniejszenie wymiarów przekroju poprzecznego. Nawet częściowa, będąca wynikiem korozji, redukcja przekroju poprzecznego przewodu odprowadzającego (w powietrzu) lub uzimającego (w gruncie) znacząco zmniejsza zdolność tych elementów do bezpiecznego przewodzenia prądów pioruna.

## WNIOSKI

Obecne wersje norm IEC, które są wprowadzone do PN jako normy PN-EN lub PN-EN IEC, dotyczące projektowania ochrony odgromowej LPS (seria IEC 62305) oraz badań elementów urządzeń piorunochronnych LPSC (seria PN-EN IEC 62561) nie obejmują kompleksowo problemu korozji ani niezbędnych, typowych badań korozyjnych.

Z tego powodu autorzy proponują zrewidowanie w zapisach kolejnej edycji

tych norm wymagań dotyczących doboru materiałów dla LPSC ze względu na korozję, adekwatnych do poziomu agresywności korozyjnej środowiska, ich lokalizacji w atmosferze lub gruncie. Prace nad tym zagadnieniem mogłyby być oparte na wcześniejszych propozycjach dotyczących badań korozyjnych LPSC, omawianych w ramach prac W2 C81 CLC, gdy dyskutowano o pierwszej wersji normy EN 5104-2, która następnie została przyjęta przez TC 81 IEC jako IEC 62561-2 i została wprowadzona jako identyczna do norm polskich. ■

*Referat w wersji angielskojęzycznej był prezentowany na 37. Międzynarodowej Konferencji Ochrony Odgromowej (37th ICLP) w Dreźnie we wrześniu 2024 r.*

## Literatura

1. PN-EN (IEC) 62305-1 Ochrona odgromowa – Część 1: Zasady ogólne.
2. PN-EN (IEC) 62305-3 Ochrona odgromowa – Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia.
3. PN-EN IEC 62561-2 Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Część 2: Wymagania dotyczące elementów przewodów i uzimów.
4. PN-EN IEC 62561-1 Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Część 1: Wymagania dotyczące elementów połączeniowych.
5. PN-EN IEC 60068-2-52 Badania środowiskowe – Część 2: Próby – Próba Kb: Mgła solna, cykliczna (roztwór chlorku sodu).

6. PN-EN ISO 22479 Korozja metali i stopów – Próba z dwutlenkiem siarki w wilgotnej atmosferze (metoda ustalonej objętości gazu).
7. PN-EN ISO 6957 Miedź i stopy miedzi – Próba amoniakalna odporności na korozję naprężeniową stopów miedzi.
8. PN-EN ISO 9223 Korozja metali i stopów – Korozyjność atmosfer – Klasyfikacja, określenie i ocena.
9. PN-EN ISO 9224 Korozja metali i stopów – Korozyjność atmosfer – Ilościowe charakterystyki kategorii korozyjności.
10. *Exposure Site Catalogue – Catalogue of Atmospheric Corrosion Field Exposure Sites in Europe*, European Federation of Corrosion, 2021, <https://efcw.org/WP25.html>.
11. <https://www.wbdg.org/ar/tools/corrosion-toolbox/maps>.
12. PN-EN 12501-1 Ochrona materiałów metalowych przed korozją – Ryzyko wystąpienia korozji ziemnej – Część 1: Postanowienia ogólne.
13. PN-EN 12501-2: Ochrona materiałów metalowych przed korozją – Ryzyko wystąpienia korozji ziemnej – Część 2: Materiały ze stali niskostopowych i niestopowych.
14. Technical Report R660: *Field testing of electrical grounding rods*, Naval Civil Engineering Laboratory, 1970.
15. R. Marciniak, M. Łoboda, *Influence of climatic conditions on corrosion of earth electrodes for lightning protection*, 30th International Conference on Lightning Protection, Cagliari 2010, Sept. 13–30, paper 1326.
16. A. Ghavamian, M.R. Maghani, S. Dehghan, C. Gomes, *Concerns of corrosive effects with respect to lightning protection systems*, „Engineering Failure Analysis”, [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com).
17. R. Marciniak, M. Łoboda, *Investigations of earthing components corrosion in different climatic conditions*, International Conference on Lightning Protection, Wiedeń, Austria 2012.