

**AGNIESZKA KRÓLIKOWSKA**

ORCID: 0000-0002-0378-0386

**LESZEK KOMOROWSKI**

ORCID: 0000-0002-9203-7147

The Road and Bridge Research Institute/ Instytut Badawczy Dróg i Mostów

DOI: 10.15199/40.2023.8.2

# Evaluating the causes of damage to corrosion protection coatings on lightning protection masts of a 400 kV substation

## Ocena przyczyn uszkodzeń powłok antykorozyjnych na słupach odgromowych stacji 400 kV

A polyvinyl anti-corrosion coating system used to protect the lightning masts installed at a 400 kV substation showed significant damage after three years of operation. Field tests (measurements of thickness, adhesion, continuity using the low-voltage method, and the appearance of the coatings was assessed using a field microscope) and laboratory tests (infrared spectroscopy, examination of the morphology and elemental composition of the coatings under a scanning microscope with an EDX attachment) were carried out on collected samples. Degradation of the organic part of the protection was observed. Local exposure of the coatings to high temperatures was likely the cause of the damage.

**Keywords:** coating-based corrosion protection, degradation of organic coatings

### 1. Introduction

Organic coatings are the most common solution when it comes to providing corrosion protection for road, rail, urban and power generation infrastructure [1, 2]. In addition to new-generation epoxy-polyurethane systems and special superhydrophobic semi-conductive coatings, thermoplastic polyvinyl coatings, which are convenient to use, are still applied on transmission towers. Both types of coatings are most often applied to previously hot-dip galvanised structural components [3, 4].

Coating protection systems on electricity poles are exposed to multiple corrosion hazards, both those typical of atmospheric corrosion and variable temperatures, moisture, ionic contaminants, UV radiation, as well as hazards typical of this type of construction: icing, corona discharge and many others. These can have a significant negative impact on the stability of operation of transmission lines and can lead to conductor rupture, pole col-

Poliwinylowy powłokowy system antykorozyjny zastosowany na słupach odgromowych stacji 400 kV uległ znacznemu zniszczeniu po trzech latach eksploatacji. Wykonano badania polowe (pomiar grubości, przyczepności, szczelności metodą niskonapięciową, oceniono wygląd powłok przy użyciu mikroskopu polowego) oraz badania laboratoryjne na pobranych próbkach (spektroskopię w podczerwieni, badania morfologii i składu pierwiastkowego powłok pod mikroskopem skaningowym z przystawką EDX). Stwierdzono degradację organicznej części zabezpieczeń. Przyczyną zniszczeń było prawdopodobnie miejscowe oddziaływanie na powłoki wysokiej temperatury.

**Słowa kluczowe:** powłokowe zabezpieczenia antykorozyjne, degradacja powłok organicznych

### 1. Wstęp

Zastosowanie powłok organicznych jest najczęstszą metodą ochrony przed korozją konstrukcji infrastrukturalnych, zarówno drogowych, kolejowych oraz miejskich, jak i energetycznych [1, 2]. Na wieżach energetycznych poza systemami epoksydowo-poliuretanowymi nowej generacji i specjalnymi farbami superhydrofobowymi półprzewodzącymi wciąż wykorzystuje się wygodne w użyciu powłoki termoplastyczne – poliwinylowe. Oba typy powłok są najczęściej aplikowane na elementach konstrukcji zabezpieczonych uprzednio zanurzeniową powłoką cynkową [3, 4].

Zabezpieczenia powłokowe na słupach energetycznych narażone są na wielorakie zagrożenia korozyjne, zarówno te typowe dla korozji atmosferycznej, jak i zmienne temperatury, wilgoć, zanieczyszczenia jonowe, promieniowanie UV, a także zagrożenia typowe dla tego typu konstrukcji: oblodzenia, zjawiska koronowe i wiele innych. Mogą one mieć istotny negatywny wpływ na stabilność pracy linii

**Agnieszka Królikowska, BEng, PhD** – a specialist in corrosion and corrosion protection with many years of laboratory and practical experience. Creator of anti-corrosion courses on the protection of steel and concrete surfaces conducted by the Road and Bridge Research Institute. Lecturer at universities and vocational courses. Active member of national and international organizations.

**Dr. inż. Agnieszka Królikowska** – specjalista w dziedzinie korozji i antykorozji z wieloletnim doświadczeniem laboratoryjnym i praktycznym. Twórca prowadzonych przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów kursów antykorozyjnych dotyczących zabezpieczeń powierzchni stalowych i betonowych. Wykładowca na uczelniach i kursach zawodowych. Aktywny członek organizacji krajowych i międzynarodowych.

E-mail: akrolikowska@ibdim.edu.pl

**Leszek Komorowski, BEng, MSc** – a graduate of chemical technology at the Faculty of Chemistry of the Warsaw University of Technology. Currently employed at the Laboratory of Corrosion Protection of the Road and Bridge Research Institute. Involved in corrosion testing for certification of corrosion protection systems for bridges, certification of coating systems according to the Norsok procedure and others.

**Mgr inż. Leszek Komorowski** – absolwent technologii chemicznej na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej. Obecnie zatrudniony w Pracowni Zabezpieczeń Antykorozyjnych w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów. Zajmuje się badaniami korozyjnymi na potrzeby certyfikacji systemów antykorozyjnych na mosty, certyfikacji systemów malarskich według procedury Norsok i innych.

E-mail: lkomorowski@ibdim.edu.pl

■ Otrzymano / Received: 06.06.2023. Przyjęto / Accepted: 27.07.2023

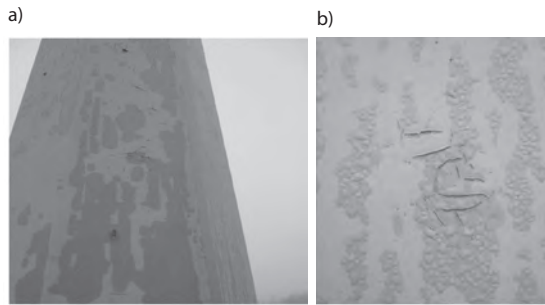


Fig. 1. Peeling and cracking of the coatings

Rys. 1. Pęknięcia i złuszczenia powłok

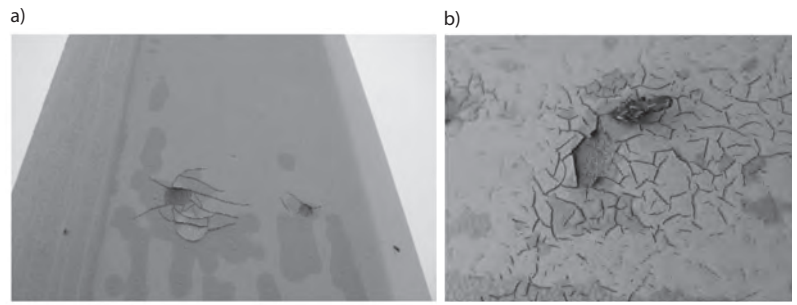


Fig. 2. Cracking and local delamination of the coatings

Rys. 2. Pęknięcia i miejscowa delaminacja powłok

lapse, damage to the base of the poles and major power outages, causing significant economic losses [5, 6].

Coatings used in corrosion protection systems that rely on organic resins as binders are very complex mixtures containing, in addition to the binder, organic or inorganic pigments and fillers, as well as a wide variety of surfactants and functional additives.

Each coating in the system has its own special function: the primer coating ensures adhesion to the substrate and, thanks to special anti-corrosion pigments, prevents or delays corrosion; the inter-layer coating mainly contributes to the good barrier properties of the system, protecting against the migration of water and aggressive electrolytes; the topcoat, in turn, provides adequate mechanical and aesthetic properties and protects against the damaging effects of UV radiation [7, 8].

For more than a century, ever since anti-corrosive organic coatings began to be used to protect against atmospheric corrosion [9, 10], the mechanisms of their action have been analysed with ever-evolving methods [11]. Research has been conducted on, among other things, the barrier properties of coatings (migration of ions, oxygen, water, etc.), the influence of coating heterogeneity and substrate heterogeneity on their durability, the importance of coating adhesion to the substrate, substrate preparation prior to coating application, and the role of inhibitors.

Specific damage and leaching of individual coating components has been presented. In the case described, the organic parts of the coating have essentially ceased to exist.

## 2. Description of the damage to the coatings under examination

At one of the substations, the coating on the power poles was found to be damaged three years after application of the coating system which consisted of:

- a 100  $\mu\text{m}$  hot-dip zinc coating,
- a two-layer polyvinyl system with a dry film thickness of 160  $\mu\text{m}$  ( $2 \times 80 \mu\text{m}$ ).

Figures 1, 2 show the general characteristic type of damage.

## 3. Tests performed

A site visit was carried out, which included:

- sampling of the coatings,
- taking photographs,
- measurement of coating thickness,
- measurement of coating adhesion,
- testing the continuity of the coatings.

The structure's detailed design, including the existing corrosion protection system, was reviewed. The following laboratory tests were also carried out:

- examination of the coatings by infrared spectroscopy,
- examination of the coatings under a scanning microscope.

przesyłowych i prowadzić do zerwania przewodów, zawalenia się słupów, uszkodzeń podstawy słupów i dużych przerw w dostawie prądu, powodujących znaczne straty ekonomiczne [5, 6].

Farby stosowane do zabezpieczeń antykorozyjnych bazujące na żywicach organicznych jako spoiwie są bardzo złożonymi mieszaninami zawierającymi poza spoiwem organiczne lub nieorganiczne pigmenty i wypełniacze oraz wiele różnorodnych środków powierzchniowo czynnych i dodatków funkcyjnych.

Każda powłoka w systemie ma swoją specjalną funkcję: powłoka gruntująca zapewnia przyczepność do podłoża i dzięki specjalnym pigmentom antykorozyjnym zapobiega zjawiskom korozyjnym lub je opóźnia; powłoka międzywarstwowa przyczynia się w głównej mierze do dobrych właściwości barierowych systemu, chroniąc przed migracją wody i agresywnych elektrolitów; powłoka nawierzchniowa zapewnia z kolei odpowiednie właściwości mechaniczne, estetyczne i chroni przed niszczącym oddziaływaniem promieniowania UV [7, 8].

Od ponad stu lat, od kiedy używa się antykorozyjnych powłok organicznych do ochrony przed korozją atmosferyczną [9, 10], analizowane są, wciąż rozwijającymi się metodami, mechanizmy ich działania [11]. Prowadzi się badania dotyczące między innymi barierowości powłok (w migracji jonów, tlenu, wody itd.), wpływu heterogeniczności powłok oraz heterogeniczności podłoża na ich trwałość, znaczenia adhezji powłok do podłoża, przygotowania podłoża przed nakładaniem powłok, roli inhibitorów.

Prezentowane są określone zniszczenia i wymywania poszczególnych składników powłoki. W opisywanym przypadku organiczne części powłoki w zasadzie przestały istnieć.

## 2. Opis zniszczeń powłok poddanych ekspertyzie

Na jednej ze stacji energetycznych stwierdzono uszkodzenia powłok malarskich na słupach energetycznych trzy lata po wykonaniu zabezpieczenia systemem, na który składały się:

- zanurzeniowa powłoka cynkowa (ogniowa) o grubości 100  $\mu\text{m}$ ,
- dwuwarstwowy system poliwinylowy o grubości suchej powłoki 160  $\mu\text{m}$  ( $2 \times 80 \mu\text{m}$ ).

Na rys. 1–2 pokazany jest ogólny charakterystyczny typ uszkodzeń.

## 3. Wykonane badania

Przeprowadzono wizję lokalną, obejmującą:

- pobranie próbek powłok,
- wykonanie dokumentacji fotograficznej,
- pomiar grubości powłok,
- pomiar przyczepności powłok,
- badanie szczelności powłok.

Zapoznano się z projektem wykonania konstrukcji wraz z zabezpieczeniem antykorozyjnym. Wykonano także następujące badania laboratoryjne:

- badania powłok metodą spektroskopii w podczerwieni,
- badania powłok pod mikroskopem skaningowym.



Fig. 3. Damage site with exposed 'powder' under the coating  
Rys. 3. Miejsce uszkodzenia z odsłoniętym „proszkiem” pod powłoką

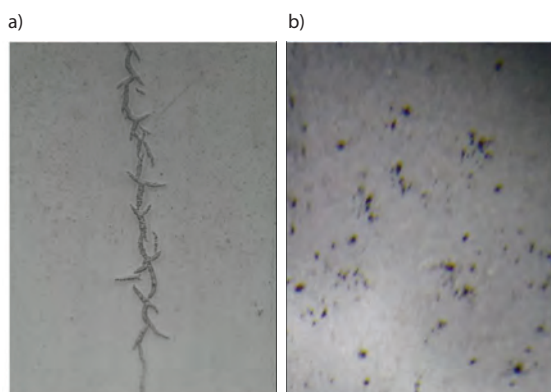


Fig. 4. Fine dark spots on the coating in an area of damage (field microscope photograph)

Rys. 4. Drobne, ciemne punkty na powłoce w rejonie zniszczeń (zdjęcie z mikroskopu polowego)

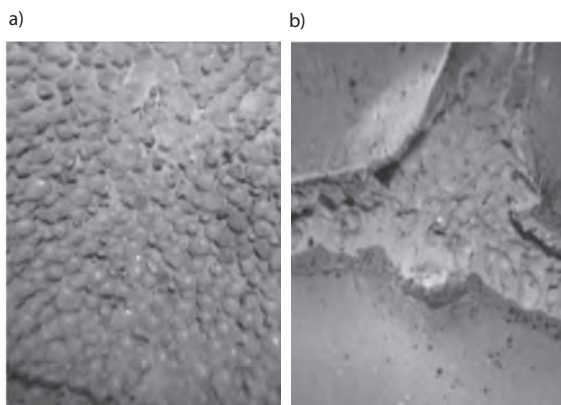


Fig. 5. Deformed coating in areas of damage (field microscope photograph)

Rys. 5. Zdeformowana powłoka malarska w miejscach uszkodzeń (zdjęcie z mikroskopu polowego)

## 4. Findings

### 4.1. Visual evaluation of defects

Clusters of cracks in the coatings and local delamination of the coatings was discovered on all the lightning protection masts analysed. No privileged areas with cracks were identified. A very unusual appearance of the coatings was observed in the areas of damage: a surface covered with loosely adhering powder was visible under the detached coatings (Fig. 3).

### 4.2. Evaluation of defects under a field microscope

The damaged coatings were assessed on the masts using a field microscope (at 50× magnification). Locally occurring dark spots were found, which resembled local coating burn-through or small inclusions (Fig. 4). Areas with a completely degraded coating struc-

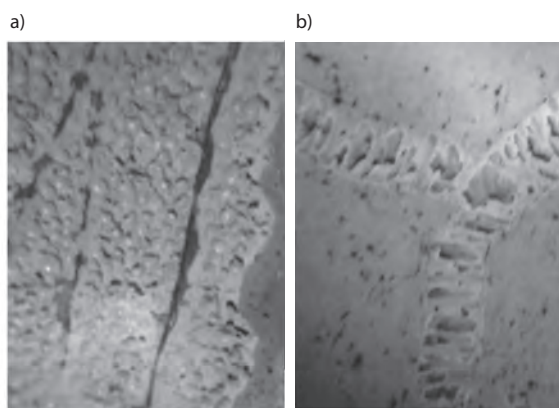


Fig. 6. Deformed coating in areas of damage (field microscope photograph)

Rys. 6. Zdeformowana powłoka w miejscach uszkodzeń (zdjęcie z mikroskopu polowego)

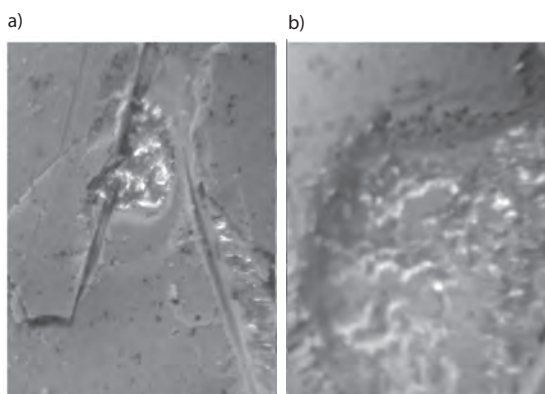


Fig. 7. Damaged zinc coating in an area of coating damage (field microscope photograph)

Rys. 7. Uszkodzona powłoka cynkowa w miejscu uszkodzeń powłoki malarskiej (zdjęcie z mikroskopu polowego)



Fig. 8. Examples of measurement locations in the damage area

Rys. 8. Przykładowe miejsca wykonania pomiaru w obszarze zniszczeń

## 4. Wyniki badań

### 4.1. Wizualna ocena wad

Na wszystkich analizowanych masztach odgromowych stwierdzono występowanie skupisk pęknięć powłok malarskich i miejscową delaminację powłok. Nie zidentyfikowano uprzywilejowanych miejsc, w których występują pęknięcia. Zaobserwowano bardzo nietypowy wygląd powłok malarskich w miejscach uszkodzeń: pod odstającymi powłokami widoczna była powierzchnia pokryta luźno przylegającym proszkiem (rys. 3).

### 4.2. Ocena wad pod mikroskopem polowym

Zniszczone powłoki oceniano na masztach za pomocą mikroskopu polowego (w 50-krotnym powiększeniu). Stwierdzono miejscowo występujące ciemne punkty, co przypominało efekt miejscowego przepalenia powłoki lub drobnych wtrąceń (rys. 4),

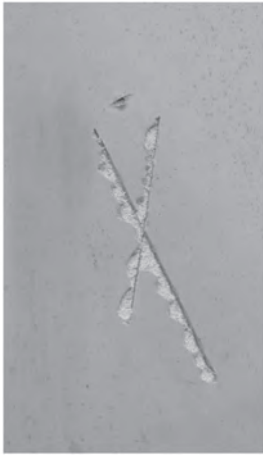


Fig. 9. Examples of measurement locations in a visually undamaged area

Rys. 9. Przykładowe miejsca wykonania pomiaru w obszarze wizualnie nieuszkodzonym

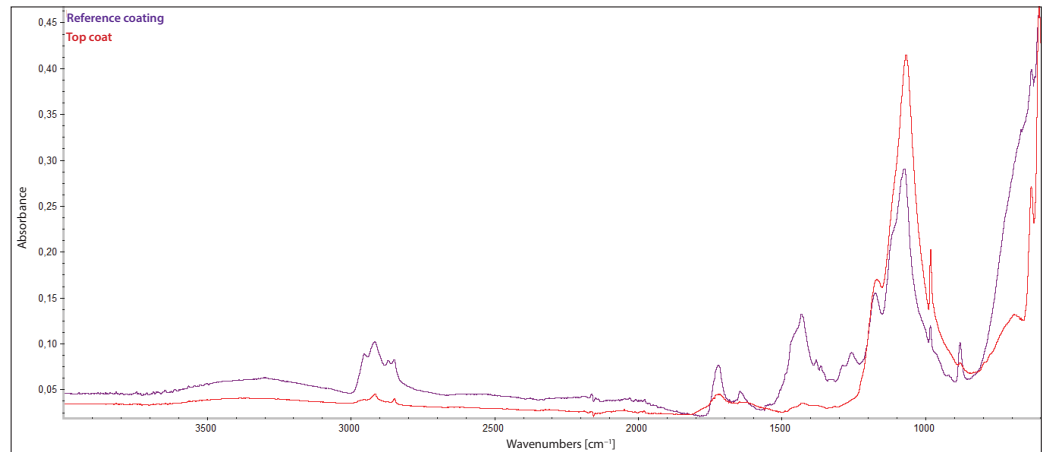


Fig. 10. Comparison of the spectrum of a coating removed from a mast and a reference coating

Rys. 10. Porównanie widma powłoki zdjętej z masztu i powłoki referencyjnej

ture characterised by significant deformation were also found in areas of damage (Fig. 5, 6). Locally damaged zinc coating locations were also present (Fig. 7).

#### 4.3. Measurement of coating thickness

The thickness of the coatings was measured with an Elcometer 456 thickness gauge. Measurements were carried out in accordance with PN-EN ISO 2808:2008, method 7C. The thickness of the coatings including the zinc coating was 500–600  $\mu\text{m}$ .

#### 4.4. Measurement of coating adhesion

Measurements were taken using the St. Andrew's cross cut method, in accordance with PN-EN ISO 16276-2:2008. The tests were carried out using the single-edge blade cut method. Figure 8 shows examples of where measurements were taken in the damaged area, and Fig. 9 shows the visually undamaged area.

In the damaged area, the grade of adhesion was 5, where it was the worst. In the visually undamaged area, the grade value was 3–4. In both cases, the tested coatings were very hard and brittle.

#### 4.5. Low-voltage holiday detection

The tests were carried out using Elcometer 269 devices, in accordance with EN ISO 29601:2011, using a voltage of 90 V. Coatings were shown to be holiday-free in visually undamaged areas.

#### 4.6. Coating testing by infrared spectroscopy

Samples taken from the masts (marked on the spectrum as the topcoat) and samples prepared in the laboratory from a vinyl coating (marked on the spectrum as the reference coating) were examined by infrared spectroscopy. Figure 10 shows a comparison of the two spectra. Their concordance is 45%.

The spectrum of a coating removed from a mast indicates only the presence of inorganic substances (pigments and fillers).

#### 4.7. Coating examination under a scanning microscope

Tests were performed using a JOEL 6010 LV scanning microscope with an EDX attachment. A view of the deformed coating is shown in Fig. 11 (outer surface) and Fig. 12 (inner surface). Figure 13 shows the EDX-derived chemical analysis of the stripped coating.

The photographs of the coatings removed from the mast clearly show that they are deformed on the underside. The chemical composition is completely atypical for organic coatings due to the very

całkowicie zdegradowaną powłokę w miejscach zniszczeń, wykazującą ogromne deformacje (rys. 5, 6), oraz miejscowo uszkodzoną powłokę cynkową (rys. 7).

#### 4.3. Pomiar grubości powłok

Grubość powłok zmierzono miernikiem Elcometer 456. Pomiar wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 2808:2008, metodą 7C. Grubość powłok łącznie z powłoką cynkową wynosiła 500–600  $\mu\text{m}$ .

#### 4.4. Pomiar przyczepności powłok

Pomiary wykonano metodą nacięcia krzyżem św. Andrzeja, według normy PN-EN ISO 16276-2:2008. Badania przeprowadzono metodą nacięcia ostrzem jednoostrzowym. Na rys. 8 pokazano przykładowe miejsca wykonania pomiaru w obszarze zniszczeń, a na rys. 9 – w obszarze wizualnie nieuszkodzonym.

W obszarze zniszczeń stopień przyczepności wynosił 5 (był najgorszy), a w obszarze wizualnie nieuszkodzonym: 3–4. W obu przypadkach badane powłoki były bardzo twarde i kruche.

#### 4.5. Badanie szczelności powłok metodą niskonapięciową

Badania wykonano za pomocą urządzeń Elcometer 269, zgodnie z PN-EN ISO 29601:2011. Stosowano napięcie 90 V. Wykazano brak szczelności powłok na obszarach wizualnie nieuszkodzonych.

#### 4.6. Badania powłok metodą spektroskopii w podczerwieni

Próbki pobrane z masztów (oznaczone na widmie jako powłoka nawierzchniowa) oraz próbki wykonane w laboratorium z farby winylowej (oznaczone na widmie jako powłoka referencyjna) zbadał metodą spektroskopii w podczerwieni. Na rys. 10 pokazano porównanie obu widm. Ich zgodność wynosi 45%.

Widmo powłoki zdjętej z masztu wskazuje jedynie na obecność substancji nieorganicznych (pigmentów i wypełniaczy).

#### 4.7. Badania powłok pod mikroskopem skaningowym

Badania wykonano za pomocą mikroskopu skaningowego JOEL 6010 LV z przystawką EDX. Widok zdeformowanej powłoki pokazano na rys. 11 (powierzchnia zewnętrzna) i rys. 12 (powierzchnia wewnętrzna). Na rys. 13 pokazano wykonaną za pomocą EDX analizę chemiczną zdjętej powłoki.

Na fotografiach powłok zdjętych z masztu wyraźnie widać ich deformację od strony spodniej. Skład chemiczny jest całkowicie

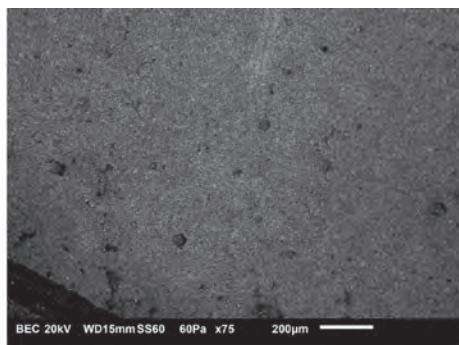


Fig. 11. External surface of the coating removed from the mast (SEM image)

Rys. 11. Powierzchnia zewnętrzna powłoki zdjętej z masztu (zdjęcie SEM)

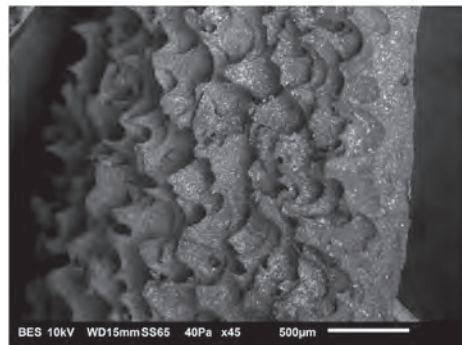


Fig. 12. Inner surface of a deformed coating removed from the mast (SEM image)

Rys. 12. Wewnętrzna powierzchnia zdeformowanej powłoki zdjętej z masztu (zdjęcie SEM)

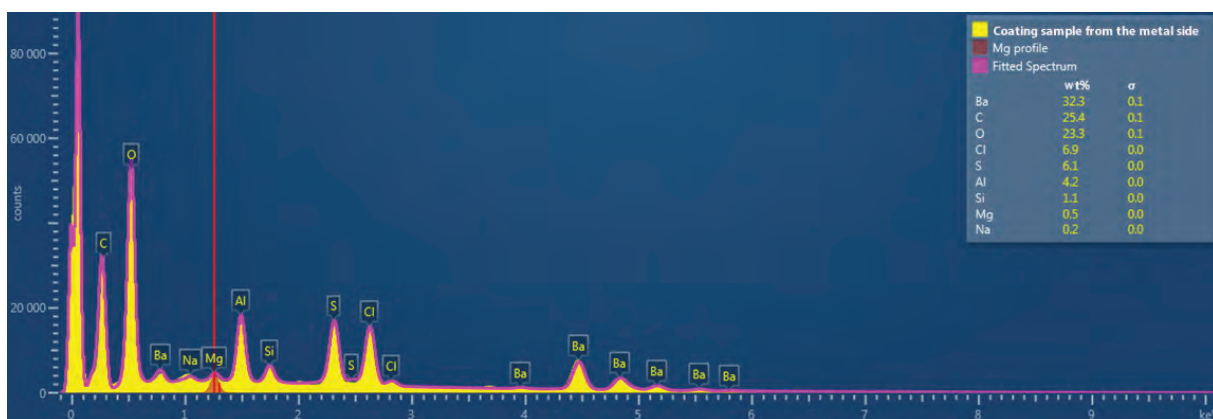


Fig. 13. Chemical analysis of a coating removed from the mast (metal side)

Rys. 13. Analiza chemiczna powłoki zdjętej z masztu (od strony metalu)

low amount of carbon. Instead, the coatings are characterised by a very high content of barium and sulphur, i.e. the filler components present in the original coating.

## 5. Discussion

Based on the site visit and the results of the field tests, it can be concluded that corrosion protection coatings were applied to the masts at a thickness greater than the specified thickness. In service, these coatings deteriorated within three years of application (no information is available as to when the first deterioration was observed and whether it increased). The adhesion of the coatings to the substrate was poor in visually undamaged areas (grade 3–4) and very low around damaged areas (grade 5). The coatings were very hard and brittle, which is quite unusual for polyvinyl coatings operated for three years in an atmospheric environment with an aggressiveness not higher than C5 according to EN ISO 12944-2. Dark spots were observed on most surfaces. Local clusters of cracks were visible throughout, around which the coatings had already partially delaminated. Underneath the delaminated coatings, a grey powder was noted loosely bonded to the substrate.

Low-voltage testing revealed coating discontinuities on every visually undamaged surface examined.

Tests in the vicinity of the damage, performed under a field microscope, revealed very severe deformation of the paint coatings and melting of the zinc coating. This was confirmed in the examination of samples taken from the rods viewed under a scanning microscope. Analysis of their composition revealed a very low

nietypowy dla powłok organicznych ze względu na bardzo małą ilość węgla. Powłoki charakteryzują się za to bardzo wysoką zawartością baru i siarki, czyli składników wypełniaczy obecnych w pierwotnej powłoce.

## 5. Omówienie wyników

Na podstawie wizji lokalnej i wyników badań polowych można stwierdzić, że na maszty nałożono powłoki antykorozyjne o większej grubości niż grubość specyfikowana. W trakcie eksploatacji powłoki te ulegały zniszczeniu w okresie trzech lat od nałożenia (nie są dostępne informacje, kiedy zaobserwowano pierwsze zniszczenia i czy się powiększały). Przyczepność powłok do podłoża była słaba w miejscach wizualnie niezniszczonych (stopień 3–4) i bardzo niska wokół uszkodzonych miejsc (stopień 5). Powłoki były bardzo twarde i kruche, co jest zupełnie nietypowe dla powłok poliwinylowych eksploatowanych trzy lata w środowisku atmosferycznym o agresywności nie wyższej niż C5 według PN-EN ISO 12944-2. Na większości powierzchni zaobserwowano ciemne punkciki. Na całym obszarze były widoczne miejscowe skupiska spękań, wokół których powłoki uległy już częściowej delaminacji. Pod odspojonymi powłokami zauważono luźno związany z podłożem szary proszek.

Badania niskonapięciowe wykazały nieszczelność powłok na każdej badanej wizualnie nieuszkodzonej powierzchni.

Badania w okolicach zniszczeń, wykonane pod mikroskopem polowym, uwiarydlały bardzo silną deformację powłok malarskich oraz nadtopienia powłoki cynkowej. Potwierdzono to w badaniach pobranych z masztów próbek oglądanych pod mikroskopem ska-

content of organic compounds and a high content of inorganic compounds, which is very unusual for the polyvinyl coatings that were applied on the mast. The coating should mostly contain an organic binder and a certain amount of fillers dispersed in it.

The same phenomenon can be observed by comparing the spectra obtained by infrared spectroscopy. The spectrum of the coatings removed from the mast, when compared with the spectrum of the polyvinyl paint, shows only a 46% concordance, i.e. it represents a spectrum of a completely different coating. Only traces of organic binder are present, while the majority constitute inorganic compounds (mainly barium sulphate), which are typical fillers in organic coatings.

## 6. Conclusion

The polyvinyl coatings applied to the masts and operated at the station for three years had degraded in a manner which was wholly unusual for this type of coating under such corrosive exposures. Numerous cracks occurred not normally found on flexible polyvinyl coatings operated at low corrosive exposures in such a short period of time, and the organic coating became very deformed and its composition altered. The amount of organic binder was significantly reduced.

The hot-dip zinc coatings were also deformed. The resulting damage is not the result of the typical atmospheric corrosion exposures occurring at the station – located in an environment that would most likely be classified as C3 according to EN ISO 12944.

As no other cause for the observed degradation of the corrosion protection coatings can be identified, it must be assumed that high temperature is the culprit.

An assessment of the grounding was not included in the scope of the study, but it appears that lightning discharge accompanied by grounding defects may be the cause of the coating degradation that occurred.

ningowym. Z analizy ich składu wynika, że charakteryzuje je bardzo niska zawartość związków organicznych i wysoka zawartość związków nieorganicznych, co jest bardzo nietypowe dla powłok poliwinylowych, które zostały nałożone na maszt. Powłoka powinna w większości zawierać spoiwo organiczne i pewną ilość rozproszonych w nim wypełniaczy.

To samo zjawisko można zaobserwować, porównując widma otrzymane metodą spektroskopii w podczerwieni. Widmo powłok zdjętych z masztu porównane z widmem farby poliwinylowej wykazuje tylko 46% zgodności, czyli jest to widmo całkowicie innej powłoki. Są w nim jedynie ślady spoiwa organicznego, a większość stanowią związki nieorganiczne (głównie siarczan baru), które są typowymi wypełniaczami w farbach organicznych.

## 6. Wnioski

Poliwinylowe powłoki malarskie naniesione na maszty i eksploatowane na stacji przez trzy lata uległy degradacji całkowicie nietypowej w wypadku tego typu powłok w warunkach takich narażeń korozyjnych. Nastąpiły liczne pęknięcia, niewystępujące normalnie na elastycznych powłokach poliwinylowych eksploatowanych przy niskich narażeniach korozyjnych w tak krótkim czasie, a powłoka organiczna uległa bardzo dużej deformacji i jej skład uległ zmianie. Znacznie zmniejszyła się ilość spoiwa organicznego.

Deformacji uległy również ogniowe powłoki cynkowe. Powstałe zniszczenia nie są efektem oddziaływania typowych w korozji atmosferycznej narażeń korozyjnych występujących na stacji – zlokalizowanej w środowisku, które według normy PN-EN ISO 12944 najprawdopodobniej zostałoby sklasyfikowane jako C3.

Jako że nie można wskazać innej przyczyny stwierdzonej degradacji powłok antykorozyjnych, należy założyć, że jest nią wysoka temperatura.

W zakres badań nie wchodziła ocena uziemienia, ale wydaje się, że wyładowania burzowe przy wadach uziemienia mogą być przyczyną zaistniałych zniszczeń powłok.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] T. da Silva Lopes, T. Lopes, D. Martins, C. Carneiro, J. Machado, A. Mendes. 2020. "Accelerated Aging of Anticorrosive Coatings: Two-Stage Approach to the AC/DC/AC Electrochemical Method." *Progress in Organic Coatings* 138: 105365. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2019.105365.
- [2] K. N. Allahar, G. P. Bierwagen, V. Johnston Gelling. 2010. "Understanding AC-DC-AC Accelerated Test Results." *Corrosion Science* 52(4): 1106–1114. DOI: 10.1016/j.corsci.2009.12.001.
- [3] Bo Tao, Li Cheng, Jiuyi Wang, Xinlong Zhang, Ruijin Liao. 2022. "A Review on Mechanism and Application of Functional Coatings for Overhead Transmission Lines." *Frontiers in Materials* 9: 995290. DOI: 10.3389/fmats.2022.995290.
- [4] Hao Liu, Fei Lu, Peijie Liu, Manping Luo. 2020. "Design of Anti-Rust Scheme of Transmission Tower Based on the Distribution Characteristics of Rust Factor." IEEE 1st China International Youth Conference on Electrical Engineering (CIYCEE). Wuhan, China. DOI: 10.1109/CIYCEE49808.2020.9332743.
- [5] Working Group B2.44. 2015. *Coatings for Protecting Overhead Power Network Equipment in Winter Conditions*. Paris: CIGRÉ.
- [6] V. Nagda. *Corona Discharge in Power Transmission Lines*. [https://instrumentationtools.com/corona-discharge-in-power-transmission-lines/?utm\\_content=cmp=true](https://instrumentationtools.com/corona-discharge-in-power-transmission-lines/?utm_content=cmp=true) (access: 30.05.2023).
- [7] Fan Zhang, Pengfei Ju, Mengqiu Pan, Dawei Zhang, Yao Huang, Guoliang Li, Xiaogang Li. 2018. "Self-Healing Mechanisms in Smart Protective Coatings: A Review." *Corrosion Science* 144: 74–88. DOI: 10.1016/j.corsci.2018.08.005.
- [8] P. A. Sørensen, S. Kiil, K. Dam-Johansen, C. E. Weinell. 2009. "Anticorrosive Coatings: A Review." *Journal of Coatings Technology and Research* 6(2): 135–176. DOI: 10.1007/s11998-008-9144-2.
- [9] R. B. Seymour, H. F. Mark (eds.). 1990. *Organic Coatings: Their Origin and Development: Proceedings of the International Symposium on the History of Organic Coatings, Held September 11–15, 1989, in Miami Beach, Florida, USA*. New York: Elsevier.
- [10] S. B. Ulaeto, R. P. Ravi, I. I. Udoh, G. M. Mathew, T. P. D. Rajan. 2023. "Polymer-Based Coating for Steel Protection, Highlighting Metal-Organic Framework as Functional Actives: A Review." *Corrosion and Materials Degradation* 4(2): 284–316. DOI: 10.3390/cmd4020015.
- [11] S. B. Lyon, R. V. Bingham, D. J. Mills. 2017. "Advances in Corrosion Protection by Organic Coatings: What We Know and What We Would Like to Know." *Progress in Organic Coatings* 102: 2–7. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2016.04.030.