

IZABELA KUNCE

ORCID: 0000-0002-1578-4771

Road and Bridge Research Institute (IBDiM), ul. Instytutowa 1, 03-302 Warsaw

DOI: 10.15199/40.2023.3.2

Powder coatings in anti-corrosion applications of steel structures – an attempt to adapt the requirements to the scheme of the PN-EN ISO 12944 standard

Zastosowania antykorozyjne powłok proszkowych w konstrukcjach stalowych – próba dostosowania wymagań do schematu normy PN-EN ISO 12944

The article summarises the information available in the standards for powder coatings in anti-corrosion applications and relates it to the various parts of the PN-EN ISO 12944 standard series. The scope of the PN-EN ISO 12944 series of standards applies to paint systems for the corrosion protection of steel structures, whose components consist of unalloyed or low-alloyed steel with thicknesses of not less than 3 mm. These standards provide a guide to all steps in the realisation of corrosion protection with liquid paints, but can also be a valuable source of information when using powder coatings in corrosion protection applications.

Keywords: powder coatings, corrosion, paint coatings, surface preparation, corrosion protection specification, aging tests, duplex systems

1. Introduction

Powder coatings are increasingly used as corrosion protection not only for consumer goods, but also for construction products and steel structures of small dimensions. Protection of steel structures against corrosion by protective paint systems is the subject of the PN-EN ISO 12944 series of standards [1–9], which apply only to paint products that dry or cure at ambient temperature. These standards do not apply to powder coating materials, thermosetting paints, heat-resistant enamels or coatings applied to the interior surfaces of tanks. However, they are an excellent source of information for designers, contractors and anti-corrosion inspectors, as they cover the various stages of the corrosion protection development process: from the design of the structure and the specification of the corrosion protection system, through the selection of the surface preparation method, the paint or metallisation-paint system, to verification of such systems' properties under laboratory conditions.

W artykule podsumowano informacje dostępne w normach dotyczących powłok proszkowych w zastosowaniach antykorozyjnych i odniesiono je do poszczególnych części serii norm PN-EN ISO 12944. Ich przedmiotem są systemy malarskie do ochrony antykorozyjnej konstrukcji stalowych, których elementy są wykonane ze stali niestopowej lub niskostopowej o grubości nie mniejszej niż 3 mm. Normy te opisują wszystkie etapy realizacji zabezpieczeń antykorozyjnych z wykorzystaniem farb ciekłych, ale mogą również stanowić cenne źródło informacji w wypadku wykorzystania farb proszkowych w zastosowaniach antykorozyjnych.

Słowa kluczowe: powłoki proszkowe, korozja, powłoki malarskie, przygotowanie powierzchni, specyfikacja zabezpieczeń antykorozyjnych, badania starzeniowe, systemy duplex

1. Wprowadzenie

Powłoki proszkowe coraz częściej stanowią zabezpieczenie antykorozyjne nie tylko przedmiotów użytkowych, lecz również wyrobów do celów konstrukcyjnych i konstrukcji stalowych o niewielkich gabarytach. Ochrona konstrukcji stalowych przed korozją za pomocą ochronnych systemów malarskich jest przedmiotem serii norm PN-EN ISO 12944 [1–9], które dotyczą wyłącznie wyrobów lakierowych schnących lub utwardzających się w temperaturze otoczenia. Normy te nie mają zastosowania w wypadku proszkowych materiałów powłokowych, farb termoutwardzalnych, emalii żaroodpornych ani powłok stosowanych na wewnętrzne powierzchnie zbiorników. Są jednak doskonałym źródłem informacji dla projektantów, wykonawców i inspektorów ds. antykorozyjnej, ponieważ uwzględniono w nich różne etapy procesu tworzenia zabezpieczeń antykorozyjnych: od projektu konstrukcji i specyfikacji zabezpieczenia antykorozyjnego przez wybór sposobu przygotowania powierzchni, systemu

Izabela Kunce, Msc Eng., is a graduate of the Materials Engineering Institute at the Faculty of New Technologies and Chemistry of the Military University of Technology in Warsaw. Since 2019, she has worked for the Road and Bridge Research Institute at the Laboratory of Corrosion Protection. She is Deputy President of the Powder Coatings Committee of the Polish Corrosion Association.

Mgr inż. Izabela Kunce jest absolwentką inżynierii materiałowej na Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Od 2019 roku pracuje w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów w Pracowni Zabezpieczeń Antykorozyjnych. Zastępczyni Przewodniczącej Komisji ds. Farb Proszkowych Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego.

E-mail: ikunce@ibdim.edu.pl

■ Otrzymano / Received: 5.11.2022. Przyjęto / Accepted: 5.12.2022

Professionals involved in the paint and powder coating sector very often rely on the information contained in the PN-EN ISO 12944 series of standards due to their universal nature. However, there is no guide on powder coatings in typically anti-corrosive applications (e.g., on small road infrastructure objects) similar to this series of standards. The information available in European standards is scattered and incomplete. In addition, many of the standards and technical requirements available on the European market for powder coatings, both on steel and aluminium substrates, address the requirements for architectural products, for which very strict quality criteria have been created. The priority for such products is not only adequate durability of the paint coating, but also the longest possible retention of its high aesthetic qualities, such as gloss and colour [10, 11].

The article presents the various parts of the standard PN-EN ISO 12944: Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems, complemented with information on powder coatings available in European standards. The analysis applies to steel components with a wall thickness of more than 3 mm. The standards analysed include:

- PN-EN 13438: Paints and varnishes – Powder organic coatings for hot dip galvanised or sherardised steel products for construction purposes [12],
- PN-EN 15773: Industrial application of powder organic coatings to hot dip galvanized or sherardized steel articles (duplex systems) – Specifications, recommendations and guidelines [13],
- DIN 55633-1: Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by powder coating systems – Part 1: Assessment of powder coating systems and execution of coating [14].

As an IBDiM inspector of corrosion protection for steel structures, I often encounter the problem of a lack of correct specifications for corrosion protection, and design or execution flaws in powder coatings. The aim of this article is to systematise information on powder coatings in anti-corrosion applications and to present in an illustrative manner the content of the PN-EN ISO 12944 series of standards, which constitutes a compendium of knowledge for designers and inspectors of corrosion protection systems for steel structures.

2. Analysis of the PN-EN ISO 12944 standard series

2.1. Part 1: General introduction

The purpose of using paint coatings on steel structures is the same whether liquid or powder coatings are used – it is to provide effective protection against corrosion. The first part of the PN-EN ISO 12944 series of standards [1] summarises their scope and provides basic definitions. In this part of the standard, the terms: *coating*, *corrosion*, *corrosion damage*, *corrosion exposure*, *durability*, *protective coating/paint system*, *substrate*, *spot repair*, *partial/complete restoration*, *test surface* are the same for both coating systems based on powder coatings and liquid paints. Only the definition of paint, which can form a coating (cross-link) not only by drying as defined in PN-EN ISO 12944-1 [1], is extended or clarified. According to the definition in PN-EN 13438 [12], paint is “a solvent-free coating material in powder form, which when melted and possibly cured produces a continuous coating”, while DIN 55633-1 [14] defines paint as “an organic powder product, which, when applied to a substrate, forms a layer with protective, decorative and/or other special properties”, a definition taken directly from PN-EN ISO 4618 [15], with only the phrase “product in liquid, paste or powder form” changed.

malarskiego lub metalizacyjno-malarskiego po weryfikację właściwości tych systemów w warunkach laboratoryjnych.

Specjaliści związani z sektorem farb i powłok proszkowych bardzo często opierają się na informacjach zawartych w serii norm PN-EN ISO 12944 z uwagi na ich uniwersalny charakter. Na temat powłok proszkowych w zastosowaniach typowo antykorozyjnych (np. na małych obiektach infrastruktury drogowej) nie powstał przewodnik na wzór tej serii norm. Informacje dostępne w normach europejskich są rozproszone i niepełne. Wiele dostępnych na rynku europejskim norm i wymagań technicznych związanych z powłokami proszkowymi, zarówno na podłożach stalowych, jak i aluminiowych, dotyczy ponadto wymogów stawianych wyrobom architektonicznym, dla których stworzono bardzo restrykcyjne kryteria jakości. Priorytetem w wypadku tego typu wyrobów jest nie tylko odpowiednia trwałość powłoki malarskiej, lecz również jak najdłuższe zachowanie jej wysokich walorów estetycznych, takich jak połysk i barwa [10, 11].

W artykule przedstawiono poszczególne części normy PN-EN ISO 12944: Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich, uzupełnione informacjami na temat powłok proszkowych dostępnymi w normach europejskich. Analiza dotyczy elementów stalowych o grubości ścianki powyżej 3 mm. Normy, które poddano analizie, to:

- PN-EN 13438: Farby i lakiery – Organiczne powłoki z farb proszkowych do ocynkowanych zanurzeniowo lub szerdardyzowanych wyrobów stalowych do celów konstrukcyjnych [12],
- PN-EN 15773: Przemysłowe nakładanie organicznych farb proszkowych na wyroby ze stali ocynkowanej zanurzeniowo lub szerdardyzowanej (systemy duplex) – Specyfikacje, zalecenia i wskazówki [13],
- DIN 55633-1: Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by powder coating systems – Part 1: Assessment of powder coating systems and execution of coating [14].

Jako inspektorka zabezpieczeń antykorozyjnych konstrukcji stalowych IBDiM często spotykam się z problemem braku poprawnej specyfikacji zabezpieczeń antykorozyjnych oraz błędami projektowymi lub wykonawczymi powłok proszkowych. Celem artykułu jest usystematyzowanie informacji o powłokach proszkowych w zastosowaniach antykorozyjnych oraz przedstawienie w sposób poglądowy treści serii norm PN-EN ISO 12944, która stanowi compendium wiedzy dla projektantów i inspektorów zabezpieczeń antykorozyjnych konstrukcji stalowych.

2. Analiza serii norm PN-EN ISO 12944

2.1. Część 1: Ogólne wprowadzenie

Cel stosowania powłok malarskich na konstrukcjach stalowych jest taki sam niezależnie od tego, czy stosowane są farby ciekłe, czy proszkowe – jest nim zapewnienie skutecznej ochrony przed korozją. W pierwszej części serii norm PN-EN ISO 12944 [1] streszczono ich zakres oraz przedstawiono podstawowe definicje. Analizując zawarte w tej części normy objaśnienia terminów, takich jak: *powłoka*, *korozja*, *zniszczenie korozyjne*, *narażenie korozyjne*, *trwałość*, *ochronny system powłokowy/malarski*, *podłoże*, *naprawa punktowa*, *częściowa/całkowita renowacja*, *powierzchnia próbna*, można stwierdzić, że są one takie same w wypadku systemów malarskich bazujących na powłokach proszkowych i farbach ciekłych. Rozszerzeniu lub doprecyzowaniu podlega jedynie definicja farby, która może tworzyć powłokę (sieciować) nie tylko przez wysychanie, jak określono w normie PN-EN ISO 12944-1 [1]. Zgodnie z definicją sformułowaną w normie PN-EN 13438 [12] farba to „bezzrocznikowy materiał powłokowy w postaci proszku, który po stopieniu i ewentualnym utwardzeniu daje ciągliwą powłokę”, natomiast norma DIN 55633-1 [14] określa farbę jako „organiczny wyrób w postaci proszku, który po nałożeniu na podłoże tworzy warstwę posiadającą właściwości ochronne, dekoracyjne i/lub inne szczególne

This part of PN-EN ISO 12944 [1] also specifies the durability ranges of protective systems on steel substrates, which are also used with regard to coatings and powder systems:

- L – low (up to 7 years),
- M – medium (7–15 years),
- H – high (15–25 years),
- VH – very high (over 25 years).

The durability of corrosion protection is not a guarantee period, but a design parameter that can help the developer to design a renovation plan for the structure. It is a technical term. The guarantee period, on the other hand, is a legal term. In practice, since nearly all defects in corrosion protection become apparent in the first three years of a structure's lifespan, guarantee periods of 3 or 5 years are used [16]. According to the recommendations of the General Directorate for National Roads and Motorways in Poland [17] and the information contained in the standard recommended by the Minister responsible for transport, WRM-31: Design guidelines for corrosion protection of steel elements of road engineering structures [18], the first major repair of the corrosion protection system is necessary when approximately 10% of the surface of the paint coating is corroded to degree Ri3 according to PN-EN ISO 4628-3 [19]. Standard PN-EN ISO 12944-1 [1] for determining the durability of a corrosion protection system is explicitly referred to in standard DIN 55633-1 [14], which additionally notes that the parties may specify a durability requirement only for key areas of the structure.

2.2. Part 2: Classification of corrosive environments

Part 2 of PN-EN ISO 12944 [2] presents a classification of the environments in which steel structures are used in terms of atmospheric corrosivity. The corrosive exposures associated with a specific corrosivity category of the environment are a fundamental parameter for the selection of protective paint systems. By analogy to the method described in PN-EN ISO 9223 [20], the corrosivity categories of the atmosphere are determined on the basis of corrosion losses (mass in g/m^2 or thickness in μm) of steel or zinc after the first year of operation. The standard also provides environmental categories for structures immersed in water and operated in the ground, as well as information on specific corrosive factors that require a more restrictive approach to paint system selection.

The corrosivity categories according to PN-EN ISO 12944-2 [2] are presented below.

1. Corrosivity categories of the atmosphere:

- C1 – very low,
- C2 – low,
- C3 – medium,
- C4 – high,
- C5 – very high,
- CX – extreme.

2. Corrosivity categories for water and soil:

- Im1 – fresh water,
- Im2 – seawater or brackish water,
- Im3 – soil,
- Im4 – seawater or brackish water, constructions with additional cathodic protection.

The resistance of anticorrosive paint systems or metallic-paint systems to external influences is determined by taking into account the corrosivity category of the environment and the durability period under the given conditions, e.g. C4VH means a system capable of protecting steel structures against corrosion in a highly corrosive atmosphere (C4) for a period of at least 25 years (H).

właściwości”, co zaczerpnięto wprost z normy PN-EN ISO 4618 [15], zmieniono tylko zwrot „produkt w formie ciekłej, pasty lub proszku”.

W tej części normy PN-EN ISO 12944 [1] określono także przedziały czasowe trwałości systemów ochronnych na podłożach stalowych, które są stosowane również w odniesieniu do powłok i systemów proszkowych:

- L – krótki (do 7 lat),
- M – średni (7–15 lat),
- H – długi (15–25 lat),
- VH – bardzo długi (powyżej 25 lat).

Okres trwałości zabezpieczenia antykorozyjnego nie jest okresem gwarancji, lecz parametrem projektowym, który może ułatwić inwestorowi opracowanie planu renowacji konstrukcji. Jest terminem technicznym. Okres gwarancji jest natomiast terminem prawnym. W praktyce, z uwagi na to, że prawie wszystkie wady zabezpieczenia antykorozyjnego ujawniają się w pierwszych trzech latach eksploatacji konstrukcji, stosuje się 3- lub 5-letnie okresy gwarancji [16]. Zgodnie z zaleceniami GDDKiA [17] oraz informacjami zawartymi w standardzie rekomendowanym przez ministra właściwego ds. transportu, WRM-31: Wytyczne projektowania zabezpieczenia antykorozyjnego stalowych elementów drogowych obiektów inżynierskich [18], pierwsza poważna naprawa zabezpieczenia przed korozją jest konieczna, gdy ok. 10% powierzchni powłok malarskich jest skorodowane w stopniu Ri3 według PN-EN ISO 4628-3 [19]. Do normy PN-EN ISO 12944-1 [1] w zakresie określania trwałości systemu antykorozyjnego odwołuje się wprost standard DIN 55633-1 [14], w którym dodatkowo odnotowano, że strony mogą określić wymóg trwałości tylko odnośnie do kluczowych obszarów konstrukcji.

2.2. Część 2: Klasyfikacja środowisk korozyjnych

W drugiej części normy PN-EN ISO 12944 [2] przedstawiono klasyfikację środowisk, w których eksploatowane są konstrukcje stalowe, ze względu na korozyjność atmosfery. Narażenia korozyjne związane z określoną kategorią korozyjności środowiska stanowią zasadniczy parametr doboru ochronnych systemów malarskich. Analogicznie do sposobu opisanego w normie PN-EN ISO 9223 [20] kategorie korozyjności atmosfery określa się na podstawie ubytków korozyjnych (masy w g/m^2 lub grubości w μm) stali lub cynku po pierwszym roku eksploatacji. W normie przedstawiono również kategorie środowiska w wypadku konstrukcji zanurzonych w wodzie i eksploatowanych w gruncie oraz informacje o szczególnych czynnikach korozyjnych, wymagających bardziej restrykcyjnego podejścia do kwestii doboru systemu malarskiego.

Poniżej przedstawiono kategorie korozyjności środowiska zgodnie z PN-EN ISO 12944-2 [2].

1. Kategorie korozyjności atmosfery:

- C1 – bardzo mała,
- C2 – mała,
- C3 – średnia,
- C4 – duża,
- C5 – bardzo duża,
- CX – ekstremalna.

2. Kategorie korozyjności wody i gruntu:

- Im1 – woda słodka,
- Im2 – woda morska lub słonawa,
- Im3 – grunt,
- Im4 – woda morska lub słonawa, konstrukcje z dodatkową ochroną katodową.

Odporność antykorozyjnych systemów malarskich lub metaliczno-malarskich na działanie czynników zewnętrznych określa się, uwzględniając kategorię korozyjności środowiska oraz okres trwałości w danych warunkach, np. C4VH oznacza system zdolny do ochrony konstrukcji stalowych przed korozją w atmosferze o dużej korozyjności (C4) przez okres co najmniej 25 lat (H).

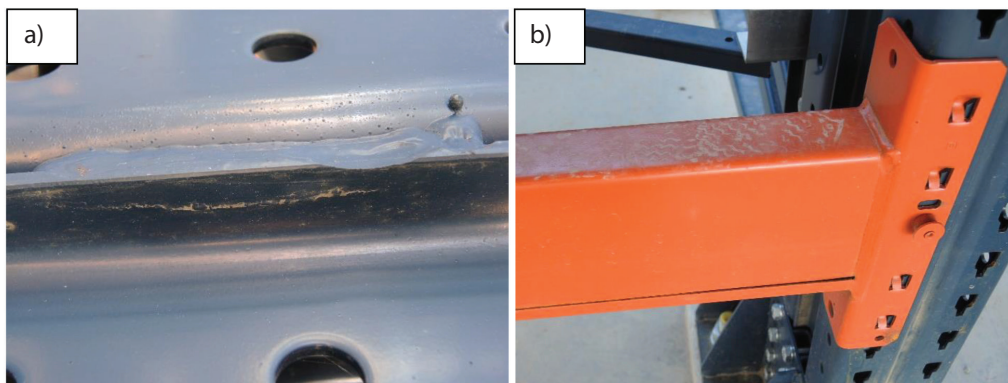


Fig. 1. Examples of construction design mistakes relating to requirements on joint preparation (a) and protection of gaps from moisture and dirt accumulation (b)

Rys. 1. Przykłady błędów projektowych konstrukcji: niewłaściwe przygotowanie spoin (a), niewłaściwa ochrona szczelin przed akumulacją wilgoci i zanieczyszczeń (b)

Powder coatings for the protection of steel products for construction purposes are subject to the same corrosion exposures as liquid paint coatings, and therefore PN-EN ISO 12944-2 [2] is also commonly used for powder coating systems in corrosion protection applications. This part of PN-EN ISO 12944 is explicitly referred to in DIN 55633-1 [14], but only with regard to the requirements for powder coatings meant for use in atmospheric corrosivity categories C1 to C5. The PN-EN 13438 [12] and PN-EN 15773 [13] standards for organic powder coatings on hot-dip galvanised or sherdised steel products do not differentiate the requirements for duplex systems by the corrosivity category of the atmosphere.

2.3. Part 3: Design principles

The third part of PN-EN ISO 12944 [3] provides general and yet universal recommendations for the design of steel structures to be coated with protective paint systems in order to avoid premature corrosion. The shape of a structure can affect its susceptibility to corrosion by increasing the degradation rate of protective paint coatings in so-called corrosion traps. Structures and components protected by a powder coating system, as far as protection against accelerated corrosion is concerned, are subject to the same design principles as all steel constructions, as included in DIN 55633-1 [14], which refers to PN-EN ISO 12944-3 [3]

The design of a steel structure should take into account both the individual stages of corrosion protection, such as surface preparation, painting and supervision of the paint work, and the subsequent maintenance or renovation of the corrosion protection system. The most important issues in terms of corrosion protection that should be considered in a properly designed structure include:

- good accessibility to all surfaces for correct pre-treatment, quality control and possible renovation work;
- sealing of gaps, overlapping joints;
- preventing or limiting the possibility of deposit formation or water retention;
- removing defects on welded surfaces, sharp edges, holes according to the designed surface preparation grade as per PN-EN ISO 8501-3 [21];
- creation of drainage holes from open box elements exposed to moisture, or encapsulation of closed box elements;
- prevention of galvanic corrosion.

Fig. 1 shows examples of corrosion protection design mistakes that include failing to consider joint preparation requirements and leaving the gap (facing upwards) unsealed.

Proszkowe powłoki malarskie zabezpieczające wyroby stalowe do celów konstrukcyjnych podlegają tym samym narażeniom korozyjnym co powłoki z farb ciekłych, dlatego norma PN-EN ISO 12944-2 [2] jest powszechnie stosowana także w wypadku proszkowych systemów malarskich w zastosowaniach antykorozyjnych. Do tej części normy PN-EN ISO 12944 wprost odwołuje się standard DIN 55633-1 [14], ale wyłącznie w zakresie wymagań stawianych powłokom proszkowym eksploatowanym w środowiskach o kategoriach korozyjności atmosfery od C1 do C5. W normach PN-EN 13438 [12] i PN-EN 15773 [13] dotyczących powłok organicznych z farb proszkowych na wyrobach stalowych ocynkowanych zanurzeniowo lub szerdardyzowanych nie zróżnicowano wymagań stawianych systemom duplex w zależności od kategorii korozyjności atmosfery.

2.3. Część 3: Zasady projektowania

W trzeciej części normy PN-EN ISO 12944 [3] przedstawiono ogólne i zarazem uniwersalne zalecenia dotyczące projektowania konstrukcji stalowych, które w celu uniknięcia przedwczesnej korozji mają być pokrywane ochronnymi systemami malarskimi. Kształt konstrukcji może wpływać na jej podatność na korozję przez zwiększoną szybkość degradacji malarskich powłok ochronnych w tzw. pułapkach korozyjnych. Konstrukcje i elementy zabezpieczone malarskim systemem proszkowym, jeśli chodzi o ochronę przed przyspieszoną korozją, podlegają takim samym zasadom projektowania jak wszystkie konstrukcje stalowe, co uwzględniono w normie DIN 55633-1 [14], która powołuje się na normę PN-EN ISO 12944-3 [3] w zakresie zasad projektowania konstrukcji.

Projekt konstrukcji stalowej powinien uwzględniać zarówno poszczególne etapy zabezpieczania przed korozją, takie jak przygotowanie powierzchni, malowanie i nadzór nad pracami malarskimi, jak i późniejsze prace konserwacyjne lub renowację zabezpieczeń antykorozyjnych. Najistotniejsze ze względu na ochronę przed korozją kwestie, które powinny zostać wzięte pod uwagę w poprawnie opracowanym projekcie konstrukcji, to:

- dobra dostępność do wszystkich powierzchni, umożliwiającą poprawną obróbkę wstępną, kontrolę jakości i ewentualne prace renowacyjne;
- uszczelnianie szczelin, połączeń na zakładkę;
- uniemożliwienie lub ograniczenie możliwości gromadzenia się osadu lub zatrzymywania wody;
- usunięcie wad powierzchni spawanych, ostrych krawędzi, otworów zgodnie z zaprojektowanym stopniem przygotowania powierzchni według PN-EN ISO 8501-3 [21];
- wykonanie otworów odpływowych z otwartych elementów skrzynkowych narażonych na wilgoć lub hermetyzacja zamkniętych elementów skrzynkowych;
- zapobieganie korozji galwanicznej.

Na rys. 1 przedstawiono przykłady błędów w projektach zabezpieczeń antykorozyjnych polegających na nieuwzględnieniu wymagań dotyczących przygotowania spoin oraz pozostawieniu szczeliny (skierowanej ku górze) bez uszczelnienia.

2.4. Part 4: Surface types and surface preparation methods

The fourth part of PN-EN ISO 12944 [4] addresses the preparation of different types of steel structure surfaces for painting: whether in the as-built condition, metallised (hot-dip galvanised, electro-galvanised, thermodyffused), factory primed, chemically treated or previously painted and refinished. The information contained in the document is general in nature, it does not specify acceptable requirements for the condition of the substrate prior to preparation, but only possible treatment methods.

The standard describes the use of chemical and mechanical surface preparation methods depending on the types of contamination and the initial condition of the substrate, the degrees of surface preparation in the case of primary preparation for pure steel, as well as partial preparation in which undamaged parts of organic or metallic coatings remain on the structure. Separate subsections of the standard are devoted to the preparation of hot-dip galvanised, electrolytically galvanised, thermodyffused and thermal spray metallised surfaces.

Methods of removing contaminants such as grease, oil, salts, mill scale, rust, zinc corrosion products and of removing paint coatings are presented in information Appendix C.

The information contained in PN-EN ISO 12944-4 [4] is universal and can be used in the processes of cleaning and preparing steel substrates prior to applying powder coatings; this standard is referred to in PN-EN 13438 [12] and PN-EN 15773 [13], as well as DIN 55633-1 [14].

PN-EN 13438 refers to hot-dip galvanised steel surfaces according to PN-EN ISO 10346 [22] or PN-EN ISO 1461 [23] and thermodyffused galvanised surfaces according to PN-EN ISO 17668 [24]. Three methods of pre-treatment prior to powder coating application are acceptable: chemical, mechanical and mechanical with subsequent chemical treatment. Before pre-treatment, surface defects, welds and edges must be removed and the substrate needs to be washed of surface contamination and dried, as described in PN-EN ISO 12944-4 [4]. Prior to powder coating application, a conversion coating may be applied by chromating, phosphating, immersion in baths containing silanes and zirconium compounds, or by other treatment techniques with proven effectiveness in achieving adequate corrosion resistance. Mechanical preparation of galvanised surfaces is carried out by sweep blast cleaning, not by blast cleaning. In the case of sweep blast cleaning, the aim is to remove oxidation products from the zinc and to roughen the surface, whereas the aim of blast cleaning is to remove impurities from the surface layer of steel substrates without zinc coatings and to give the surface a suitable roughness profile. PN-EN ISO 12944-4 [4] does not specify sweep blasting conditions. In contrast, PN-EN 13438 [12] makes recommendations for carrying out this process, indicating the required abrasive type (non-metallic) and operating pressure (up to 300 kPa). The important point is that the thickness of the zinc coating, irrespective of the application method, must comply with the value specified in the relevant reference document. A comparison of the surface morphology after zinc phosphating and abrasive blasting is shown in Fig. 2.

As far as the acceptable methods of surface pre-treatment are concerned, PN-EN 13438 [12] refers to PN-EN 15773 [13], in which the recommended parameters for mechanical pre-treatment of galvanised surfaces are presented. Mechanical preparation of the zinc coating should be carried out by sweeping with a non-metallic abrasive whose abrasive grain size is less than 0.5 mm (fine-grained). The recommended distance of the nozzle from the galvanised substrate is more than 60 cm while the optimal angle of the nozzle to the substrate is 50–70°. Unlike in standard PN-EN 13438, this document allows for a dip coating loss (in unit mode) of max. 10 µm. The specified operating parameters for

2.4. Część 4: Rodzaje powierzchni i sposoby przygotowania powierzchni

Czwarta część normy PN-EN ISO 12944 [4] odnosi się do sposobów przygotowywania różnych rodzajów powierzchni konstrukcji stalowych do malowania: zarówno w stanie fabrycznym, jak i poddanych metalizacji (ocynkowanych ogniowo, elektrolitycznie, termodyfuzyjnie), zagruntowanych fabrycznie, obrabianych chemicznie lub uprzednio pomalowanych i poddawanych renowacji. Informacje zawarte w dokumencie mają charakter ogólny, nie określono w nim dopuszczalnych wymagań dotyczących stanu podłoża przed przygotowaniem, a jedynie możliwe metody obróbki.

Norma opisuje zastosowanie chemicznych i mechanicznych metod przygotowania powierzchni w zależności od rodzajów zanieczyszczeń i wyjściowego stanu podłoża oraz stopnie przygotowania powierzchni w wypadku przygotowania pierwotnego do czystej stali, jak również przygotowania częściowego, uwzględniającego pozostawienie na konstrukcji niezniszczonych części powłok organicznych lub metalicznych. Odrębne podrozdziały normy poświęcono przygotowaniu powierzchni ocynkowanych zanurzeniowo, elektrolitycznie, termodyfuzyjnie i metalizowanych natryskiem cieplnym.

W załączniku informacyjnym C zostały przedstawione sposoby usuwania zanieczyszczeń, takich jak: smar, olej, sole, zgorzelina walcownicza, rdza, produkty korozji cynku, oraz usuwania powłok malarskich.

Informacje zawarte w normie PN-EN ISO 12944-4 [4] mają charakter uniwersalny i mogą być wykorzystywane w procesach czyszczenia i przygotowywania podłoża stalowych przed nanoszeniem powłok proszkowych; do tej normy odwołują się zarówno normy PN-EN 13438 [12] oraz PN-EN 15773 [13], jak i DIN 55633-1 [14].

Norma PN-EN 13438 odnosi się do powierzchni stalowych ocynkowanych zanurzeniowo według PN-EN ISO 10346 [22] lub PN-EN ISO 1461 [23] i cynkowanych termodyfuzyjnie według PN-EN ISO 17668 [24]. Dopuszcza się trzy sposoby obróbki wstępnej przed malowaniem proszkowym: chemiczny, mechaniczny oraz mechaniczny z późniejszą obróbką chemiczną. Przed obróbką wstępną należy usunąć wady powierzchni, spoin i krawędzi, a następnie podłoże myje się z zanieczyszczeń powierzchniowych i osusza, co opisano w normie PN-EN ISO 12944-4 [4]. Przed malowaniem proszkowym można zastosować powłokę konwersyjną, nanoszoną w procesach chromianowania, fosforanowania, kąpieli zawierających silany i związki cyrkonu, lub inny rodzaj obróbki z potwierdzoną skutecznością w zakresie uzyskania odpowiedniej odporności korozyjnej. Mechaniczne przygotowanie powierzchni ocynkowanych odbywa się na drodze omiatania ściernego (*sweep blast cleaning*), nie przez czyszczenie strumieniowo-ściernie (*blast cleaning*). W wypadku omiatania ścierniwiem celem jest usunięcie produktów utleniania cynku i uszorstnienie powierzchni, podczas gdy celem czyszczenia strumieniowo-ściernego jest usunięcie zanieczyszczeń warstwy wierzchniej podłoża stalowych bez powłok cynkowych oraz nadanie powierzchni odpowiedniego profilu chropowatości. Norma PN-EN ISO 12944-4 [4] nie precyzuje warunków omiatania ścierniwiem. W normie PN-EN 13438 [12] sformułowano natomiast zalecenia odnośnie do prowadzenia tego procesu, wskazując wymagany typ ścierniwa (niemetaliczne) i ciśnienie robocze (do 300 kPa). Istotne jest to, że grubość powłoki cynkowej, niezależnie od metody nanoszenia, musi być zgodna z wartością specyfikowaną w odpowiednim dokumencie odniesienia. Porównanie morfologii powierzchni po procesie fosforanowania cynkowego i omiatania ścierniwiem przedstawiono na rys. 2.

W zakresie dopuszczalnych sposobów wstępnego przygotowania powierzchni norma PN-EN 13438 [12] odwołuje się do normy PN-EN 15773 [13], w której przedstawiono zalecane parametry wstępnej mechanicznej obróbki powierzchni ocynkowanych. Mechaniczne przygotowanie powłoki cynkowej powinno odbywać się przez omiatanie ścierniwiem niemetalicznym o wielkości ziaren ściernych poniżej 0,5 mm (drobnoziarnistym). Zalecana odległość dyszy od

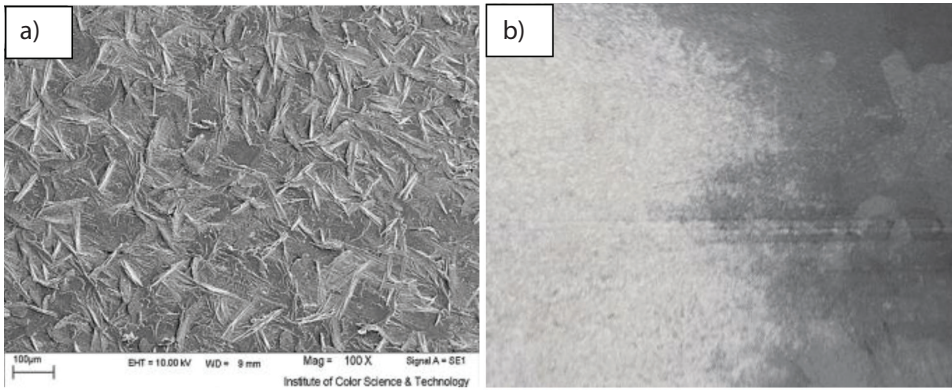


Fig. 2. Morphology of zinc phosphate conversion coating on steel (a) and appearance of hot-dip galvanized coating after non-metallic abrasive sweeping (b)

Source: [25, p. 176; 26].

Rys. 2. Morfologia powłoki konwersyjnej z fosforanu cynku na stali (a) oraz wygląd cynkowej powłoki zanurzeniowej po omytaniu ścierniwem niemetalicznym (b)

Źródło: [25, s. 176; 26].

mechanical pre-treatment (air pressure, nozzle distance) can be used as a starting point for tests, in which the appropriate process parameters are selected in each case.

DIN 55633-1 [14] describes the methods of surface preparation prior to powder coating application, both for steel and steel hot-dip galvanized substrates in unit mode [23]. Non-alloy and low-alloy steels are prepared according to PN-EN ISO 12944-4 [4] to grade Sa 2½ according to PN-EN ISO 8501-1 [27] and/or chemically. Surface preparation processes should be carried out in accordance with PN-EN 1090-2 [28]. The surface roughness after blasting, which should optimally be carried out with a sharp-edged abrasive (grit – G), should be $Rz \approx 40 \mu\text{m}$. According to DIN 55633-1 [14], the removal of surface contaminants such as dust, hydrophobic impurities and salts is required before abrasive blasting or chemical treatment of galvanized steels. Sweep blasting with non-metallic fine-grained abrasive (0.25–0.5 mm) is carried out at an angle of less than 30° relative to the normal to the work surface, and the operating pressure should be between 250–300 kPa. The standard does not specify chemical pre-treatment of surfaces.

2.5. Part 5: Protective paint systems

PN-EN ISO 12944-5 [5] lists the types of paint and paint systems commonly used to protect steel structures against corrosion, and describes examples of paint systems according to their durability and corrosive environment (except for CX and Im4 categories) depending on the type of surface. Paint systems used for protecting new structures and those undergoing complete or partial renovation are also specified. The standard also provides a classification of paint systems depending on the resin and type of primer used.

With regard to powder coatings, DIN 55633-1 [14] distinguishes groups of products depending on the type of film-forming substances used:

- EP – epoxy coatings,
- EP/SP – epoxy-polyester coatings,
- SP – polyester coatings,
- PUR – polyurethane coatings,
- PVDF – polyvinylidene fluoride-based coatings.

All except PVDF are based on thermosetting resins, which crosslink at 150–220°C. PVDF thermoplastic coatings are injection-moulded granular products, in which no chemical reactions take place during the formation of the coating, and the paint particles form a coating after reaching the melting point. The

ocynkowanego podłoża wynosi powyżej 60 cm, a optymalny kąt dyszy względem podłoża to $50\text{--}70^\circ$. Inaczej niż w normie PN-EN 13438, w tym dokumencie dopuszcza się ubytek cynkowej powłoki zanurzeniowej (w trybie jednostkowym) na poziomie max. 10 μm . Podane parametry robocze mechanicznej obróbki wstępnej (ciśnienie powietrza, odległość dyszy) mogą być punktem wyjścia do prowadzenia prób, w których każdorazowo dobiera się odpowiednie parametry procesu.

Norma DIN 55633-1 [14] opisuje sposoby przygotowywania powierzchni przed malowaniem proszkowym, zarówno podłoży stalowych, jak i stalowych ocynkowanych zanurzeniowo w trybie jednostkowym [23]. Stale niestopowe i niskostopowe są przygotowywane zgodnie z ISO 12944-4 [4] do stopnia Sa 2½ według PN-EN ISO 8501-1 [27] i/lub chemicznie. Procesy przygotowywania powierzchni powinny być prowadzone zgodnie z PN-EN 1090-2 [28]. Chropowatość powierzchni po obróbce strumieniowo-ściernej, którą optymalnie należy przeprowadzić z użyciem ścierniwa ostrokątnego (*grit* – G), powinna wynosić $Rz \approx 40 \mu\text{m}$. Zgodnie z normą DIN 55633-1 [14] przed omytaniem ścierniwem lub obróbką chemiczną stali ocynkowanych wymagane jest usunięcie zanieczyszczeń powierzchniowych, takich jak kurz, zanieczyszczenia hydrofobowe, sole. Omytanie niemetalicznym ścierniwem droбноziarnistym (0,25–0,5 mm) przebiega pod kątem poniżej 30° względem normalnej do powierzchni obrabianej, a ciśnienie robocze powinno się mieścić w przedziale 250–300 kPa. Norma nie precyzuje kwestii dotyczących chemicznych sposobów obróbki wstępnej powierzchni.

2.5. Część 5: Ochronne systemy malarskie

W normie PN-EN ISO 12944-5 [5] wyszczególniono rodzaje farb i systemów malarskich powszechnie stosowanych w celu ochrony konstrukcji stalowych przed korozją oraz opisano przykładowy dobór systemów malarskich z uwzględnieniem określonych okresów trwałości i środowisk korozyjnych (z wyjątkiem kategorii CX i Im4) w zależności od rodzaju powierzchni. Wyróżniono także systemy malarskie stosowane podczas zabezpieczania nowych konstrukcji i poddawanych całkowitej lub częściowej renowacji. W normie tej podano również klasyfikację systemów malarskich w zależności od zastosowanej żywicy i rodzaju gruntu.

W odniesieniu do powłok proszkowych w normie DIN 55633-1 [14] wyróżniono grupy wyrobów w zależności od typu zastosowanych substancji powłokotwórczych:

- EP – farby epoksydowe,
- EP/SP – farby epoksydowo-poliestrowe,
- SP – farby poliestrowe,
- PUR – farby poliuretanowe,
- PVDF – farby na bazie polifluorku winylidenu.

Wszystkie poza PVDF bazują na żywicach termoutwardzalnych, które sieciują w temperaturze 150–220°C. Farby termoplastyczne PVDF to wyroby w postaci formowanych wtryskowo granulatów,

advantages of this type of coating are high durability, ease of local repair and recyclability. The thermoplastic polymer group also includes, for example, PVC coatings and polyolefin-based coatings.

The choice of a powder coating or metallic-coating system, as well as the choice of surface pre-treatment, depends on the aggressiveness of the environment and the required durability. The process of applying powder coatings and the conditions for cross-linking or forming a coating should be in accordance with the manufacturer's instructions. At elevated temperatures, during the curing of powder coatings, hot-dip galvanised surfaces are susceptible to outgassing of the metallic coating, which can result in powder coating defects. To avoid them, the zinc coating can be subjected to annealing. It is also worth using coatings designed for galvanised steel, which contain a special additive in the form of a degasser.

The standards devoted to powder coatings on galvanised surfaces [12, 13] do not provide examples of protective system choices based on the corrosivity class of the environment nor the durability of corrosion protection systems.

DIN 55633-1 [14] provides a number of different coating systems that can be used in specific environmental corrosivity classes, and durability periods defined according to PN-EN ISO 12944-2 [2]. It lists example powder coating systems, and the use of other products in a given corrosivity category is possible if they successfully pass durability verification during laboratory aging and corrosion tests. Examples of powder coating systems for use on steel and hot-dip galvanised surfaces are shown in Tables 1 and 2.

Like liquid primers, primers in the form of powder coatings can also be pigmented with zinc, but DIN 55633-1 [14] does not distinguish between primer coatings based on whether they contain zinc pigments or not. Powder coatings are not used for corrosion protection of steel structures submerged in fresh or salt water, as defined by the environmental corrosivity categories: Im1, Im2 and Im4 according to PN-EN ISO 12944-2 [2]. High thickness epoxy powder coatings, capable of protecting structures for up to 25 years [29], can be used for protection against corrosion in soil (Im3 category).

2.6. Part 6: Laboratory methods for testing properties

PN-EN ISO 12944-6 [6] describes the methods and conditions of laboratory tests recommended for evaluating paint systems for the corrosion protection of carbon steel and hot-dip galvanised steel structures according to PN-EN ISO 1461 [23] or after thermal spray metallisation according to PN-EN ISO 2063-1-2 [30-31]. In this document, environments with corrosivity categories C2-C5 and Im1-Im3 are included, noting that artificial aging methods of coatings provide information on the durability of a coating or paint system (of a given thickness and resin type), but the test results should be treated with caution and as an aid to the selection of appropriate paint systems. Artificial aging of an anti-corrosion system does not always yield the same result as exposure under natural conditions [32]. It should also be borne in mind that the durability of the entire protective system depends on many external factors, such as structural design, surface preparation, coating application method, drying conditions, and not only on environmental considerations.

Depending on the corrosivity category of the atmosphere, the basic set of aging tests for protective paint systems involves determining:

- resistance to condensation (PN-EN ISO 6270-1 [33]),
- resistance to neutral salt spray (PN-EN ISO 9227 [34]),
- resistance to cyclic aging (PN-EN ISO 12944-9, Appendix B [9]).

w których podczas tworzenia się powłoki nie zachodzą reakcje chemiczne, a cząstki farby tworzą powłokę po osiągnięciu temperatury topnienia. Zaletą tego typu powłok jest wysoka trwałość, łatwość wykonywania miejscowych napraw i możliwość recyklingu. Do grupy polimerów termoplastycznych należą również np. powłoki PVC i powłoki na bazie poliolefin.

Wybór proszkowego systemu malarskiego lub metaliczno-malarskiego, jak również wybór sposobu obróbki wstępnej powierzchni zależy od agresywności środowiska i wymaganej trwałości. Proces nanoszenia farb proszkowych i warunki sieciowania lub wytwarzania powłoki powinny być zgodne z instrukcją producenta. W podwyższonej temperaturze, podczas utwardzania farb proszkowych, powierzchnie ocynkowane zanurzeniowo są narażone na efekt gazowania powłoki metalicznej, co może powodować powstawanie wad powłoki proszkowej. Aby ich uniknąć, powłokę cynkową można poddać wygrzewaniu. Warto również stosować farby przeznaczone do stali ocynkowanej, zawierające specjalny dodatek w postaci odgazowywacza.

W normach poświęconych powłokom proszkowym na powierzchniach ocynkowanych [12, 13] nie podano przykładowych systemów ochronnych w zależności od klas korozyjności środowiska i okresów trwałości zabezpieczeń antykorozyjnych.

W normie DIN 55633-1 [14] przedstawiono wiele przykładowych systemów malarskich możliwych do stosowania w wypadku określonych klas korozyjności środowiska i okresów trwałości zdefiniowanych według normy PN-EN ISO 12944-2 [2]. Zawiera ona listę przykładowych proszkowych systemów malarskich, a zastosowanie innych wyrobów w danej kategorii korozyjnej jest możliwe, jeśli pomyślnie przejdą one weryfikację trwałości podczas laboratoryjnych badań starzeniowych i korozyjnych. Przykładowe proszkowe systemy malarskie do stosowania na powierzchniach stalowych i ocynkowanych zanurzeniowo przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Tak jak grunty ciekłe, grunty w postaci powłok proszkowych również mogą być pigmentowane cynkiem, jednak norma DIN 55633-1 [14] nie uwzględnia rozróżnienia powłoki gruntującej ze względu na obecność pigmentów cynkowych. Powłoki proszkowe nie są stosowane do ochrony przed korozją konstrukcji stalowych eksploatowanych w zanurzeniu w wodzie słodkiej ani słonej, jak określono kategoriami korozyjności środowiska: Im1, Im2 i Im4 według PN-EN ISO 12944-2 [2]. Do ochrony przed korozją w gruncie (kategoria Im3) można stosować proszkowe powłoki epoksydowe o dużych grubościach, zdolne zabezpieczać konstrukcje nawet dłużej niż przez 25 lat [29].

2.6. Część 6: Laboratoryjne metody badań właściwości

W normie PN-EN ISO 12944-6 [6] opisano metody i warunki badań laboratoryjnych zalecanych do oceny systemów malarskich do ochrony przed korozją konstrukcji ze stali węglowej oraz stali ocynkowanej zanurzeniowo według PN-EN ISO 1461 [23] lub po metalizacji natryskiem cieplnym według PN-EN ISO 2063-1-2 [30-31]. W tym dokumencie uwzględniono środowiska o kategorii korozyjności C2-C5 oraz Im1-Im3 z zaznaczeniem, że metody sztucznego starzenia powłok dają informację o trwałości powłoki lub systemu malarskiego (o danej grubości i rodzaju żywicy), ale wyniki badań powinny być traktowane z ostrożnością i jako pomoc w doborze odpowiednich systemów malarskich. Sztuczne starzenie systemu antykorozyjnego nie zawsze daje taki sam wynik jak ekspozycja w warunkach naturalnych [32]. Należy również mieć na uwadze to, że trwałość całego zabezpieczenia zależy od wielu czynników zewnętrznych, nie tylko środowiskowych, np. projektu konstrukcji, przygotowania powierzchni, sposobu nakładania powłok, warunków suszenia itp.

W zależności od kategorii korozyjności atmosfery do podstawowego zestawu badań starzeniowych malarskich systemów ochronnych należy określenie:

- odporności na kondensację pary wodnej (PN-EN ISO 6270-1 [33]),
- odporności na obojętną solankę (PN-EN ISO 9227 [34]),

Table 1. Examples of powder coating systems used in corrosion protection on steel substrates according to DIN 55633-1

Tabela 1. Przykłady proszkowych systemów malarskich stosowanych w zabezpieczeniach antykorozyjnych na podłożach stalowych według DIN 55633-1

No. / Nr ¹	Surface preparation/ Przygotowanie powierzchni	Powder primer coating/ Powłoka gruntująca proszkowa			Powder top coat/ Powłoka nawierzchnio- wa proszkowa			Powder coating system/ System malarski proszkowy		System durability depending on atmospheric corrosiv- ity according to PN-EN ISO 12944-1-2/ Okres trwałości systemu w zależności od korozyjności atmosfery według PN-EN ISO 12944-1-2																					
		resin type/ typ żywicy	num- ber of layers/ liczba warstw	NDFT [μm]	resin type/ typ żywicy	num- ber of layers/ liczba warstw	NDFT [μm]	number of coat- ings/ liczba powłok	total nominal thickness [μm]/ całkowita grubość nominalna [μm]	C2				C3				C4				C5									
										L	M	H	VH	L	M	H	VH	L	M	H	VH	L	M	H							
A1.1 / A1.4	Sa 2 1/2	-	-	-	SP, PUR,	1	80	1	80																						
A1.2 / A1.5	AP ²	-	-	-	PVDF, EP/SP ³	1	80	1	80																						
A1.3 / A1.6	ZnP	-	-	-		1	80	1	80																						
A1.7	Sa 2 1/2	EP	1	80	SP ⁴ , PUR ⁴ ,	1	70	2	150																						
A1.8	AP ²		1	80	PVDF ⁴ ,	1	70	2	150																						
A1.8	ZnP		1	80	EP/SP ³	1	70	2	150																						

¹ For details, see DIN 55633-1/Szczegółowe informacje znajdują się w normie DIN 55633-1.

² Alternative methods of surface preparation and pre-treatment are acceptable. The suitability of the method should be confirmed by verification of the protective properties of the system in a given corrosive environment/Dopuszczalne są alternatywne metody przygotowania powierzchni i obróbki wstępnej. Przydatność metody należy potwierdzić weryfikacją właściwości ochronnych systemu w danym środowisku korozyjnym.

³ EP and EP/SP resins do not meet the requirements for UV resistance under natural conditions/Żywice EP i EP/SP nie spełniają wymagań dotyczących odporności na promieniowanie UV w warunkach naturalnych.

⁴ In two-coat systems, UV radiation can damage the epoxy primer coating by penetrating the topcoat. This can lead to loss of adhesion between coatings. Make sure that the topcoat used is sufficiently resistant to UV penetration/W systemach dwupowłokowych promieniowanie UV może uszkodzić epoksydową powłokę gruntującą, przenikając przez powłokę nawierzchniową. Może to prowadzić do utraty przyczepności pomiędzy powłokami. Należy się upewnić, że zastosowana powłoka nawierzchniowa jest wystarczająco odporna na przenikanie promieniowania UV.

Explanations: Cr – chromating, S – sweep blasting, Sa – abrasive blasting, ZnP – zinc phosphating, AP – other passivation methods, EP – epoxy-polyester coatings, EP/SP – epoxy-polyester (hybrid) coatings, SP – polyester coatings, PVDF – polyvinylidene fluoride-based thermoplastic coating, PUR – polyurethane coating.

Objaśnienia: Cr – chromianowanie, S – omiotanie ścierniwem, Sa – obróbka strumieniowo-ścierna, ZnP – fosforanowanie cynkowe, AP – inne metody pasywacji, EP – farby epoksydowe, EP/SP – farby epoksydowo-poliestrowe (hybrydowe), SP – farby poliestrowe, PVDF – farba termoplastyczna na bazie polifluorku winylidenu, PUR – farba poliuretanowa.

Source: [14, p. 26].

Źródło: [14, s. 26].

In the Im1–Im3 immersion categories, resistance to water (PN-EN ISO 2812-2 [35]) and resistance to condensation (Im1) or neutral salt spray (Im2–Im3) are determined. Depending on the requirements for the protective system, the set of tests can be expanded to include tests of mechanical properties, chemical resistance, etc.

After aging tests, the adhesion of the paint coating, coating damage such as blistering, rusting, cracking and peeling (according to PN-EN ISO 4628-2-5 [36–39]) and corrosion around a scribe (PN-EN ISO 4628-8 [40]) are determined.

PN-EN 13438 [12], which is concerned with organic powder coatings for hot-dip galvanised or sherardised steel products for structural purposes, presents a set of tests to which powder coatings are subjected. In order to ensure the high quality of powder coatings, in addition to determining their basic characteristics (adhesion, colour, gloss) and mechanical properties, the corrosion resistance of duplex systems is verified by performing the following aging tests:

– resistance to aging in natural conditions, according to PN-EN ISO 2810 [41], or in artificial conditions, according to PN-EN ISO 16474-2 [42] (the PN-EN 13438 standard refers to testing by exposure to xenon arc lamp radiation according to PN-EN ISO 11341, which has been withdrawn and replaced by standards PN-EN ISO 16474-1–2);

– odporności na cykliczne badanie starzeniowe (PN-EN ISO 12944-9, załącznik B [9]).

W kategoriach zanurzenia Im1–Im3 określa się odporność na działanie wody (PN-EN ISO 2812-2 [35]) oraz odporność na kondensację pary wodnej (Im1) lub na obojętną solankę (Im2–Im3). W zależności od wymagań stawianych systemowi ochronnemu zestaw badań można rozszerzyć o badania właściwości mechanicznych, odporności chemicznej itp.

Po badaniach starzeniowych określa się przyczepność powłoki malarskiej, zniszczenia powłoki, takie jak spęcherzenie, zardzewienie, spękanie i złuszczenie (zgodnie z PN-EN ISO 4628-2-5 [36–39]) oraz skorodowanie w rysie (PN-EN ISO 4628-8 [40]).

W normie PN-EN 13438 [12], poświęconej proszkowym powłokom organicznym dla wyrobów stalowych cynkowanych ogniwem lub szerdardyzowanych do celów konstrukcyjnych, przedstawiono zestaw badań, którym poddawane są proszkowe powłoki malarskie. W celu zapewnienia wysokiej jakości powłok proszkowych poza określeniem ich cech podstawowych (przyczepności, barwy, połysku) i właściwości mechanicznych weryfikuje się odporność korozyjną systemów duplex, wykonując następujące badania starzeniowe:

– odporności na starzenie w warunkach naturalnych, według PN-EN ISO 2810 [41], lub sztucznych, według PN-EN ISO 16474-2 [42] (norma PN-EN 13438 odnosi się do badania w ekspozycji na promieniowane lampy ksenonowej łukowej zgodnie z PN-EN ISO 11341, która została wycofana i zastąpiona normami PN-EN ISO 16474-1–2);

Table 3. Criteria for evaluation of powder coatings after aging tests required by PN-EN 13438**Tabela 3. Kryteria oceny powłok proszkowych po badaniach starzeniowych wymaganych zgodnie z PN-EN 13438**

Tested feature/Badana cecha	Standard/ Norma	Test duration/ Czas badania	Result/Ocena
Resistance to weathering (under natural conditions)/ Odporność na warunki atmosferyczne (w warunkach naturalnych)	PN-EN ISO 2810	12 months/ 12 miesięcy	no cracking or blistering of the coating, colour change within the established range/ brak pęknięć lub pęcherzenia powłoki, zmiana barwy w ustalonym zakresie
Resistance to weathering (under laboratory conditions)/ Odporność na warunki atmosferyczne (w warunkach laboratoryjnych)	PN-EN ISO 16474-2	1000 h	no cracking or blistering of the coating, change in colour within the established range, change in gloss: less than 60% of the original gloss/ brak pęknięć lub pęcherzenia powłoki, zmiana barwy w ustalonym zakresie, zmiana połysku: poniżej 60% połysku wyjściowego
Resistance to neutral salt spray (Class 1 coatings)/ Odporność na działanie mgły solnej neutralnej (powłoki klasy 1)	PN-EN ISO 9227	750 h	delamination and corrosion 5 mm from the scribe, no blistering or cracking of the coating around the scribe/ odwarstwienie i skorodowanie o 5 mm od rysy, brak spęczenia lub spękania powłoki nad rysą
Resistance to acidic salt spray (Class 2 coatings)/ Odporność na działanie mgły solnej kwaśnej (powłoki klasy 2)	PN-EN ISO 9227	480 h	
Resistance to condensation/ Odporność na kondensację pary wodnej	PN-EN ISO 6270-1	1000 h	no blistering, delamination of the coating or corrosion of the substrate; coating adhesion: grade 0/ brak spęczenia, odwarstwienia powłoki lub korozji podłoża; przyczepność powłoki: stopień 0
Resistance to humid atmospheres containing SO ₂ / Odporność na wilgotne atmosfery zawierające SO ₂	PN-EN ISO 3231	240 h	no blistering or corrosion, no colour change/ brak spęczenia i skorodowania, brak zmiany barwy

Source: author's own work based on [12].

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12].

Another standard that addresses the testing of powder coatings on steel and hot-dip galvanised steel components is DIN 55633-1 [14]. Pursuant to this standard, powder coatings in anti-corrosion applications are tested for resistance to:

- condensation, according to PN-EN ISO 6270-2 [44],
- neutral salt spray, according to PN-EN ISO 9227 [34].

The testing time varies depending on the corrosivity of the atmosphere, as in PN-EN ISO 12944-6 [6]. The following are evaluated after aging tests: coating adhesion, coating deterioration (in accordance with PN-EN ISO 4628-2–5 [36–39]) as well as coating delamination and corrosion around a scribe (PN-EN ISO 4628-8 [40]). A summary of the aging tests and evaluation criteria required by DIN 55663-1 [14] for powder coatings used in the corrosion protection of steel and hot-dip galvanised steel structures is presented in Tables 4 and 5. Prior to aging tests, coating quality, nominal thickness [45, 46] and adhesion [47, 48] are inspected.

2.7. Part 7: Execution and supervision of paint work

This part of PN-EN ISO 12944 [7] is concerned with the supervision of the corrosion protection application process on steel structures under workshop or on-site conditions and the requirements for:

- the preconditions for paint work execution (personnel qualifications, health and safety),
- coating materials (technical data sheets, storage),
- execution of paint work,
- supervision of paint work.

Much of the information contained in PN-EN ISO 12944-7 [7] has a universal nature and can also be applied to the application of powder coatings. Supervision of powder coating application should be carried out at each stage of the process by qualified personnel. The measuring instruments used should be checked, calibrated and regularly maintained. Due to the specific nature of powder coating application, which takes place under strictly controlled ambient conditions (temperature, humidity), it is of

W normie PN-EN 13438 [12] nie zróżnicowano czasu badań starzeniowych w zależności od kategorii korozyjności atmosfery.

Kolejną normą, która odnosi się do badań powłok proszkowych na elementach stalowych oraz stalowych ocynkowanych zanurzeniowo, jest DIN 55633-1 [14]. Zgodnie z nią powłoki proszkowe w zastosowaniach antykorozyjnych bada się pod kątem odporności na:

- kondensację pary wodnej, według PN-EN ISO 6270-2 [44],
- neutralną mgłę solną, według PN-EN ISO 9227 [34].

Czas badań w zależności od korozyjności atmosfery jest zróżnicowany, tak jak w normie PN-EN ISO 12944-6 [6]. Ocenie po badaniach starzeniowych podlegają: przyczepność powłoki, zniszczenia powłoki (zgodnie z PN-EN ISO 4628-2–5 [36–39]) oraz odwarstwienie i skorodowanie powłoki w rysie (PN-EN ISO 4628-8 [40]). Zestawienie dotyczące wymagań w DIN 55663-1 [14] badań starzeniowych i kryteriów oceny powłok proszkowych do ochrony przed korozją konstrukcji stalowych i stalowych ocynkowanych zanurzeniowo przedstawiono w tabelach 4 i 5. Przed badaniami starzeniowymi kontroli podlega jakość powłoki, grubość nominalna [45, 46] i przyczepność [47, 48].

2.7. Część 7: Wykonywanie i nadzorowanie prac malarskich

Ta część normy PN-EN ISO 12944 [7] dotyczy nadzoru nad procesem wykonywania zabezpieczeń antykorozyjnych na konstrukcjach stalowych w warunkach warsztatowych lub na miejscu montażu oraz wymagań odnośnie do:

- wstępnych warunków wykonania prac malarskich (kwalifikacji personelu, BHP),
- materiałów powłokowych (kart technicznych, przechowywania),
- wykonywania prac malarskich,
- nadzoru nad pracami malarskimi.

Wiele z informacji zawartych w normie PN-EN ISO 12944-7 [7] ma charakter uniwersalny i może być stosowanych również w przypadku aplikacji farb proszkowych. Nadzór nad wykonywaniem zabezpieczeń antykorozyjnych w postaci powłok proszkowych powinien być prowadzony na każdym etapie procesu przez wykwalifikowany personel. Stosowane przyrządy pomiarowe powinny być sprawdzane, kalibrowane i regularnie konserwowane. Z uwagi na specyfikę aplikacji powłok proszkowych, która przebiega w ściśle

Table 4. Criteria for evaluating powder coatings after aging tests required on steel substrates by DIN 55633-4**Tabela 4. Kryteria oceny powłok proszkowych po badaniach starzeniowych wymaganych w DIN 55633-4 na podłożach stalowych**

Tested feature/ Badana cecha	Standard/ Norma	Atmospheric corrosivity class/ durability/ Klasa korozyjności atmosfery/ okres trwałości		Duration of test [h]/ Czas badania [h]	Result/Ocena
Resistance to water vapour condensation/ Odporność na kondensację pary wodnej	PN-EN ISO 6270-2	C2	L-HV	48–240	no damage according to PN-EN ISO 4628-2–5, coating adhesion: grade 0 or 1/ brak zniszczeń według PN-EN ISO 4628-2–5, przyczepność powłoki: stopień 0 lub 1
		C3	L-HV	48–480	
		C4	L-HV	120–720	
		C5	L-H	240–720	
Resistance to neutral salt spray/ Odporność na działanie mgły solnej neutralnej	PN-EN ISO 9227	C2	HV	480	no damage according to PN-EN ISO 4628-2–5, corrosion around a scribe ≤ 1 mm, delamina- tion around the scribe ≤ 3 mm, adhesion: grade 0 or 1/ brak zniszczeń według PN-EN ISO 4628-2–5, skorodowanie w rysie ≤ 1 mm, odwarstwienie w rysie ≤ 3 mm, przyczepność: stopień 0 lub 1
		C3	L-HV	120–720	
		C4	L-HV	240–1440	
		C5	L-H	480–1440	

Source: author's own work based on [14].

Źródło: opracowanie własne na podstawie [14].

Table 5. Criteria for evaluating powder coatings after aging tests required by DIN 55633-4 on hot-dip galvanised steel substrates**Tabela 5. Kryteria oceny powłok proszkowych po badaniach starzeniowych wymaganych w DIN 55633-4 na podłożach stalowych ocynko-
wanym z anizacji**

Tested feature/ Badana cecha	Standard/ Norma	Atmospheric corrosivity class/ durability/ Klasa korozyjności atmosfery/ okres trwałości		Duration of test [h]/ Czas badania [h]	Result/Ocena
Condensation resistance/ Odporność na kondensację pary wodnej	PN-EN ISO 6270-2	C2	L-HV	48–240	no damage according to PN-EN ISO 4628-2–5, coating adhesion: grade 0 or 1/ brak zniszczeń według PN-EN ISO 4628-2–5, przyczepność powłoki: stopień 0 lub 1
		C3	L-HV	48–480	
		C4	L-HV	120–720	
		C5	L-H	240–720	
Resistance to neutral salt spray / Odporność na działanie mgły solnej neutralnej	PN-EN ISO 9227	C2	HV	480	no damage according to PN-EN ISO 4628-2–5, corrosion around a scribe ≤ 1 mm, delamina- tion around the scribe ≤ 8 mm, adhesion: grade 0 or 1/ brak zniszczeń według PN-EN ISO 4628-2–5, skorodowanie w rysie ≤ 1 mm, odwarstwienie w rysie ≤ 8 mm, przyczepność: stopień 0 lub 1
		C3	L-HV	120–720	
		C4	L-HV	240–1440	
		C5	L-H	480–1440	

Source: author's own work based on [14].

Źródło: opracowanie własne na podstawie [14].

utmost importance that the conditions specified in product data sheets are adhered to during powder coating application and curing. Parameters of mechanical or chemical surface preparation processes, such as temperature, humidity, drip water conductivity, pH of the bath, are also controlled. The requirements for monitoring the pre-treatment processes of the substrate should be agreed between the parties. The quality of the coatings should be checked in accordance with the scope of the technical specifications for corrosion protection.

2.8. Part 8: Development of documentation for new work and renovation

Part eight of PN-EN ISO 12944 [8] deals with the development of specifications for the corrosion protection of steel structures by protective paint systems in workshop and on-site conditions and with systems used to protect individual components against corrosion. The standard also applies to hot dip galvanised, spray metallised, electro-galvanised or sheradised steel surfaces as well as previously painted steel surfaces, both for work on new and refurbished components.

kontrolowanych warunkach otoczenia (temperaturze, wilgotności), najistotniejsze jest, aby podczas nanoszenia i sieciowania farb proszkowych przestrzegać warunków określonych w kartach technicznych wyrobów. Kontroli podlegają również parametry procesów mechanicznego lub chemicznego przygotowania powierzchni, takie jak: temperatura, wilgotność, przewodnictwo wody ociekającej, pH kąpiel. Wymagania dotyczące nadzorowania procesów obróbki wstępnej podłoża powinny zostać ustalone między stronami. Jakość powłok malarskich należy skontrolować zgodnie z zakresem specyfikacji technicznej zabezpieczenia antykorozyjnego.

2.8. Część 8: Opracowanie dokumentacji dotyczącej nowych prac i renowacji

Ósma część normy PN-EN ISO 12944 [8] dotyczy opracowania specyfikacji ochrony przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich w warunkach warsztatowych i na miejscu montażu oraz systemów stosowanych do ochrony przed korozją pojedynczych elementów. Norma odnosi się również do powierzchni stalowych ocynkowanych zanurzeniowo, metalizowanych natryskowo, ocynkowanych elektrolitycznie lub szardyzowanych oraz powierzchni stalowych pomalowanych wcześniej,

Table 6. Information contained in a corrosion protection specification

EXAMPLE OF INFORMATION CONTAINED IN A CORROSION PROTECTION SPECIFICATION	
1	GENERAL INFORMATION
	Environmental conditions at the site of the structure/element References to standards and regulations
2	TYPE OF PROJECT
	Type of structure (new, painted, to be renovated) Parts not to be painted
3	PART DESCRIPTION
	Type of substrate, metallic coatings
4	DESCRIPTION OF THE ENVIRONMENT
	Corrosivity category of atmosphere/submersion Specific exposures Durability
5	PAINTING CONTRACTOR
	Qualification of the painting contractor
6	SURFACE PREPARATION
	Type of surface and preparation methods Required degree of surface preparation, edge and joint treatment Surface control (dustiness, water-soluble impurities, etc.)
7	PROTECTIVE PAINT SYSTEMS
	Paint system Coating used for repair or partial renovation Special limitations for coatings and paint work
8	PROPERTIES OF THE PAINT SYSTEM (other than anti-corrosive)
	Colour Gloss Tint and gloss stability of the top coat
9	INSPECTION AND ASSESSMENT
	External and internal inspections Inspection methods (required methods, instruments, standards, documentation procedures) Inspection steps
10	REFERENCE SURFACES
	Number of test items or location, number and size of reference surfaces
11	SPECIAL REQUIREMENTS
	Procedure for dealing with deviations from specifications Limitations of inspection and assessment
12	DOCUMENTATION
	Documents relating to surface preparation Documents on control of the production process and assessment of the paint work
13	OTHER
	Environmental protection, health and safety

Source: [8, p. 9–13].

In applying corrosion protection using powder coatings, the technical specification is just as important as when using liquid paint coatings. Many of the problems with powder coating protection [49] arise from the fact that no correct technical specification for the protection system has been developed or the specification is limited to only indicating the RAL colour and the thickness of the powder coating. Based on PN-EN ISO 12944-7 [7], there are some basic issues that should be addressed in the technical specification of a powder coating or duplex system. The following should be specified:

- qualifications of the personnel carrying out the paint work or the requirements for quality certification of the powder coating shop (PN-EN ISO 9001 [50]; Qualipol, GSB, DB or other certificates);
- condition of the substrate surface prior to powder coating, taking into account: cleanliness, degree of preparation and profile

Tabela 6. Informacje zawarte w specyfikacji zabezpieczenia antykorozyjnego

PRZYKŁAD INFORMACJI ZAWARTYCH W SPECYFIKACJI ZABEZPIECZENIA ANTYKOROZYJNEGO	
1	INFORMACJE OGÓLNE
	Warunki środowiskowe w miejscu lokalizacji konstrukcji/elementu Powołania norm i przepisów
2	RODZAJ PROJEKTU
	Rodzaj konstrukcji (nowa, pomalowana, do renowacji) Elementy niepodlegające malowaniu
3	OPIS ELEMENTU
	Rodzaj podłoża, powłoki metaliczne
4	OPIS ŚRODOWISKA
	Kategoria korozyjności atmosfery/zanurzenia Narażenia szczególne Trwałość
5	WYKONAWCA PRAC MALARSKICH
	Kwalifikacje wykonawców prac malarskich
6	PRZYGOTOWANIE POWIERZCHNI
	Rodzaj powierzchni i metody przygotowania Wymagany stopień przygotowania powierzchni, obróbka krawędzi i spoin Kontrola powierzchni (zapylenie, zanieczyszczenia rozpuszczalne w wodzie itp.)
7	OCHRONNE SYSTEMY MALARSKIE
	System powłokowy Powłoka stosowana do naprawy lub częściowej renowacji Szczególne ograniczenia dotyczące powłok i prac malarskich
8	WŁAŚCIWOŚCI SYSTEMU MALARSKIEGO (inne niż antykorozyjne)
	Barwa Połysk Stabilność barwy i połysku powłoki nawierzchniowej
9	KONTROLA I OCENA
	Kontrola przez instytucje zewnętrzne i wewnętrzne Metody kontroli (wymagane metody, przyrządy, normy, procedury dokumentowania) Etapy kontroli
10	POWIERZCHNIE REFERENCYJNE
	Liczba elementów testowych lub lokalizacja, ilość i wielkość powierzchni referencyjnych
11	WYMAGANIA SZCZEGÓLNE
	Procedura postępowania z odstępstwami od specyfikacji Ograniczenia kontroli i oceny
12	DOKUMENTACJA
	Dokumenty odnośnie do przygotowania powierzchni Dokumenty z kontroli procesów produkcji i oceny prac malarskich
13	INNE
	Ochrona środowiska, ochrona zdrowia i bezpieczeństwo

Źródło: [8, s. 9–13].

zarówno w zakresie prac na elementach nowych, jak i poddawanych renowacji.

W wykonywaniu zabezpieczeń antykorozyjnych z wykorzystaniem powłok proszkowych specyfikacja techniczna jest również ważna jak w przypadku stosowania powłok z farb ciekłych. Wiele problemów z zabezpieczeniami w postaci powłok proszkowych [49] wynika z tego, że nie opracowano poprawnej specyfikacji technicznej zabezpieczenia lub specyfikacja jest ograniczona jedynie do określenia barwy RAL i grubości powłoki proszkowej. Na podstawie normy PN-EN ISO 12944-7 [7] można wyróżnić kilka podstawowych kwestii, które powinno się uwzględnić w specyfikacji technicznej zabezpieczeń antykorozyjnych w postaci powłok proszkowych lub systemów duplex. Należy określić:

- kwalifikacje personelu wykonującego prace malarskie lub wymagania dotyczące certyfikatów jakości malarni proszkowej

of the substrate surface, parameters and quality of the zinc coating, type of conversion coatings, etc.;

- the paint system, taking into account the number of coats and type of film-forming substances, nominal thickness of the paint coats, requirements regarding the products used in a given corrosivity class of the atmosphere and durability (Declaration of Performance – CE mark or B mark, quality certificates confirming suitability in a given corrosivity class);
- method of inspecting the paint coatings with respect to assessing their quality, defining unacceptable defects, permissible colour and gloss deviations, acceptance rule for coating thickness, required adhesion of coatings, etc.

It is good practice to prepare a master sample: a single component is protected against corrosion according to the specification and the contracting parties approve the technology on this basis. Table 6 shows the most important elements of a correct technical specification for corrosion protection, but this is only a basis that can be extended to include other important issues. A well-prepared corrosion protection specification serves as a reference document for the corrosion protection inspectors, protects the interests of the investor in the event of application errors and streamlines the planning process for the implementation of the various stages of the investment [51].

2.9. Part 9: Protective paint systems and laboratory test methods for assessing the properties of offshore and similar structures

Part nine of PN-EN ISO 12944 [9] is concerned with the protection of offshore structures that are exposed to the most aggressive corrosive environments during service, such as marine atmosphere CX, salt water immersion Im4 and cyclically variable CX + Im4 conditions in splash and tidal zones. This document presents the protective performance requirements of long-life paint systems for offshore steel structures operating at 20–80°C. Among other things, it describes the laboratory test methods for protective paint systems carried out to assess their probable durability and the criteria used to evaluate the results of the protective properties tests. The full paint system qualification process includes:

- system description,
- application tests,
- laboratory property tests and evaluation of the results,
- full identification of the coatings (so-called fingerprint).

As far as reference documents related to powder coatings are concerned, PN-EN 13438 [12] does not take into account the division into environmental corrosivity categories, while DIN 55633-1 [14] does not refer to the CX and Im4 atmospheric corrosivity categories.

When applying the requirements listed in PN-EN ISO 12944-9 [9] to powder coatings, in order for a paint system to be qualified for use in corrosivity category CX(H), the following must be taken into account:

- identification of the paint used in the paint system (FTIR fingerprint analysis and parameters such as e.g. density, solids content, granulation),
- product information (such as name, colour, application methods, cross-linking conditions, paint properties, recommended surface preparation, recommended post-cure film thickness, theoretical yield),
- description of the paint system (type of paint, colour, nominal thickness of the coating(s) after curing, requirements regarding the surface preparation method),

(PN-EN ISO 9001 [50]; certyfikatów Qualipol, GSB, DB lub innych);

- stan powierzchni podłoża przed malowaniem proszkowym z uwzględnieniem: oceny czystości, stopnia przygotowania i profilu powierzchni podłoża, parametrów i jakości powłoki cynkowej, rodzaju powłok konwersyjnych itp.;
- system malarski, biorąc pod uwagę liczbę powłok i rodzaj substancji powłokotwórczych, nominalną grubość powłok malarskich, wymagania odnośnie do zastosowanych wyrobów w danej klasie korozyjności atmosfery i okresie trwałości (Deklarację właściwości użytkowych wyrobu budowlanego – znak CE lub znak B, certyfikaty jakości potwierdzające przydatność w odpowiedniej klasie korozyjności);
- sposób kontrolowania powłok malarskich z uwzględnieniem oceny ich jakości, zdefiniowania niedopuszczalnych wad, dopuszczalnych odchyłek barwy i połysku, reguły odbiorowej grubości powłok, wymaganej przyczepności powłok itp.

Dobłą praktyką jest wykonywanie próbek wzorcowej: pojedynczy element zabezpiecza się antykorozyjnie zgodnie ze specyfikacją i na tej podstawie strony kontraktu zatwierdzają technologię. W tabeli 6 przedstawiono najistotniejsze elementy poprawnej specyfikacji technicznej zabezpieczenia antykorozyjnego, przy czym jest to tylko podstawa, która może zostać rozszerzona o inne istotne kwestie. Dobrze przygotowana specyfikacja zabezpieczeń antykorozyjnych jest dokumentem odniesienia dla inspektorów zabezpieczeń antykorozyjnych, chroni interesy inwestora w przypadku błędów wykonawczych oraz usprawnia proces planowania realizacji poszczególnych etapów inwestycji [51].

2.9. Część 9: Ochronne systemy malarskie i laboratoryjne metody badań właściwości konstrukcji eksploatowanych na pełnym morzu i podobnych konstrukcji

Część dziewiąta normy PN-EN ISO 12944 [9] dotyczy ochrony konstrukcji morskich, które podczas użytkowania są narażone na najbardziej agresywne środowiska korozyjne, takie jak atmosfera morska CX, zanurzenie w słonej wodzie Im4 i cyklicznie zmienne warunki CX + Im4 w strefie rozbryzgów i pływów. W tym dokumencie przedstawiono wymagania dotyczące właściwości ochronnych systemów malarskich o długim okresie trwałości na stalowe konstrukcje morskie (*offshore*) pracujące w temperaturze 20–80°C. Opisano m.in. laboratoryjne metody badań ochronnych systemów malarskich przeprowadzanych w celu oceny ich prawdopodobnej trwałości oraz kryteria stosowane do oceny wyników badań właściwości ochronnych. Pełny proces kwalifikacji systemu malarskiego obejmuje:

- opis systemu,
- badania aplikacyjne,
- laboratoryjne badania właściwości i ocenę wyników,
- pełną identyfikację farb (tzw. odcisk palca).

Jeśli chodzi o dokumenty odniesienia związane z powłokami proszkowymi, norma PN-EN 13438 [12] nie uwzględnia podziału na kategorie korozyjności środowiska, natomiast norma DIN 55633-1 [14] nie odnosi się do kategorii korozyjności atmosfery CX i Im4.

Stosując wymagania wyszczególnione w normie PN-EN ISO 12944-9 [9] względem powłok proszkowych, aby system malarski został zakwalifikowany do stosowania w kategorii korozyjności CX(H), należy wziąć pod uwagę:

- identyfikację farb w systemie malarskim (analizę w podczerwieni FTIR, tzw. odcisk palca oraz parametry takie jak np. gęstość, zawartość części stałych, granulacja),
- informacje o wyrobie (takie jak: nazwa, barwa, metody aplikacji, warunki sieciowania, właściwości farby, zalecany stopień przygotowania powierzchni, zalecana grubość powłoki po utwardzeniu, wydajność teoretyczna),

– assessment of the resistance of the paint system to cyclic ageing over a period of 4200 h (PN-EN ISO 12944-9, Appendix B [9]).

Assessment of coatings after the qualification test carried out in accordance with the guidelines in PN-EN ISO 12944-9, Appendix B [9] includes determination of their adhesion, verification of damage (PN-EN ISO 4628-2-5 [36–39]) and, if agreed between the parties, chalking of the coating (PN-EN ISO 4628-6 [52]) as well as assessment of the degree of substrate corrosion around the artificial defect (PN-EN ISO 4628-8 [40]).

3. Summary

Summarising the information compiled in the publication, it can be concluded that some of the standards of PN-EN ISO 12944, i.e.:

- Part 1: General introduction,
- Part 2: Classification of corrosive environments,
- Part 3: Principles of design,
- Part 7: Performance and supervision of paint work,
- Part 8: Development of documentation for new work and renovation,

can be used without any adaptations in the case of powder coating systems for the corrosion protection of steel structures, but the issues of application and cross-linking of powder coatings must then be included in the specification of the protection system and paint work supervision.

Part 4 of PN-EN ISO 12944 contains information on surface preparation before coating application, but it is quite general and in the case of powder coatings it is worth using information contained in standards PN-EN 13438, PN-EN 15773 and DIN 55633-1, which describe in more detail the chemical and mechanical preparation of steel and galvanised steel surfaces before powder coating application.

Part 5 of PN-EN ISO 12944, which presents a selection of sample paint systems according to different durability periods and corrosive environments, is reflected in DIN 55633-1, which relates to powder coatings in corrosion protection applications. Examples of powder coating systems on steel and hot-dip galvanised surfaces provide a starting point in the selection of a coating, but paint systems other than those indicated in the standard can also be considered suitable for a given corrosion category if they successfully pass durability verification during laboratory ageing and corrosion tests. DIN 55633-1 does not provide examples of paint systems nor pre-treatment for the corrosion protection of structures in soil with a corrosivity category of Im3.

Laboratory test methods for coatings, as described in section 6 of PN-EN ISO 12944, allow for the verification of coating resistance to condensation, chloride ion influence and cyclically changing weather conditions. DIN 55633-1 recommends powder coatings to be verified according to PN-EN ISO 6270-2 and PN-EN ISO 9227 with the same duration parameters as in PN-EN ISO 12944-6, but leaves out testing in cyclically changing atmospheric conditions, which, as experience shows, is essential. This is because in addition to verifying the resistance of coatings to condensation and chloride ions, the test also takes into account the effects of UV radiation and frost. These factors, especially in the case of coatings used outdoors, should not be overlooked due to their destructive effect on coatings.

Among the standards for powder coatings in anti-corrosive applications, to date no document has described test methods for paint systems or duplex systems operating under the harshest corrosive conditions of a CX atmosphere, which is why powder coating manufacturers rely on the PN-EN ISO 12944-9 standard in

– opis systemu malarskiego (rodzaj farby, barwę, nominalną grubość powłoki lub powłok po utwardzeniu, wymagania odnośnie do metody przygotowania powierzchni),

– ocenę odporności systemu malarskiego na cykliczne badania starzeniowe w czasie 4200 h (PN-EN ISO 12944-9, załącznik B [9]).

Ocena powłok po badaniu kwalifikacyjnym przeprowadzonym zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-EN ISO 12944-9, załącznik B [9], obejmuje określenie ich przyczepności, weryfikację zniszczeń (PN-EN ISO 4628-2-5 [36–39]) oraz jeśli tak ustalono między stronami, skredowanie powłoki (PN-EN ISO 4628-6 [52]) i ocenę stopnia skorodowania podłoża wokół sztucznego uszkodzenia (PN-EN ISO 4628-8 [40]).

3. Podsumowanie

Podsumowując zestawione w publikacji informacje, można stwierdzić, że niektóre z norm PN-EN ISO 12944:

- Część 1: Ogólne wprowadzenie,
- Część 2: Klasyfikacja środowisk korozyjnych,
- Część 3: Zasady projektowania,
- Część 7: Wykonywanie i nadzór prac malarskich,
- Część 8: Opracowanie dokumentacji dotyczącej nowych prac i renowacji,

mogą być bez zmian implementowane w wypadku antykorozyjnych systemów proszkowych do ochrony konstrukcji stalowych, ale należy wówczas uwzględnić kwestie dotyczące nanoszenia i sieciowania powłok proszkowych w specyfikacji zabezpieczenia i nadzorowania prowadzenia prac malarskich.

Czwarta część normy PN-EN ISO 12944 zawiera informacje o sposobach przygotowania powierzchni przed malowaniem, ale są one dość ogólne i w wypadku powłok proszkowych warto posiłkować się danymi dostępnymi w normach PN-EN 13438, PN-EN 15773 i DIN 55633-1, które w bardziej szczegółowy sposób opisują chemiczne i mechaniczne metody przygotowania powierzchni stalowych i stalowych ocynkowanych przed malowaniem proszkowym.

Piąta część normy PN-EN ISO 12944, która przedstawia wybór przykładowych systemów malarskich w zależności od różnych okresów trwałości i środowisk korozyjnych, ma odzwierciedlenie w normie DIN 55633-1, odnoszącej się do powłok proszkowych w zastosowaniach antykorozyjnych. Przykładowe proszkowe systemy malarskie na powierzchniach stalowych i ocynkowanych zanieczyszczone stanowią punkt wyjścia do doboru rodzaju farb, ale inne niż wskazane w normie systemy malarskie także mogą zostać uznane za odpowiednie w danej kategorii korozyjnej, jeśli pomyślnie przejdą weryfikację trwałości podczas laboratoryjnych badań starzeniowych i korozyjnych. W normie DIN 55633-1 nie podano przykładowych systemów malarskich z uwzględnieniem sposobu obróbki wstępnej do ochrony przed korozją w gruncie, o kategorii korozyjności Im3.

Laboratoryjne metody badań powłok malarskich, opisane w szóstej części normy PN-EN ISO 12944, pozwalają na zweryfikowanie odporności powłok malarskich na kondensację pary wodnej, oddziaływanie jonów chlorkowych i cyklicznie zmienne warunki atmosferyczne. W normie DIN 55633-1 zaleca się badania powłok proszkowych według PN-EN ISO 6270-2 i PN-EN ISO 9227 z takimi samymi parametrami czasu co w normie PN-EN ISO 12944-6, ale pominięto badanie w zmiennych warunkach atmosferycznych, w cyklach zmiennych, które jak wynika z doświadczenia, jest niezbędne, ponieważ poza weryfikacją odporności powłok na kondensację pary wodnej i jonów chlorkowych uwzględnia się w nim również oddziaływanie promieniowania UV i mrozu. Czynniki te, zwłaszcza w wypadku powłok stosowanych na zewnątrz, nie powinny być pomijane z uwagi na ich destrukcyjne oddziaływanie na powłoki malarskie.

Wśród norm dotyczących powłok proszkowych w zastosowaniach antykorozyjnych do tej pory nie ma dokumentu, który opisywałby metody badań systemów malarskich lub systemów duplex

this regard. In my experience, the corrosion and ageing tests required in this part of the standard are sufficient to verify the protective properties of paint coatings on steel in a marine environment, and therefore I find no contraindication to using PN-EN ISO 12944-9 for powder coatings in a CX corrosive environment.

4. Conclusions

In order to ensure effective protection of steel structures against corrosion, regardless of whether liquid or powder coatings are used for this purpose, the technical assumptions for corrosion protection design should include [1]:

- an assessment of the corrosivity of the environment where the structure will be used;
- identifying any special conditions that may influence the choice of a paint system;
- checking the structural design and ensuring that there are no areas where accelerated corrosion is possible;
- selecting paint systems with the required durability from among those which are considered suitable for the particular environment, or selecting a system based on the results of laboratory property tests if no information is available from long-term experience of using the product;
- establishment of a plan for an inspection to be carried out during the works and after their completion;
- determination of a maintenance and renovation plan, covering the whole lifespan of the structure.

The PN-EN ISO 12944 series of standards describes all the relevant issues in the process of planning a corrosion protection system on steel structures. Although powder coatings are excluded from the scope of these standards, powder coating standards refer to them very frequently due to the universal nature of many of the requirements contained therein. The most important consideration is always the specification of the corrosion protection, which takes into account all factors affecting the final quality and durability of the protection system provided.

pracujących w najcięższych warunkach korozyjnych atmosfery CX, w związku z czym producenci powłok proszkowych posiłkują się w tym zakresie normą PN-EN ISO 12944-9. Z mojego doświadczenia wynika, że wymagane w tej części normy badania korozyjne i starzeniowe są wystarczające do weryfikacji właściwości ochronnych powłok malarskich na stali w środowisku morskim, nie znajduję zatem przeciwwskazań do stosowania normy PN-EN ISO 12944-9 odnośnie do powłok proszkowych w środowisku korozyjnym CX.

4. Wnioski

W celu zapewnienia skutecznej ochrony konstrukcji stalowych przed korozją, niezależnie od tego, czy stosujemy do tego celu wyroby budowlane w postaci farb ciekłych, czy farb proszkowych, założenia techniczne projektu zabezpieczenia antykorozyjnego powinny obejmować [1]:

- ocenę korozyjności środowiska w miejscu, gdzie konstrukcja będzie eksploatowana;
- ustalenie wszystkich szczególnych warunków mogących wpłynąć na wybór systemu malarskiego;
- sprawdzenie projektu konstrukcji i upewnienie się, że nie występują miejsca, w których możliwa jest przyspieszona korozja;
- wybranie systemów malarskich o wymaganej trwałości spośród tych, które są uznane za odpowiednie dla danego środowiska, lub dobór systemu na podstawie wyników laboratoryjnych badań właściwości, jeżeli nie ma informacji wynikających z długoletniego doświadczenia w stosowaniu wyrobu;
- ustalenie planu kontroli, jaka ma być prowadzona w trakcie prac i po ich zakończeniu;
- ustalenie planu utrzymania i renowacji, obejmującego cały okres użytkowania konstrukcji.

Seria norm PN-EN ISO 12944 opisuje wszystkie istotne kwestie w procesie planowania systemu antykorozyjnego na konstrukcjach stalowych. Choć powłoki proszkowe nie są objęte zakresem stosowania tych norm, z uwagi na uniwersalny charakter wielu wymagań normy dotyczące powłok proszkowych bardzo często się do nich odwołują. Najistotniejszą sprawą zawsze jest specyfikacja zabezpieczenia antykorozyjnego, w której uwzględnia się wszystkie czynniki wpływające na ostateczną jakość i trwałość wykonanego zabezpieczenia.

BIBLIOGRAPHY

- [1] PN-EN ISO 12944-1:2018-01: Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 1: Ogólne wprowadzenie.
- [2] PN-EN ISO 12944-2:2018-02: Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 2: Klasyfikacja środowisk.
- [3] PN-EN ISO 12944-3:2018-02: Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 3: Zasady projektowania.
- [4] PN-EN ISO 12944-4:2018-02: Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 4: Rodzaje powierzchni i sposoby przygotowania powierzchni.
- [5] PN-EN ISO 12944-5:2020-03: Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 5: Ochronne systemy malarskie.
- [6] PN-EN ISO 12944-6:2018-03: Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 6: Laboratoryjne metody badań właściwości.
- [7] PN-EN ISO 12944-7:2018-01: Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 7: Wykonywanie i nadzór prac malarskich.
- [8] PN-EN ISO 12944-8:2018-01: Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 8: Opracowanie dokumentacji dotyczącej nowych prac i renowacji
- [9] PN-EN ISO 12944-9:2018-03: Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 9: Ochronne systemy malarskie i laboratoryjne metody badań właściwości dla konstrukcji eksploatowanych na pełnym morzu i podobnych konstrukcji.
- [10] D. Wojda, I. Kuncce. 2020. „Jak wybierać barwę konstrukcji, aby była trwała”. *Ochrona przed Korozją* 63(4): 118–121. DOI: 10.15199/40.2020.4.2.
- [11] A. Królikowska, D. Wojda. 2020. „Ocena trwałości barwy powłok na obiektach inżynierskich – jaki kolor wybrać?”. *Drogownictwo* 5: 143–145.
- [12] PN-EN 13438:2013-10: Farby i lakiery – Organiczne powłoki z farb proszkowych do ocynkowanych zanurzeniowo lub szterardyzowanych wyrobów stalowych do celów konstrukcyjnych.
- [13] PN-EN 15773:2018-02: Przemysłowe nakładanie organicznych farb proszkowych na wyroby ze stali ocynkowanej zanurzeniowo lub szterardyzowanej (systemy duplex) – Specyfikacje, zalecenia i wskazówki.
- [14] DIN 55633-1:2021-03: Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by powder coating systems – Part 1: Assessment of powder coating systems and execution of coating.
- [15] PN-EN ISO 4618:2014-11: Farby i lakiery – Terminy i definicje.

- [16] A. Królikowska, L. Komorowski. 2022. „Jak zwiększyć trwałość zabezpieczeń antykorozyjnych obiektów infrastrukturalnych”. *Inżynier Budownictwa* 7–8: 58–64.
- [17] Zalecenia GDDKiA do wykonywania i odbioru antykorozyjnych zabezpieczeń konstrukcji stalowych drogowych obiektów mostowych – nowelizacja w 2006 r.
- [18] Wytyczne projektowania zabezpieczenia antykorozyjnego stalowych elementów drogowych obiektów inżynierskich. Wzorce i standardy rekomendowane przez Ministra właściwego ds. transportu. WRM-31. 01-2021.03.02.
- [19] PN-EN ISO 4628-3:2016-03: Farby i lakiery – Ocena zniszczenia powłok – Określanie ilości i rozmiaru uszkodzeń oraz intensywności jednolitych zmian w wyglądzie – Część 3: Ocena stopnia zardzewienia.
- [20] PN-EN ISO 9223:2012: Korozja metali i stopów – Korozyjność atmosfer – Klasyfikacja, określanie i ocena.
- [21] PN-EN ISO 8501-3:2008: Przygotowanie podłoża stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów – Wzrokowa ocena czystości powierzchni – Część 3: Stopnie przygotowania spoin, krawędzi i innych obszarów z wadami powierzchni.
- [22] PN-EN ISO 10346:2015-09: Wyroby płaskie stalowe powlekane ogniowo w sposób ciągły do obróbki plastycznej na zimno – Warunki techniczne dostawy.
- [23] PN-EN ISO 1461:2011: Powłoki cynkowe nanoszone na wyroby stalowe i żeliwne metodą zanurzeniową – Wymagania i metody badań.
- [24] PN-EN ISO 17668:2016-04: Cynkowe powłoki dyfuzyjne na wyrobach stalowych – Szerardyzacja – Specyfikacja.
- [25] B. Ramezanzadeh, H. Vakili, R. Amini. 2015. “The Effects of Addition of Poly(vinyl) Alcohol (PVA) as a Green Corrosion Inhibitor to the Phosphate Conversion Coating on the Anticorrosion and Adhesion Properties of the Epoxy Coating on the Steel Substrate”. *Applied Surface Science* 327: 174–181. DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.11.167.
- [26] <https://kta.com/kta-university/preparation-galvanizing-painting/> (dostęp: 10.11.2022).
- [27] PN-EN ISO 8501-1:2008: Przygotowanie podłoża stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów – Wzrokowa ocena czystości powierzchni – Część 1: Stopnie skorodowania i stopnie przygotowania niepokrytych podłoża stalowych oraz podłoża stalowych po całkowitym usunięciu wcześniej nałożonych powłok.
- [28] PN-EN 1090-2:2018-09: Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych.
- [29] <https://www.tekno.com/pl-PL/farby-przemyslowe/produkty/systemy-malarskie/proszkowe-systemy-malarskie/im/#collapse-p234c-im3-very-high-infralit-ep-8024-00-480-m> (dostęp: 10.11.2022).
- [30] PN-EN ISO 2063-1:2019-04: Natryskiwanie ciepłe – Cynk, aluminium i ich stopy – Część 1: Uwagi dotyczące projektowania i wymagania jakościowe dla systemów ochrony przed korozją.
- [31] PN-EN ISO 2063-2:2017-12: Natryskiwanie ciepłe – Cynk, aluminium i ich stopy – Część 2: Prowadzenie systemów ochrony przed korozją.
- [32] M. Zubielewicz, A. Ślusarczyk, G. Kamińska-Bach, A. Królikowska, L. Komorowski. 2016. „Właściwości ochronne systemów powłokowych w naturalnych i laboratoryjnych warunkach korozyjnych”. *Ochrona przed Korozją* 59(9): 319–324. DOI: 10.15199/40.2016.9.1.
- [33] PN-EN ISO 6270-1:2018-02: Farby i lakiery – Oznaczanie odporności na wilgoć – Część 1: Kondensacja (jednostronna ekspozycja).
- [34] PN-EN ISO 9227:2017-06: Badania korozyjne w sztucznych atmosferach – Badania w rozpylonej solance.
- [35] PN-EN ISO 2812-2:2019-01: Farby i lakiery – Oznaczanie odporności na cieple – Część 2: Metoda zanurzania w wodzie.
- [36] PN-EN ISO 4628-2:2016-03: Farby i lakiery – Ocena zniszczenia powłok – Określanie ilości i rozmiaru uszkodzeń oraz intensywności jednolitych zmian w wyglądzie – Część 2: Ocena stopnia spękania.
- [37] PN-EN ISO 4628-3:2016-03: Farby i lakiery – Ocena zniszczenia powłok – Określanie ilości i rozmiaru uszkodzeń oraz intensywności jednolitych zmian w wyglądzie – Część 3: Ocena stopnia zardzewienia.
- [38] PN-EN ISO 4628-4:2016-03: Farby i lakiery – Ocena zniszczenia powłok – Określanie ilości i rozmiaru uszkodzeń oraz intensywności jednolitych zmian w wyglądzie – Część 4: Ocena stopnia spękania.
- [39] PN-EN ISO 4628-5:2016-03: Farby i lakiery – Ocena zniszczenia powłok – Określanie ilości i rozmiaru uszkodzeń oraz intensywności jednolitych zmian w wyglądzie – Część 5: Ocena stopnia złuszczenia.
- [40] PN-EN ISO 4628-8:2013-05: Farby i lakiery – Ocena zniszczenia powłok – Określanie ilości i rozmiaru uszkodzeń oraz intensywności jednolitych zmian w wyglądzie – Część 8: Ocena stopnia odwarstwienia i skorodowania wokół rysy lub innego sztucznego uszkodzenia.
- [41] PN-EN ISO 2810:2021-03: Farby i lakiery – Powłoki w naturalnych warunkach atmosferycznych – Ekspozycja i ocena.
- [42] PN-EN ISO 16474-2:2014-02: Farby i lakiery – Metody ekspozycji na laboratoryjne źródła światła – Część 2: Lampy ksenonowe łukowe.
- [43] PN-EN ISO 3231:2000: Farby i lakiery – Oznaczanie odporności na wilgotne atmosfery zawierające ditlenek siarki.
- [44] PN-EN ISO 6270-2:2018-02: Farby i lakiery – Oznaczanie odporności na wilgoć – Część 2: Kondensacja (ekspozycja w komorze z podgrzewanym zbiornikiem wody).
- [45] PN-EN ISO 2808:2020-01: Farby i lakiery – Oznaczanie grubości powłoki.
- [46] PN-ISO 19840:2009: Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Pomiar i kryteria przyjęcia grubości suchych powłok na chropowatych powierzchniach.
- [47] PN-EN ISO 2409:2021-03: Farby i lakiery – Badanie metodą siatki nacięć.
- [48] PN-EN ISO 16276-2:2008: Ochrona konstrukcji stalowych przed korozją za pomocą ochronnych systemów malarskich – Ocena i kryteria przyjęcia adhezji/kohezji (wytrzymałości na odrywanie) powłoki – Część 2: Badanie metodą siatki nacięć i metodą nacięcia w kształcie X.
- [49] D. Kowalski. 2017. „Problemy z powłokami antykorozyjnymi na elementach wyposażenia obiektów mostowych”. *Ochrona przed Korozją* 60(3): 65–68. DOI: 10.15199/40.2017.3.3.
- [50] PN-EN ISO 9001:2015-10: Systemy zarządzania jakością – Wymagania.
- [51] A. Królikowska. 2016. „Logistyka w pracach antykorozyjnych”. *Ochrona przed Korozją* 59(9): 344–345. DOI: 10.15199/40.2016.9.6.
- [52] PN-EN ISO 4628-6:2012: Farby i lakiery – Ocena zniszczenia powłok – Określanie ilości i rozmiaru uszkodzeń oraz intensywności jednolitych zmian w wyglądzie – Część 6: Ocena stopnia skredowania metodą taśmy.

Warianty prenumeraty rocznej czasopisma *Ochrona przed Korozją* w 2023 roku

• prenumerata papierowa + wysyłka

528,00 zł brutto + koszt wysyłki 36 zł brutto
– całoroczna prenumerata wersji papierowej

• prenumerata cyfrowa

504,00 zł brutto
– całoroczna prenumerata wersji cyfrowej
Prenumeratorem otrzyma link aktywacyjny do zaprenumerowanego tytułu na podany w zamówieniu adres mailowy.

• prenumerata w wersji Pakiet PLUS

762 zł brutto – całoroczna prenumerata wersji papierowej + całoroczna prenumerata wersji cyfrowej + dostęp do archiwalnych treści czasopisma „Ochrona przed Korozją” (od 2004 roku) na Portalu Informacji Technicznej www.sigma-not.pl

Prenumeratorem otrzyma link aktywacyjny do zaprenumerowanego tytułu na podany w zamówieniu adres mailowy.

• **cena pojedynczego egzemplarza poza prenumeratą: 45,00 zł brutto**

Prenumeratę można zamówić:

mailem: prenumerata@sigma-not.pl

poprzez Internet: www.sigma-not.pl

telefonicznie: 22 840 30 86 lub 22 840 35 89

listownie: Zakład Poligrafii i Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o., ul. Popiełuszki 19/21, 01-595 Warszawa

dokonyując wpłaty na konto:

Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.
ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa,
nr 24 1020 1026 0000 1002 0250 0577