

Plan rozwoju: Korozja konstrukcji stalowych

Opracowanie przedstawia zjawisko korozji, zewnętrzne i wewnętrzne rodzaje środowiska, zasady projektowania z punktu widzenia ograniczenia korozji a także metody zabezpieczenia konstrukcji stalowych. Podano również zalecenia co do stosowania powłok malarskich i metalicznych.

Zawartość

1.	Wprowadzenie	2
2.	Podstawy zjawisk korozyjnych	2
3.	Parametry systemów ochronnych w konstrukcjach budownictwa ogólnego	3
4.	Środowisko na zewnątrz i wewnątrz	4
5.	Systemy ochronne	5
6.	Literatura	18

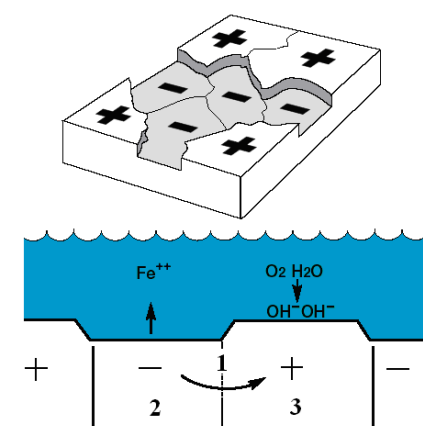
1. Wprowadzenie

Norma PN-EN 1993-1-1 stwierdza, że przy projektowaniu konstrukcji stalowych należy uwzględnić aspekty ochrony przed korozją, zależnie od rodzaju oddziaływań wpływających na trwałość i zależnie od okresu użytkowania. Kwestia okresu użytkowania i trwałości jest rozpatrywana w [§2.1.3](#).

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie ogólnego spojrzenia na zagadnienia korozji konstrukcji stalowych. Opisano podstawowe metody zabezpieczenia przed korozją, wpływ rodzaju zabezpieczenia na projektowanie i przygotowanie powierzchni oraz rodzaje powłok malarskich i metalicznych. Zwrócono także uwagę wpływu rodzaju środowiska oraz wyjaśniono procedury zabezpieczeń za pomocą powłok malarskich do konstrukcji usytuowanych na wolnym powietrzu oraz pod zadaszeniem.

2. Podstawy zjawisk korozyjnych

Korozja metali jest konsekwencją naturalnego procesu. Metale występują w przyrodzie w postaci rozmaitych związków chemicznych (rud). Rudy te wymagają pewnej ilości energii, aby wydzielić z nich czysty metal. Potrzebna ilość energii jest różna dla różnych metali. Na tym polega siła napędowa powodująca korozję. Pełne wyjaśnienie zjawisk korozyjnych jest osadzone w zjawiskach elektrochemicznych i na tej podstawie opracowano różne zależności, które opisują reakcje chemiczne powstające podczas korozji metali. Proces taki pokazano na Rys. 2.1.



Legenda:

- 1 przepływ elektronów
- 2 anoda
- 3 katoda

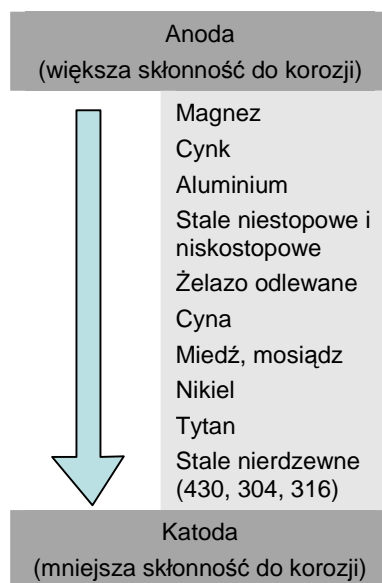
Rys. 2.1 Schematyczne przedstawienie procesu korozji

Aby korozja stali i żeliwa mogła następować potrzebne jest równoczesne występowanie wody i tlenu. Jeżeli brak jest chociaż jednego z tych składników, korozja nie występuje.

Korozja może występować w sposób powierzchniowy, jak i w sposób zlokalizowany, w postaci wżerów korozyjnych, w postaci korozji szczelinowej a także jako korozja bimetaliczna lub galwaniczna. Ta ostatnia występuje, gdy dwa różne metale stykają się ze sobą i oba są w środowisku korozyjnym. Kierunek przepływu prądu elektrycznego

powstającego na wskutek takiego kontaktu określa który z tych metali podlega korozji, a jest to zależne od potencjału elektrochemicznego stykających się metali.

Potencjał elektrochemiczny jest związany z energią, która jest wydzielana gdy metal koroduje. Stosownie do wielkości tego potencjału metale są uporządkowane w tzw. szeregu napięciowym metali, Rys. 2.2. Gdy dwa metale stykają się, korozja metalu znajdującego się wyżej w tym szeregu przyspiesza, natomiast korozja metalu usytuowanego niżej zwalnia lub zupełnie ustaje.



Rys. 2.2 Szereg napięciowy metali

3. Parametry systemów ochronnych w konstrukcjach budownictwa ogólnego

Rozdział ten zawiera krótki odsyłacz do pozostałej części opracowania. Omówione tematy i odpowiadające im rozdziały przedstawiono w Tabelicy 3.1.

Tablica 3.1 Tematy i odniesienie do rozdziałów

Temat	Rozdział
Klasyfikacja środowiska na zewnątrz i wewnątrz	Rozdział 4
Projektowanie z warunku na trwałość	Rozdział 5.1
Specyfikacja przygotowania powierzchni stali	Rozdział 5.2.1
Specyfikacja powłok malarskich dla różnych kategorii korozyjności	Rozdział 5.3.3 – powłoki do czasowej ochrony Rozdział 5.3.5 - wybór systemu malarskiego Rozdział 5.3.4 – zastosowanie specyfikacji

4. Środowisko na zewnątrz i wewnątrz

Stal narażona na działanie środowiska na zewnątrz lub wewnątrz podlega korozji, zależnie od charakterystyki środowiska.

Klasyfikacja środowisk może być przeprowadzona przez oszacowanie ubytku masy wzorcowych próbek wykonanych ze stali węglowych, lub cynku, po pierwszym roku ekspozycji (szczegóły dotyczące próbek podane są w normie ISO 9226). Ekstrapolacja ubytków masy z jednego roku ekspozycji na dłuższe okresy nie daje rzetelnych wyników i nie jest dozwolona. Alternatywną metodą jest oszacowanie kategorii korozyjności na podstawie przykładów typowych środowisk podanych w PN-EN ISO 12944-2. Te kategorie to:

Tablica 4.1 *Przykłady atmosfery na zewnątrz i jej kategorie korozyjności*

C1	Uważa się, że żadne środowisko zewnętrzne nie odpowiada tej kategorii.
C2	Obszary wiejskie z atmosferą zanieczyszczoną w małym stopniu.
C3	Atmosfera miejska i przemysłowa z średnim zanieczyszczeniem tlenkiem siarki. Obszary przybrzeżne o małym zasoleniu.
C4	Obszary przemysłowe i obszary przybrzeżne o średnim zasoleniu.
C5I	Obszary przemysłowe o dużej wilgotności i agresywnej atmosferze.
C5M	Obszary przybrzeżne o dużym zasoleniu.

UWAGA: Powyższe przykłady są jedynie informacyjne i mogą one w niektórych przypadkach prowadzić do błędów

Tablica 4.2 *Przykłady atmosfery wewnątrz i jej kategorie korozyjności*

C1	Ogrzewane budynki z czystą atmosferą np. biura, sklepy, szkoły hotele.
C2	Budynki nieogrzewane, w których może mieć miejsce kondensacja np. magazyny, hale sportowe.
C3	Pomieszczenia produkcyjne o dużej wilgotności i pewnym zanieczyszczeniu np. zakłady spożywcze, pralnie itp.
C4	Zakłady chemiczne, pływalnie, stocznie itp.
C5I, C5M	Budowle lub obszary z prawie ciągłą kondensacją i dużym zanieczyszczeniem. To atmosfera o dużym ryzyku wystąpienia korozji.

UWAGA: Powyższe przykłady są jedynie informacyjne i mogą one w niektórych przypadkach prowadzić do błędów

Jak podano w rozdziale 5.1.2.1 normy PN-EN ISO 12944-5, konstrukcje narażone na działanie środowiska kategorii C1 nie wymagają ochrony przed korozją. Jeżeli z przyczyn estetycznych stosuje się malowanie, wówczas mogą być stosowane powłoki jak dla środowiska korozyjnego C2.

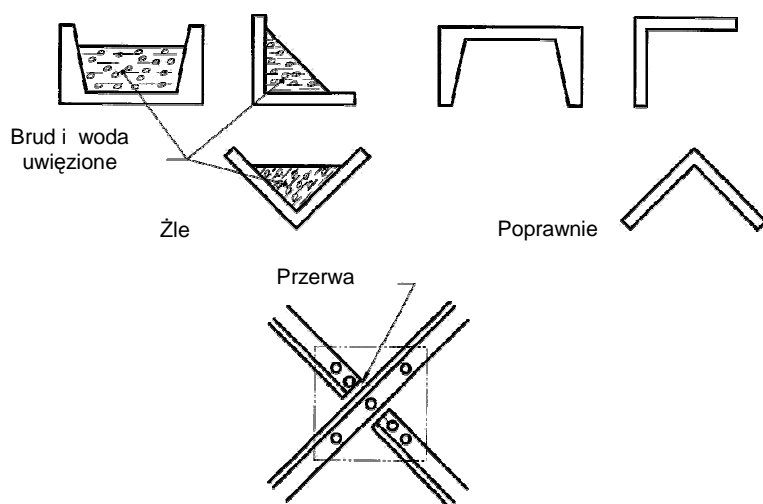
Ramy niniejszego opracowania są ograniczone do budynków jednokondygnacyjnych usytuowanych w zewnętrznym środowisku przemysłowym o niewielkim zanieczyszczeniu i środowisku wewnętrznym o małej kategorii korozyjności (np. magazyny). W przypadku specyficznych środowisk (np. budynki produkcyjne w środowisku zewnętrznym o dużej agresywności), projektant powinien poszukać porady specjalisty.

5. Systemy ochronne

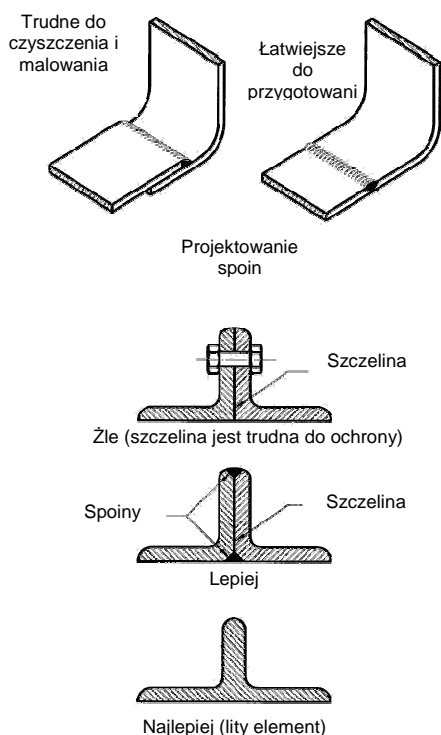
5.1 Wpływ na projektowanie

W fazie projektowania należy zadbać o to, aby konstrukcja cechowała się odpowiednią trwałością. Najbardziej istotne aspekty, które należy wziąć pod uwagę są następujące:

1. Zalecany jest prosty kształt elementów konstrukcyjnych i unikanie ich nadmiernej złożoności. Transport, podnoszenie i czynności montażowe nie powinny zmniejszać efektywności zastosowanych metod ochrony.
2. Należy zredukować do minimum kontakt pomiędzy powierzchnią stali a wodą lub brudem:
 - Należy kształtować elementy tak, aby unikać zatrzymywania wody.
 - Należy unikać otworów i szczelin, w których woda może zostać uwięziona.
 - W przypadku wnętrz dostępnych, ich wymiary powinny zapewniać odpowiednią wentylację i odprowadzenie wody.
 - Wnętrza niedostępne należy uszczelniać, aby odciąć dostęp powietrza i wilgoci. Można przewidywać naddatek korozyjny, uwzględniający zmniejszenie grubości ścianek w wyniku korozji w czasie eksploatacji konstrukcji.
3. Należy zapobiegać, jeśli jest to możliwe, powstawaniu ogniw galwanicznych (styk dwu metali) lub izolować w razie potrzeby powierzchnię metalu.
4. W elementach przeznaczonych do cynkowania należy zapewnić otwory odpowietrzające. Podczas cynkowania rury muszą być zanurzone w ciekłym cynku. Powietrze musi mieć możliwość ucieczki, a cynk powinien przepływać swobodnie z jednej strony na drugą.
5. Należy zapewnić łatwy dostęp do nałożenia powłoki malarskiej (metalicznej).



Rys. 5.1 Przykłady jak unikać pułapek wody i brudu (źródło: PN-EN ISO 12944-3)



Rys. 5.2 Spoiny i postępowanie ze szczelinami. Źródło: PN-EN ISO 12944 - 3

5.2 Przygotowanie powierzchni

Przygotowanie powierzchni nie jest metodą zabezpieczenia, lecz jest czynnikiem rozstrzygającym jeśli chodzi o otrzymanie niezbędnej przyczepności pomiędzy stałą a powłoką ochronną.

5.2.1 Wprowadzenie

Przed walcowaniem na gorąco stal jest nagrzewana do wysokiej temperatury. Żelazo reaguje wówczas łatwo z tlenem atmosferycznym tworząc na jej powierzchni warstwę tlenków. Podczas chłodzenia tlenki te stają się twarde i kruche oraz ściśle przylegają do powierzchni. Mają one zwykle czarne zabarwienie. Zazwyczaj określa się je nazwą zgorzeliny walcowniczej. Zgorzelina ma mniejszą rozszerzalność cieplną niż stal i łatwo pęka. Z upływem czasu woda przenika przez te pęknięcia i powoduje zjawisko korozji. Procesy korozji stopniowo powodują odpadanie zgorzeliny walcowniczej, co tworzy nierówną powierzchnię, która jest nieodpowiednia do nakładania powłok zabezpieczających i musi być najpierw wyczyszczona.

Ilość rdzy na powierzchni elementu stalowego zależy od czasu w którym element podlegał działaniu korozji. Norma PN-EN ISO 8501-1 opisuje cztery stopnie skorodowania:

A – Powierzchnia w znacznym stopniu pokryta zgorzeliną walcowniczą, lecz w małym stopniu, jeśli w ogóle, rdzą.

B – Powierzchnia stali, która zaczęła korodować i z której zaczęła złuszczać się zgorzelina walcownicza.

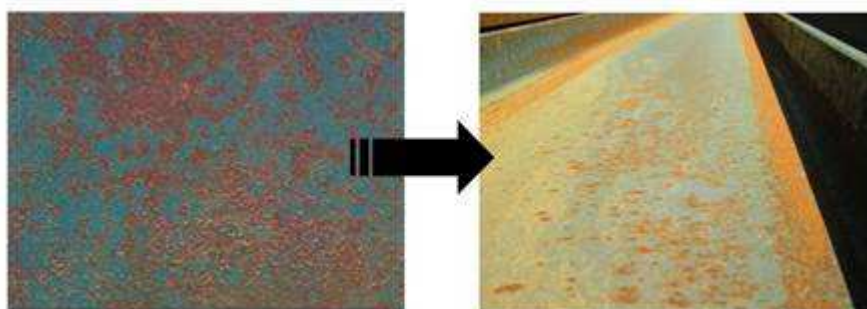
C – Powierzchnia stali, na której zgorzelina walcownicza przekorodowała lub z której można ją zeszkrobać, lecz z wżerami słabo widocznymi gołym okiem.

D – Powierzchnia stali, na której zgorzelina przekorodowała i na której powszechnie występujące wżery widoczne są gołym okiem.

Stosunkowo nowa konstrukcja stalowa odpowiada stopniowi skorodowania A, B i czasami C. Stopień skorodowania D zwykle pojawia się na konstrukcji przetrzymywanej przez długi czas w warunkach środowiska zewnętrznego.

Specyfikacja przygotowania powierzchni do malowania zawarta jest w normie PN-EN ISO 12944-4. Istnieją dwa sposoby przygotowania powierzchni:

- ❑ Pierwotne (całkowite) przygotowanie powierzchni: obejmuje usunięcie zgorzeliny walcowniczej, rdzy, istniejących powłok i zanieczyszczeń. Stopień skorodowania może być połączony ze odpowiednim stopniem przygotowania przy użyciu danej metody, aby określić warunki przygotowania powierzchni (np. A Sa 2 ½).
- ❑ Drugie (częściowe) przygotowanie powierzchni: w tym wypadku powinny być użyte stopnie przygotowania określone w PN-EN ISO 8501-2. Stopnie te są oznaczane przez symbol odpowiedniej metody czyszczenia, poprzedzonej literą P, np. P Sa 2 ½.



Rys. 5.3 Reprezentatywny przykład fotograficzny z normy PN-EN ISO 8501-1 (stopień skorodowania B) i rzeczywisty obraz kształtownika walcowanego

5.2.2 Wstępne czyszczenie

Na konstrukcji stalowej występują zwykle zanieczyszczenia takie jak pozostałości oleju, smaru, ślady oznaczeń itp. Metody czyszczenia przedstawione w punktach 5.2.3 do 5.2.8 nie są przeznaczone do usuwania takich zanieczyszczeń. Przed zastosowaniem właściwej metody czyszczenia należy użyć rozpuszczalników organicznych, emulsji odtłuszczających lub innych, aby usunąć wymienione wyżej zanieczyszczenia. Sposoby usuwania warstw i obcych zanieczyszczeń omówiono w załączniku C normy PN-EN ISO 12944-4.

5.2.3 Czyszczenie narzędziem ręcznym i narzędziem ręcznym z napędem mechanicznym (stopnie St)

Ta metoda czyszczenia jest głównie używana do elementów przeznaczonych do malowania.

Czyszczenie ręczne stosuje się, gdy zakres pracy jest nieduży, gdy narzędzia mechaniczne są niedostępne, lub nie ma możliwości dostępu z takimi narzędziami. Typowe narzędzia ręczne

to szczotki druciane, dłuta, szpachelki i skrobaki. Nie są one efektywne, gdy należy usuwać zgorzelinę walcowniczą lub rdzę.

Zastosowanie narzędzi z napędem mechanicznym wymaga odpowiedniego wyboru spośród szerokiej gamy urządzeń..

Stopnie oczyszczenia narzędziem ręcznym i narzędziem z napędem mechanicznym zdefiniowano w normie PN-EN ISO 8501 jako:

St 2 Dokładne oczyszczenie narzędziem ręcznym lub mechanicznym

St 3 Bardzo dokładne oczyszczenie narzędziem jw.

5.2.4 Obróbka strumieniowo-ścierna (stopnie Sa)

Jest to najważniejsza metoda przygotowania powierzchni, w szczególności takich, które będą malowane.

Ścierniwo jest wprowadzane w sprężony strumień powietrza lub podawane przez obracające się wirniki tak, aby rzucały ścierniwo na powierzchnię stali. Przygotowanie powierzchni za pomocą tej metody zapewnia podkład pod powłoki malarskie, dając czystą, równomierną powierzchnię i zapewniając znaczną trwałość powłok.

Stopnie obróbki strumieniowo ścierniej podano w PN-EN ISO 8501:

Sa 1 Lekka obróbka strumieniowo ścierna

Sa 2 Dokładna obróbka strumieniowo ścierna

Sa 2 ½ Bardzo dokładna obróbka strumieniowo ścierna

Sa 3 Obróbka strumieniowo ścierna do wizualnie czystej stali

5.2.5 Czyszczenie płomieniem (stopnie FI)

Metoda ta jest również zalecana do powierzchni przeznaczonych do malowania.

Czyszczenie takie usuwa wszystkie luźne fragmenty zgorzeliny walcowniczej, rdzy i innych szkodliwych substancji przez przesuwanie płomienia acetylenowo-tlenowego nad całą powierzchnią. Zalecany jest nadmiar tlenu w płomieniu ($\approx 25\%$), aby uniknąć powstania sadzy. Różnica pomiędzy współczynnikami rozszerzalności cieplnej stali i zgorzeliny walcowniczej powoduje złuszczenie się zgorzeliny. Po oczyszczeniu płomieniem, powierzchnia winna być oczyszczona szczotką drucianą. Należy uważać podczas oczyszczania płomieniowego, aby nie zniszczyć powłoki po przeciwnej stronie powierzchni oczyszczanej (o ile taka występuje).

5.2.6 Obróbka strumieniowo ścierna na mokro

Metoda zalecana do czyszczenia i usuwania starych powłok zabezpieczających.

Metoda jest podobna do obróbki strumieniowo ścierniej, lecz z dodaniem cieczy (wody) do strumienia ścierniwa i powietrza. Zastosowanie wody eliminuje powstawanie kurzu. Z drugiej strony, gdy stosuje się urządzenia niskociśnieniowe drobne cząsteczki ścierniwa mogą pozostać na powierzchni stalowej i powinny być usunięte przez zmycie wodą. Czasami

używa się inhibitorów korozji, aby zapobiegać rdzewieniu wywołanemu kontaktem z wodą. Metoda pozwala osiągnąć wysoki wizualny stopień oczyszczenia i jest odpowiednia do usuwania znacznych ilości rozpuszczalnych soli.

5.2.7 Czyszczenie strumieniem wody pod wysokim ciśnieniem

Metoda zalecana do czyszczenia i usuwania starych powłok malarskich.

Metoda pozwala rozpuszczalnych soli. Dodatkowo jej zaletą jest brak zużywania ścierniwa. Wysokie ciśnienie nagrzewa powierzchnię stalową, powodując wysychanie resztek wody.

Aktualnie trwają prace nad nową normą opisującą czyszczenie strumieniem wody pod wysokim ciśnieniem, EN ISO 8501-4.

5.2.8 Trawienie kwasem

Metoda stosowana do powierzchni elementów przeznaczonych do galwanizacji.

Trawienie polega na zanurzaniu elementów w roztworze kwasów. Kąpiel taka rozpuszcza pozostałości tlenków i zgorzeliny. Do jej przeprowadzenia są stosowane różne kwasy: siarkowy, solny, fosforowy lub ich mieszanki. Kwas odpowiedni do trawienia powinien usuwać tylko zgorzelinę z metalu, lecz znaczna jego ilość może być marnowana na rozpuszczanie metalu. Aby tego uniknąć stosuje się odpowiednie inhibitory.

5.2.9 Chropowatość powierzchni

W specyfikacjach dotyczących przygotowania powierzchni oprócz stopnia czystości należy wziąć pod uwagę jej chropowatość. Ścierniwo w postaci śrutu kulistego jest odpowiednie do cienkich powłok, takich jak powłoki wstępne (do czasowej ochrony), podczas gdy ścierniwo w postaci śrutu ostrokątnego powoduje powstanie bardziej szorstkiej powierzchni, potrzebnej do grubych powłok malarskich i powłok metalicznych natryskiwanych.

5.2.10 Ocena obszarów z wadami powierzchni

Kiedy obróbka strumieniowa jest zakończona, możliwa jest ocena przygotowanych powierzchni pod kątem powstałych imperfekcji. Imperfekcje takie pojawiają się na spoinach, ciętych brzegach itp. Ocena obszarów z wadami powierzchni jest zdefiniowana w PN-EN ISO 8501-3.

W środowisku z niską kategorią korozyjności takie imperfekcje nie są szkodliwe dla powłok zabezpieczających. W szczególnych przypadkach takie imperfekcje należy usuwać.

5.3 Powłoki malarskie

Powłoki malarskie są najważniejszymi ze sposobów ochrony stali przed korozją. Niezbędna jest szeroka wiedza o różnorodnych powłokach malarskich, aby zrozumieć możliwy zakres ich stosowania. W ten sposób projektant będzie w stanie wybrać odpowiedni rodzaj powłoki, który spełnia wymagania narzucone przez warunki środowiskowe i wykonania.

Farby składają się z pigmentów rozproszonych w substancji błonotwórczej, która jest równocześnie rozpuszczona w rozpuszczalniku lub jest emulsją wodną. Składniki te opisane są poniżej:

- Pigmenty: są to nierozpuszczalne, rozproszone cząstki, które wpływają na wiele właściwości farb, takich jak: barwa, nieprzezroczystość, twardość, trwałość i są również inhibitorami korozji.
- Substancja błonotwórcza: jest to składnik tworzący cienką warstwę farby. Substancje błonotwórcze są tworzone z żywic, olejów lub z rozpuszczalnych silikonów, które łączą pigment i umożliwiają przyczepność farby do podłoża (stalowego lub powłok malarskich).
- Rozpuszczalnik: główną rolą rozpuszczalnika jest uczynienie farby wystarczająco lepkiej do aplikowania za pomocą pędzla, wałka lub do malowania natryskowego. Mogą one być dobierane stosownie do stopnia parowania podczas nakładania. Na przykład malowanie natryskowe jest wykonywane lepiej za pomocą rozpuszczalników szybko parujących, podczas gdy nanoszenie pędzlem lub wałkiem wymaga powolnego parowania rozpuszczalnika.

Po nałożeniu farby, przed odparowaniem rozpuszczalnika, tworzy ona „moką powłokę”. Po odparowaniu rozpuszczalnika, pigmenty i substancja błonotwórcza pozostające na powłoce tworzą „suchą powłokę”. Specyfikacja grubości powłoki jest zwykle określana dla grubości „suchej powłoki”.

5.3.1 Klasyfikacja powłok malarskich

Farby są zwykle nanoszone w kilku warstwach, jedna na drugiej. Tymi warstwami są powłoka gruntowa, powłoki międzywarstwowe i powłoka nawierzchniowa.

Powłoki gruntowe są zwykle klasyfikowane pod względem pigmentów inhibitorów korozji np. powłoka gruntowa zawierająca fosforan cynku oraz grunty wysokopigmentowane cynkiem (z pyłem cynkowym). Dodatkowo, każdy z tych pigmentów może być powiązany szerokim zakresem substancji błonotwórczych prowadząc do powstania np. gruntu alkidowego z fosforanem cynku, gruntu epoksydowego z fosforanem cynku, itp.

Powłoki międzywarstwowe i nawierzchniowe są klasyfikowane pod względem substancji błonotwórczej, np. alkilowe, epoksydowe itp.

5.3.2 Systemy powłok malarskich

Systemy malarskie nie powinny być rozpatrywane tylko jako kilka nałożonych na siebie powłok. Należy rozważyć następujące aspekty:

- Stan powierzchni przed nałożeniem powłoki (czyszczenie i mechaniczne przygotowanie).
- Dobór materiałów na powłoki i kompozycja systemu malarskiego.
- Minimalna i maksymalna grubość suchej powłoki.
- Warunki atmosferyczne podczas nanoszenia powłok i schnięcia farby.
- Oczekiwane warunki działające na powłokę, okres trwałości i koszty.

Grunt jest nanoszony na wyczyszczonej powierzchni stali i jego zadaniem jest „zamoczenie” powierzchni, aby zapewnić dobre przyleganie późniejszych powłok i zapewnić zahamowanie korozji.

Powłoki międzywarstwowe tworzą większość grubości całego systemu malarskiego. Te powłoki mogą być powłokami uszczelniającymi, aby zredukować przenikanie wilgoci, lub zbudować powłokę która poprawia całkowitą ochronę, przez wzrost grubości.

Powłoka nawierzchniowa jest pierwszą barierą ochronną przed działaniem środowiska. Zapewnia wymagany kolor, połysk i wytrzymałość powierzchniową dla całego systemu malarskiego.

5.3.3 Grunt do czasowej ochrony

Gdy powierzchnia stali jest wyczyszczona, pożądaną jest pokryć ją powłoką tak szybko jak to jest możliwe, aby utrzymać wolną od korozji powierzchnię do czasu ostatecznego malowania. Osiąga się to przez stosowanie gruntu do czasowej ochrony, zaraz po procesie czyszczenia strumieniowo ściernego.

Grunt do czasowej ochrony nie powinien zakłócać stosowanych powszechnie technik wytwarzania konstrukcji. Grunty do czasowej ochrony powinny być certyfikowane pod względem jakości cięcia i spawania oraz zdrowia i bezpieczeństwa pracy. Emitowane z gruntu podczas spawania opary nie powinny przekraczać przyjętych granic narażenia zawodowego.

Ogólnie, są stosowane następujące rodzaje gruntów do czasowej ochrony:

- Grunty wytrawiające (Etch Primers): są produkowane na bazie poliwinylbutyralu.
- Grunty epoksydowe: farby poliamidowo-epoksydowe są najbardziej popularne.
- Grunty epoksydowo-cynkowe: chlorokauczukowe, żywice epoksydowe.
- Grunty krzemowo-cynkowe

5.3.4 Nanoszenie powłok malarskich

System malarski nie jest kompletny jeśli nie określono sposobu nanoszenia farby. Odpowiednie naniesienie powłoki jest zasadnicze dla odpowiedniego rezultatu. W rozdziale tym przedstawiono zarówno czynniki wpływające na farby, jak i na metody nanoszenia.

Czynniki wpływające na sposób nanoszenia:

- Temperatura: należy zwrócić uwagę na unikanie pęcherzy i porów. Gdy farba jest nakładana podczas wysokiej lub niskiej temperatury, należy sprawdzać otrzymaną grubość powłoki. Zalecane jest, aby temperatura stali była co najmniej o 3 °C wyższa od punktu rosy.
- Wilgoć: nie należy nanosić powłok podczas deszczu, wiatru, opadów śniegu lub mgły.
- Wilgotność: farby które są utwardzane przez absorpcję wilgoci atmosferycznej mogą wymagać pewnego stopnia wilgoci, aby osiągnąć odpowiedni poziom twardości.
- Osłona: przy niskich temperaturach nanoszenie farby powinno odbywać się pod osłoną, zapewniającą odpowiednią temperaturę powietrza.
- Uszkodzenia: powierzchnia stali wykazująca uszkodzenia powinna być ponownie przygotowana i pomalowana.
- Ciągłość: każda powłoka powinna być ciągła, bez porów i z równą grubością.
- Grubość: należy osiągnąć nominalną grubość suchej powłoki.

Metody malowania: pędzle i wałki malarskie są stosowane w warunkach montażowych, podczas gdy malowanie natryskowe (głównie hydrodynamiczne) jest stosowane w warsztacie.

- Malowanie pędzlem: najwolniejszy i najdroższy sposób nakładania farby. Jest właściwy tylko do niewielkich powierzchni.
- Malowanie wałkami malarskimi: wałki są odpowiednie do dużych, płaskich powierzchni. Nanoszenie wałkiem nie wymaga dużego doświadczenia i jest znacząco szybsze od nanoszenia pędzlem. Główną wadą jest to, że nanoszenie wałkiem nie jest nie tak skuteczne jak malowanie pędzlem.
- Malowanie natryskowe: może to być natrysk pneumatyczny lub hydrodynamiczny. Natrysk hydrodynamiczny zmniejsza straty farby które mają miejsce przy natrysku pneumatycznym (ok. 20% do 40% na stali konstrukcyjnej).

5.3.5 Specyfikacja systemu malarskiego

W tym rozdziale określono system malarski dla określonego obiektu, stosownie do wymagań normy PN-EN ISO 12944-5.

Dane podstawowe

- Magazyn jednokondygnacyjny, którego konstrukcja jest wykonana z typowych kształtowników walcowanych na gorąco
- Środowisko na zewnątrz: obszar przemysłowy o średnim zanieczyszczeniu tlenkiem siarki
- Środowisko wewnątrz: środowisko o małym ryzyku korozyjności z możliwością wystąpienia kondensacji
- Trwałość: większa od 15 lat

Kategoria korozyjności: C3 dla środowiska zewnętrznego oraz C2 dla środowiska wewnętrznego. Trwałość dla okresu przekraczającego 15 lat według PN-EN ISO 12944-1 określana jest „długa” (H).

Zawartość Tablicy A.1 normy PN-EN ISO 12944-5 (załącznik A) jest przedstawiona w Tablicy 5.2 (patrz następna strona). Tablica ta przedstawia przykłady systemów ochronnych dla kategorii korozyjności od C2 do C4. (Mocno zacienione pola pokazują systemy, które zapewniają odpowiednią trwałość; lekko zacienione pola pokazują systemy, które zwykle nie są stosowane do danej kategorii korozyjności.) Dostępne systemy dla rozpatrywanego przypadku zakreślono zielonym symbolem. Projektant powinien uzyskać dostęp do dokumentacji od dostawcy farby, potwierdzającej odpowiedniość i trwałość systemu malarskiego dla danej kategorii korozyjności.

System ochronny jest określony jak następuje:

- Dla systemów z tą samą substancją błonotwórczą we wszystkich powłokach (np. S1.10): ISO 12944-5/S1.10
- Dla systemów z różnymi substancjami błonotwórczymi (np. S1.15): ISO 12944-5/S1.15-AK/AY

Wszystkie grubości podane w tablicach odnoszą się do grubości suchej powłoki, nanoszonej natryskiem.

Alternatywnie, projektant może odnieść się do tablicy uwzględniającej dane warunki środowiskowe (Tablica A.2 w przypadku kategorii korozyjności C2 i Tablica A.3 w przypadku kategorii korozyjności C3). Te tablice nie są przedstawione w niniejszym dokumencie. Należy zauważyć, że wszystkie przykłady podane w Tablicy A.2, A.3 oraz A.4 są zebrane w Tablicy A.1.

Jak widać z Tablicy 5.2, projektant może dobrać kilka odpowiednich systemów. W tym momencie istotne jest, aby być w stanie wybrać najlepszą opcję stosownie do kreślonych wymagań rozpatrywanego przykładu. Tablica 5.1 podaje ogólne właściwości podstawowych typów powłok malarskich. Pełne dane dostępne są w Załączniku C normy PN-EN ISO 12944-5. Jest także zalecane sprawdzić odpowiedniość wyrobu o producenta.

Tablica 5.1 *Ogólne właściwości podstawowych typów farb (x=słabe, ★=do przyjęcia, ★★=dobre, ★★ ★=bardzo dobre)*

	Alkidowa	Wynylowa	Chloro- kautuczowa	Epoksy- dowa	Poliure- tanowa	Bitum	Akrylowa
Odpowiednia jako grunt	★★	★	★★	★★★	★	★	★
Warstwa nawierzchniowa	★★	★★	★	★★	★★★	★	★★
Warstwa międzywarstwowa	x	★	★	★★★	★★	★★	★
Tolerancja dla słabego przygotowania powierzchni	★	x	x	★	★	★★	x
Zachowanie połysku	★★	★★	x	x	★★★	x	★★
Zachowanie barwy	★★	★★	x	x	★★★	x	★★
Odporność na temperaturę	x	x	x	★★	★	x	x
Zanurzenie w wodzie	x	★★	★★	★★★	★	★★★	x
Odporność na kwasy	x	x	x	★	★	x	x
Odporność na alkalia	x	★	★	★★★	★★	★	★
Odporność na ścieranie	★	x	x	★★★	★★★	x	x
Odporność na uderzenie	x	★★	★★	★★★	★★★	★	★
Nakładanie pędzlem	★★★	★★	★★	★★★	★★	★★★	★★
Nakładanie wałkiem	★★★	x	x	★★	★★	★★★	x
Nakładanie za pomocą natrysku	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★

Uwaga: Chlorokautuczuk lub bitum są czasami nieakceptowane, z powodu uwarunkowań środowiskowych lub zdrowotnych.

Tablica 5.2 Tablica A.1 z załącznika A normy PN-EN ISO 12944-5

Nr systemu	Stopień oczyszczenia powierzchni		Powłoka gruntowa				Następna warstwa(y)			System malarski		Oczekiwana trwałość (patrz 5.5 oraz PN-EN ISO 1294-1)									Numer odpowiadającego systemu w Tablicy						
	St 2	Sa 2 ^{1/2}	Substancja blonotwórcza	Rodzaj gruntu	Liczba warstw	DFT µm	Substancja blonotwórcza	Liczba warstw	DFT µm	Liczba warstw	Całkowita DFT µm	C2			C3			C4			A.2	A.3	A.4				
S1.01		X	AK, AY	Różne	1-2	100	-	-	100	1-2	100												S2.08/11				
S1.02		X	EP, PUR	Zn (R)	1-2	80	-	-	80	1-2	80				☑								S2.17	S3.20			
S1.03		X	ESI	Zn (R)	1	80	-	-	80	1	80				☑								S2.18	S3.25			
S1.04	X		AK	Różne	1	40	AK	1	80	2	80												S2.01				
S1.05		X			1	40		2	80																S2.02		
S1.06	X				2	80		1	120	3	120														S2.03	S3.01	
S1.07		X			1-2	80		1	120	2-3	120														S2.04	S3.02	
S1.08	X				2	80		1-2	160	3-4	160														S2.05	S3.03	
S1.09		X			1-2	80		1-2	160	2-4	160							☑							S2.06	S3.04	
S1.10	X				1-2	80		2-3	200	3-5	200							☑							S2.07	S3.05	
S1.11		X			1-2	80		2-3	200	3-5	200									☑					S3.06	S4.01	
S1.12		X			AY	Różne		1	80	AY	1	120	2	120											S2.12		
S1.13		X			EP	Różne		1	160	AY	1	200	2	200												S3.15	S4.10
S1.14	X		AK, AY, CR	2	80		1-2	160	3-4		160													S2.09/13	S3.11		
S1.15		X	1-2	80	1-2		160	2-4	160								☑							S2.10/14	S3.12		
S1.16		X	EP, PUR	Zn (R)	1		80	1-2	160		2-3	160					☑								S3.23	S4.16	
S1.17		X	ESP	1	80		1-2	160	2-3		160						☑								S3.26	S4.24	
S1.18		X	AK, AY, CR	Różne	1-2		80	2-3	200		3-5	200													S3.07/13	S4.04/08	
S1.19		X	ESI	Zn (R)	1		80	2-3	200		3-4	200													S3.27		
S1.20		X	EP, PUR	1	40		2-3	200	3-4		200														S3.24	S4.17	
S1.21		X	AK, AY, CR	Różne	1-2		80	2-3	240		3-5	240													S3.08/14	S4.05/09	
S1.22		X	ESI	Zn (R)	1		80	2-3	240		3-4	240													S4.26		
S1.23		X	EP, PUR	1	40	2-3	240	3-4	240														S4.18				
S1.24		X	EP	Różne	1	160	1	280	2	280													S4.11				
S1.25		X	AK, AY, CR	Różne	1-2	80	2	240	3-4	240													S3.09/10	S4.02/06			
S1.26		X	1-2	80	2-3	280	3-5	280															S4.03/07				
S1.27		X	EP	Różne	1-2	80	BIT	1	120	2-3	120												S2.15	S3.16			
S1.28		X			1-2	80		1-2	160	2-4	160							☑							S2.16	S3.17	
S1.29		X	EP, PUR	Zn (R)	1	40	EP	1-2	160	2-3	160												S3.21	S4.19			
S1.30		X	ESI	1	80	1-2		160	2-3	160														S3.28	S4.27		
S1.31		X	EP	Różne	1-2	80		2-3	200	3-5	200													S3.18	S4.12		
S1.32		X	EP, PUR	Zn (R)	1	40		2-3	200	3-4	200													S3.22	S4.20		
S1.33		X	ESI	1	80	2-3		200	3-4	200														S3.29	S4.28		
S1.34		X	EP	Różne	1-2	80		2-3	240	3-5	240													S3.19	S4.13		
S1.35		X	EP, PUR	Zn (R)	1	40		2-3	240	240	240													S4.21			
S1.36		X	ESI	1	80	2-3		240	240	240	240													S4.29			
S1.37		X	EP	Różne	1-2	80		2-3	280	280	280													S4.14			
S1.38		X	EP, PUR	Zn (R)	1	40		2-3	280	280	280													S4.22			
S1.39		X	ESI	1	80	2-3	280	280	280	280													S4.30				
S1.40		X	EP	Różne	1-2	80	3-4	320	320	320													S4.15				
S1.41		X	EP, PUR	Zn (R)	1	40	3-4	320	320	320													S4.23				
S1.42		X	ESI	1	80	3-4	320	320	320	320													S4.31				

(cd.)

Substancje błonotwórcze powłoki(-k) gruntowej (-ych)	Farby (ciekle)			Substancje błonotwórcze powłoki(-k) nawierzchniowej (-ych)	Farby (ciekle)		
	Liczba składników		Możliwe wodne		Liczba składników		Możliwe wodne
	1 -składnikowe	2 - składnikowe			1 -składnikowe	2 - składnikowe	
AK = Alkidowa	X		X	AK = Alkidowa	X		X
CR = Chlorokauczukowa	X			CR = Chlorokauczukowa	X		
AY = Akrylowa	X		X	AY = Akrylowa	X		X
PVC = Polichlorek winylu	X			PVC = Polichlorek winylu	X		
EP = Epoksydowa		X	X	EP = Epoksydowa		X	X
ESI = Etylokrzemianowa	X	X		PUR = Poliuretanowa	X	X	
PUR = Poliuretanowa	X			BIT = Bitum	X		

5.4 Powłoki metaliczne

5.4.1 Wprowadzenie

W przypadku stali konstrukcyjnych, najbardziej reprezentatywną metodą nakładania powłok metalicznych jest natryskiwanie cieplne (w przypadku nanoszenia na całych elementach proces jest nieefektywny) oraz nakładanie zanurzeniowe (szczególnie odpowiednie w wypadku nanoszenia powłok na całych elementach, patrz Rys. 5.1). Istnieją inne metody nanoszenia powłok, jak szperardyzowanie lub galwanizacja, lecz są one stosowane przeważnie do innych typów elementów (takich jak wyposażenie oraz łączniki mechaniczne).



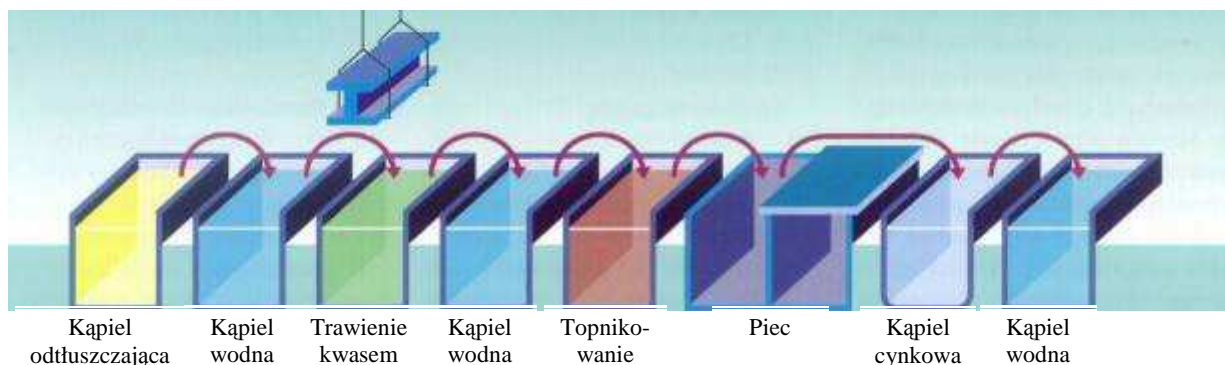
Rys. 5.1 Kratownice cynkowane ogniowo. Źródło: ATEG (Spanish Galvanizing Technical Association)

5.4.2 Cynkowanie ogniowe

Proces polega na nakładaniu powłoki cynkowej przez zanurzenie elementu stalowego w wannie ze stopionym cynkiem. Szczegóły procesu opisano poniżej:

1. Pozostałości smaru lub oleju usuwane są za pomocą środków odtłuszczających, takich jak roztwory alkaliczne lub kwasowe substancje odtłuszczające. Środki organiczne nie są zwykle używane.
2. Po odtłuszczeniu, elementy myte są w kąpeli wodnej, aby usunąć pozostałości środków odtłuszczających.
3. Trawienie kwasem: na tym etapie usuwane są pozostałości zgorzeliny i rdzy. Zwykle używany jest kwas solny. Etap ten jest przeprowadzany w temperaturze pokojowej.
4. Element jest ponownie myty w wodzie, aby usunąć pozostałości kwasu.

5. Element jest zanurzany w topniku, aby zapewnić odpowiednie przyleganie cynku i stali podczas procesu cynkowania.
6. Elementy są suszone w piecu lub strumieniu gorącego powietrza.
7. Element jest zanurzany w kąpeli z stopionym cynkiem o temperaturze pomiędzy 440 °C a 460 °C. W tej temperaturze cynk reaguje ze stalą tworząc stopy związane z powierzchnią stali.
8. Na końcu cynkowany element jest pozostawiony do ostygnięcia lub chłodzony w wodzie.



Rys. 5.2 Cynkowanie ogniowe. Źródło: ATEG (Spanish Galvanizing Technical Association)

Specyfikacje dotyczące cynkowania ogniowego zawarte są w normie PN- EN ISO 1461. W normie tej podano minimalne grubości cynku, zależnie od grubości elementu stalowego.

Tablica 5.3 Grubość powłoki cynku na częściach, które nie były odwirowane (PN-EN ISO 1461)

Części i ich grubości	Grubość miejscowa powłoki (µm)	Grubość średnia powłoki (µm)
Stal ≥ 6 mm	70	85
3 mm ≤ Stal < 6 mm	55	70
1,5 mm ≤ Stal < 3mm	45	55
Stal < 1,5 mm	35	45
Żeliwo ≥ 6 mm	70	80
Żeliwo < 6 mm	60	70

Dodatkowe wskazówki o projektowaniu elementów, które będą cynkowane ogniowo podano w PN-EN ISO 14713 (patrz Tablica 5.3, Tablica 5.4 i Rys. 5.5).

Tablica 5.4 Grubość powłoki cynkowej przy trwałości większej niż 20 lat

Kategoria korozyjności	Ubytek korozyjny cynku (g/m ² /rok)	Średnia grubość powłoki ¹ (µm)
C2	< 5	25 - 85
C3	5 - 15	45 - 85
C4	15 - 30	85
C5I	30 - 40	115
C5M	40 - 60	150 - 200

¹ Cynkowanie ogniowe według PN-EN ISO 1461

Elementy cynkowane ogniowo mogą być stosowane bez dodatkowych form ochrony. W celu zapewnienia dłuższej trwałości, lub w wypadku wymagań co do wyglądu, mogą być stosowane powłoki typu „duplex”. Powłoki „duplex” są kombinacją cynkowania i powłok malarskich.

W przypadku konstrukcji cynkowanych, jeśli wymagane są powłoki „duplex”, można skorzystać z Tablicy A.9 normy PN-EN ISO 12944-5, Załącznik A, która podaje przykłady powłok ochronnych dla kategorii od C2 do C5I oraz C5M.

6. Literatura

- *“The prevention of corrosion in structural steelwork”*, Corus Construction and Industrial
- *“A corrosion protection guide for steelwork exposed to atmospheric environments”*, Corus Construction and Industrial
- *“A corrosion protection guide for steelwork in building interiors and perimeter walls”*, Corus Construction and Industrial
- European General Galvanisers Association (www.egga.com)
- ATEG (Spanish Galvanizing Technical Association) (www.ateg.es)
- PN-EN 1993-1-1: *“Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków”*
- ISO 9226 *„Korozja metali i stopów. Agresywność korozyjna atmosfer. Metody oznaczania szybkości korozji próbek wzorcowych w celu określenia agresywności”*
- PN-EN ISO 12944: *“Farby i lakiery. Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą systemów malarskich”*
- PN-EN ISO 8501: *“Przygotowanie podłoża stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów – Wzrokowa ocena czystości powierzchni”*
- PN-EN ISO 1461: *“Powłoki cynkowe наносzone na stal metoda zanurzeniową. Wymagania i badania”*
- EN ISO 14713: *“Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych i żeliwnych. Powłoki cynkowe i aluminiowe. Wytyczne”*

Protokół jakości

Tytuł zasobu	Plan rozwoju: Korozja konstrukcji stalowych		
Odniesienie			
ORIGINAL DOKUMENTU			
	Imię i nazwisko	Instytucja	Data
Stworzony przez	Francisco Rey	Labein	03/05
Zawartość techniczna sprawdzona przez	Jose A. Chica	Labein	06/05
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez			
Zawartość techniczna zaaprobowana przez:			
1. Wielka Brytania	G.W. Owens	SCI	7/4/06
2. Francja	A. Bureau	CTICM	7/4/06
3. Szwecja	A. Olsson	SBI	7/4/06
4. Niemcy	C. Mueller	RWTH	7/4/06
5. Hiszpania	J. Chica	Labein	7/4/06
Zasób zatwierdzony przez Koordynatora Technicznego	G.W. Owens	SCI	13/7/06
TŁUMACZENIE DOKUMENTU			
Tłumaczenie wykonał i sprawdził:		L. Ślęczka, PRz	
Tłumaczenie zatwierdzone przez:	B. Stankiewicz	PRz	

Informacje ramowe

Tytuł*	Plan rozwoju: Korozja konstrukcji stalowych	
Seria		
Opis*	Opracowanie przedstawia zjawisko korozji, zewnętrzne i wewnętrzne rodzaje środowiska, zasady projektowania z punktu widzenia ograniczenia korozji a także metody zabezpieczenia konstrukcji stalowych. Podano również zalecenia co do stosowania powłok malarsk	
Poziom dostępu*	Umiejętności specjalistyczne	Specjalista
Identyfikator*	Nazwa pliku	SS021a-PL-EU
Format		Microsoft Word 9.0; 20strona; 558kb;
Kategoria*	Typ zasobu	Projektowanie koncepcyjne
	Punkt widzenia	Architekt, inżynier
Temat*	Obszar stosowania	Budynki przemysłowe
Daty	Data utworzenia	10/06/2009
	Data ostatniej modyfikacji	
	Data sprawdzenia	
	Ważny od	
	Ważny do	
Język(i)*		Polski
Kontakt	Autor	Francisco Rey, Labein
	Sprawdził	Jose A. Chica, Labein
	Zatwierdził	
	Redaktor	
	Ostatnia modyfikacja	
Słowa kluczowe*	Budynki jednokondygnacyjne, projektowanie koncepcyjne, powłoki ochronne, farby, korozja, przygotowanie podłoża, powłoki metaliczne, cynkowanie ogniowe, nanoszenie powłok malarskich, przygotowanie powierzchni, projektowanie na trwałość	
Zobacz też	Odniesienie do Eurokodu	EN 1993-1-1 (2.1.3)
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	<i>Inne</i>	
Sprawozdanie	Przydatność krajowa	EU
Instrukcje szczególne		