

PRZEPUSTY i mosty ekologiczne

Trwałość gruntowo-powłokowych przepustów i mostów ekologicznych ze stalowych blach falistych



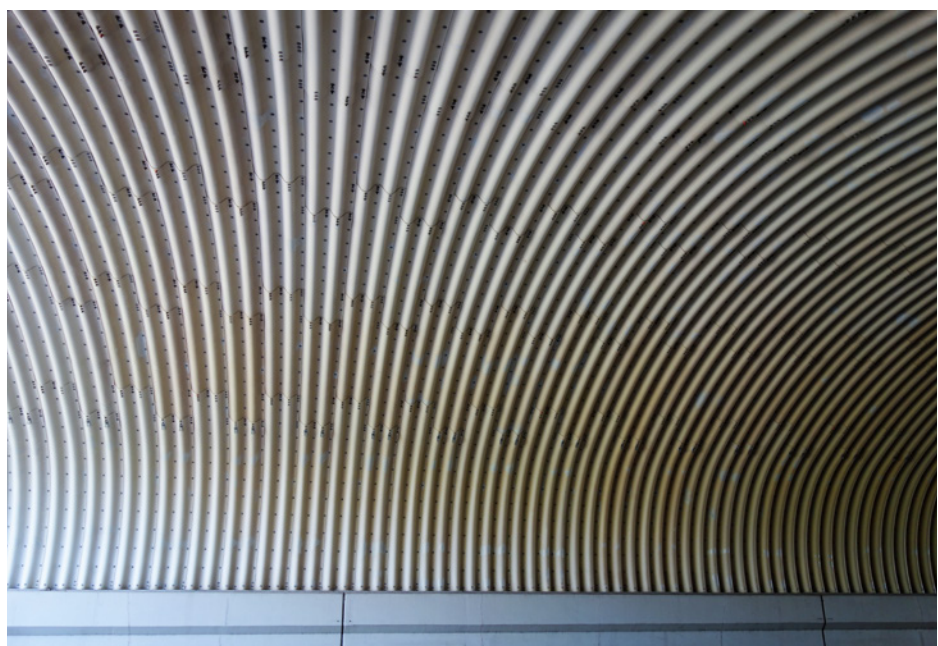
tekst: **prof. dr hab. inż. ADAM WYSOKOWSKI**, kierownik Zakładu Dróg, Mostów i Kolei, Uniwersytet Zielonogórski, **mgr inż. JERZY HOWIS**, konstruktor, Infrastruktura Komunikacyjna Sp. z o.o., Żmigród

Jak już wielokrotnie wspomniano w ramach cyklu artykułów z niniejszej serii, od ponad 20 lat na terenie Polski zaprojektowano i zbudowano ponad 4000 obiektów inżynierskich pełniących funkcję ekologiczną. Według opracowania [1] ich łączny koszt budowy wyniósł ponad 7 mld zł. Ponadto wraz z intensywnym rozwojem krajowej infrastruktury komunikacyjnej liczba nowoczesnych przepustów pod drogami i liniami kolejowymi wykonanych ze stalowych blach falistych stale rośnie. Biorąc pod uwagę powyższe, obiekty te stanowią ogromny majątek narodowy i z tego względu wymagają starannych zabiegów utrzymaniowych i konserwacyjnych. Jednocześnie często ze względu na pełnioną funkcję ekologiczną wymagają one szczególnej wiedzy z zakresu utrzymania ich cech użytkowych, bez ingerencji w ich zasadniczą konstrukcję nośną. Istotną kwestią w tym przypadku, mającą bezpośredni wpływ na trwałość tych obiektów, jest m.in. ich prawidłowe i skuteczne odwodnienie. W niniejszym artykule autorzy przedstawili najistotniejsze problemy eksploatacyjne wpływające bezpośrednio na kwestie związane z trwałością tytułowych konstrukcji.

1. Wprowadzenie

Konstrukcje gruntowo-powłokowe z blach falistych stosowano już na przełomie XIX i XX w., głównie w krajach Ameryki Północnej oraz w Rosji [2]. Obecnie obserwuje się wzrost zainteresowania tymi konstrukcjami w Polsce, trwający już od końca lat 90. XX w. Stają się one coraz popularniejsze i chętniej stosowane ze względu na wiele niezaprzeczalnych zalet konstrukcyjnych i materiałowych. Potwierdzeniem tego są spektakularne obiekty ekologiczne, które na stałe wpisały się w krajobraz polskich dróg ekspresowych i autostrad. Konstrukcje tego typu znalazły wiele zastosowań również poza budownictwem komunikacyjnym i często wykorzystywane są jako obiekty przemysłowe, a nierzadko również o przeznaczeniu militarnym [3].

Istotnym czynnikiem jest czas ich realizacji [4]. Należy jednoznacznie stwierdzić, że budowa obiektów z blach falistych, a także z rur spiralnie karbowanych jest znacznie krótsza niż w przypadku klasycznych przepustów żelbetowych, a więc przynosi wymierne korzyści pod wzglę-



Ryc. 1. Przykład powłoki ze stalowych blach falistych typu SCA-33 jednego z przejść dla zwierząt w ciągu autostrady A4, użytkowanej od 2008 r. (15 lat). Widoczny dobry stan techniczny powłoki oraz zabezpieczenia antykorozyjnego, fot. A. Wysokowski

dem finansowym. Konstrukcje te są też o ok. 30% tańsze niż obiekty żelbetowe o zbliżonej średnicy (oczywiście zależy to od skali przedsięwzięcia budowlanego). Z tego względu trwałość eksploatacyjna obiektów gruntowo-powłokowych wykonanych z blach falistych nabiera szczególnego znaczenia. Na rycinie 1 przedstawiono przykład powłoki ze stalowych blach falistych jednego z przejść dla zwierząt nad autostradą A4, użytkowaną od 2008 r.

Zdaniem autorów prawidłowo zaprojektowana i wykonana konstrukcja z blach falistych, przy uwzględnieniu wszystkich czynników destrukcyjnych, będzie się odznaczała wysoką trwałością eksploatacyjną w całym okresie jej użytkowania. Niestety trzeba stwierdzić, że brak wcześniejszych tradycji, niekonwencjonalne przeznaczenie w przypadku ekomostów oraz brak odpowiednich, aktualnych – z uwzględnieniem nowoczesnej wiedzy – zaleceń dotyczących projektowania, budowy i utrzymania powodują, że obiekty te budowane są według projektów indywidualnych, co niejednokrotnie ma wpływ na obniżenie ich trwałości w toku późniejszej eksploatacji.

2. Główne czynniki mające wpływ na trwałość konstrukcji gruntowo-powłokowych ze stalowych blach falistych

Trwałość konstrukcji gruntowo-powłokowych z blach falistych, podobnie jak innych obiektów budowlanych, mierzona jest okresem eksploatacji, podczas którego wybrana właściwość użytkowa lub zespół takich właściwości nie ulegnie degradacji poniżej założonego poziomu dopuszczalnego, którego miernikiem są stany graniczne nośności i stany graniczne użytkowania. W praktyce inżynierskiej występuje szereg czynników mających bezpośredni wpływ na trwałość obiektów, co wraz z niedostatecznym utrzymaniem obiektów prowadzi do nieuchronnego postępu zjawisk korozyjnych w tych konstrukcjach [5]. W tabeli 1 zestawiono ważniejsze czynniki mające bezpośredni wpływ na trwałość gruntowo-powłokowych konstrukcji z blach falistych.

Poniżej zestawiono główne czynniki mające wpływ na trwałość konstrukcji gruntowo-powłokowych ze stalowych blach falistych w zakresie ich eksploatacji.

2.1. Oddziaływanie wody opadowej

Jednym z zasadniczych elementów wydłużenia trwałości obiektów infrastrukturalnych jest ich ochrona przed negatywnymi wpływami środowiska, w tym głównie przed wodą opadową [6, 7, 8]. Pomimo stosowania coraz trwalszych materiałów konstrukcyjnych nie udało się uniknąć mankamentów związanych np. z właściwym odwodnieniem i drenażem tych konstrukcji. Elementy te mają bezpośredni związek z trwałością i utrzymaniem obiektów. O takim stanie rzeczy świadczą wyniki przeglądów konstrukcji zarówno eksploatowanych od początku ich wprowadzenia do praktyki inżynierskiej, jak i zrealizowanych ostatnio. Należy pamiętać, że szczególnie ekomosty wykorzystujące zjawisko współpracy obu powłok z gruntem przy jednoczesnym braku klasycznej nawierzchni są szczególnie narażone na oddziaływanie wody na konstrukcję stalową z blach falistych.

Konieczność i wagę dobrze zaprojektowanego drenażu i wykonanego odwodnienia opisywanych w artykule konstrukcji dobrze ilustruje rycina 2. Pokazano na niej szczególnie newralgiczne miejsce strefy pomiędzy poszczególnymi konstrukcjami stalowymi przęsł. Jest to przykład charakterystyczny dla obiektów konstruowanych nad autostradami i drogami szybkiego ruchu,

Tab. 1. Ważniejsze czynniki mające wpływ na trwałość obiektów gruntowo-powłokowych z blach falistych

| Materiał konstrukcyjny | Problemy eksploatacyjne mające wpływ na trwałość |
|---|--|
| Stal (blachy faliste, łączniki, żebra wzmacniające) | <ul style="list-style-type: none"> • zjawiska korozyjne: <ul style="list-style-type: none"> – korozyja powierzchniowa, – korozyja wżerowa, – korozyja szczelinowa, – korozyja naprężeniowa, – tzw. biała korozyja, • zmęczenie, • problemy z połączeniami elementów konstrukcyjnych, • imperfekcje wykonawcze i geometryczne |
| Beton (konstrukcje fundamentów, wieńce i gzymsy) | <ul style="list-style-type: none"> • zjawiska korozyjne: <ul style="list-style-type: none"> – korozyja spowodowana karbonatyzacją, – korozyja spowodowana chlorkami, • mrozoodporność betonu, • reaktywność alkaliczna kruszywo / cement, • agresja chemiczna gruntów lub wody gruntowej (w konstrukcjach fundamentów), <ul style="list-style-type: none"> – zjawisko skurczu, – zjawisko pęcznienia |
| Grunt (konstrukcyjna zasypka gruntowa) | <ul style="list-style-type: none"> • zmiana wytrzymałościowych parametrów projektowych zasypki gruntowej: <ul style="list-style-type: none"> – zmiana wilgotności optymalnej (nawodnienie, osuszenie), – zmiana parametrów zagęszczenia (rozluźnienie), • zjawisko sufozji, • zanieczyszczenie gruntu częściami organicznymi, • deformacje skarp |

które siłą rzeczy są obiektami dwunawowymi. Trzeba w tym miejscu wyraźnie stwierdzić, że w poprzednim okresie konstrukcje tego typu nie były rozpowszechnione w infrastrukturze komunikacyjnej w innych krajach.



Ryc. 2. Przykład budowy mostu ekologicznego nad autostradą. Widoczne miejsca stykające się w części środkowej dwóch szeregów konstrukcji. Widoczne jest newralgiczne miejsce, którego właściwe odwodnienie powinno być szczególną troską projektanta i wykonawcy, a później także służb utrzymaniowych, fot. A. Wysokowski



Ryc. 3. Przykłady fotograficzne ilustrujące typowy problem przecieków przez konstrukcję w obrębie podpór w obiektach gruntowo-powłokowych – obiekt typu ekomost (A, B), przepust drogowy (C, D), fot. A. Wysokowski

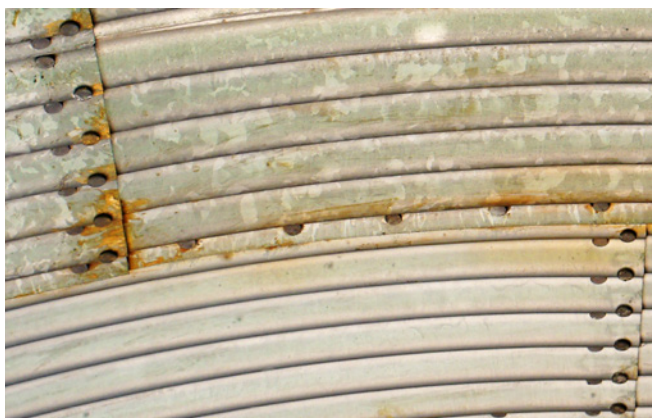
Równie newralgicznym miejscem mającym wpływ na trwałość nośnej konstrukcji stalowej z blach jest strefa przy podporowej. Przeprowadzone liczne przeglądy eksploatowanych obiektów gruntowo-powłokowych wskazują na występowanie przecieków w niektórych konstrukcjach w strefach głównie przy podporowych, ale sporadycznie również w strefie klucza powłok typu Multiplate. Ten stan rzeczy powoduje występowanie w fazie początkowej – bądź też nawet rozwoju – zjawisk korozyjnych w tych miejscach. Przykłady przecieków w tych newralgicznych miejscach konstrukcji gruntowo-powłokowych pokazano na rycinie 3.

Na rycinie 4 przedstawiono przykłady początkowego stadium korozji konstrukcji z blach falistych wywołanej wspomnianym wcześniej oddziaływaniem wody w strefie podporowej.



Ryc. 4. Początkowe stadium korozji konstrukcji z blach falistych: a) ogólna korozja na skutek zniszczenia powłok antykorozyjnych, b) korozja w strefie oparcia powłoki stalowej na fundamencie żelbetonowym – widoczne rdzawe zacieki na powierzchni fundamentu, świadczące o korozji konstrukcji stalowej, fot. A. Wysokowski

Jak już wspomniano, ze względu na charakterystykę omawianych konstrukcji nieszczelności występują nie tylko w strefie podporowej, ale również na połączeniach poszczególnych arkuszy blach stalowych. Z tego względu na trwałość powłok malarskich istotny wpływ



Ryc. 5. Początkowe ogniska korozji w obrębie miejsc montażu poszczególnych sekcji blach falistych w strefie klucza konstrukcji z blach falistych, fot. A. Wysokowski

ma ich ochrona w fazie montażu blach falistych. Na rycinie 5 pokazano przykłady początkowego stadium korozji konstrukcji z blach falistych wywołanej oddziaływaniem wody w strefie podporowej.

2.2. Oddziaływanie cieklu wodnego na konstrukcję – abrazja

Uszkodzenia powłok malarskich na skutek długotrwałego mechanicznego oddziaływania kruszywa lub kamieni transportowanych przez ciek wodny są najczęstszą przyczyną powstawania ognisk korozji. Jest to zjawisko abrazji, polegające na uszkodzeniu przez ścieranie zabezpieczenia antykorozyjnego blach przez luźny materiał mineralny [9, 10]. Zjawisko to występuje zwłaszcza w przypadku konstrukcji zlokalizowanych na ciekach o znacznym przepływie, np. na terenach górskich lub terenach, gdzie występują okresowo duże opady atmosferyczne. Na rycinie 6 zamieszczono przykład destrukcji powierzchni antykorozyjnej – wyraźnie widać, że intensyfikacja uszkodzeń występuje głównie w górnej części fali blachy.

Pomimo stosowanych zabezpieczeń antykorozyjnych blach stalowych najbardziej newralgicznym miejscem decydującym o trwałości tych elementów jest najczęściej dolna część konstrukcji narażona na abrazję. Zalecane jest w tym przypadku wykonywanie dodatkowych zabiegów, które mogą ochronić konstrukcję budowaną na terenach górskich przed tym niekorzystnym zjawiskiem. Polegają one przede wszystkim na zmniejszeniu prędkości przepływającej wody oraz wykonaniu dodatkowych zabezpieczeń antykorozyjnych lub specjalnych warstw ochronnych. Intensywność abrazji można zmniejszyć przez zastosowanie dodatkowych elementów na wlotach przepustów, takich jak progi zwalniające, kaskady oraz siatki filtrujące. Mają one na celu zmniejszenie prędkości przepływu elementów mogących zniszczyć zabezpieczenie antykorozyjne konstrukcji, jak np. kamienie, piasek, kawałki drewna. Powyższe zagadnienie zostało omówione m.in. w [5, 9, 10].



Ryc. 6. Przykład korozji powierzchniowej powstałej ze względu na długotrwałe narażenie powłoki na czynniki korozyjne na poziomie wahań zwierciadła wody, fot. A. Wysokowski

Należy mieć świadomość, że brak odpowiedniego zabezpieczenia antyabrazyjnego stwarza sprzyjające warunki do powstawania ognisk korozyjnych, a w efekcie znacznego obniżenia trwałości konstrukcji z blach falistych [11], co w konsekwencji może czasami powodować konieczność przebudowy obiektu.

2.3. Uszkodzenia mechaniczne konstrukcji powłok

Nie mniej ważnym czynnikiem potęgującym zjawisko korozji są uszkodzenia mechaniczne stalowych blach falistych, najczęściej w wyniku uderzenia pojazdu na skutek niezachowania skrajni pionowej. Przykład takiego uszkodzenia przedstawiono na rycinie 7.



Ryc. 7. Przykłady uszkodzeń mechanicznych powłok ze stalowych blach falistych: a) uszkodzenie powłoki w wyniku uderzenia pojazdu, b) uszkodzenie mechaniczne gzymsu żelbetowego (wieńca) oraz konstrukcyjnej stalowej blachy falistej, fot. A. Wysokowski

2.4. Występowanie tzw. białej korozji

Stosując powszechnie powłokę ochronną z cynku nakładanego ogniowo, należy liczyć się z możliwością wystąpienia procesu korozyjnego cynku, tzw. białej korozji [5, 10]. Cynk reaguje w warunkach atmosferycznych, tworząc takie produkty, jak tlenek cynku, wodorotlenek cynku, zasadowy węglan cynku, a także uwodnione związki zawierające siarczan cynku lub inne związki chemiczne uzależnione od środowiska. Określenie biała korozja pochodzi od białej barwy produktów korozyjnych występujących na powierzchni cynku, stanowiących proszki, łatwy do usunięcia nalot. Biała korozja powstaje wówczas, gdy świeżo ocynkowane powierzchnie nie zdołały jeszcze wytworzyć ochronnej warstwy patyny z węgla cynku, a zetknęły się już z wilgocią pod postacią mgły, szronu, deszczu lub rosy bądź też przecieków przez konstrukcję. Cynk koroduje w każdych warunkach, a przy dużym zawilgoceniu powietrza proces ten ulega przyspieszeniu i wówczas również ilość wydzielających się produktów jest większa.

Główny składnik białej korozji, czyli nierozpuszczalne w wodzie kryształki zasadowego wodorotlenku cynkowego, osiadając bezpośrednio na powierzchni blachy, tworzą powłokę hamującą dalszą reakcję cynku z tlenem zawartym w powietrzu i zabezpieczającą częściowo cynk przed korozją. Usuwanie znacznie posuniętych procesów białej rdzy najlepiej wykonać mechanicznie (np. szczotką drucianą), gdyż samo mycie alkalicznym środkiem czyszczącym nie jest wystarczającym sposobem usunięcia wszystkich produktów korozji.

Należy jednoznacznie stwierdzić, że opisywane zjawisko białej korozji nie ma istotnego wpływu na trwałość użytkową konstrukcji, ale wpływa negatywnie na estetykę powierzchni obiektu i może być mylące w przypadku wykonywania okresowych przeglądów stanu technicznego tych obiektów [12]. W celu przeciwdziałania temu zjawisku wykonuje się specjalistyczne uszczelnienia powłoki w obrębie śrub łączących arkusze blach oraz styki tych blach. Poprawia się w ten sposób szczelność powłoki z blach falistych od strony zasyпки gruntowej.

3. Poziom ubytku korozyjnego stalowych blach falistych

Biorąc pod uwagę wcześniej opisany problem zjawisk korozyjnych stali, warto przedstawić problematykę związaną z trwałością konstrukcji gruntowo-powłokowych oraz z negatywnym wpływem korozji na stalowe blachy faliste. W celu właściwego scharakteryzowania tego zjawiska poniżej przedstawiono skróconą analizę symulacji negatywnego oddziaływania korozji na stalową powłokę w tego typu obiektach mostowych. W analizie wzięto pod uwagę wyniki wcześniejszych badań przeprowadzonych w tych konstrukcjach w skali naturalnej. Wynikiem tych badań było m.in. określenie rzeczywistych naprężeń występujących w konstrukcjach stalowych blach pod zadaniem obciążeniem. Ponadto w analizie posłużono się orientacyjnymi wskaźnikami tempa korozji w skali roku podanymi w tabelach 2 i 3 [3].

Tab. 2. Grubość umownej warstwy skorodowanej [mm/r] w warunkach środowiskowych

| Dbałość dostateczna | | Dbałość niedostateczna | |
|--|---|--|---|
| Korzystne warunki ¹⁾ lub $n_p < 150$ | Niekorzystne warunki ²⁾ lub $150 < n_p < 450$ | Korzystne warunki ¹⁾ lub $150 < n_p < 300$ | Niekorzystne warunki ²⁾ lub $150 < n_p < 900$ |
| 0,010 | 0,030 | 0,020 | 0,060 |

¹⁾ Skuteczne odwodnienie, dobra wentylacja, brak zanieczyszczeń itp.

²⁾ Przecieki w jezdni, zła wentylacja, zaleganie wilgoci i brudów itp.

Tab. 3. Ubytek grubości stali konstrukcyjnej

| Środowisko | Ubytek grubości blachy stalowej [mm/r] |
|---------------------------------------|--|
| Grunty rodzime w stanie nienaruszonym | 0,012 |
| Niezagęszczone agresywne nasypy | 0,080 |

Założono, że przy typowej grubości blachy konstrukcyjnej w tych powłokach (5,0–7,5 mm) i przyjmując z zapasem, że przy obciążeniu normowym naprężenia w blachach nie przekraczają 30%, grubość blachy w trakcie eksploatacji może ulec odpowiedniemu zmniejszeniu przy zachowaniu wymaganych współczynników bezpieczeństwa. Tym samym, przyjmując średni roczny ubytek korozyjny konstrukcji stalowej z blach falistych przy niekorzystnych warunkach środowiskowych i np. otoczeniu agresywnych nasypów wynoszący 0,06 mm/r, zagrożenie nośności na skutek korozji przedmiotowych konstrukcji wystąpi nie wcześniej niż po ok. 80 latach użytkowania. W tabeli 2 podano grubość umownej warstwy skorodowanej, miarodajnej dla każdej odsłoniętej powierzchni płyty stalowej z uwzględnieniem dbałości o ochronę antykorozyjną i warunki środowiskowe. W tabeli 3 zestawiono ubytki grubości profili stalowych eksploatowanych w kontakcie z gruntem. Biorąc pod uwagę podane wartości, trwałość będzie zachowana dla całego przewidzianego okresu eksploatacji tych obiektów jako przepustów. **Jest to trwałość zadowalająca, biorąc pod uwagę wymagania dotyczące konstrukcji przepustów z blach falistych. Trzeba jednak wyraźnie podkreślić, że w dalszym ciągu brak jest odpowiednich przepisów w zakresie konstrukcji przejść dla zwierząt.**

4. Zabezpieczenie antykorozyjne stalowych blach falistych

Decydującym czynnikiem trwałości konstrukcji gruntowo-powłokowych ze stalowych blach falistych przy prawidłowym wykonaniu zasyпки z odpowiedniego materiału mineralnego jest ochrona antykorozyjna blachy stalowej. Z tego względu stosuje się zabezpieczenia cynkowe. Trwałość powłoki cynkowej zależy przede wszystkim od tzw. obciążenia korozyjnego środowiska, w którym ocynkowane elementy są eksploatowane. Nie bez znaczenia pozostaje również sama grubość powłoki cynkowej.

Zgodnie z PN-EN ISO 12944-2 [13] istnieje pięć kategorii odporności korozyjnej:

- C1 (bardzo słaba) – np. wnętrza budynków klimatyzowanych. Roczny ubytek powłoki cynkowej to $< 0,1 \mu\text{m}$, co daje ochronę przed korozją powyżej 100 lat;
- C2 (słaba) – atmosfera z niewielką zawartością zanieczyszczeń i suchym klimatem, np. obszary wiejskie. Roczny ubytek powłoki cynkowej to $0,1\text{--}0,7 \mu\text{m}$, co daje ochronę przed korozją na ok. 100 lat;
- C3 (średnia) – np. atmosfera miejska o średnim zanieczyszczeniu, a także umiarkowany klimat nadmorski. Roczny ubytek powłoki cynkowej to $0,7\text{--}2,1 \mu\text{m}$, co daje ochronę przed korozją na 35–100 lat;
- C4 (silna) – np. obszary przemysłowe, tereny nadmorskie o umiarkowanym zasoleniu. Roczny ubytek powłoki cynkowej to $2,1\text{--}4,2 \mu\text{m}$, co daje ochronę przed korozją na 18–35 lat;
- C5 (bardzo silna) – np. tereny silnie uprzemysłowione o wysokiej wilgotności powietrza i agresywnej atmosferze, również tereny nadmorskie o wysokim zasoleniu.

Aby przeciwdziałać zagrożeniom korozyjnym związanym bezpośrednio z charakterystykami oddziaływania agresywnych środowisk, opracowano odpowiednie sposoby zabezpieczania. W zależności od typu konstrukcji i grubości blachy falistej t stosuje się podane niżej rodzaje zabezpieczenia antykorozyjnego.

A. Powłoka MultiPlate:

- cynk o grubości $85 \mu\text{m}$ dla blach falistych grubości $t \geq 6 \text{ mm}$,
- cynk o grubości $70 \mu\text{m}$ dla blach falistych grubości $3 \leq t \leq 6 \text{ mm}$,
- cynk o grubości $55 \mu\text{m}$ dla blach falistych grubości $t \leq 3 \text{ mm}$,
- powłoka nakładana metodą cynkowania ogniowego [2.136].

W celu podniesienia trwałości konstrukcji w warunkach szczególnie agresywnego środowiska stosuje się dodatkowo zabezpieczającą powłokę o grubości $200 \mu\text{m}$ z farby epoksydowej. Prawidłowe wykonanie obydwu powłok zapewnia trwałość obiektu szacowaną na ok. 100 lat.

B. Powłoka SuperCor, jak w przypadku powłok MultiPlate. W celu wydłużenia trwałości konstrukcji stosuje się zabezpieczenie dodatkowymi powłokami malarskimi (zestaw farb epoksydowych lub epoksydowo-poliuretanowych o minimalnej grubości $200 \mu\text{m}$).

C. Powłoka HelCor:

- cynk o grubości $42 \mu\text{m}$ z każdej strony,
- cynk o grubości $70 \mu\text{m}$ z każdej strony,
- cynk o grubości $42 \mu\text{m}$ z każdej strony oraz dodatkowa powłoka polimerowa o grubości $250 \mu\text{m}$ z jednej lub z dwóch stron.

Dobór zabezpieczenia antykorozyjnego zależy od warunków zewnętrznych, w jakich będzie eksploatowana konstrukcja [2, 10]. W przypadku projektowania mostów bądź przepustów, zwłaszcza na terenach górskich, należy uwzględnić zjawisko abrazji [5].

Na trwałość konstrukcji powłoki z blach falistych wpływa głównie odporność na korozję stali i powłok ochronnych. Z doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że na ich trwałość wpływają destrukcje w posadowieniu, agresywność środowiska (np. wody spływającej z drogi) lub odporność i agresywność zasyпки czy też zmienne poziomy wód gruntowych.

Praktyczne obliczenia trwałości obiektu po zastosowaniu systemu antykorozyjnego Duplex wykonuje się, wykorzystując równanie [14, 16]:

$$T = T_{\text{Fe}} + 1,5(T_{\text{zn}} + T_{\text{pm}}) \quad (1)$$

gdzie: T_{Fe} – trwałość stali (blachy falistej) w zależności od jej grubości, T_{zn} – okres ochrony (trwałość) powłoki cynkowej, T_{pm} – okres ochrony (trwałość) powłoki malarskiej.

4.1. Oszacowanie trwałości konstrukcji powłoki stalowej obiektu gruntowo-powłokowego z blach falistych

Na potrzeby artykułu autorzy posłużyli się przykładem obliczeniowym opracowanym wcześniej, mającym na celu zilustrowanie oszacowania trwałości eksploatacyjnej obiektu gruntowo-powłokowego z blach falistych.

Przyjęta obliczeniowa grubość blachy stalowej powłoki wynosi $t = 5,5 \text{ mm}$. Na ubytek spowodowany działaniem korozji przewidziano $2,5 \text{ mm}$.

Czas degradacji ścianki stalowej o grubości $2500 \mu\text{m}$ dla ubytku rocznego $50 \mu\text{m}$ wynosi:

$$T_{\text{Fe}} = 2500/50 = 50 \text{ lat.}$$

Czas degradacji powłoki cynkowej o grubości $85 \mu\text{m}$ dla ubytku rocznego $5 \mu\text{m}$ wynosi:

$$T_{\text{zn}} = 85/5 = 17 \text{ lat.}$$

Czas degradacji powłoki malarskiej o grubości $200 \mu\text{m}$ dla ubytku rocznego $8 \mu\text{m}$ wynosi:

$$T_{\text{pm}} = 200/8 = 25 \text{ lat.}$$

Z wzoru (1), po dokonaniu sumowania otrzymano:

$$T = 50 + 1,5(17 + 25) = 113 \text{ lat.}$$

Oszacowanie oparto na wzorze (1), w którym współczynnik stały według [16] przyjmuje wartości z przedziału 1,2–2,5. Wobec tego obliczona trwałość konstrukcji może się wahać w przedziale od:

$$T = 50 + 42 \times 1,2/1,5 = 84 \text{ lat}$$

do:

$$T = 50 + 42 \times 2,5/1,5 = 120 \text{ lat.}$$

Z przeprowadzonej powyżej symulacji wynika, że obiekty tego typu charakteryzują się wysoką trwałością eksploatacyjną w ujęciu teoretycznym. Jak już wspomniano w artykule, trwałość ta jest wypadkową wielu czynników związanych głównie z poziomem utrzymania tych obiektów w trakcie ich eksploatacji [15].

5. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone przeglądy wybudowanych w ostatnim okresie obiektów gruntowo-powłokowych z blach falistych wskazują, że obiekty te wymagają odpowiedniego podejścia do zagadnień projektowania, wykonawstwa i utrzymania, tym bardziej że sama konstrukcja ze stalowych blach falistych, jak wykazano w niniejszym artykule, charakteryzuje się wysoką trwałością eksploatacyjną (ryc. 8).

Biorąc pod uwagę występujące lokalne nieszczelności, głównie w obrębie podpór oraz w strefie środkowej ekomostów, nie wszystkie wprowadzone dotąd rozwiązania systemów odwodnień są w pełni wydajne, choć należy uznać, że sytuacja się poprawia w miarę stosowania specjalistycznych rozwiązań indywidualnych. Występujące zacieki i przesiąki wody obserwowane

na ścianach czołowych w dalszym ciągu mają negatywny wpływ na konstrukcję, a w szczególności na estetykę tych obiektów.

Ze względu na wagę opisywanej problematyki tak z punktu widzenia technicznego, jak i ekonomicznego istnieje konieczność ujednoczenia tych zagadnień w ramach odpowiednich przepisów prawnych. Opracowane zalecenia projektowania, budowy i utrzymania – z uwagi na początkowy okres stosowania tych konstrukcji, w którym one powstały [16] – nie objęły w sposób właściwy omawianych zagadnień odwodnienia i drenażu konstrukcji tego typu. Wynikało to z faktu innego poziomu wiedzy o tych konstrukcjach w czasach ich opracowywania i wydania. Dotyczą one, zgodnie z przyjętym ówczesnie założeniem, jedynie konstrukcji przepustów, czyli obiektów o dużo mniejszych gabarytach i rozwiązaniach głównie jednootworowych. Rozwój konstrukcji gruntowo-powłokowych, w tym znaczne zwiększenie rozpiętości i stosowanie obiektów wielootworowych, wymusza konieczność rozwiązania i uściślenia tych zagadnień. Wymaga to wydania nowych, uaktualnionych do dzisiejszych warunków i wiedzy technicznej wytycznych (o co autorzy zabiegają od dłuższego czasu). Jest to tym ważniejsze, że sami producenci tych konstrukcji i wykonawcy wdrożyli w ramach własnych doświadczeń wiele nowoczesnych rozwiązań podnoszących trwałość (izolacje z geomembrany, systemy drenaży, odpowiednie kształtowanie geometryczne konstrukcji itp.) [17]. Dużo lepiej rozpoznano również sposoby technologiczne ich budowy i metody obliczeń niezbędne przy ich projektowaniu, co w sposób znaczący wpływa na wydłużenie okresu eksploatacji konstrukcji gruntowo-powłokowych z blach falistych.

Literatura

- [1] Rymśza J., Bohatkiewicz J., Werka J., Jasińska K., Krauze-Gryz D., Kowal P., Howis J., Wysokowski A.: *Analiza efektywności przejść dla zwierząt dziko żyjących na drogach publicznych. Etap I. Analiza przejść dla zwierząt dziko żyjących na drogach publicznych, wybudowanych w Polsce w okresie co najmniej od 1999 r. do 2016 r., pod względem efektywności rozwiązania. Etap II. Analiza przepisów technicznych dotyczących przejść dla zwierząt na drogach publicznych.* IBDiM. Warszawa, kwiecień 2017.
- [2] Janusz L., Madałaj A.: *Obiekty inżynierskie z blach falistych. Projektowanie i wykonawstwo.* WKŁ. Warszawa 2009.
- [3] Wysokowski A.: *Trwałość mostów stalowych.* PWN. Warszawa 2022.

- [4] Bęben D., Czyżewski P., Mańko Z.: *O budowie największego w Europie obiektu mostowego ze stalowych blach falistych typu SuperCor.* „Inżynieria i Budownictwo” 2004, nr 4, s. 198–201.
- [5] Wysokowski A., Machelski C., Howis J.: *Ekologiczne obiekty gruntowo-powłokowe w budownictwie komunikacyjnym.* Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2022.
- [6] Wysokowski A.: *Odwodnienie parkingów i miejsc obsługi podróżnych – cz. I. Odwodnienie powierzchniowe.* „Inżynier Budownictwa” 2010, nr 10, s. 70–73.
- [7] Wysokowski A.: *Odwodnienie parkingów i miejsc obsługi podróżnych – cz. II. Odwodnienie wgłębne.* „Inżynier Budownictwa” 2010, nr 11, s. 62–66.
- [8] Wysokowski A.: *Odwodnienie konstrukcji obiektów mostowych – cz. I.* „Inżynier Budownictwa” 2013, nr 10, s. 77–83; cz. II, nr 11, s. 69–74.
- [9] Bęben D.: *Problemy projektowe i błędy wykonawcze mostowych konstrukcji gruntowo-stalowych.* „Drogownictwo” 2013, nr 3, s. 74–79.
- [10] Tomala P., Panek P., Nowak M.: *Sposoby poprawy trwałości obiektów z blach falistych po okresie 15-letnich doświadczeń.* Materiały seminarium WDM *Trwałość obiektów mostowych.* Wrocław, 22–23 listopada 2012, s. 443–451.
- [11] Bęben D., Mańko Z., Janusz L., Vaslestad J.: *Badania stalowej powłoki mostu drogowego w Gimån w Szwecji wykonanej z blach falistych typu Super Cor SC-56B podczas jej zasypywania.* Materiały II Sympozjum *Badania i diagnostyka mostów,* Opole, 9–11 kwietnia 2003, s. 31–67.
- [12] McGrath T.J., Moore I.D., Selig E.T., Webb M.C., Tales B.: *Recommended Specifications for Large-span Culverts.* NCHRP Raport 473. Washington 2002.
- [13] PN-EN ISO 12944-2:2018-02 *Farby i lakiery. Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich. Cz. 2. Klasyfikacja środowisk.*
- [14] Machelski C.: *Modelowanie obiektów mostowych gruntowo-powłokowych.* Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2008.
- [15] Wysokowski A., Howis J.: *Odwodnienie powierzchniowe i wgłębne mostów ekologicznych jako główny wyznacznik trwałości eksploatacyjnej.* „Mosty” 2019, nr 6, s. 31–36.
- [16] Rowińska W., Wysokowski A., Pryga A.: *Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych.* IBDiM. Wrocław 2004.
- [17] Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty i mosty ekologiczne – cz. 25. Zagospodarowanie przepustów o funkcji ekologicznej oraz ekomostów.* „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2020, nr 3, s. 98–103.



Czytaj więcej



Ryc. 8. Nowoczesny ekomost jako konstrukcja gruntowo-powłokowa z blach falistych nad autostradą w Polsce [5]