

# Kształtowanie mostowych konstrukcji sprężonych na podstawie wniosków z inspekcji zewnętrznych kabli sprężających

mgr inż. Tomasz Borsz, BBR Polska Sp. z o.o.

## 1. Wprowadzenie

Cały budowlany świat inżynierski zmagają się z problematyką awarii konstrukcji, czego dowodem są liczne informacje przedstawiane w masowych i specjalistycznych mediach jako temat dnia. Część z nich jest przesadzona, część źle zinterpretowana, jednak zawsze w każdej plotce jest ziarno prawdy. Kiedy może dojść do tragedii? Jak możemy temu zaradzić i czy możemy lepiej przygotować konstrukcje na etapie projektowania, aby w przyszłości prace zarówno inspekcyjne, jak i naprawcze mogły być prowadzone w sposób nieuciążliwy dla istniejącego ruchu drogowego/kolejowego oraz umożliwić łatwą wymienialność wrażliwych elementów konstrukcji? Jak powinny wyglądać przepisy gwarantujące odpowiedni przegląd obiektów oraz ich dopuszczenie do użytkowania? W niniejszym artykule zaprezentowano przykłady zrealizowanych sprężonych konstrukcji mostowych, które poddano odbiorowi, inspekcji, naprawie wraz z wnioskami dotyczącymi przygotowania inspekcyjnego oraz remontowego w ramach dalszej eksploatacji w zakresie konstrukcji sprężonych jako temat przewodni.

## 2. Wybrane przepisy krajowe i zagraniczne

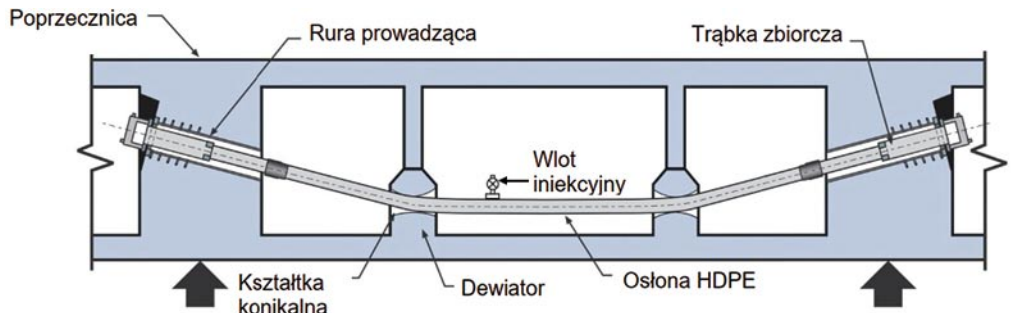
W krajowych przepisach próżno szukać recepty na prawidłowe kształtowanie konstrukcji w zakresie szczegółowego odbioru, inspekcji czy wymiany kabli sprężających. Ministerstwo Infrastruktury jest w trakcie opracowywania projektu rozporządzenia w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych, którego wejście w życie planowane jest na 21 września 2022 r. Nowy projekt rozporządzenia bazuje na wytycznych opisanych według <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/wr-m>. W ramach wytycznych związanych z konstrukcjami sprężonymi wyszczególnić możemy: WR-M-22 „Podręcznik projektowania drogowych obiektów mostowych według Eurokodów w praktyce” rozdział 7 – Wiadukt betonowy sprężony o schemacie belki ciągłej”; WR-M-21-1 „Katalog typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów. Część 1: Kształtowanie konstrukcji”; Zeszyt katalogowy Z7 „Obiekty belkowe z betonu sprężonego”; WR-M-21-2 „Katalog typowych konstrukcji drogowych obiektów

mostowych i przepustów. Część 2: Podstawowe wiadomości o drogowych obiektach mostowych” pkt 4.3 Stal sprężająca”; WR-M-31 „Wytyczne projektowania zabezpieczenia antykorozyjnego stalowych elementów drogowych obiektów inżynierskich”; WR-M-32 „Wytyczne projektowania zabezpieczenia antykorozyjnego betonowych elementów drogowych obiektów inżynierskich”; WR-M-81 „Wytyczne oceny stanu technicznego drogowych obiektów inżynierskich tab. 5.3.3 „Katalog uszkodzeń elementów obiektów inżynierskich”.

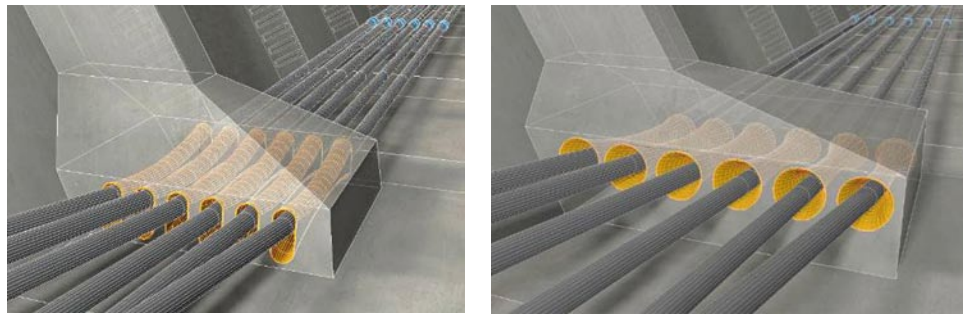
W ramach wytycznych powyżej określono jedyną metodę zabezpieczenia antykorozyjnego kabli sprężających jako „zwykły zaczyn iniekcyjny” zgodny z PN-EN447:2009 „Zaczyn iniekcyjny do kanałów kablowych. Wymagania podstawowe” z użyciem domieszek według PN-EN 934-4:2010. Nie wprowadzono możliwości użycia domieszek według PN-EN-934-2:2010 zgodne z PN-EN447:2009 pkt 4.3. Nie określono zasad kształtowania stref zakotwień oraz newralgicznych punktów w obrębie najniższej i najwyższej trajektorii kanału kablowego celem prawidłowego montażu oraz przeprowadzenia iniekcji (wlotu i odpowietrzenia kanału kablowego w ramach prowadzenia prac iniekcyjnych związanych z prawidłowym zabezpieczeniem antykorozyjnym kanałów kablowych). Omówiono jedynie kable przyczepnościowe, marginalizując kable zewnętrzne i wewnętrzne bezpryczepnościowe z aspektem potencjalnej wymienialności, alternatywnych metod zabezpieczenia antykorozyjnego oraz metodyki odbiorowej i bieżących inspekcji.

W ramach wytycznych zagranicznych prym wiodą organizacje techniczne pracujące bezpośrednio lub pośrednio dla inwestorów infrastrukturalnych. Wśród najważniejszych wyróżnić możemy: International Federation for Structural Concrete (fib), (41 grup w 104 krajach); European Organization for Technical Assessment (EOTA), EU; Bundesamt fuer Strassen ASTRA, CH; Deutsches Institut fuer Bautechnik, DE; Florida Department of Transportation's (FDOT), US; Virginia Department of Transportation's (VDOT), US; American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), US; Federal Highway Administration's (FHWA), US; French Technical Department for Transport, Roads and Bridges (SETRA), FR; Post tensioning Institute (PTI), US; The Concrete Society UK. Większość z ww. organizacji zajmuje się analizą bieżącą stanu technicznego obiektów

**Rys. 1.** Wymienialny kabel zewnętrzny z użyciem koncepcji „rura w rurze” [1]



**Rys. 2.** Wizualizacja dewiatora z elementem konikalnym wielo- i jednopłaszczyznowym [1]



inżynierskich, w tym konstrukcji sprężonych, prowadząc liczne ekspertyzy oraz wprowadzając wytyczne do obowiązujących przepisów, poprawiając jakość wykonywanych prac zgodnie z mottem przewodnim: „Zaawansowana technologia mostów betonowych w celu poprawy wydajności infrastruktury” [1]. Wymagania przepisów dotyczących kabli zewnętrznych w wybranych krajach jako statystyczne odniesienie do oczekiwań globalnych przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Wymagania dla kabli zewnętrznych w wybranych krajach [1]

Kraj	Dezaktywacja	Wymienialność	Regulacja
Francja	tak	tak	nie
Niemcy	tak	tak	tak
Japonia	nie	tak	nie
USA	nie	tak	nie

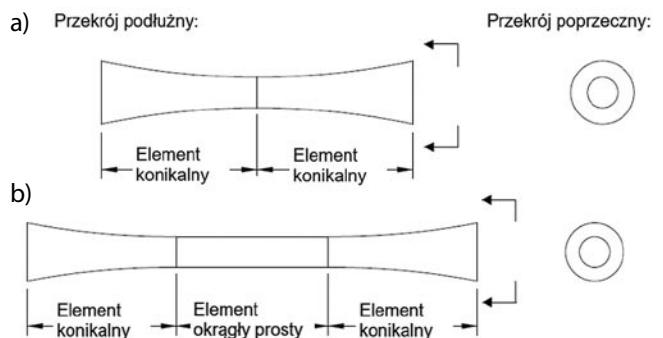
Na podstawie ww. możemy zaryzykować stwierdzenie, że zewnętrzne kable sprężające powinny się traktować jako element wymienialny, z uwzględnieniem dostosowania konstrukcji do takiego zabiegu. Inny kierunek przeciwdziałania awariom to poprawienie zabezpieczenia antykorozyjnego poprzez stosowanie kabli izolowanych elektrycznie lub fabrycznie aplikowanych indywidualnych zabezpieczeń antykorozyjnych, umożliwiających łatwy montaż, monitoring oraz wymienialność, co sugeruje FIB Bulletin 97 „External Tendons for Bridge”.

### 3. Propozycja kształtowania kabli zewnętrznych według FHWA

W opracowaniu [1] Federal Highway Administration nr FHWA-HIF-19-067 „Replaceable Grouted External Post-Tensioned

Tendon” wydanym w październiku 2019 roku przedstawiono szczegółowe wytyczne dla kształtowania wymienialnych kabli zewnętrznych z iniekcją cementową. Autorzy sugerują rozwiązania z użyciem konikalnych kształtek wielorazowego użycia umożliwiających łatwą wymianę istniejących kabli sprężających oraz zakotwień przystosowanych do wymiany (rys. 1–4).

W przypadku dewiatorów przęsłowych lub podporowych o zbyt dużych gabarytach konieczne jest zastosowanie elementu przejściowego w postaci dewiatorowego elementu prostego (wg b poniżej). Takie rozwiązanie nie zmienia mimośrodów trasy kablowej, a tym samym jest dużo łatwiejsze do odpowietrzenia w ramach prac iniekcyjnych.



**Rys. 3.** Przykład kształtek konikalnych dla wąskich (a) i szerokich stref dewiatorowych (b) [1]

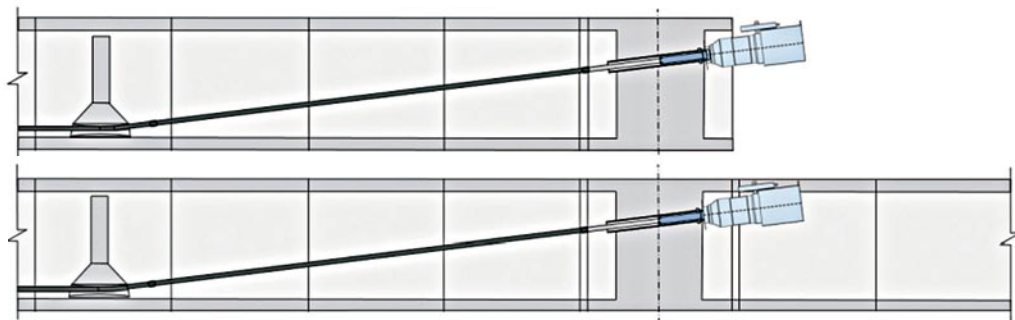
Możliwość dowolnego kształtowania elementów konikalnych w zakresie planowanej tolerancji pracy dewiatora według rozwiązania firmy BBR przedstawiono na rysunkach 4 i 5.

Wymienialność wymaga również planowania lokalizacji strefy zakotwienia z uwzględnieniem gabarytów urządzeń naciagowych w fazie docelowej konstrukcji (rys. 5).

**Rys. 4.** Przykład dostosowania kształtek konikalnych do realnych warunków pracy kabla



**Rys. 5.** Przykład bezkolizyjnej i kolizyjnej pracy urządzenia naciągowego [1]



#### 4. Dewiator podporowy (siodło) i przęsłowy

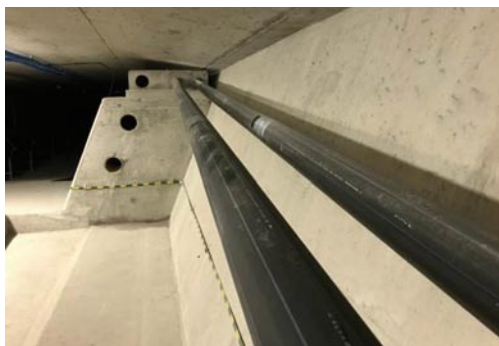
W ramach przeglądu konstrukcji sprężonych z użyciem kabli zewnętrznych większość dewiatorów realizowana jest z użyciem traconych rur stalowych lub HDPE odpowiednio zakrzywionych do projektowanej krzywizny. Nieliczne zaopatrzone w dodatkową konikalną krzywiznę wlotowo-wylotową zwiększającą tolerancję instalacyjną rurociągu kablowego (rys. 6).

Z inspekcji górnych stref dewiatorowych wynika, że większość kanałów kablowych nie posiadała odpowietrzeń

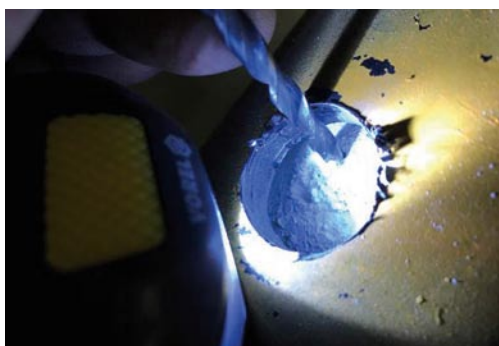
podporowych w najwyższym punkcie jako niemożliwych geometrycznie do zrealizowania, a wypełnienie iniektem cementowym z użyciem przydewiatorowych odpowietrników nie zostało zrealizowane pełnoprzekrojowo (rys. 7).

Dodatkowo stosowanie wydłużonych („kapeluszkowych”) stref górnego dewiatora uniemożliwia prawidłowe wykonanie iniekcji, inspekcja jest mocno ograniczona, a wymiennalność takiego kabla jest niewykonalna w ramach bezinwazyjnej ingerencji w konstrukcję poprzecznic i jej poszerzeń (rys. 8).

**Rys. 6.** Dewiator podporowy w rurze stalowej

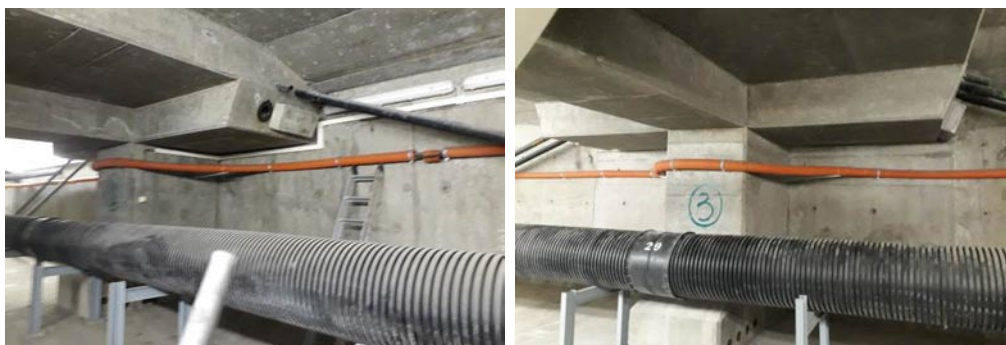


**Rys. 7.** Inspekcja endoskopowa kanału kablowego w strefie górnego dewiatora



Pustka w ramach górnej części osłony kablowej w dewiatorze podporowym

**Rys. 8.** Dewiator kapeluszy długości >5m o ograniczonej możliwości inspekcyjnej



**Rys. 9.** Przykład dewiatora podporowego (siodła) z dostępem górnym według [2]

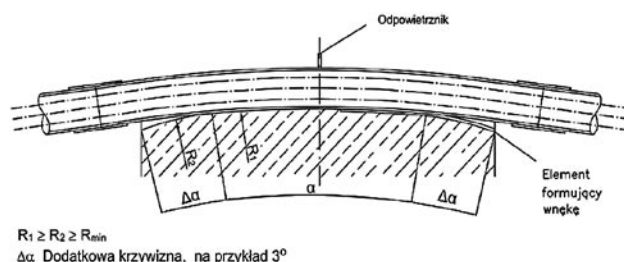
W celu umożliwienia odpowiedniego odpowietrzenia kanału kablowego i inspekcji bezpośredniej dobrym rozwiązaniem wydaje się idea dewiatora otwartego umożliwiającego swobodny dostęp do górnej części kabla. Przykładowe rozwiązanie przedstawiono na rysunku 9.

W wielu realizacjach stwierdzono wykonanie stref wlotowo-wylotowych dewiatora podporowego bez płynnego przejścia konikalnego z krzywizny bazowej dla uzyskania tolerancji instalacyjnej kabla, powodując w ten sposób punktowe ścinanie kabla na jego wlocie/wylocie zamiast prognozowanej łagodnej strefy wyjścia z dodatkowym prognozowanym odchyleniem w ramach tolerancji wykonawczych (rys. 10). Przykładowe prawidłowe rozwiązanie pokazano na rysunku 11.

## 5. Inspekcja kanałów kablowych

Rzetelny i prawidłowy odbiór techniczny kabli sprężających bezpośrednio po wykonaniu oraz ich cykliczna inspekcja

**Rys. 10.** Przykład niepoprawnej realizacji poszerzenia strefy wylotowej dewiatora

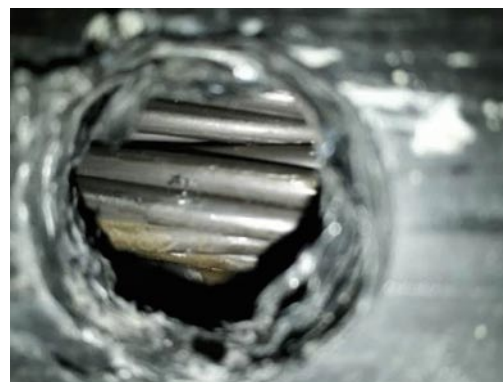


**Rys. 11.** Schemat prawidłowego kształtowania strefy wylotowej według BBR ETA-07/0167 [3]

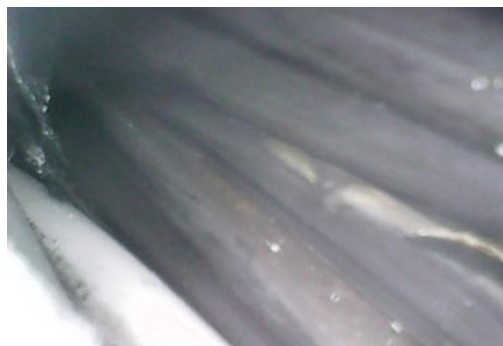
pozwała na prawidłową pracę konstrukcji w projektowanym okresie użytkowania. Coraz częściej, niestety, spotykamy się z sytuacją w której mimo 10–30-letniej pracy konstrukcji nikt nie dokonał prawidłowego odbioru, przeglądu czy inspekcji kabli sprężających, ograniczając się jedynie do oceny wizualnej w systemie „kabel jest/kabla brak”. Przykład odkrytej nieciągłości iniektu cementowego długości 4-5 m w kablu wyprodukowanym około 25 lat temu przedstawiono na rysunkach 12, 13.

Zdiagnozowanie takiej nieciągłości nie wymaga specjalistycznej wiedzy czy sprzętu, lecz dociekliwości oraz znajomości podstaw technologii wykonywania konstrukcji sprężonych przez zespół realizujący zadanie i inspektora dokonującego odbioru oraz przeglądów sprężonego obiektu mostowego. Niestety, co jakiś czas diagnozuje się również tzw. nieciągłości ukryte, których stwierdzenie wymaga doświadczenia i operowania sprzętem badawczym, a ich powstawanie wynika z obecności jonów siarczanowych w wilgotnej warstwie zamkniętego zaczynu cementowego, która na powierzchni stali sprężającej

**Rys. 12.** Zdiagnozowana podczas inspekcji nieciągłość iniektu długości około 4 m



**Rys. 13.** Inspekcja endoskopowa strefy dewiatorowej zdiagnozowanej nieciągłości



stwarza warunki powstawania ogniw korozyjnych. Ta wilgotna warstwa wynika ze zwiększonej sedymentacji zaprawy iniekcyjnej, która zgodnie z pierwszą europejską edycją normy iniekcyjnej [4] PN-EN 447 z 1998 r. dopuszczała ją na poziomie 2%. Mimo aktualizacji normy [5] PN-EN 447 w 2009 r. z granicznym warunkiem nieprzekroczenia sedymentacji na poziomie 0,3%, zarówno krajowe, jak i światowe warunki kontraktowe nadal uważały poziom sedymentacji 2% jako akceptowalny, biorąc pod uwagę trudność w uzyskaniu odpowiedniej płynności zaczynu z użyciem znacznie mniejszego wskaźnika w/c przy dostępnej chemii budowlanej. Często w bieżących krajowych postępowaniach przetargowych nadal możemy znaleźć warunki z akceptowalną sedymentacją iniektu cementowego na poziomie 2%, co jest niedopuszczalne, biorąc pod uwagę aktualny stan wiedzy technicznej opisującej skutki lokalnie skumulowanych jonów wapniowych, siarczanowych i glinianowych w mleku cementowym podczas sedymentacji. Jeżeli sytuacja nie została odpowiednio wcześniej wykryta, następuje awaria, która oznacza niekontrolowane

zerwanie kabla sprężającego. W niektórych krajach zakazano stosowania kabli zewnętrznych z iniekcją cementową, zastępując je kablami z indywidualnym zabezpieczeniem antykorozyjnym w postaci wosków lub innych elastycznych wypełniaczy antykorozyjnych.

## 6. Dostęp dla prac inspekcyjnych oraz remontowych

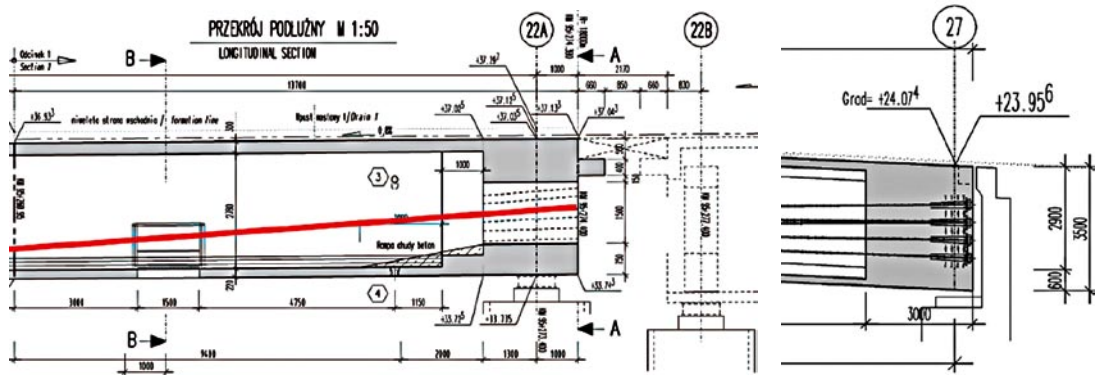
Niezbędnym elementem podczas projektowania konstrukcji jest uwzględnienie dodatkowego otworowania oraz najazdów transportowych w konstrukcji płyty dolnej przekrojów skrzynkowych umożliwiającym swobodny dostęp dla zespołu inspekcyjnego jak i sprzętu do prowadzenia prac naprawczych (rys. 14).

Zapewnienie odpowiedniego miejsca do prowadzenia prac inspekcyjnych oraz naprawczych determinuje możliwości ich wykonania. Jeżeli przewiduje się wymienialność i ponowny naciąg kabla, należy odpowiednio przygotować otaczającą konstrukcję dla wykonalności zadania (rys. 15).

**Rys. 14.** Przykład otworu dostępowego oraz łagodnych najazdów transportowych



Rys. 15. Prawidłowe i błędne kształtowanie dostępu do zakotwień kabli wymiennalnych



## 7. Kryterium jakościowe wbudowywanej stali sprężającej

Wiele kontraktowych specyfikacji i najnowsza wytyczna krajowa WR-M-21-2 pkt 4.3.2.2.1. dopuszczają do wbudowania „stal sprężającą na powierzchni, na której nie powinno być rdzy, pęknięć, łusek, rozwarstwień. Dopuszcza wbudowanie stali z nalotem korozyjnym możliwym do usunięcia szczotką drucianą. Stal wykazująca ślady korozji wżerowej nie może być stosowana i powinna być usunięta z budowy”. Biorąc pod uwagę powyższe, należy odpowiedzieć na pytanie, czy taka wytyczna ma sens? Czy bazując na takiej ogólności założeń jakościowych jak korozja usuwana „szczotką drucianą” bez odniesienia do wizualnej

oceny stanu splotów po oczyszczeniu można w ogóle mówić o prawidłowości wykonywania prac? Inżyniersko nie da się jednoznacznie określić, czy po usunięciu nalotu korozyjnego szczotką drucianą jej powierzchnia jest akceptowalna, a ubytek przekroju poprzecznego wystarczający dla spełnienia wymogów podstawowych bez odniesienia do przykładów wzorcowych. W literaturze światowej można doszukać się opracowania ułatwiającego klasyfikację stali sprężającej do wbudowania z użyciem wzornika popartego badaniami wytrzymałościowymi (na podstawie [6]) wykonanego przez firmę HISC S.A TECHNICAL DEPARTMENT”) (rys. 16).

Na podstawie analizy przedstawionego przypadku konieczne jest wprowadzenie korekty do krajowego rejestru wytycznych w oparciu o doświadczenia praktyczne w zakresie użytecznego zastosowania, które możemy zaobserwować w literaturze światowej. Bez dbałości o jakość stali sprężającej od momentu jej produkcji do wbudowania i finalnego zabezpieczenia antykorozyjnego nie możemy liczyć na projektowaną żywotność wyrobu.

Klasyfikacja	Przed oczyszczeniem	Po oczyszczeniu suchą szmatką
„I”		
„II”		
„III”		
„IV”		
„V”		
„VI”		

„I” - BRAK KOROZJI  
 „II” - NIEWIELKA KOROZJA  
 „III” - ŚREDNIA KOROZJA  
 „IV” - ZNACZĄCA KOROZJA  
 „V” - NADMIERNA KOROZJA  
 „VI” - EXTREMALNA KOROZJA  
 („V” i „VI” oznacza klasyfikację negatywną)

Rys. 16. Klasyfikacja korozji splotów przed wbudowaniem według HISC

## 8. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę zrealizowane w Polsce na przestrzeni ostatnich 20 lat obiekty z betonu sprężonego z udziałem bezprzyczepnościowych zewnętrznych kabli sprężających musimy zadbać o ich dobry stan techniczny w ramach bieżących przeglądów, inspekcji oraz świadomej wymiany, jeżeli tego wymagają. Dla nowo projektowanych i budowanych obiektów należy zapewnić takie przygotowanie założeń technicznych, aby wykonalność i jakość gwarantowała projektowaną żywotność obiektów.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] FHWA-HIF-19-067 Replaceable Grouted External Post-Tensioned Tendon, October 2019
- [2] Vorspanntechnik info katalog, Stahlton Dokumentation
- [3] ETA 07/0168 Europejska Ocena Techniczna System zewnętrznych kabli sprężających
- [4] PN-EN447:1998: Zaczyn iniekcyjny do kanałów kablowych. Wymagania dotyczące zaczynu zwykłego
- [5] PN-EN447:2009: Zaczyn iniekcyjny do kanałów kablowych. Wymagania podstawowe
- [6] PC STRAND CORROSION by HISC S.A TECHNICAL DEPARTMENT, Nov 1985