

dr hab. inż. Arkadiusz Madaj, prof. PP^{1)*}
 ORCID: 0000-0002-6617-6290
 mgr inż. Katarzyna Mossor¹⁾
 ORCID: 0000-0002-1749-2529

Trwałość i nośność sprężonych, betonowych przęseł mostów z rysami

Durability and load-bearing capacity of cracked prestressed concrete bridge spans

DOI: 10.15199/33.2020.09.05

Streszczenie. Istotnym elementem określania nośności i trwałości konstrukcji sprężonych jest ocena ich ewentualnego zarysowania. Bardzo często można spotkać się z opinią, że obiekty zarysowane są w stanie przedawaryjnym, a nawet awaryjnym i to z nieodwracalnymi skutkami [12, 13]. W artykule starano się wykazać, że pogląd ten jest nieuprawniony. Mostowe konstrukcje sprężone, które mają rysy, mogą być na ogół bezpiecznie eksploatowane, jakkolwiek należy je traktować jako obiekty z wadą. Ponadto wada ta jest bardzo często możliwa do usunięcia, a obiektem można przywrócić wymagane parametry: nośność; sztywność i trwałość. Zawsze konieczna jest indywidualna ocena przyczyn i skutków zarysowania.

Słowa kluczowe: zarysowanie; konstrukcje sprężone; trwałość obiektów mostowych.

Abstract. Cracking is a relevant factor when it comes to estimating load-bearing capacity and durability of prestressed concrete structures. It is commonly assumed, that structures with cracks are just before a state of failure or even have already reached it with irreversible effects [12, 13]. The authors attempt to prove that this view is too far-reaching. Prestressed concrete bridges with cracks can be usually safely used, however with a shortcoming. Moreover, this fault is often possible to repair so that the structures perform original parameters again: load-bearing capacity, stiffness and durability. An individual evaluation of possible causes and effects of cracking is always crucial.

Keywords: cracking; prestressed structures; bridge durability.

Duża liczba wybudowanych w ostatnich latach obiektów inżynierskich o przęsłach z betonu sprężonego oraz stwierdzone po kilku latach eksploatacji rysy, rodzą pytania dotyczące nie tylko przyczyn ich powstania, ale również wpływu na nośność i trwałość konstrukcji. Problematyka ta wynika m.in. z faktu, że w powszechnym odczuciu zarysowane konstrukcje przęseł są w stanie przedawaryjnym. Wskazuje na to np. podawane w [12] zalecenie, by konstrukcji zarysowanego mostu nadawać ocenę „1” w sześciodzielnym skali, a więc wskazującą na zagrożenie awarią i, co ważniejsze, w cytowanym opisie skali ocen, „jedynka” wskazuje również, że uszkodzenia są nieodwracalne, „dyskwalifikujące przydatność użytkową”. Zapis ten został nieco złagodzony w nowelizacji instrukcji [13], w której taki stan, tzn. przedawaryjny, został przypisany konstrukcji sprężonej, w której rysy ma-

ją rozwarłość przekraczającą 0,1 mm. Wprowadzony zapis rodzi bardzo poważne konsekwencje, gdyż skutkuje natychmiastowym wyłączeniem obiektów z eksploatacji przez nadzór budowlany i wskazuje, że jest to stan nieodwracalny, a więc oznacza konieczność przebudowy/rozbiórki obiektu. Dopiero ocena „2” to stan jedynie *obniżający przydatność użytkową, ale możliwy do naprawy* [1, 12, 13]. Naszym zdaniem taka ocena zarysowanej konstrukcji sprężonej jest nieuprawniona. Analiza każdej zarysowanej konstrukcji sprężonej musi być indywidualna, co do wynikających z tego skutków w odniesieniu do trwałości i nośności konstrukcji, a także możliwości przywrócenia jej walorów użytkowych.

Rysy w obiekcie sprężonym a jego nośność i trwałość

Współczesne podejście do oceny nośności konstrukcji sprężonych traktuje je tak jak każdą inną betonową konstrukcję zbrojoną, obciążoną dodatkową siłą, tzn. siłą sprężającą. Siła ta jest z reguły wywołana przez napięcie cięgna (liny,

pręty, sploty, zespół splotów). W związku z tym, wystąpienie rys nie oznacza, że konstrukcja utraciła swoją zakładaną nośność (stan graniczny nośności). W przypadku, gdy z określonych powodów rysy nie są dopuszczalne, zarysowaną konstrukcję sprężoną traktuje się jako konstrukcję z wadą.

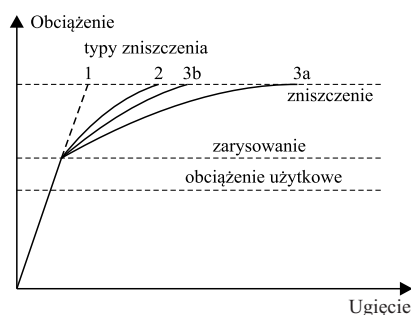
Należy wyraźnie podkreślić, że wystąpienie rys nie oznacza, że konstrukcja nie może być bezpiecznie eksploatowana, co najwyżej w określonych warunkach eksploatacji może zmniejszyć się jej trwałość. Nie można z góry zakładać, że jeżeli konstrukcja ma rysy o rozwarości przekraczającej 0,1mm, to jest w stanie przedawaryjnym, a uszkodzenia są nieodwracalne i dyskwalifikują przydatność użytkową. Istnieją bowiem metody przywracające pełną przydatność użytkową, a do czasu naprawy konstrukcja może być bezpiecznie eksploatowana.

Stan graniczny zarysowania jest niebezpieczny w przypadku, gdy konstrukcja charakteryzuje się małym stopniem zbrojenia, a nośność betonu strefy rozciąganej jest większa od nośności cięgien sprężających. Wtedy stan granicz-

¹⁾ Politechnika Poznańska; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

^{*} Adres do korespondencji: arkadiusz.madaj@put.poznan.pl

ny zarysowania jest równoznaczny ze stanem granicznym nośności (rysunek 1 – typ zniszczenia 1). Takiej sytuacji nie dopuszczają jednak obowiązujące obecnie przepisy dotyczące wymiarowania konstrukcji, które wprowadzają obowiązek stosowania minimalnego stopnia zbrojenia, zabezpieczającego przed kruchym zniszczeniem. W praktyce występują więc typy zniszczenia 2 i 3 (rysunek 1), czyli po zarysowaniu konstrukcji, a o charakterze zniszczenia decyduje stopień zbrojenia.



Rys. 1. Zależność ugięcia od obciążenia w przypadku różnych typów zniszczenia przekroju sprężonego: 1 – równocześnie z zarysowaniem; 2 – zmiżdżenie betonu; 3 – zerwanie zbrojenia (3a – przed zmiżdżeniem betonu, 3b – równocześnie ze zmiżdżeniem betonu, na skutek zmniejszenia wysokości strefy ściskanej)

Fig. 1. Deflection – load relationship for different types of failure of prestressed structure: 1 – at the time of cracking; 2 – concrete crushing; 3 – steel breaking (3a – before concrete crushing, 3b – at the time of concrete crushing due to decrease of compression zone)

Prawidłowo zaprojektowany przekrój daje gwarancję, że od obciążenia powodującego pierwsze rysy do zniszczenia jest znaczna rezerwa nośności, co najmniej dwukrotna, a praktycznie dużo większa. Typ zniszczenia 1 jest szczególnie groźny, gdy w konstrukcji nie ma możliwości redystrybucji momentów (konstrukcje swobodnie podparte czy wspornikowe). Wystąpienie rys w konstrukcjach sprężonych może mieć natomiast bardzo istotny wpływ na ich trwałość, ale zależy to od stopnia agresywności środowiska i rozwartości rys.

Wpływ wybranych czynników na trwałość konstrukcji sprężonych

Kluczowym zagadnieniem w analizie trwałości i nośności konstrukcji sprężonych są rysy. Jeśli konstrukcję sprężoną traktujemy jako betonową, zbrojoną,

która wstępnie została obciążona siłą sprężającą, to fakt wystąpienia rysy nie ma istotnego wpływu na ocenę jej nośności. Konstrukcja sprężona z rysami nie może być uznana, z punktu widzenia jej nośności, za konstrukcję w stanie awaryjnym. Zagrożenie wystąpieniem awarii konstrukcji po zarysowaniu zależy m.in. od ilości zbrojenia sprężającego i tzw. miękkiego (rysunek 1). Niekorzystny wpływ rys w konstrukcji sprężonej wyraża się natomiast zmniejszeniem sztywności konstrukcji (wzrost ugięć) i wzrostem zagrożenia korozją, zwłaszcza cięgien sprężających. W artykule skupimy się na zarysowaniu konstrukcji sprężonej w aspekcie jej trwałości, ograniczając analizę do tzw. konstrukcji kablobetonowych.

O wpływie zarysowania konstrukcji sprężonej na jej trwałość decyduje:

- intensywność obciążenia;
- środowisko, w jakim konstrukcja jest eksploatowana (klasa ekspozycji);
- jakość wykonania (jakość betonu, w tym przede wszystkim wytrzymałość, mrozoodporność, szczelność, ale również jakość poszczególnych jego składników);
- zabezpieczenie antykorozyjne stali sprężającej.

Wymagania dotyczące sposobu zabezpieczenia antykorozyjnego zależą od agresywności środowiska i ekspozycji konstrukcji na działanie środowiska oraz od poziomu tzw. ochrony strukturalnej. W przypadku trwałej ochrony stali sprężającej wprowadzono trzy poziomy ochrony PL1, PL2 i PL3 [6], co pokazano w tabeli:

- PL1 – ciągną wraz z kanałem kablowym i materiałem go wypełniają-

Tabela 1. Poziomy zabezpieczenia cięgien sprężających w zależności od stopnia agresywności środowiska i ochrony strukturalnej [6]

Table 1. Tendon protection levels depending on environment aggressiveness and protection level provided by the structure [6]

		Poziom ochrony strukturalnej		
		wysoki	średni	niski
Agresywność/ekspozycja	wysoka	PL3		
	średnia	PL2		
	niska	PL1		

cym zapewniają trwałą ochronę przed korozją;

- PL2 – poziom ochrony PL1 + materiał otaczający ciągną na całej długości (łącznie z zakotwieniami) tworzą trwałą i szczelną osłonę;

- PL3 – poziom ochrony PL2 + możliwość kontroli integralności ciągną i jego ochrony w dowolnym momencie.

Wysoki poziom ochrony kabli PL3 jest wymagany zarówno w przypadku wysokiej agresywności środowiska, jak i niskiej ochrony strukturalnej. Analiza proponowanych poziomów ochrony kabli sprężających wskazuje, że stopień ochrony zależy nie tylko od agresywności środowiska, ale również od sposobu zabezpieczenia ciągną przez konstrukcję (tzw. ochrona strukturalna). Na wpływ zabezpieczenia antykorozyjnego stali sprężającej zwróciliśmy uwagę w [3].

Model Code [6] podaje, że poszczególne poziomy zabezpieczenia konstrukcji są wymagane w następujących przypadkach:

- PL1 – wszystkie ciągną stosowane są w środowisku o stosunkowo małej agresywności i dobrze chronione przez konstrukcję;
- PL2 – wszystkie ciągną stosowane są we wszystkich innych kombinacjach agresywności środowiska i/lub stopniu ekspozycji, a stopień ochrony nie odpowiada poziomom PL1 i PL3 zapewnianym przez konstrukcję;
- PL3 – wszystkie ciągną stosowane są w agresywnym środowisku i/lub silnym stopniu ekspozycji oraz przy niskiej ochronie zapewnianej przez konstrukcję.

W związku z tym pojawia się pytanie, **czy dopuszczalne są rysy w konstrukcjach sprężonych**. W kontekście wymaganych poziomów zabezpieczenia odpowiedź jest jednoznaczna: **zależy to od stopnia agresywności środowiska i ekspozycji konstrukcji na jego oddziaływanie**. Natomiast, biorąc pod uwagę określone kryteria projektowania konstrukcji, zarysowaną konstrukcję mostową należy uznać za konstrukcję z wadą, która nie dyskwalifikuje możliwości jej dalszej eksploatacji.

Jednym z istotnych kryteriów oceny trwałości zarysowanych konstrukcji sprężonych jest nie tylko występowanie rys, ale również ich rozwartość. Gra-

niczną rozwartość rys w konstrukcjach sprężonych determinuje tzw. klasa ekspozycji (stopień agresywności środowiska). Jeżeli chcemy ustalić graniczną rozwartość rys, jaka może wystąpić w konstrukcji na etapie projektowania, to należy zwrócić uwagę m.in. na normy [7, 8], które mówią, że zjawisko zarysowania ma charakter losowy i graniczna, obliczeniowa rozwartość rys jest odniesiona do przyjętego w niej modelu obliczeniowego. Jednym ze zjawisk zwiększających niepewność obliczeń jest zmiana wytrzymałości betonu na rozciąganie w czasie, wynikająca z ciągłej hydratacji cementu w połączeniu z obciążeniem. Nieprzewidywany na etapie projektowania wzrost wytrzymałości betonu może również prowadzić do większej od projektowanej rozwartości rys. Im większa wytrzymałość betonu, tym przy takim samym wyteżeniu konstrukcji należy liczyć się z rysami o większej rozwartości. Obliczeniową szerokość rozwarcia rysy można obliczyć wg [4]:

$$W_k = S_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \quad (1)$$

gdzie:

- W_k – obliczeniowa szerokość rysy;
- $S_{r,max}$ – średni końcowy maksymalny rozstaw rys;
- ϵ_{sm} – średnie odkształcenie zbrojenia (pod wpływem odpowiedniej kombinacji obciążeń);
- ϵ_{cm} – średnie odkształcenie betonu między rysami.

Ze wzoru (1) wynika, że wraz ze wzrostem wytrzymałości betonu (większy moduł sprężystości) i przy niezmiennym rozstawie rys, zwiększa się ich rozwartość. W związku z tym nie należy wyciągać optymistycznych wniosków z faktu, że „udało się” w czasie realizacji inwestycji uzyskać „lepszy beton” (tzn. o większej wytrzymałości od planowanej).

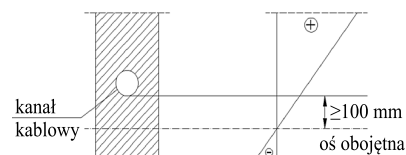
Graniczną dopuszczalną rozwartość rys, w zależności od klasy ekspozycji, podano w tabeli 2. W przypadku klasy ekspozycji XO i XC1, a więc gdy w środowisku nie ma chlorków, rysy w zasadzie mają mały wpływ na trwałość konstrukcji, a ograniczenie ich rozwartości zostało wprowadzone głównie ze względu na estetykę konstrukcji. Należy bowiem mieć na uwadze również aspekt psychologiczny odbioru konstrukcji przez użytkowników. Rysy o dużej rozwartości budzą niepokój użytkowników, związany z potencjalnym wystąpieniem zagrożenia bezpieczeństwa eksploatacji konstrukcji.

Tabela 2. Dopuszczalna rozwartość rys [mm] w konstrukcjach sprężonych [8]
Table 2. Recommended values of crack width [8]

Klasa ekspozycji wg [10]	Elementy sprężone z ciągniemi:	
	bez przyczepności prawie stała kombinacja obciążeń	z przyczepnością częsta kombinacja obciążeń
XO, XC1	0,3	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ¹⁾
XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3	0,3	odprężenie (dekompresja)

¹⁾ W tych klasach ekspozycji stan odprężenia powinien być zagwarantowany również przy prawie stałej kombinacji obciążeń

Kryterium „odprężenie” („dekompresja”) oznacza w rozumieniu normy [8], że ciągnio sprężające, a w przypadku kablobetonu również osłonka kabla, muszą znajdować się w strefie ściskanej betonu, a odległość od miejsca, w którym występują naprężenia rozciągające, nie może być mniejsza niż 100 mm (rysunek 2). Klasy ekspozycji, w których wymagane jest spełnienie warunku dekompresji, dotyczą przypadków, gdy na obiekt działa woda zawierająca chlorki



Rys. 2. Graficzna interpretacja warunku dekompresji

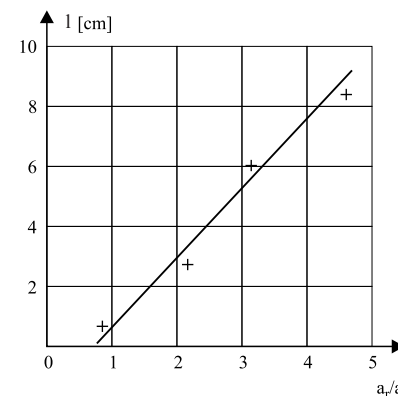
Fig. 2. Decompression limit

(XD i XS). Jeśli nie jest spełniony ten warunek, to dopuszczalne są rysy o rozwartości nieprzekraczającej 0,2 mm. Uważa się, że narażone na działanie chlorków są wszystkie powierzchnie, na które stosowane są bezpośrednio sole do odładzania oraz te, które są oddalone o mniej niż 6 m od powierzchni odładzanych (w pionie i w poziomie). Jakkolwiek w normie [8] nie podano warunków dotyczących innych klas ekspozycji, to w przypadku XF1 i XF3 należy przyjąć takie same wymagania jak dla klas ekspozycji XC (rozwartość do 0,2 mm), a dla klas ekspozycji XF2 i XF4 jak w przypadku klas XD, tzn. warunek odprężenia (dekompresji). Ponadto norma [8] wyraźnie wskazuje, że przy zachowaniu granicznych wartości podanych w tabeli 2 „zmniejszenie właściwości użytkowych konstrukcji jest mało prawdopodobne”.

Do powstania rys w konstrukcji sprężonej mogą również prowadzić **naprężenia ściskające**. Powodują one po-

wstanie rys podłużnych, które, podobnie jak rysy poprzeczne, mogą przyczynić się do redukcji trwałości. W związku z tym w konstrukcjach sprężonych, eksponowanych na wpływ środowiska (klasy ekspozycji XD, XS i XF) należy ograniczyć naprężenie ściskające od charakterystycznej kombinacji obciążeń do wartości $0,6f_{ck}(t)$ ($f_{ck}(t)$ – wytrzymałość betonu na ściskanie w chwili t – sprężania).

O skutecznej ochronie cięgien sprężających przed czynnikami zewnętrznymi decydują nie tylko rysy (ich rozwartość), ale również grubość otuliny zbrojenia (rysunek 3) i dlatego przepisy wprowadzają minimalną jej grubość w zależności od klasy ekspozycji (tabela 3). Biorąc pod uwagę minimalną otulinę zbrojenia (tabela 2), w praktyce oznacza to, że jeżeli w mostowych konstrukcjach sprężonych zachodzi konieczność uwzględnienia kryterium dekompresji, to nie jest dopuszczalne jej



Rys. 3. Długość odcinków zbrojenia, na którym występuje korozja, w zależności od stosunku rozwartości rys do grubości otuliny [11]: l – długość odcinka zbrojenia zaatakowanego przez korozję; a_r – rozwartość rysy; a – grubość otuliny

Fig. 3. Length of reinforcement subjected to corrosion attack depending on crack width – concrete cover relationship [11]: l – length of reinforcement attacked by corrosion; a_r – crack width; a – depth of concrete cover

Tabela 3. Minimalna otulina z uwagi na trwałość konstrukcji w przypadku okresu użytkowania 100 lat [7]

Table 3. Minimum depth of concrete cover due to durability for 100 years [7]

Wymagana otulina zbrojenia w zależności od klasy ekspozycji						
X0	XC1	XC2/ XC3	XC4	XD1/ XS1	XD2/ XS2	XD3/ XS3
20	35	45	50	55	60	65

zarysowanie, gdy obiekt jest eksploatowany w środowisku, w którym znajdują się chlorki (rysunek 2). Jeżeli odnieśliśmy to do poprzednio stosowanej normy [9], w której był zapis, że konstrukcje mostowe muszą w praktyce spełniać warunek sprężenia pełnego, tzn. że również w konstrukcjach sprężonych projektowanych zgodnie z systemem norm PN nie było dopuszczalne rozciąganie w betonie, a więc nie mogą w nich występować rysy.

Jeżeli stopień agresywności środowiska jest wysoki, jak z reguły ma to miejsce w przypadku przęseł mostów, zwłaszcza wiaduktów nad drogami, to z punktu widzenia trwałości, wokół cięgien sprężających nie mogą wystąpić rysy. Stąd wymagany warunek dekompresji w przęsłach mostów (strefa ścisłana wokół cięgna grubości min. 10 cm). Należy jednak zwrócić uwagę, że trwałość konstrukcji zbrojonych zależy nie tyle od rozwartości rys mierzonych na powierzchni konstrukcji, ale również od grubości otuliny zbrojenia. Jeżeli jest ona większa niż wymagana w przypadku danych warunków środowiskowych, to dopuszczalna rozwartość rys mierzona na powierzchni konstrukcji może zostać proporcjonalnie zwiększona.

Poprawa trwałości i nośności konstrukcji z rysami

Istnieje przekonanie, że konstrukcja z rysami o rozwartości $> 0,1$ mm jest w stanie przedawaryjnym, a stan taki jest nieodwracalny [10]. Zapis ten nie opisuje niestety poprawnej oceny stanu obiektu, zarówno z punktu widzenia możliwości jego eksploatacji, jak i skutecznego przywrócenia jego pełnych walorów użytkowych (w tym pierwotnej nośności). Z własnego doświadczenia wiemy, że ocena ta jest nieprawdziwa i sami wielokrotnie badaliśmy obiekty sprężone z rysami o rozwartości

większej od 0,1 mm, które były i są eksploatowane bez ograniczeń przez wiele lat. Wielu tym obiektom już została przywrócona pełna wartość eksploatacyjna [2, 5].

Jako przykład podajemy **most wielodźwigarowy w ciągu drogi krajowej**, na której odbywa się intensywny ruch ciężkich pojazdów. Podczas badań obiektu stwierdzono w dźwigarach głównych rysy do 0,8 mm, a wiele z nich miało rozwartość $0,1 \div 0,2$ mm (fotografia). Most z tak zarysowanymi przęsłami był eks-



Rysy na pasie dolnym dźwigara sprężonego mostu

Cracks on the bottom of prestressed girder

ploatowany przez przynajmniej kilka lat. Mimo poważnych uszkodzeń, w zasadzie zgodnie z [12] dyskwalifikujących możliwość dalszej eksploatacji, most został naprawiony przez zastosowanie sprężenia zewnętrznego. Zlikwidowane zostały również rysy. Skuteczność naprawy została potwierdzona szczegółowymi badaniami pod obciążeniem próbnym przed i po sprężeniu. Okazało się, że rysy pod obciążaniem nie zwiększały swojej rozwartości, ugięcie przęseł zmniejszyło się średnio o ok. 18%, a dźwigarów najbardziej wyężonych nawet o ponad 30% [2]. Przedstawiony przykład pokazuje, że obiekty sprężone, w których zaobserwowano rysy, można naprawić i skutecznie je eksploatować. Innym przykładem może być **most wieloprzęsłowy**, w którym zaobserwowano rysy o rozwartości ok. 0,15 mm. Obiekt ten również został sprężony z wykorzystaniem kabli zewnętrznych. Skuteczność sprężenia potwierdziły badania obiektu po ok. 10 latach. Okazało się, że rysy zostały zamknięte [5].

Podsumowanie

Występowanie rys w sprężonych obiektach mostowych nie dyskwalifikuje ich „automatycznie”, jako znajdujących się w stanie awaryjnym lub przedawaryjnym [12, 13]. Taka ocena może bowiem skutkować niekorzystnymi decyzjami nadzoru budowlanego, w tym nawet natychmiastowym wyłączeniem z eksploatacji. Konstrukcje z rysami projektowane zgodnie z normą [9] czy [7, 8] są obiektami z wadą, ale nie niemożliwą do usunięcia i na ogół można je nadal bezpiecznie eksploatować, ale wymaga to indywidualnej oceny. Obiektowi można przywrócić pełną przydatność eksploatacyjną oraz wymaganą trwałość metodą sprężenia zewnętrznego.

ych się w stanie awaryjnym lub przedawaryjnym [12, 13]. Taka ocena może bowiem skutkować niekorzystnymi decyzjami nadzoru budowlanego, w tym nawet natychmiastowym wyłączeniem z eksploatacji. Konstrukcje z rysami projektowane zgodnie z normą [9] czy [7, 8] są obiektami z wadą, ale nie niemożliwą do usunięcia i na ogół można je nadal bezpiecznie eksploatować, ale wymaga to indywidualnej oceny. Obiektowi można przywrócić pełną przydatność eksploatacyjną oraz wymaganą trwałość metodą sprężenia zewnętrznego.

Literatura

- [1] Instrukcje przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich. Wydanie 2. Warszawa 2011 (Załącznik do zarządzenia nr 14 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 7 lipca 2005 r).
- [2] Madaj Arkadiusz, Katarzyna Mossor. 2019. „Evaluation of External Prestressing as a Strengthening Method for Existing Concrete Bridges”. *Structural Engineering International* 3: 412 – 416.
- [3] Madaj Arkadiusz, Katarzyna Mossor. 2020. „Metody zabezpieczania kabli sprężających przed korozją”. *Materiały Budowlane* 572 (4): 42 – 44.
- [4] Madaj Arkadiusz, Witold Wołowicki. 2010. *Projektowanie mostów betonowych*. Warszawa. WKŁ.
- [5] Madaj Arkadiusz, Witold Wołowicki, Michalina Węgrzynowska. 2006. „Wzmocnienie sprężonego mostu ramowego budowanego metodą wspornikową”. *Inżynieria i Budownictwo* 7 – 8.
- [6] Model Code 2010. Final draft, Vol. 1, 2, FIB, March 2012.
- [7] PN-EN 1992-1-1:2004. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [8] PN-EN 1992-2:2005. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 2: Mosty z betonu. Obliczenia i reguły konstrukcyjne.
- [9] PN-9/S-10042. Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Projektowanie.
- [10] PN-EN 206-1: Beton. Część 1. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [11] Ścisławski Zbigniew. 1981. *Korozja i ochrona zbrojenia*. Warszawa. Arkady.
- [12] Zasady stosowania skali ocen punktowych stanu technicznego i przydatności do użytkowania drogowych obiektów inżynierskich. Część I. Obiekty Mostowe. Wydanie 2. Warszawa 2008. (Załącznik do zarządzenia nr 1 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 30 stycznia 2019 r).
- [13] Zasady stosowania skali ocen punktowych stanu technicznego i przydatności do użytkowania drogowych obiektów inżynierskich. Wydanie 1, Warszawa 2008. (Załącznik do zarządzenia nr 64 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 13 listopada 2008 r).

Przyjęto do druku: 24.06.2020 r.