

# INŻYNIERIA i BUDOWNICTWO

11-12  
2021

ISSN 0021-0315

CZASOPISMO POLSKIEGO ZWIĄZKU INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW BUDOWNICTWA

*Radosnych i spokojnych Świąt oraz pomyślnego roku 2022.  
Dziękujemy Klientom za okazane zaufanie i współpracę.  
Zespół PERI Polska*



Zdjęcie: archiwum PERI, shutterstock

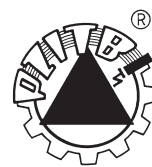
**PERI**

Deskowania  
Rusztowania  
Doradztwo techniczne  
[www.peri.com.pl](http://www.peri.com.pl)  
[info@peri.com.pl](mailto:info@peri.com.pl)



# INŻYNIERIA i BUDOWNICTWO

Rok LXXVII (rok założenia 1938)  
WARSZAWA, LISTOPAD–GRUDZIEŃ 2021



Czasopismo  
POLSKIEGO ZWIĄZKU  
INŻYNIERÓW  
I TECHNIKÓW  
BUDOWNICTWA

11–12/2021

## SPIS TREŚCI

strona

Od redakcji ..... 513

### ZAGADNIENIA OGÓLNE

A. Jarominiak – O problemach przeciwdziałania wzrostowi globalnej temperatury ..... 515

### ZAGADNIENIA KONSTRUKCYJNE I MATERIAŁOWE

K. Jastrzębski, R. Budziński, L. Ślęczka – Węzły ram portowych z kształtowników profilowanych na zimno ..... 524

M. Szymik, J. Jankowska-Sandberg – Koncepcja pawilonu wystawowego „Torus” o konstrukcji stalowej ..... 528

### MOSTY

B. Wichtowski, Z. Woźniak – Badania diagnostyczne mostu stalowego przez rzekę Drawę na linii kolejowej nr 203 ..... 530

P. Jakiel, P. Olczyk – Pierwsze polskie kładki podwieszane i współczesne problemy ich eksploatacji ..... 535

B. Wichtowski, K. Konecki – Kontrowersje dotyczące oceny trwałości historycznych stalowych mostów kolejowych ..... 547

### TEORIA I BADANIA NAUKOWE

A. Jędrzejewska, M. Zych – Stopień zewnętrznego skrępowania odkształceń wymuszonych w świetle prEN 1992-1-1 ..... 553

D. Kwiecień – Analiza wybozczeniowa kładki pieszo-rowerowej ..... 562

M. Zych, A. Jędrzejewska – Komentarz do Załącznika D prEN 1992-1-1 w zakresie odkształceń wymuszonych ..... 565

### Z ŻYCIA PZITB

K. Zysk – XXXI Konkurs PZITB „Budowa Roku 2020” ..... 574

A. Poterańska, S. Pyrak – Laureaci nagród i medali PZITB wręczonych w roku 2021 ..... 584

### DYSKUSJE

Z. Cywiński – Refleksje pandemiczne ..... 586

### INFORMACJE

A. Jarominiak – O zagrożeniach mostów wybuchami ..... 523

K. Michalak – Obiekt w formie rury wspornikowej w Parku Sztuki Nikola Lenivets ..... 588

K. Michalak – Wisząca kładka dla pieszych nad rzeką Lianjiang w Chinach ..... 589

K. Michalak – Kładka dla pieszych Arroyo w Kalifornii ..... 590

SPIS TREŚCI ROCZNIKA 2021 „Inżynierii i Budownictwa” ..... 589

RECENZENCI współpracujący z redakcją „Inżynierii i Budownictwa” ..... 573

RECENZJE ..... 514, 561, 585, 587, 592, 593

### Tematyka czasopisma

Ogólne problemy budownictwa i inżynierii lądowej, teoria konstrukcji, kształtowanie, wspomaganie komputerowe, projektowanie, realizacja, diagnostyka i utrzymanie obiektów budowlanych, inżynierskich i specjalnych, w tym mostów, budowli podziemnych i komunalnych, badania materiałów, elementów i konstrukcji, fizyka budowli, geotechnika, normalizacja, jakość i certyfikacja, kształcenie kadr oraz aktualne sprawy środowiska budowlanego.

Artykuły są recenzowane. Za publikację w czasopiśmie naukowym „Inżynieria i Budownictwo” uzyskuje się 5 punktów (Rozporządzenie MNiSW z 22.02.2019 r. w sprawie ewaluacji jakości działalności naukowej).

### Wydawca

Fundacja PZITB Inżynieria i Budownictwo 00-050 Warszawa, ul. Świętokrzyska 14  
Przewodniczący Rady Fundacji prof. dr hab. inż. Kazimierz Flaga, dr h.c. mult.

### Redakcja

00-637 Warszawa, Al. Armii Ludowej 16, pokój 626A  
Politechnika – Wydział Inżynierii Lądowej, tel./fax 22-629-69-86.  
e-mail: pzitbinzynieria@neostrada.pl www.inzynieriaibudownictwo.pl  
redakcja@inzynieriaibudownictwo.pl www.zgpz.itb.org.pl

### Kolegium Redakcyjne

Redaktor naczelna prof. dr hab. inż. Hanna Michalak, zastępca redaktor naczelnej dr inż. Stefan Pyrak, redaktorzy tematyczni: prof. dr hab. inż. Marian Giżejowski, dr hab. inż. Aniela Glinicka – prof. PW, prof. dr hab. inż. Czesław Miedziałowski, mgr inż. Piotr Rychlewski, prof. dr hab. inż. Anna Siemińska-Lewandowska, prof. dr hab. inż. Tadeusz Urban, prof. dr inż. Wojciech Włodarczyk, redaktor językowy mgr Barbara Gluch, redaktor statystyczny prof. dr inż. Wojciech Włodarczyk. Współpracują: prof. dr hab. inż. Piotr Noakowski (Niemcy), prof. dr inż. Andrzej Nowak – dr h.c. (USA).

### Rada Programowa Czasopism i Wydawnictw PZITB w kadencji 2020–2024

Prof. dr hab. inż. Anna Halicka (przewodnicząca), prof. dr hab. inż. Jan Bień (Związek Mostowców RP), prof. dr hab. inż. Wiesław Buczkowski, dr hab. inż. Lidia Buda-Ożóg – prof. PRz, dr hab. inż. Magdalena Dobiszewska – prof. UT-P, dr hab. inż. Jacek Domski – prof. PK, prof. dr hab. inż. Barbara Goszczyńska, prof. dr hab. inż. Jacek Hulimka (wiceprzewodniczący), dr hab. inż. Marta Kadela – prof. ITB, mgr inż. Roman Lulis, dr hab. inż. Beata Nowogońska – prof. UZ, dr hab. inż. Joanna Prusiel – prof. PB, prof. dr hab. inż. Elżbieta Radziszewska-Zielina, dr hab. inż. Teresa Rucińska – prof. ZUT (sekretarz), prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz, dr hab. Małgorzata Ulewicz – prof. PCz.

### Warunki prenumeraty

Zamówienia prenumeraty w wersji elektronicznej należy składać na jednym z wymienionych portali:

www.e-kiosk.pl (http://www.e-kiosk.pl/inzynieria\_i\_budownictwo),  
www.egazety.pl (https://www.egazety.pl/fundacja-pzitzb/e-wydanie-inzynieria-i-budownictwo.html),  
www.nexto.pl (http://www.nexto.pl/e-prasa/inzynieria\_i\_budownictwo\_p132009.xml)

Cena rocznej prenumeraty w wersji elektronicznej wynosi 125,40 zł (z VAT), cena 1 wydania w wersji elektronicznej 10,45 zł (z VAT).

\* \* \*

Zamówienie prenumeraty w tradycyjnej, papierowej wersji „Inżynierii i Budownictwa” można składać w dowolnym terminie w siedzibie redakcji. Zamawiający może otrzymać czasopismo, począwszy od następnego miesiąca po dokonaniu wpłaty. Zamówienia zeszytów sprzed terminu wpłaty będą realizowane – w miarę możliwości – z zapasów magazynowych.

Cena rocznej prenumeraty normalnej wynosi 259,20 zł (w tym 8% VAT).  
Cena rocznej prenumeraty ulgowej dla członków indywidualnych PZITB, Związku Mostowców RP, PIIB oraz studentów wynosi 155,52 zł (w tym 8% VAT).

W przypadku prenumeraty ulgowej jest wymagane podanie (odpowiednio): nazwy oddziału stowarzyszenia; numeru rejestracyjnego w Okręgowej Izbie Inżynierów Budownictwa; nazwy uczelni i wydziału. Faktura za prenumeratę ulgową może być wystawiona tylko na osobę fizyczną.

Wpłaty za prenumeratę w wersji papierowej prosimy dokonywać na konto: Fundacja PZITB Inżynieria i Budownictwo, 00-050 Warszawa, ul. Świętokrzyska 14, Bank Millennium Warszawa, nr 23 1160 2202 0000 0000 5515 9052.

### REKLAMY przyjmuje redakcja

Materiały opublikowane w „Inżynierii i Budownictwie” są objęte prawem autorskim i nie mogą być – bez zgody redakcji – rozpowszechniane w żadnej postaci. Redakcja nie odpowiada za treść zamieszczonych reklam.

Indeks 95132 Cena: 40,00 zł + 8% VAT  
ISSN 0021-0315 (wersja pierwotna)

PRZYGOTOWANIE DO DRUKU I DRUK: Drukarnia „LOTOS Poligrafia” sp. z o.o.  
www.lotos-poligrafia.pl, tel. 22-872-22-66, fax 22-872-22-68.



JAROMINIAK A.: **O problemach przeciwdziałania wzrostowi globalnej temperatury.**

Przedstawiono źródła emisji gazów cieplarnianych: przemysł, transport, elektrownie, ciepłownictwo, uprawę ziemi, hodowlę zwierząt i utylizację odpadów. Omówiono główne porozumienia międzynarodowe dotyczące ograniczenia wzrostu globalnej temperatury, decydujące kierunki przeciwdziałania wzrostowi ilości dwutlenku węgla w atmosferze oraz problemy jego wychwytywania, utylizacji, transportu i składowania. Szczególną uwagę poświęcono problemom przeciwdziałania wzrostowi globalnej temperatury przez budownictwo.

JAROMINIAK A.: **Problems of counteracting the increase in global temperature.**

The sources of greenhouse gas emissions presented: industry, transport, power plants, heating, farming, animal husbandry and waste disposal. The main international agreements on limiting increase in global temperature as well as decisive countermeasures against the amount of carbon dioxide in the atmosphere and the problems with its capture, transport and storage (CCS), and utilization (CCU) were discussed. Particular attention was paid to the problems of counteracting the increase in global temperature by the construction industry.

JASTRZĘBSKI K., BUDZIŃSKI R., ŚLĘCZKA L.: **Węzły ram portalowych z kształtowników profilowanych na zimno.**

Przedstawiono ogólną charakterystykę łączenia stalowych elementów cienkościennych oraz rozwiązania węzłów ram portalowych z kształtowników profilowanych. Omówiono czynniki wpływające na ich właściwości strukturalne oraz wskazano różnice w podejściu obliczeniowym względem węzłów doczołowych stosowanych w konstrukcjach z kształtowników walcowanych.

JASTRZĘBSKI K., BUDZIŃSKI R., ŚLĘCZKA L.: **Joints in portal frames composed of cold-formed sections.**

General characteristics of joining thin-walled steel members were described and typical examples of joints in portal frames composed of cold-formed sections were presented. Factors influencing their structural properties were discussed and differences in the analytical approach comparing to end-plate connections used for joining hot-rolled sections were mentioned.

SZYMIK M., JANKOWSKA-SANDBERG J.: **Koncepcja pawilonu wystawowego „Torus” o konstrukcji stalowej.**

Pawilon wystawowy o konstrukcji łukowej, zaprojektowany na wzór torusa, przedstawia innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne elementów łukowych oraz styków montażowych. Wnętrze pawilonu prezentuje rośliny tropikalne skryte pod szklanym płaszczem, stanowiącym przekrycie pawilonu. Omówiono zagadnienia związane ze statecznością elementów łukowych z wykorzystaniem metod analitycznych oraz programów komputerowych.

SZYMIK M., JANKOWSKA-SANDBERG J.: **Concept of the "Torus" exhibition pavilion with a steel structure.**

The exhibition pavilion with an arched structure, designed in the shape of a torus, presents innovative design solutions for arch elements and assembly contacts. The interior of the pavilion presents tropical plants hidden under a glass mantle that covers the pavilion. In the development of the pavilion design, issues related to the stability of arch elements with the use of analytical methods and computer programs were discussed.

WICHTOWSKI B., WOŹNIAK Z.: **Badania diagnostyczne mostu stalowego przez rzekę Drawę na linii kolejowej nr 203.**

Omówiono stan techniczny konstrukcji stalowej kratownicowego mostu kolejowego po 100 latach użytkowania. Opisano konstrukcję oraz badania chemiczne i techniczne stali. Oceniono jej spawalność oraz stopień skorodowania. Podano wyniki obliczeń statyczno-wytrzymałościowych konstrukcji nośnej obiektu.

WICHTOWSKI B., WOŹNIAK Z.: **Diagnostic tests of the steel bridge over the Drava River on the railway line No. 203.**

The technical condition of the steel structure of the truss railway bridge after 100 years of use is discussed. A description of the structure as well as chemical and technical tests of steel are presented. The weldability and degree of corrosion were assessed and the results of static and strength calculations of the supporting structure of the facility were given.

JAKIEL P., OLCZYK P.: **Pierwsze polskie kładki podwieszane i współczesne problemy ich eksploatacji.**

Opisano rozwiązania konstrukcyjne pierwszych w Polsce kładek podwieszonych. Nietypowe i eksperymentalne rozwiązania stosowane w tych konstrukcjach, w połączeniu z ich wieloletnią eksploatacją, nierzadko stanowią wyzwanie dla ich zarządców w zakresie bieżącego utrzymania i remontów. Zestawiając oceny stanu technicznego głównych elementów nośnych, wskazano jednocześnie na dużą wartość historyczną tych pionierskich konstrukcji w kontekście polskiego mostownictwa. Ich przebudowa lub rozbiórka powinny być ostatecznością.

JAKIEL P., OLCZYK P.: **Early Polish cable-stayed footbridges and their serviceability problems.**

The issues of early Polish cable-stayed footbridges are presented in this paper. Atypical and experimental structures of mentioned footbridges, combined with their long-time service, are quite often a challenge, regarding routine maintenance and repairs. While listing technical condition evaluation marks, great historical value of these pioneer structures considering bridge engineering in Poland was also emphasized. Finally, it was highlighted that reconstruction or demolition of the footbridges should be considered only if unavoidable.

WICHTOWSKI B., KONECKI K.: **Kontrowersje dotyczące oceny trwałości historycznych stalowych mostów kolejowych.**

Omówiono europejskie kryteria oceny nośności istniejących historycznych mostów. Poza tym krytyce poddano nowe, opublikowane w 2020 r., zasady postępowania z zabytkowymi mostami i wiaduktami kolejowymi.

WICHTOWSKI B., KONECKI K.: **Controversies regarding the assessment of durability of historic steel railway bridges.**

The European criteria for assessing the load-bearing capacity of the existing historic bridges were discussed. Moreover, the new rules for dealing with historic bridges and railway viaducts, published in 2020, were critically analyzed.

JĘDRZEJEWSKA A., ZYCH M.: **Stopień zewnętrznego skrępowania odkształceń wymuszonych w świetle prEN 1992-1-1.**

Przedstawiono wybrane metody wyznaczania współczynnika skrępowania wraz z komentarzem oraz oceną ich zastosowania w świetle nowego Draftu Eurokodu 2 (prEN 1992-1-1), który wprowadza możliwość oceny ryzyka zarysowania oraz model obliczania szerokości rys od odkształceń wymuszonych.

JĘDRZEJEWSKA A., ZYCH M.: **Degree of external restraint of imposed strain in the view of a new Draft of EN 1992-1-1.**

The paper concisely presents the summary of chosen methods for determination of the restraint factor with a commentary of the authors, and evaluation of their applicability in the view of a new Draft of Eurocode 2 (prEN 1992-1-1) which introduces the method for control of the risk of cracking and the model for calculation of the width of cracks caused by imposed strains.

KWIECIEŃ D.: **Analiza wyboczeniowa kładki pieszo-rowerowej.**

Analizowano konstrukcję łukową kładki pieszo-rowerowej rozpiętości 25 m. Określono współczynniki długości wyboczeniowej łuku zgodnie z literaturą, normą PN-EN 1993-2 oraz na podstawie analizy stateczności przestrzennego modelu numerycznego. Analizowano wyboczenie zarówno w płaszczyźnie, jak i z płaszczyzny dźwigara łukowego. Porównano uzyskane wyniki.

KWIECIEŃ D.: **Buckling analysis of an arch footbridge.**

The article specifies the buckling length factor in accordance with the literature, PN-EN 1993-2 and the results of stability analysis of spatial numerical model. Both in-plane and out-of-plane buckling of the arc girder were considered. Obtained results were compared.

ZYCH M., JĘDRZEJEWSKA A.: **Komentarz do Załącznika D prEN 1992-1-1 w zakresie odkształceń wymuszonych.**

Zamieszczono komentarz autorów artykułu do metody uwzględniania odkształceń wymuszonych w projektowaniu konstrukcji żelbetowych według prEN 1992-1-1. Porównano założenia skorygowanych metod obliczania szerokości rys z obecnymi wytycznymi EN 1992. Zwrócono uwagę na najistotniejsze parametry obliczeniowe, jak również przedstawiono zastrzeżenia w przypadku mało precyzyjnych zapisów prEN1992-1-1.

ZYCH M., JĘDRZEJEWSKA A.: **Commentary to Annex D of the new version of Draft of EN 1992-1-1 in relation to the imposed strains.**

The paper is a commentary of the Authors on the method for consideration of the imposed strains in the design of reinforced concrete structures acc. to prEN 1992-1-1. A comparison is made between the corrected methods for crack width calculation with the current guidelines of EN 1992. The paper emphasizes the impact of the most important design parameters and makes reservations towards several unprecise guidelines of prEN 1992-1-1.

## Kontrowersje dotyczące oceny trwałości historycznych stalowych mostów kolejowych

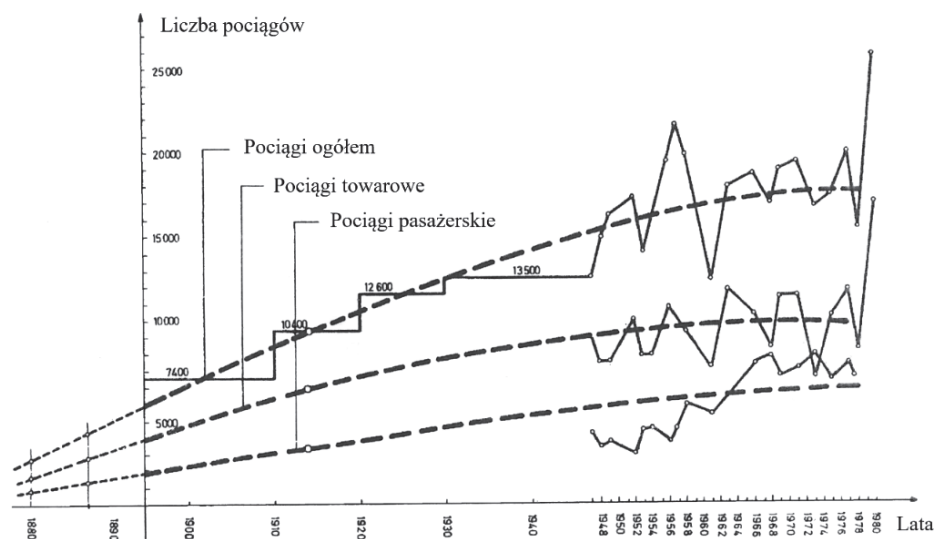
Prawidłowa ocena trwałości starych mostów ma znaczenie dla sprawności i niezawodności układu komunikacyjnego, a w efekcie dla poprawnego funkcjonowania wielu dziedzin życia gospodarczego i społecznego. Problem trwałości dotyczy szczególnie zaawansowanych wiekowo obiektów kolejowych, z których około 60% ma ponad 91 lat. Jest to problem światowy i występuje bardzo ostro w większości krajów europejskich, gdyż obiekty mostowe w Europie Zachodniej są średnio o 30÷50 lat starsze od obiektów infrastruktury mostowej w Polsce.

W zeszycie 5–6/2021 „Inżynierii i Budownictwa” autorzy opublikowali artykuł o zmniejszającej się wytrzymałości zmęczeniowej eksploatowanych mostów blachownicowych ze spawanymi stykami doczołowymi przykrytymi nakładkami rombowymi [23]. W tym samym zeszycie zamieszczono artykuł [2] o ocenie nośności istniejących mostów kolejowych w Polsce, który tematycznie dotyczy naszego artykułu. Dlatego autorzy niniejszego artykułu uważają, że są zobligowani do dyskusji na temat trwałości stalowych mostów kolejowych, a także do skonfrontowania swoich poglądów ze współczesnością, tym bardziej że w Polsce prawie nie ma norm i przepisów dotyczących tego tematu. Do rzadkości należą również artykuły, w których jest omawiany ten problem [18, 20, 26, 27]. Doświadczenie wykazało, że wiele obiektów zostało niepotrzebnie zakwalifikowanych do wymiany. Na fakt ten zwrócili uwagę autorzy [2], stwierdzając, że *w obecnych realiach projektant podejmujący się oceny nośności pozostaje niejako sam z bardzo trudnym technicznym zadaniem, sam pozostaje też z odpowiedzialnością za podjęte decyzje.*

Według autorów niniejszego artykułu, pomocne w ocenie istniejących konstrukcji mostów stalowych mogą być zalecenia z 2008 r., opracowane przez JRC-ECCS (Joint Research Centre – European Convention for Constructional Steelwork) – Raport nr 43401 [11] oraz przy ocenie pozostałej żywotności zmęczeniowej – poradnik [7].

Zalecenia te są zgodne z zapisami Eurokodu 3. Niezależnie od filozofii projektowania jest konieczne oszacowanie żywotności konstrukcji i oszacowanie odpowiedniego naprężenia obliczeniowego, które by ją zapewniło. Zwykle

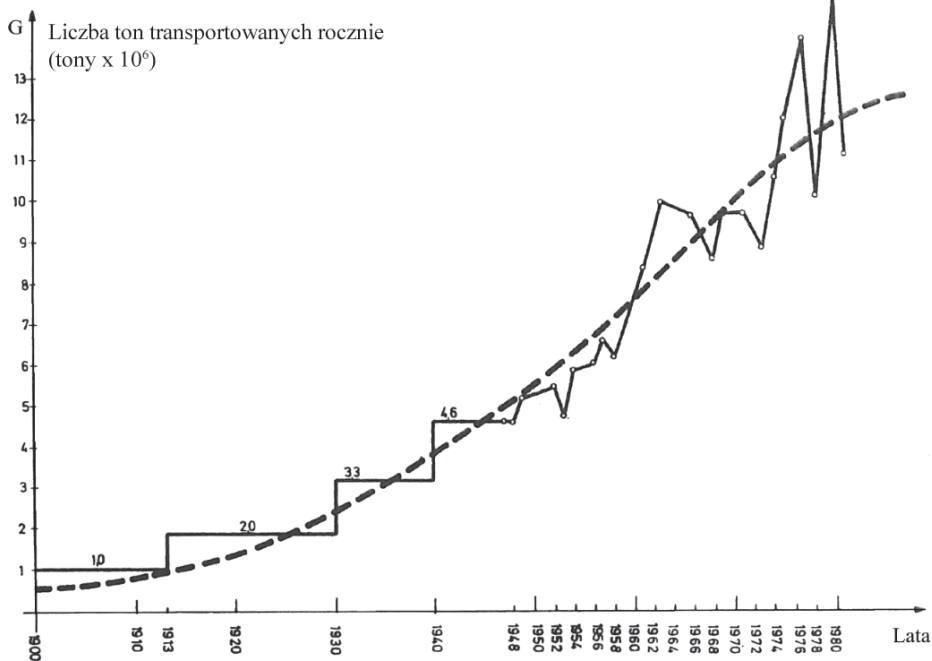
jednak konstrukcje są poddane w czasie eksploatacji złożonym cyklom naprężeń zmieniających się w sposób przypadkowy (rys. 1 i 2). Powstaje problem, jak informacje ze zmęczeniowych prób laboratoryjnych, otrzymane w warunkach stałej amplitudy naprężenia, zastosować w warunkach eksploatacyjnych. Koniecznością jest znajomość widma obciążeń. Więcej niż 85% cykli obciążenia pochodzi od obciążeń mniejszych niż połowa maksymalnego.



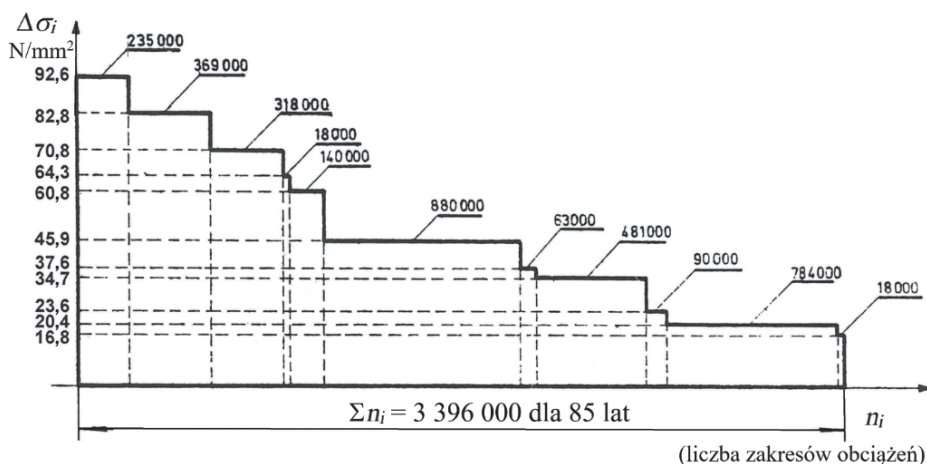
Rys. 1. Liczba pociągów w danym roku [11]

Według literatury najprostszą i najbardziej znaną metodą, która uwzględnia obciążenia na każdym poziomie oraz uwzględnia częstość ich występowania, jest liniowa reguła sumowania uszkodzeń *Minera* z roku 1945, którą już w roku 1924 zaproponował *Palmgren*. Specyfikę wykorzystania reguły *Minera* do szacowania żywotności zmęczeniowej w warunkach mieszanego obciążenia omówiono m.in. w pracach [4, 6]. Pierwszy fakt zmienności amplitudy naprężeń na podstawie krzywych  $\sigma-n$  wykorzystali Brytyjczycy w normie BS 153 z 1972 [3], bazując na widmach obciążeń. Dwa widma obciążeń są zamieszczone również w zaleceniach z roku 2008 do oceny żywotności zmęczeniowej mostów eksploatowanych. Widmo na rys. 3 dotyczy obciążeń od wagonów pasażerskich, trzech typów wagonów towarowych i sześciu typów lokomotyw, a widmo obciążeń z rys. 4 – obciążeń z jednego typu wagonów pasażerskich i towarowych oraz lokomotywy typu E362 przy  $v = 55$  km/h (rys. 5). Poszczególne widma





Rys. 2. Całkowita masa przewożonego ładunku rocznego (tony  $\times 10^6$ ) [11]



Rys. 3. Widmo obciążeń taborem kolejowym z lat 1895–1980 [11]

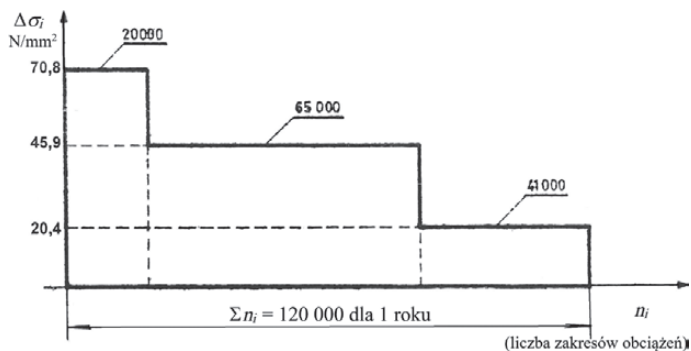
obciążeń dotyczą okresów 1895–1980 i 1980–2007. Każde naprężenie  $Ds_i$  na osi rzędnej określono ze wzoru

$$\Delta\sigma_i = \varphi \Sigma k \Delta\sigma,$$

w którym:

$\varphi = 1,17$  – współczynnik dynamiczny,

$k = 1,16$  – współczynnik obliczeniowy,



Rys. 4. Widmo obciążeń obejmujące okres 1980–2007 [11]

$\Delta\sigma = 12,4 \div 68,2$  MPa – naprężenia od obciążeń (na przykład E362 –  $\Delta\sigma = 52,2$  MPa).

Łatwo zauważyć, że w przypadku poszczególnego widma obciążeń aż 68,2 i 84,1% cykli obciążeń wywołują naprężenia mniejsze od  $\Delta\sigma_i = 45,9$  MPa. Jednocześnie wartości maksymalne  $\Delta\sigma_i = 92,6$  i 70,8 MPa występują przy małych rocznych cyklach  $n_i = 2765$  i 2000, które stanowią 6,9 i 16,7% całkowitej liczby cykli  $N = \Sigma n_i = 40\,000$  i 120 000. Według badań własnych uwzględnienie angielskiego normowego widma obciążeń przy obliczaniu eksploatowanych blachownicowych mostów kolejowych pozwala trzykrotnie zwiększyć ich bezpieczny okres żywotności zmęczeniowej.

W zaleceniach [11] podano przyjęte masy poszczególnych typów urządzeń transportowych i liczbę ich występowania oraz rozkład sił przypadających na osie 5 typów lokomotyw o masach  $G = 65,8 \div 163,32$  t. Wyznaczono także wartości współczynników obciążeniowych i dynamicznych (por. rys. 5).

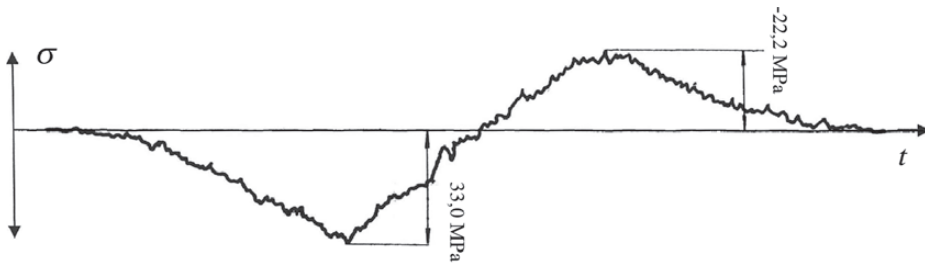
### Krajowe zasady oceny trwałości mostów

W listopadzie 2020 r. prof. Janusz Rymśa z Instytutu Badawczego Dróg i Mostów opublikował: „Zasady postępowania z zabytkowymi mostami i wiaduktami kolejowymi – Obciążenia” [17]. Na wstępie podał: *Z uwagi na to, że w Polsce nie ma specjalnej procedury postępowania z zabytkowymi mostami i wiaduktami kolejowymi, możliwość dalszej ich bezpiecznej eksploatacji jest zazwyczaj określana na podstawie procedury*

*podanej w normach do projektowania nowych obiektów – Eurokodach.* Według podanych zasad należy przyjmować niższe wartości obciążeń charakterystycznych:

- pionowego obciążenia taborem kolejowym według PN-EN 15528 [15],
- współczynników dynamicznych według Załącznika C do normy PN-EN 1991-2 [14],
- sił hamowania i przyspieszania na podstawie niemieckich normatywów [5, 16],
- uderzenia bocznego – równą 1/3 maksymalnego nacisku osi, ale nie mniejszą niż 60 kN,
- siły odśrodkowej – na podstawie pionowego obciążenia według PN-EN 15528,
- oddziaływania wiatru – zgodnie z niemieckimi normatywami.

W opracowaniu [17] poszczególne obciążenia podano z komentarzem i uwagami. W celu zobrazowania całościowego podano także obciążenia przyjęte przez dwa niezależne zespoły w szacowaniu nośności zabytkowych mostów kolejowych o przęsłach blachownicowych i kratownicowych. Krytyczną ocenę powyższych wytycznych przedsta-



$$v = 0 \text{ km/h} - \sigma = (+27,2; -20,0) \text{ MPa} \quad \Delta\sigma = 47,2 \text{ MPa}$$

$$v = 55 \text{ km/h} - \sigma = (+33,0; -22,2) \text{ MPa} \quad \Delta\sigma = 55,2 \text{ MPa}$$

$$\varphi = 55,2/47,2 = 1,17$$

Rys. 5. Wykres naprężeń od lokomotywy E 362 przy  $v = 55 \text{ km/h}$  i obliczanie współczynnika dynamicznego  $\varphi$  [11]

wili autorzy [2] (cytat): *należałoby postawić pytanie: na jakiej podstawie zostały stworzone oraz na jakiej podstawie zostały zamieszczone na stronie urzędu administracji publicznej (www.wuoz.malopolska.pl – dopisek autorów) jako „zasady postępowania”? Jak projektant ma to po prostu interpretować, skoro odpowiada za swój projekt?*

W artykule [2] autorzy przeprowadzili krytyczną analizę statyczno-wytrzymałościową zabytkowych mostów kolejowych w aspekcie norm krajowych oraz opracowań niemieckich: RiL 805 [16] i DS 804 [5]. Należy żałować, że nie porównano jej z aktualną filozofią światową, określającą stan techniczny starych mostów [13, 25].

Nie wszystkie mosty są usytuowane na liniach magistralnych i pierwszorzędnych oraz na liniach dużych prędkości 200÷250 km/h o obciążeniach eksploatacyjnych przewidzianych przez normy projektowe, a niekiedy większe. Przykładowo według [27] w analizowanym moście na CMK stwierdzono dochodzące do 31% zwiększenie sił wewnętrznych w przypadku aktualnych modeli pociągów według PN-EN 1991-2:2007 w stosunku do wartości projektowych według PN-B-02015:1966. Tam też zanalizowano różne postępowania z konstrukcjami w zależności od prędkości ( $v \leq 160$  i  $200$  oraz  $\geq 200$  i  $300 \text{ km/h}$ ). W konsekwencji otrzymano różne współczynniki bezpieczeństwa.

### Uwagi ogólne

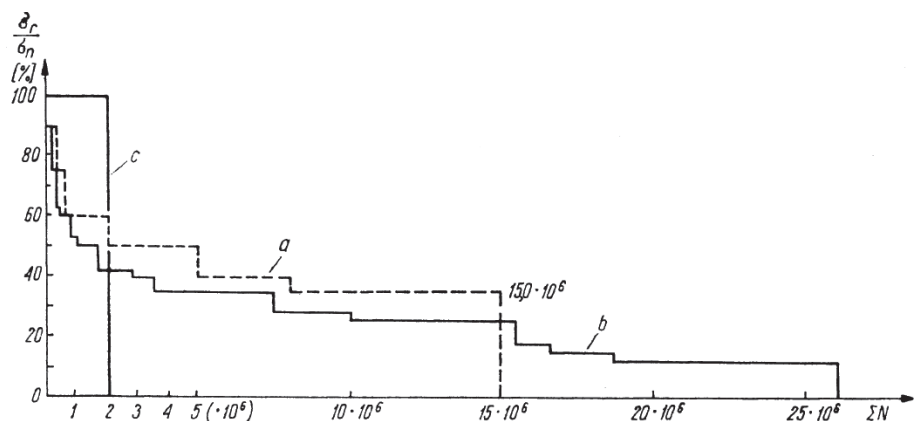
Bazując na pomiarach obciążeń *in situ*, M. Herzog [8] w 1976 r. opublikował wykres częstości występowania obciążeń mostów jednotorowych (rys. 6). Według tych pomiarów podano w pracy [12] widma obciążeń mostów kolejowych z prognozowaniem 30% wzrostu obciążeń w przyszłości, przy założeniu maksymalnej częstości przejazdu 146 pociągów na dobę i 100-letniej docelowej żywotności obiektu.

Przykładowe widmo obciążeń w przypadku przęsla rozpiętości 60 m przedstawiono na rys. 7. Łatwo zauważyć, że dla mostów jednotorowych przyjęto:

a) maksymalne naprężenia rzeczywiste równe 90% wartości naprężeń maksymalnych, obliczonych od obciążenia normowego;

b) minimalne naprężenia rzeczywiste równe 35% wartości naprężeń normowych.

Sposób korzystania z widma obciążenia przy analizie trwałości mostu przedstawił B. Wichtowski m.in. w pracach [21, 22]. Natomiast w pracy [11]

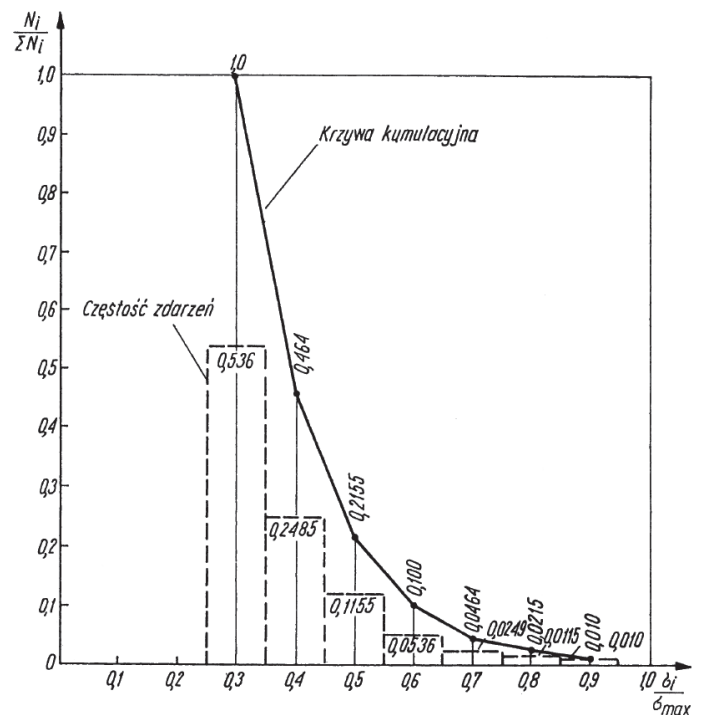


Rys. 7. Widmo obciążeń przęsla rozpiętości 60 m [12]: a) mostu jednotorowego, b) mostu dwutorowego, c) zakres obciążeń normowych

podano obciążenia wywołane przez wagony pasażerskie i towarowe z ładunkiem oraz przez 5 typów lokomotyw, używanych w latach 1895–1980. Podano również przykładowe widma obciążeń, jednoroczne i wieloletnie.

Podobnie jak Niemcy postąpili Brytyjczycy, wydając wcześniej, bo już w 1972 r., normę BS 153 projektowania mostów kolejowych [3]. Norma ta przewiduje na brytyjskich liniach kolejowych 7 grup mostów, w tym cztery grupy na liniach ogólnych, dwie grupy dotyczące metra i jedna linii stołecznej (London Trans-

port). Dla mostów każdej grupy, w zależności od konstrukcji i rozpiętości (4,6 i 9,1 m) podano również liczbę cykli obciążenia (w milionach od 0,1 do 28,0). Ponadto w normie podano widma obciążeń dźwigarów nośnych i elementów jezdni (poprzecznice i podłużnice) – rys. 8.



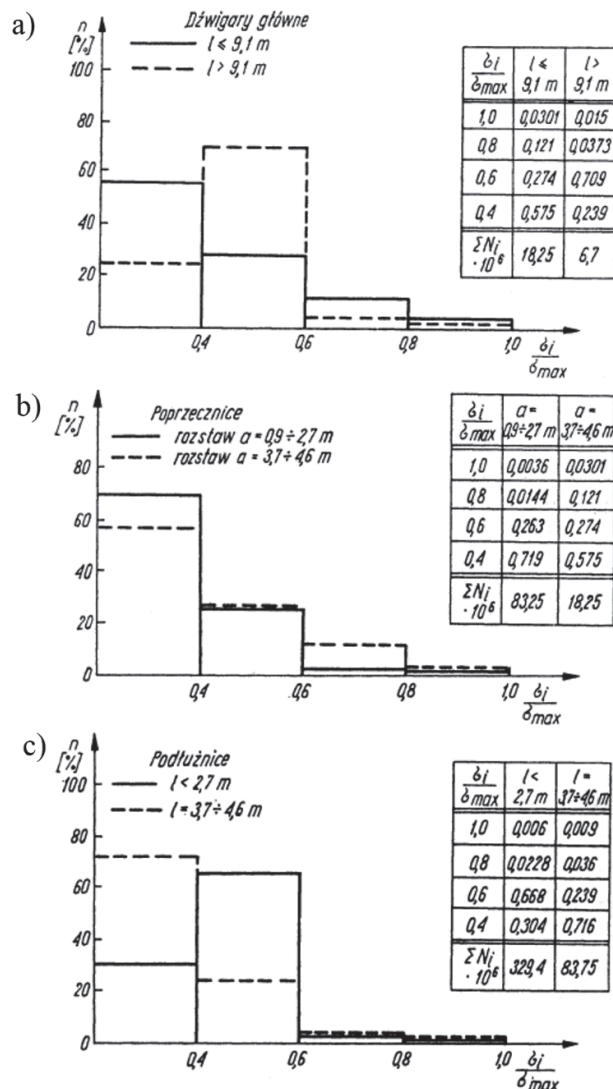
Rys. 6. Częstości występowania obciążeń mostów kolejowych jednotorowych [8]

Według T.R. Gurneya [6] jest to algorytm projektowania zgodny z „filozofią bezpiecznej eksploatacji”, który można nazwać „metodą żywotności roboczej”. Widma tej normy dotyczące jednotorowych mostów kolejowych przedstawiono na rys. 8a, a kilka pozostałych zespołów obciążeń z komentarzami zamieszczono w publikacji [4]. Łatwo zauważyć, że przepisy brytyjskie rozróżniają tylko cztery poziomy naprężeń  $\sigma_i/\sigma_{max}$ , którym przypisano cztery częstości występowania, zależnie od rodzaju rozpatrywanego elementu.

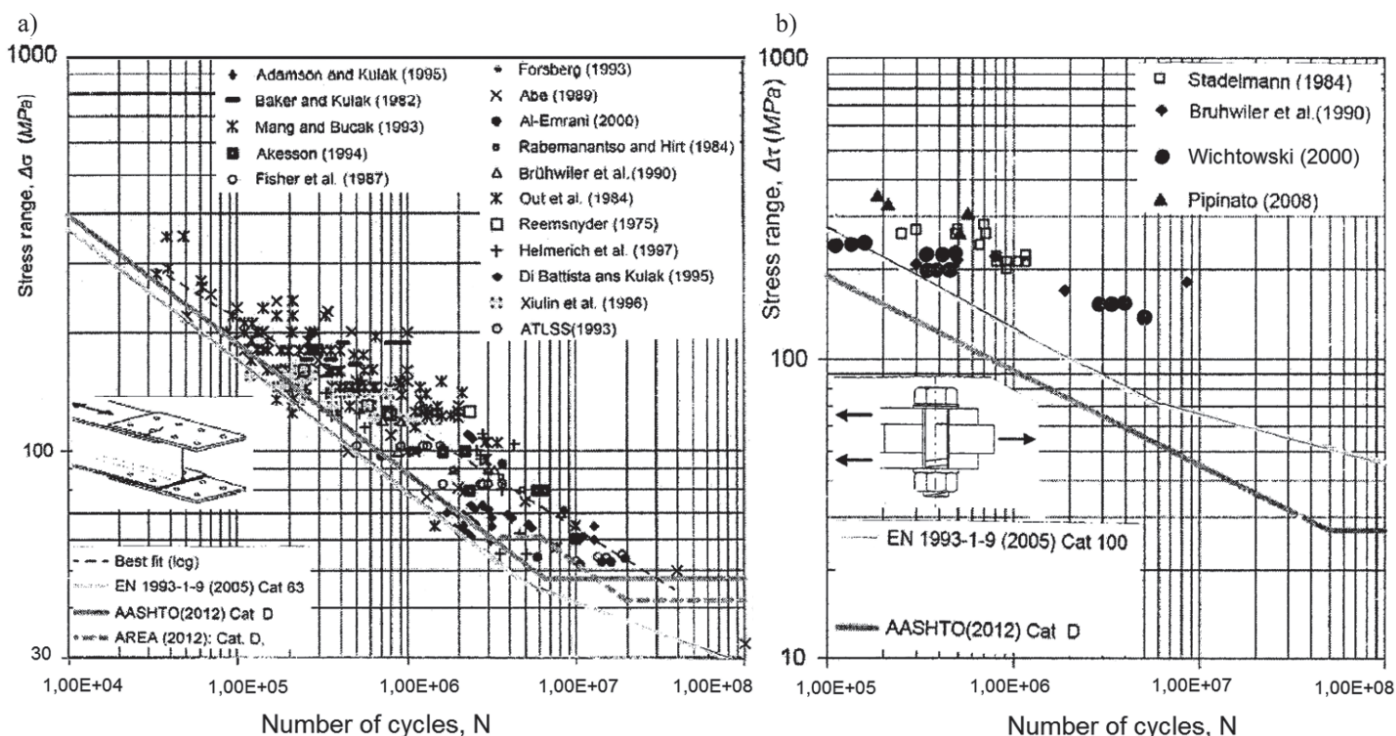
Z uwagi na zróżnicowane obciążenia eksploatacyjne poszczególnych linii kolejowych, wiele mostów, które nie spełniają ściśle wymagań projektowych, jest w stanie bezpiecznie przenosić aktualne obciążenia użytkowe. Fakt ten potwierdza słuszność oceny trwałości mostów z uwzględnieniem widm obciążenia i braku optymalnych rezultatów przy stosowaniu jednolitych zaleceń krajowych według [17]. Analogiczne wnioski wynikają *a posteriori*, m.in. z podanych na rys. 9 wyników badań zmęczeniowych złączy nitowanych i nitów oraz śrub, a także z pracy [9], w której omówiono wyniki próbnego obciążenia 250 mostów w Ontario.

Na bazie powyższych faktów w Kanadzie, Wielkiej Brytanii, Danii, Szwajcarii i USA opracowano nowe normy i wytyczne dotyczące badania nośności mostów istniejących [7, 13, 25, 26] oraz wydano zalecenia międzynarodowe [1, 11, 19].

Ocena nośności mostów znajdujących się w trakcie eksploatacji powinna być coraz dokładniejsza (rys. 10). Stan każdej konstrukcji należy szacować według oddzielnych 4 poziomów. Jest to: szacowanie wstępne, badania szczegółowe, badania eksperckie i sposoby naprawcze.

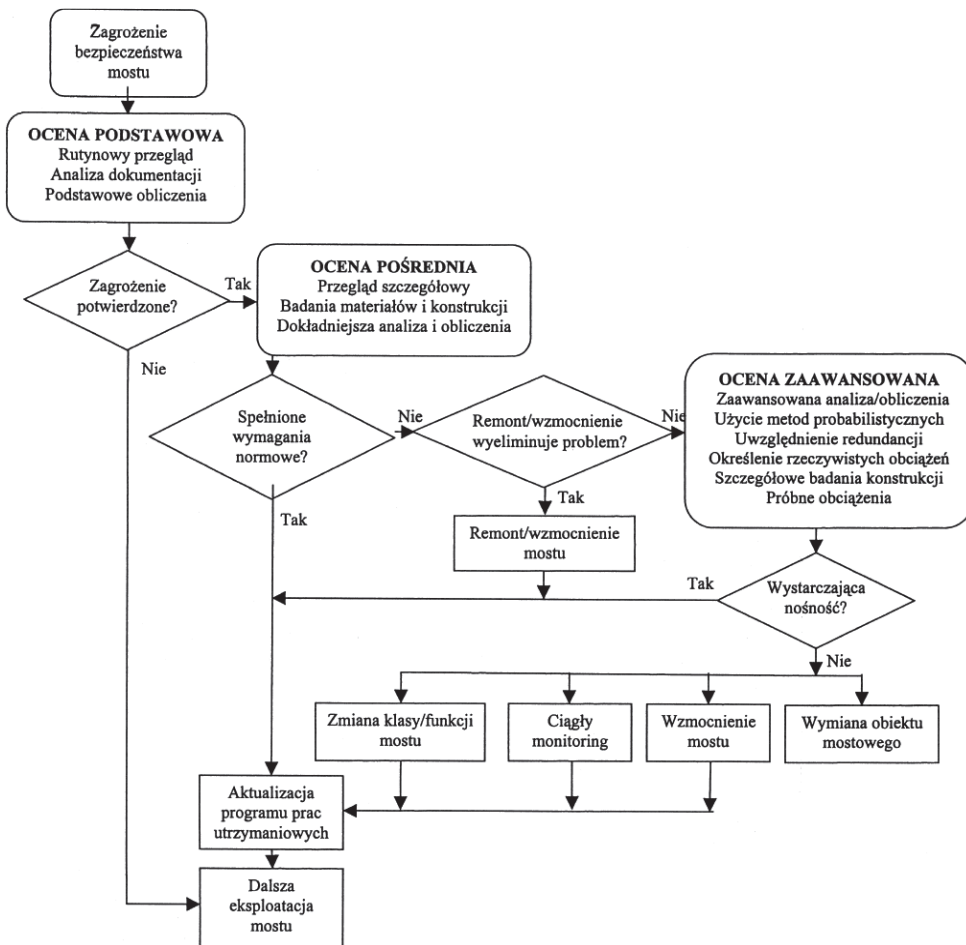


Rys. 8. Częstotliwości występowania poziomów naprężeń elementów konstrukcyjnych w jednotorowych mostach kolejowych [3]



Rys. 9. Badania zmęczeniowe według PN-EN 1993-1-9 i AASHTO: a) złączy nitowanych z lat 1975–2000, b) nitów oraz śrub pasowanych M16 kl. 5.8 [13] (AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials, 2013)





Rys. 10. Wielopoziomowa ocena nośności mostów w eksploatacji [11, 26]

Dokładnie probabilistyczną ocenę nośności według tych poziomów omówiono w pracach [10, 11]. Zastosowano metodę obniżonych współczynników bezpieczeństwa odpowiadających rzeczywistemu obciążeniu, któremu jest poddawana konstrukcja, oraz obciążeniu, któremu może zostać poddana w pozostałym okresie eksploatacji. Autorzy proponują omówienie tych zagadnień przez ekspertów według najpóźniej wprowadzonej normy szwajcarskiej SIA-269 z 2011 roku.

Według [25] awaria jednego z elementów niekoniecznie musi oznaczać awarię całości: *Zdolność konstrukcji mostowej do redystrybucji sił wewnętrznych pomiędzy poszczególnymi jej elementami oraz do przenoszenia części dodatkowych obciążeń wynikających z uszkodzeń elementów nazywamy redundancją*. Prowadzi to do wykorzystania rezerw nośności. Fakt ten jest uwzględniony w nowych normach. Jednocześnie należy uwzględnić rzeczywiste obciążenia uzyskane z pomiarów natężenia ruchu i jego kompozycji, różne w przypadku głównych arterii komunikacyjnych i drugorzędnych połączeń lokalnych.

W powyższym opracowaniu podano również opis modeli i algorytmów wykorzystywanych w analizie dynamicznej mostów za pomocą wzoru [27] oraz badania materiałów i próbné obciążenia. Powyższe zalecenia pozwalają na opracowanie normy bardziej wiarygodnie szacującej nośności mostów będących w eksploatacji i na uniknięcie remontu lub wymiany obiektów, które nie spełniają kryteriów bezpieczeństwa określonych w normach dotyczących projektowania nowych mostów, ale które w dalszym ciągu

są w stanie całkowicie bezpiecznie przenosić obciążenia, którym są poddane.

Do chwili obecnej nie udało się opracować jednego uniwersalnego algorytmu do oceny nośności i stanu technicznego stalowych mostów użytkowanych przez dłuższy czas. Każdy przypadek należy rozpatrywać indywidualnie na podstawie badań diagnostycznych *in situ*. Przykładowo, jak uzasadnić bezawaryjne zachowanie niektórych elementów mostów cytowanych w artykule [2], na linii kolejowej 285 Wrocław Główny – Jedlina Zdrój, które już od samych obciążeń poziomych wykazywały braki nośności? Autorzy artykułu na sąsiedniej linii 275 Wrocław Muchobór – Gubinek, oddanej do eksploatacji w maju 1875 r., stwierdzili w trzech mostach stal wysokowęglową o  $R_{eH} = 330$  i  $R_m = 500$  MPa, a w moście czwartym stal o  $R_{eH} = 250$  i  $R_m = 360$  MPa. Czy w mostach na linii 285 Niemcy nie uwzględnili widm obciążeń (por. rys. 8c), czy nie wykonali jezdní ze stali o podwyższonej wytrzymałości? Takie przypadki jezdní stwierdzili autorzy artykułu *a posteriori*.

## Podsumowanie

Nowe normy stosowane w Kanadzie, UK, Danii, Szwajcarii i USA uwzględniają wyniki wieloletnich badań materiałowych, badań próbnego i rzeczywistego obciążenia oraz efekty redundancji w ocenie probabilistycznej mostów istniejących. Pozwoliły one na bardziej wiarygodne oszacowanie ich nośności oraz na uniknięcie kosztownych remontów bądź wymiany. Niektóre z nich nie spełniają kryteriów bezpieczeństwa określonych w normach projektowania nowych obiektów, ale w dalszym ciągu są w stanie całkowicie bezpiecznie przenosić obciążenia, którym są poddawane. Metody sprawdzone w przypadku wymienionych mostów powinny być zaakceptowane również w Polsce. Niestety często w naszym kraju spotyka się przypadki negatywne, ponieważ polscy eksperci mostowi mają awersję do terenowych badań mostów (por. rys. 9) i mają tendencje do rozbiórki starych obiektów.

Autorom nie są znane badania obciążeń wywołanych przez nowoczesny tabor kolejowy typu lokomotywy Pendolino, Impuls, Flirt, Dard i Elf. Jednocześnie, jak uzasadnić niepotrzebne wzmocnienie na linii 203 mostu z 1916 r. z przyjętą *a priori* stalą St37S o normowej wartości  $R_{eH} = 220$  MPa, gdy ma ona według badań późniejszych  $R_{eH} = 330$  MPa? Jak uzasadnić obniżenie granicy plastyczności stali mostu z 1885 r. na linii Radom – Tomaszów Mazowiecki, z wartości badanej  $R_{eH} = 238$  do  $R_{eH} = 174$  MPa, z powodu starzenia i z tego powodu jego rozbiórkę? *Casus pascudeus*, gdzie recenzenci artykułu?



Autorzy kontestują zasady postępowania podane w pracy [17] według norm projektowania typu RiL 805 oraz DS 804. Konserwatyzm ten wydaje się uzasadniony jedynie w odniesieniu do obiektów usytuowanych na liniach magistralnych, ale nie na liniach drugorzędnych. Dlaczego nie zastosowano „metody żywotności roboczej”? Burzenie starego i budowanie nowego, lepszego to pożądane zjawisko. Jednocześnie trzeba być bardziej krytycznymi, a zarazem kreatywnymi.

Artykuł autorzy traktują jako pewnego rodzaju kompendium zagadnień związanych z trwałością obiektów historycznych. Oceny nośności mostów długi czas użytkowanych powinno się uzależnić od widma naprężeń i liczby cykli obciążeń [11, 13]. Jednocześnie autorzy proponują każdorazową konieczność rozbiórki mostu uzależnić od wyników wykonanych pomiarów tensometrycznych, pomiarów roboczych naprężeń dynamicznych, które nie powodują wstrzymania ruchu pociągów.

Reasumując: czy koncyliacyjnie nie przyjąć, po dyskusji, zaleceń wyżej omówionych nowych norm zachodnich do przepisów polskich?

Według autorów: niniejszy artykuł to maksyma wyrażona w poniższej sentencji: „*Nie zabijajmy starych ludzi bo nie potrafią biegać tak szybko jak młodzi. Pozwólmy im sprawnie funkcjonować w ich tempie, nie wszyscy muszą uprawiać triathlony. Nie rozbierajmy starych mostów. Większość z nich nie zawiodła nas od ponad wieku i wciąż udowadniają nam, że w wielu przypadkach jeszcze długo mogą nam służyć.*”

Autorzy zgadzają się z pragmatycznym podejściem do problemu oceny istniejących mostów stalowych według wytycznych brytyjskich JRC-ECCS [11]. Zalecają one wykonanie kompleksowych ekspertyz, indywidualnych dla każdego obiektu, z uwzględnieniem zarówno aspektów ekonomicznych, jak i emocjonalnych. Oto przykładowe trzy myśli z rozdziału „Motivation”.

- Z uwagi na olbrzymią liczbę istniejących mostów historycznych wymiana ich – tylko jako konsekwencja podejścia uwzględniającego „projektowy okres użytkowania” – znacznie przekracza dostępne fundusze. Ale, nawet jeśli takie fundusze istniałyby, wymiana niektórych mostów byłaby ostatnią akceptowalną opcją, ponieważ niektóre z nich są historycznymi i pięknie wyglądającymi pomnikami.

- Na domiar złego inżynierowie są rozczarowani standardowymi technikami inspekcji i konwencjonalnymi analizami przy użyciu norm projektowych. W konfrontacji z oceną starych mostów stalowych preferują kompleksową metodę, obejmującą zaawansowane testy materiałowe, pomiary istotnych elementów konstrukcyjnych i identyfikację całego systemu.

- Nie należy jednak lekceważyć wpływu aspektów ekonomicznych na decyzję. Mimo że w dzisiejszych czasach ocena finansowa projektu budowlanego coraz częściej leży w rękach menedżerów kontraktów, a nie inżynierów ekspertów, eksperci ci powinni także mieć wiedzę o ekonomicznych aspektach działań konserwatorskich. Pomimo niezliczonych imponujących dowodów solidności i wytrzymałości mostów stalowych, które są w stanie wytrzymać również najbardziej korozyjne warunki środowiskowe przez 90 i więcej lat, może się zdarzyć, że renowacja będzie nieopłacalna, a projektowana żywotność mostu zostanie przedłużona tylko tymczasowo. Inżynier powinien wziąć pod uwagę wszystkie ekonomiczne aspekty, opłacalność faktycznych inwestycji oraz przyszłe koszty utrzymania i konserwacji.

- [1] Bagayoko L. et al.: Guideline for Load and Resistance Assessment of Existing European Railway Bridges – Advices on the use of advanced methods. Final report D4.2, European Research Project: Sustainable Bridges – Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives, Project 2007.
- [2] Biliszczuk J., Lorenc W., Kożuch M.: Problemy oceny nośności przeseł istniejących stalowych mostów kolejowych na przykładzie linii kolejowej 285 Wrocław Główny – Jedlina Zdrój. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 5–6/2021.
- [3] British Standard BS 153: Steel Girder Bridges, 1972.
- [4] Czudek H., Pietraszek T.: Trwałość stalowych konstrukcji mostowych przy obciążeniach zmiennych. WKŁ, Warszawa 1980.
- [5] DS 804: Vorschrift für Eisenbahnbrücken und sonstige Ingenieurbauwerke, 25.09.2000.
- [6] Gurney T.R.: Zmęczenie konstrukcji spawanych. WNT, Warszawa 1973.
- [7] Helmerich R. et al.: Assessment of existing steel structures. A guideline for estimation of the remaining fatigue life. “Structure and Infrastructure Engineering”, 2006, 1, No. 11.
- [8] Herzog M.: Realistischer Betriebsfestigkeitsnachweis für stählerne Eisenbahnbrücken. „Der Stahlbau”, 10/1976.
- [9] ISIS Canada Corporation: Guidelines for Structural Health Monitoring-Design Manual N.2. Canada: Intelligent Sensing for Innovative Structures, 2001.
- [10] JCSS (Joint Committee on Structural Safety), Probabilistic Assessment of Existing Structures. RILEM Publications, 2001.
- [11] Kühn B. et al.: Assessment of existing steel structures: recommendations for estimation of remaining fatigue life. JRC Scientific and Technical Report No. 43401. European Commission, Joint Research Centre, Luxemburg 2008.
- [12] Pelikan W.: Eine Betrachtung über die Größe der Betriebslasten von Eisenbahn – und Straßenbrücken und ihre Auswirkung auf die Bemessung dieser Bauwerke. „Der Bauingenieur”, No 6/1968.
- [13] Pipinato A. (editor): Innovative Bridge Design Handbook. Construction, Rehabilitation and Maintenance. Elsevier Inc., Amsterdam-Tokyo 2016.
- [14] PN-EN 1991-2 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 2: Obciążenia ruchome mostów.
- [15] PN-EN 15528 Kolejnictwo – Klasyfikacja linii w odniesieniu do oddziaływań pomiędzy obciążeniami granicznymi pojazdów szynowych a infrastrukturą.
- [16] Richtlinie 805: Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken, DB Netz AG, 5. Aktualisierung, 17.06.2010.
- [17] Rymśa J.: Zasady postępowania z zabytkowymi mostami i wiadukotami kolejowymi – Obciążenia. IBDiM, Warszawa 2020.
- [18] Sachs N.W.: Understanding the Surface Features of Fatigue Fractures: How They Describe the Failure Cause and the Failure History. “Journal of Failure Analysis and Prevention”, Vol. 5(2), 4/2005.
- [19] SB-LRA. Guideline for Load and Resistance Assessment of Railway Bridges – Advices on the Use of Advanced Methods, Sustainable Bridges VI FP, Brussels 2007.
- [20] Siwowski T.: Trwałość zmęczeniowa drogowych mostów kratownicowych o konstrukcji nitowanej. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 8/2014.
- [21] Wichtowski B.: Wytrzymałość zmęczeniowa spawanych złączy doczołowych w stalowych mostach kolejowych. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 572. Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2002.
- [22] Wichtowski B.: Obliczeniowa trwałość zmęczeniowa spoin czółowych z pęknięciami w pasach blachownicowego dźwigara mostu kolejowego. “Welding Technology Review – Przegląd Spawalnictwa”, vol. 91, nr 5/2019.
- [23] Wichtowski B., Konecki K.: Podsumowanie analizy metodą elementów skończonych złącza stalowego doczołowego z nakładkami rombowymi. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 5–6/2021.
- [24] Wichtowski B., Konecki K.: Wytrzymałość zmęczeniowa stalowych blachownicowych mostów kolejowych ze złączami doczołowymi wzmocnionymi nakładkami. “Welding Technology Review – Przegląd Spawalnictwa”, vol. 93, nr 3/2021.
- [25] Wiśniewski D.F., Casas J.R., Ghosn M.: Codes for Safety Assessment of Existing Bridges – Current State and Further Development. “Structural Engineering International”, Vol. 22, No. 4/2012.
- [26] Wiśniewski D., Majka M., Bień J.: Ocena nośności mostów w okresie ich eksploatacji – doświadczenia krajowe i zagraniczne. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 7–8/2013.
- [27] Zobel H., Mossakowski P., Oleszek R.: Analiza statyczna i dynamiczna mostu kolejowego nad rzeką Czarną w ciągu CMK. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 7–8/2013.