

INŻYNIERIA i BUDOWNICTWO

5-6
2021

ISSN 0021-0315

CZASOPISMO POLSKIEGO ZWIĄZKU INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW BUDOWNICTWA

Zeszyt pod patronatem Sekcji Konstrukcji Metalowych KILiW PAN

Na fotografii: hala dworca kolejowego Łódź Fabryczna

Fot. Marek Piekarczyk



WANDZIK G., POTEMPA R.: **Trójparymetryczna optymalizacja trzonu pełnościennego słupa energetycznego.**

Przedstawiono metodę poszukiwania optymalnego kształtu stalowego słupa energetycznego o konstrukcji powłokowej. Optymalizacja została ograniczona do trzech parametrów: średnicy, zbieżności trzonu, grubości ścianki powłoki. Podstawą analiz jest minimalizacja objętości stali, z użyciem dostosowanej do problemu metody gradientu prostego. Algorytm zastosowano w autorskim programie komputerowym.

SZLENDAK J.K., SZPYRKA A.: **Zastosowanie kryterium Manna-Kendalla do szacowania nośności spawanych połączeń zakładkowych.**

Rozważono połączenie zakładkowe blach z mimośrodowym przyłożeniem obciążenia. Wykorzystując oprogramowanie MES, zbudowano model i określono gęstość energii odkształcenia. W celu wykrycia charakterystycznych punktów mutacji stanu naprężenia połączenia na krzywej parametr-obciążenie zastosowano kryterium M-K. Określone punkty dotyczą poszczególnych stanów zachowania się połączenia, m.in. punkt wyczerpania jego nośności. Zastosowanie kryterium umożliwia szacowanie nośności połączeń spawanych.

KOZIOŁ P.: **Kierunki rozwoju konstrukcji zespolonych na podstawie prac badawczych prowadzonych na Politechnice Wrocławskiej.**

Przedstawiono prace naukowe, badawcze i wdrożeniowe prowadzone na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej. Podsumowano ich zakres oraz wskazano przewidywane, dalsze kierunki rozwoju stalowo-betonowych konstrukcji zespolonych, w tym konstrukcji hybrydowych z nową generacją łączników typu SRCD.

FLIEGNER B., LYTVYN O., MARCINOWSKI J., SAKHAROV J-R V., SAKHAROV V.: **Obciążenie próbne przestrzennej konstrukcji stalowego przekrycia hali widowiskowej.**

Przedstawiono szczegóły realizacji programu próbnego obciążenia stalowego przekrycia istniejącej hali widowiskowej. Celem badań było ustalenie możliwości przeniesienia dodatkowych obciążeń, realizowanych przez podwieszanie do konstrukcji elementów scenografii lub dodatkowego wyposażenia związanego z konkretnym wydarzeniem. Poza szczegółową inwentaryzacją wykonaną techniką LiDAR zrealizowano także program próbnych obciążeń, które posłużyły do dostrojenia modeli obliczeniowych tak, aby wiernie oddawały faktyczną zdolność konstrukcji do przenoszenia obciążeń.

MAŚLAK M., SIUDUT J.: **Pozostający czas zdadności skorodowanego pasa płaszcza stalowego naziemnego zbiornika paliwowego – wybrane metody oceny.**

Przedstawiono różne sposoby wyznaczania pozostającego czasu zdadności skorodowanego, użytkowanego naziemnego zbiornika stalowego wykorzystanego do magazynowania paliw płynnych. Poszukiwany czas, odnoszony zazwyczaj do chwili badania stanu technicznego obiektu, zależy jednak nie tylko od założonych a priori wymagań bezpieczeństwa, ale również od zastosowanego w praktyce sposobu obliczeń. Z rozpatrywanego przykładu wynika, że poszczególne podejścia nie są formalnie kompatybilne, a uzyskane na ich podstawie wnioski mogą się okazać wzajemnie sprzeczne.

CIESIELCZYK K., STUDZIŃSKI R.: **Wpływ sztywności podparcia na stateczność zginanych belek cienkościennych.**

Przedstawiono analizę wpływu sztywności podparcia na stateczność zginanych belek cienkościennych. Rozważono podpory bez usztywnienia oraz podpory usztywnione za pomocą żeberek. Wykonano analizy numeryczne i badania laboratoryjne.

KUBISZYN W., ZAJĄC P.: **Wybrane praktyczne aspekty wytłumienia poprzecznych drgań kominów stalowych.**

Przedstawiono analizę dynamiczną 3 kominów stalowych wolno stojących podlegających nadmiernym drganiom wskutek wzbudzenia wirowego – naprężeniennego odrywania się wirów *Benarda-Karmana*. Analizę przeprowadzono według wymagań aktualnych norm europejskich oraz zaleceń norm PN, DIN i ISO, a także wytycznych CICIND zawartych w Model Code. W przypadku każdego analizowanego komina podano sposób wytłumienia drgań poprzecznych oraz oceniono skuteczność przyjętych rozwiązań.

KRYSTOSIK P.: **Obciążenie krytyczne niestężonych ram stalowych.**

Omówiono zagadnienia dotyczące stateczności ram stalowych, ze szczególnym zwróceniem uwagi na problem określania obciążenia krytycznego w tych ramach. Przedstawiono propozycję algorytmu wyznaczania obciążenia krytycznego. Zamieszczono przykłady liczbowe.

SZEWCHYK P.: **Spawanie elementów stalowych pod obciążeniem.**

Przedstawiono próbę doświadczalnego oraz numerycznego oszacowania wpływu naprężeń początkowych podczas spawania na wartość odkształceń spawalniczych w momencie maksymalnego nagrzania elementu, jak również po jego całkowitym wystygnięciu.

KISIELNICKI J., STUDZIŃSKI R.: **Wpływ podatności złączy na płytki kolczaste na nośność dźwigara kratowego.**

Przedstawiono analizę wpływu podatności złączy na płytki kolczaste na nośność drewnianego dźwigara kratowego. Rozważono cztery modele numeryczne, w tym dwa tzw. modele płytkowe uwzględniające cechy mechaniczne połączeń na płytki kolczaste oraz dwa modele klasyczne. Porównano wyniki analiz.

PIOTROWSKI R., SIEDLECKA M.: **Utrata stateczności osiowo ściskanych słupów dwugałęziowych.**

Przedstawiono wyniki analitycznych i numerycznych rozważań dotyczących formy lokalnej i globalnej utraty stateczności osiowo ściskanych bisymetrycznych prętów dwugałęziowych połączonych sztywnymi przewiązkami, w jednej lub dwu płaszczyznach, bądź przeponami. Poza oczywistym wpływem sposobu podparcia końców pręta na postać wyboczenia, uwzględniono także rozstaw gałęzi i ilość połączeń między nimi.

CHYBIŃSKI M., POLUS Ł., SZUMIGAŁA M.: **Zastosowanie elementów drewnianych w belkach zespolonych.**

Opisano belki zespolone drewniano-betonowe, stalowo-drewniane, drewniano-aluminiowe, drewniano-szkłane oraz drewniano-drewniane. Omówiono możliwości zastosowania ich w budownictwie.

BILISZCZUK J., LORENC W., KOŻUCH M.: **Problemy oceny nośności prześle istniejących stalowych mostów kolejowych na przykładzie linii kolejowej 285 Wrocław Główny – Jedlina Zdrój.**

Przedstawiono problematykę oceny nośności istniejących mostów kolejowych. Na przykładzie mostów stalowych z pomostem otwartym podano, że obciążenia poziome będące składowymi ruchu kolejowego mają ogromny wpływ na nośność obiektów. Brak uznanych wytycznych czy uregulowań prawnych w zakresie postępowania z obiektami istniejącymi prowadzi często do braku wiarygodnych ocen nośności.

PAŃTAK M., MARECIK K.: **Tłumienie drgań i wybrane metody modyfikacji parametrów dynamicznych stalowych kładek dla pieszych.**

Przedstawiono zagadnienie tłumienia drgań w kładkach dla pieszych o konstrukcji stalowej. Prezentowane dane opracowano na podstawie badań własnych i studiów literatury. Na przykładzie wybranych zrealizowanych kładek dla pieszych zobrazowano rozwiązania konstrukcyjne mające na celu modyfikację podstawowych parametrów dynamicznych omawianych konstrukcji.

WICHTOWSKI B., KONECKI K.: **Podsumowanie analizy metodą elementów skończonych złącza stalowego doczołowego z nakładkami rombowymi.**

W artykułach opublikowanych w nr. 2/2020 i 3/2021 „Inżynierii i Budownictwa” autorzy przedstawili analizę naprężeniową stalowych złączy doczołowych z jednostronnymi nakładkami oraz omówili występujące w nich pęknięcia zmęczeniowe. Opracowano również nowe hipotezy ich rozwoju. W niniejszym artykule nawiązano do tych artykułów oraz podsumowano całościowo omawiane zagadnienia. Przeanalizowano poprawność hipotezy kruchego niszczenia złączy w strefie dołowania.

CZEPIŻAK D., MACHOWIAK A.: **Porównanie wybranych metod oceny momentu krytycznego zwichrzenia belek o zmiennej wysokości średnicy.**

Porównano sprężyste momenty krytyczne belek ze zbieżnym średnikiem, obliczone metodami analitycznymi i numerycznymi przedstawionymi w ostatnich latach przez badaczy zajmujących się tym zagadnieniem z obliczeniami własnymi, przeprowadzonymi dostępnymi narzędziami. Głównym celem było zweryfikowanie dokładności i zbieżności wyników otrzymanych różnymi metodami i różnymi prętowymi elementami skończonymi 1D o 7 stopniach swobody w węźle (7DOF).

ZAMOROWSKI J., SUCHY M.: **O optymalnym projektowaniu hal stalowych.**

Scharakteryzowano optymalne projektowanie hal, z uwzględnieniem ryzyka jako jednego z ogniw całego przedsięwzięcia inwestycyjnego, przy przyjętych kryteriach optymalizacji. Przedstawiono strukturę kosztów wykonania obiektów o konstrukcji stalowej, wybrane składniki kosztów jej eksploatacji oraz czynniki podlegające optymalizacji.

WOJNAR A., POGAN S.: **O metodach analizy konstrukcji ramowych według projektu normy prEN 1993-1-1.**

Zgodnie z projektem normy prEN 1993-1-1 (projekt z września 2020 r.) stateczność ram wielokondygnacyjnych powinna być sprawdzana z uwzględnieniem wpływu imperfekcji geometrycznych i deformacji konstrukcji pod przyłożonym obciążeniem. Przedstawiono metody obliczeniowe zalecane w projekcie eurokodu, które umożliwiają weryfikację stateczności prętów ramy. Sposób obliczeń uzależniono od uwzględnienia wpływu imperfekcji globalnych i lokalnych, a także od rodzaju analizy statycznej zastosowanej do wyznaczenia wartości sił wewnętrznych.

INŻYNIERIA i BUDOWNICTWO

Rok LXXVII (rok założenia 1938)
WARSZAWA, MAJ-CZERWIEC 2021



Czasopismo
POLSKIEGO ZWIĄZKU
INŻYNIERÓW
I TECHNIKÓW
BUDOWNICTWA

5-6/2021

SPIS TREŚCI

strona

Od redakcji 195

TEORIA I BADANIA NAUKOWE

G. Wandzik, R. Potempa – Trójparymetryczna optymalizacja trzonu pełnościennego słupa energetycznego 195
J. Szlendak, A. Szpyrka – Zastosowanie kryterium *Manna-Kendalla* do szacowania nośności spawanych połączeń zakładkowych 200
P. Koziol – Kierunki rozwoju konstrukcji zespolonych na podstawie prac badawczych prowadzonych na Politechnice Wrocławskiej 203

ZAGADNIENIA KONSTRUKCYJNE I MATERIAŁOWE

B. Fliegner, O. Lytvyn, J. Marcinowski, V. Sakharov jr., V. Sakharov – Obciążenie próbne przestrzennej konstrukcji stalowego przekrycia hali widowiskowej 206
M. Maślak, J. Siudut – Pozostający czas zdatności skorodowanego pasa płaszcza stalowego, naziemnego zbiornika paliwowego – wybrane metody oceny 211
K. Ciesielczyk, R. Studziński – Wpływ sztywności podparcia na stateczność zginanych belek cienkościennych 219
W. Kubiszyn, P. Zając – Wybrane praktyczne aspekty wytłumienia poprzecznych drgań kominów stalowych 224
P. Krystosik – Obciążenie krytyczne niestężonych ram stalowych 232
P. Szewczyk – Spawanie elementów stalowych pod obciążeniem 235
J. Kisielnicki, R. Studziński – Wpływ podatności złączy na płytki kolczaste na nośność drewnianego dźwigara kratowego 239
R. Piotrowski, M. Siedlecka – Utrata stateczności osiowo ścisłanych słupów dwugąsłowych 242
M. Chybiński, Ł. Polus, M. Szumigala – Zastosowanie elementów drewnianych w belkach zespolonych 247

MOSTY

J. Biliszczuk, W. Lorenc, M. Kożuch – Problemy oceny nośności przęseł istniejących stalowych mostów kolejowych na przykładzie linii kolejowej 285 Wrocław Główny – Jedlina Zdrój 250
M. Pańtak, K. Marecik – Tłumienie drgań i wybrane metody modyfikacji parametrów dynamicznych stalowych kładek dla pieszych 254
B. Wichtowski, K. Konecki – Podsumowanie analizy metodą elementów skończonych złącza stalowego doczołowego z nakładkami rombowymi 263

PORADNIK KONSTRUKTORA

D. Czepiżak, A. Machowiak – Porównanie wybranych metod oceny momentu krytycznego zwichrzenia belek o zmiennej wysokości środka 269
J. Zamorowski, M. Suchy – O optymalnym projektowaniu hal stalowych 275
A. Wojnar, S. Pogan – O metodach analizy konstrukcji ramowych według projektu normy prEN 1993-1-1 280

KRONIKA

Sz. Pałkowski – Śp. Profesor Jan Filipkowski (1929–2021) 285
A. Jarominiak – Wspomnienie o mgr. inż. mechaniku Janie Gieruszcaku 286
J. Bzówka – Śp. Profesor Maciej Gryczmański (11.02.1937–4.04.2021) 288

RECENZJE 210, 218, 223, 238, 284, 290

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. multi

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, sekretarz redakcji mgr inż. Monika Kubisiak, redaktorzy tematyczni: prof. dr hab. inż. Marian Giżejowski, dr hab. inż. Aniela Glinicka – prof. PW, prof. dr hab. inż. Czesław Miedziński, 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 Nowogórska – 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-pzib-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, poczynawszy 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.



WANDZIK G., POTEMPA R.: Three-parameter optimization of thin-walled shaft of the high-voltage transmission tower.

The method of searching the optimal shape of a steel high-voltage thin-shell pole was presented. The optimization was limited to three parameters: the diameter, convergence of the shaft, the wall thickness of the shell. The basis of the analysis is the minimization of the steel volume of the pole shaft using the simple gradient descent method adapted to the problem. The algorithm has been implemented in a proprietary computer application.

SZLENDAK J.K., SZPYRKA A.: Application of the Mann-Kendall criterion to estimate the resistance of welded lap connections.

The article presents the application of the *Mann-Kendall* criterion to estimate the resistance of welded lap connections. The overlapping connection of the plates with the connection eccentricity was considered. Numerical analysis software, was used to build a model and the strain energy density was determined. The M-K criterion can detect the characteristic state-of-stress mutation points of the connection in the parameter-load curve. Certain points define individual states of the connection behavior, among others failure load point. The application of the criterion enables a new method of estimating the resistance of welded connections.

KOZIOŁ P.: Directions of development of composite structures based on research conducted at Wrocław University of Science and Technology.

The following paper discusses scientific, research and implementation works carried out at the Faculty of Civil Engineering, Wrocław University of Science and Technology. The scope of the research is summarised and further directions of development of steel-concrete composite structures are indicated, including hybrid structures with a new generation of SRC connectors.

FLIEGNER B., LYTVYN O., MARCINOWSKI J., SAKHAROV J-R V., SAKHAROV V.: The proof load test of spatial, steel cover of a sport and entertainment hall.

The paper presents the details of the implementation of the proof load test program for the steel roofing of the existing sport and entertainment hall. The aim of the research was to determine the possibility of transferring additional loads carried out by suspending elements of scenery or additional equipment related to a specific event to the structure. In addition to a detailed inventory made with the LiDAR survey technique, a proof load test program was also carried out. The results of these investigations were used to fine-tune the calculation models so that they faithfully reflect the actual load-bearing capacity of the structure.

MAŚLAK M., SIUDUT J.: Remaining service time estimated for the corroded shell of above-ground steel fuel tank – selected approaches to the assessment.

Various methods are shown in detail to determine the remaining service time for the corroded, above-ground steel tank being in-service, used to store the liquid fuels. The sought value of such the time, usually referred to the time of the verification the tank technical condition, depends not only on the safety requirements assumed a priori, but also on the computation procedure applied in practice. The numerical example presented by the authors allows to conclude that the considered approaches are not formally compatible and the conclusions obtained on their basis may prove to be mutually contradictory.

CIESIELCZYK K., STUDZIŃSKI, R.: Influence of the support stiffness on the thin-walled beams stability.

The paper investigates how the flexural stiffness of the support cleats influences on the thin-walled beams stability. The article considers two different types of support cleats: cleats without ribs and cleats stiffened by ribs. The numerical analyses of different types of the support cleats were performed. The numerical model was validated with laboratory experiment.

KUBISZYN W., ZAJĄC P.: Selected practical aspects of damping crosswind vibrations of steel chimneys.

The paper presents a dynamic analysis of 3 free-standing steel chimneys subject to vortex shedding vibrations – caused by alternating breakaway of *Benard-Karman* vortices. The dynamic analysis was carried out in accordance with the requirements of the European standards currently in force in Poland (PN-EN), additionally following the recommendations of PN, DIN and ISO standards and the CICIND guidelines included in the Model Code. For each analyzed chimney, a different effective method of damping crosswind vibrations was proposed (designed). The effectiveness of these solutions was also evaluated.

KRYSTOSIK P.: Critical load of unbraced steel frames.

The paper presents the stability issue of unbraced steel frames with special attention paid to the problem of determining the value of critical load in these frames. In the paper was presented an algorithm of the critical load determination, and then it was used to calculate of certain steel frames.

SZEWCZYK P.: Welding steel structures under load.

In the paper the influence of initial stress during welding on welding distortions in the maximum heating state and cooling state was presented. The problem was examined in empirical and numerical ways.

KISIELNICKI J., STUDZIŃSKI, R.: Influence of the flexibility of the connector plates on the truss capacity.

The paper presents an analysis of the influence of the flexibility of connector plates on the timber truss capacity. Four numerical models were considered: two so-called plate models and two classic models. The results of the conducted analyses were compared.

PIOTROWSKI R., SIEDLECKA M.: Loss of stability of axially compressed two-chord columns.

The analysis covers the forms of local and global loss of stability of axially compressed bisymmetric two-branch bars connected with rigid lacings, in one or two planes, or with diaphragms. Apart from the obvious influence of the method of supporting the bar ends on the buckling form, the branch spacing and the number of connections between them were also taken into account.

CHYBIŃSKI M., POLUS Ł., SZUMIGAŁA M.: Application of timber members in composite beams.

The authors of this paper present a review of timber-concrete, steel-timber, aluminium-timber, timber-glass and timber-timber composite beams. The possibility of their use in civil engineering was discussed.

BILISZCZUK J., LORENC W., KOŻUCH M.: Problems in assessing the load-bearing capacity of the existing steel railway bridges on the example of the 285 Wrocław Główny – Jedlina Zdrój railway line.

The paper presents the issues of assessing the load-bearing capacity of existing railway bridges. The example of steel bridges with an open deck shows that horizontal loads, being components of rail traffic, have a huge impact on the load capacity of structures. The lack of accepted guidelines or legal regulations for the dealing with existing structures often leads to the lack of reliable load-bearing capacity assessments.

PAŃTAK M., MARECIK K.: Vibration damping and selected methods of modifying dynamic parameters of steel footbridges.

The article presents the issue of vibration damping in steel footbridges. The presented data are based on the author's own research and literature studies. On the example of selected realised footbridges, the constructional solutions designed to modifying the basic dynamic parameters of the structures are illustrated.

WICHTOWSKI B., KONECKI K.: The summary of analysis of steel butt joint with one-sided rhomb-shaped cover plates conducted with the Finite Element Method.

The stress analysis of steel butt joint with one-sided cover plates with the consideration of fatigue cracks were presented in the 12/2020 and 3/2021 issues of the monthly „Inżynieria i Budownictwo”. New hypotheses of cracks propagation were developed. The purpose of this article is to summarize these issues in a comprehensive manner. It constitutes the summary of two previous articles and analyzes the correctness of the hypothesis about the final fracture of cracks.

CZEPIŻAK D., MACHOWIAK A.: Comparison of chosen methods for estimation of critical lateral torsional buckling bending moment of web-tapered I-beams.

In this article, the elastic critical bending moments of the web-tapered I-beams calculated by the analytical and numerical solutions developed last years by researchers involved in the topic were compared with own calculations carried out with available common tools. The main goal was to verify the accuracy and convergence of the results provided by different modern methods and different finite bar elements 1D with 7 degrees of freedom at the node (7DOF).

ZAMOROWSKI J., SUCHY M.: Optimal design of steel halls.

The article treat the optimal design process of single-storey industrial buildings, taking into account the risk, as a link in the entire investment project, with the adopted optimization criteria. Cost structure of steel constructed facilities execution, selected components of its operating costs as well as factors to be optimized due to their manufacturing costs, are presented.

WOJNAR A., POGAN S.: Methods of analysis of frame structures in accordance with the draft version of the prEN 1993-1-1 standard.

According to the draft of the prEN 1993-1-1 standard (draft from September 2020), the stability of multi-storey frames should be checked while taking into account the effect of geometric imperfections and the structure's deformations under the applied load. The calculation methods recommended in the Eurocode's draft, which enable the verification of the frame's members stability, are presented. Shown calculation methods depend on the influence of global and local imperfections, as well as on the type of static analysis used to determine the values of internal forces.

- [46] Kawecki J., Masłowski R.: Wyznaczanie optymalnych parametrów mechanicznego tłumika drgań budowli wieżowej. „Archiwum Inżynierii Lądowej”, nr 4/1988.
- [47] Kawecki J.: Rola elementów sprężysto-tłumiących w mechanicznych tłumikach drgań. III Ogólnopolskie Sympozjum „Wpływy środowiskowe na budowle i ludzi – obciążenia, oddziaływania, interakcje, dyskomfort”, Politechnika Lubelska, Lublin Zwierzyniec 2001.
- [48] Kawecki J.: Doświadczalna weryfikacja skuteczności mechanicznego tłumika drgań budowli wieżowej. Monografia 302, Rozprawy z mechaniki konstrukcji i materiałów, Politechnika Krakowska, 2004.
- [49] Kawecki J., Masłowski R.: Dostrojenie mechanicznego tłumika drgań na obiekcie ważnym etapem zapewnienia jego skuteczności. XII międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna „Konstrukcje metalowe – ICMS 2011”, SKM KILiW PAN, Wrocław 2011.
- [50] Masłowski R.: Zastosowanie tłumików mechanicznych do zmniejszania drgań budowli wieżowych. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 1/1983.

- [51] Kawecki J., Masłowski R.: Studium możliwości zastosowania mechanicznego tłumika drgań do redukcji drgań stropu. „Inżynieria i budownictwo”, nr 1/1997.
- [52] Hawryszków P., Klasztorny M.: Protection of suspension footbridge with tuned mass dampers against excessive resonant vertical vibrations caused by vandal pedestrian loads. „Archives of Civil Engineering”, No. 4/2007.
- [53] KGF Hydraulika: Hydraulické válce a čerpadla. Hydraulické tlumiče kmitů pro mosty a lávky. 2014.
- [54] Kalný M., Komanec J., Kvasnička V., Vítek J.L., Brož R., Koukolík P., Coufal R.: Lávka přes Labe v Čelákovících – první nosná konstrukce z UHPC v ČR. „Beton: technologie, konstrukce, sanace”, nr 4/2014.
- [55] Vladimír Š., Michal P., Tomáš P.: A dynamic analysis of the cable-stayed footbridge in Čelákovice town. „Procedia Engineering”, Vol. 199, 2017.

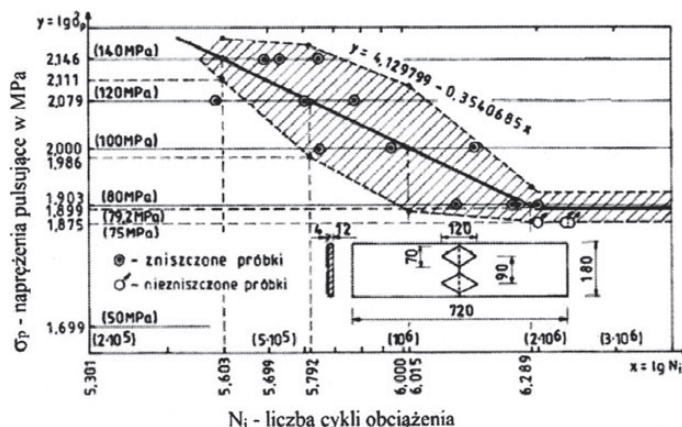
Dr hab. inż. BERNARD WICHTOWSKI, em. prof. ZUT
Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie
Mgr inż. KRZYSZTOF KONECKI
Saferoad Pomerania Sp. z o.o. w Szczecinie

Podsumowanie analizy metodą elementów skończonych złącza stalowego doczołowego z nakładkami rombowymi

Pierwsi konstruktorzy stalowych mostów spawanych zdawali sobie sprawę z niedoskonałości spoin czołowych. Każda taka spoina jest z reguły obarczona pewnymi wewnętrznymi niedoskonałościami spawalniczymi (NS). Dlatego też ich nośność jest mniejsza niż nośność materiału spawanego. Najprostszym i najekonomicznym sposobem wyeliminowania tych różnic wydawało się powiększenie przekroju złącza spawanego przez dodanie nakładek, które rekompensują osłabienie przekroju. Takie rozwiązanie zastosowano we wszystkich 10 spawanych mostach w Polsce, zbudowanych w latach 1929–1939. Uwaga ta dotyczy zarówno mostów drogowych, jak i kolejowych [9]. Wszystkie spawane złącza doczołowe pasów i środników przykryto jedno- lub dwustronnymi nakładkami i przykładkami. Są to nakładki prostokątne lub rombowe. Tendencja wzmacniania spawanych złączy doczołowych w mostach kolejowych utrzymywała się do roku 1953. Przykładowo w przebadanych rentgenograficznie 64 mostach kolejowych zbudowanych w latach 1936–1950 pęknięcia stwierdzono w 26 (40,6%). W grupie tej jedynie w dwóch obiektach złącza doczołowe nie miały nakładek i (lub) przykładek. Są to mosty blachownicowe długości 14,50 i 13,90 m, usytuowane na liniach Wrocław – Zgorzelec i Tunel – Strzemieszyce.

W ramach kompleksowej oceny wytrzymałości zmęczeniowej wzmocnionych złączy doczołowych przeprowadzono laboratoryjne badania modelu złącza z jednostronnymi nakładkami rombowymi, o geometrii podanej na rys. 1 [10].

Uzyskano bardzo małą wartość nieograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej, przy $2 \cdot 10^6$ cyklach obciążenia, $Z_f = 79,2$ MPa (30,68% R_{eH}). Według autorów właśnie wartości Z_f powinny być brane pod uwagę przy ocenie spoin obiektów eksploatowanych z NS. Klasy zmęczeniowe spoin czołowych FAT według PN-EN ISO 5817:2014

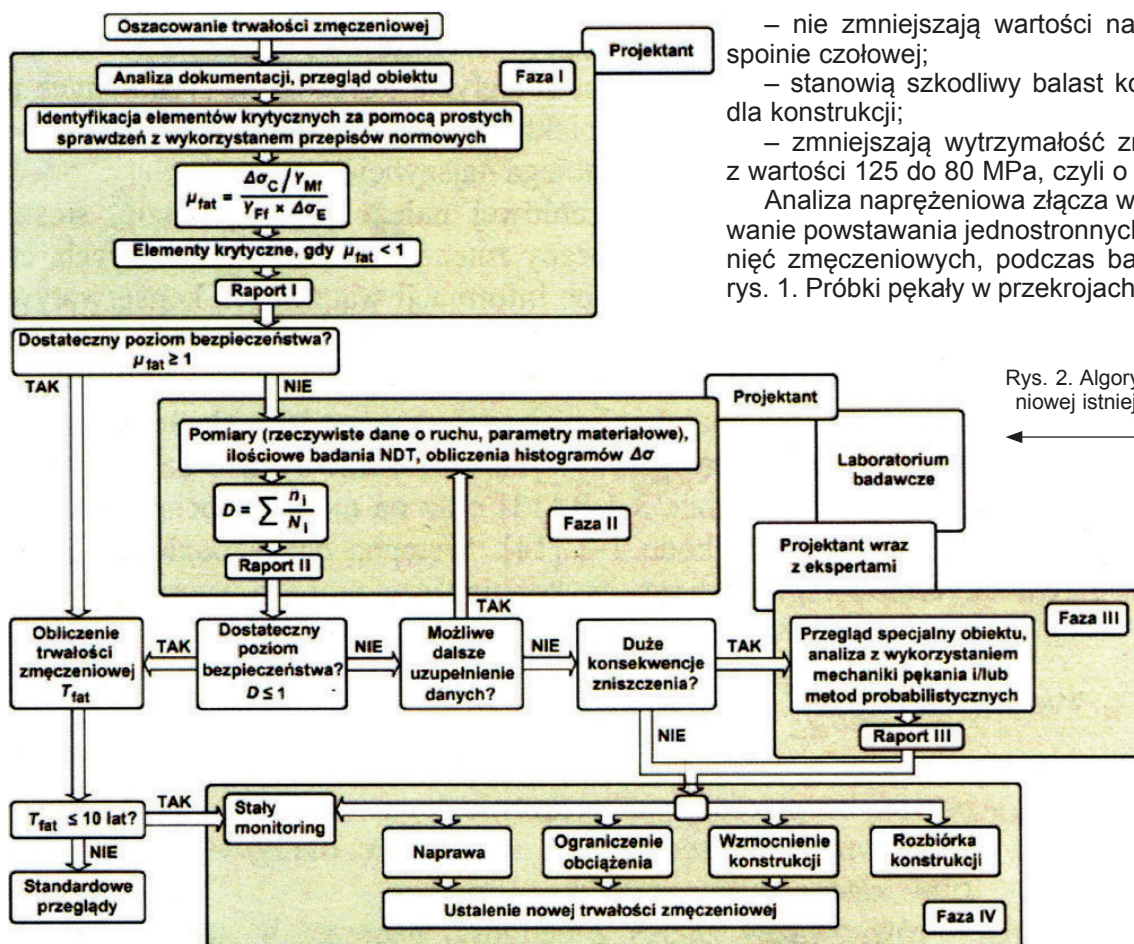


Rys. 1. Wyniki badań złączy doczołowych z nakładkami i prosta regresji z obszaru ufności

zostały ustalone dla spoin sprawdzanych metodami NDT o poziomie jakości B lub C [11, 12]. Takie spoiny należy projektować.

W 2008 roku ukazały się zalecenia europejskie dotyczące oceny trwałości zmęczeniowej eksploatowanych konstrukcji, kompatybilne z nowymi normami projektowania konstrukcji stalowych [4] (rys. 2). Jednocześnie w pracach [5, 7, 8, 15] podano nowe „światowe” metody do stosowania w ocenie trwałości mostów eksploatowanych. Przydatne w tej analizie mogą być informacje pozyskane z badań starych obiektów mostowych.

Niniejszy artykuł jest próbą rekapitulacji wniosków z prowadzonych przez autorów badań dotyczących stanu zagrożenia zmęczeniem mostów historycznych. Autorzy postanowili uszczegółowić wpływ spawanych złączy doczołowych z nakładkami na trwałość eksploatacyjną



- nie zmniejszają wartości naprężeń w poprzecznej spoinie czołowej;
- stanowią szkodliwy balast konstrukcyjny, szkodliwy dla konstrukcji;
- zmniejszają wytrzymałość zmęczeniową złącza Z_{ij} z wartości 125 do 80 MPa, czyli o 36%.

Analiza naprężeń złącza wyjaśniła także zarodkowanie powstawania jednostronnych stochastycznych pęknięć zmęczeniowych, podczas badań 16 złączy według rys. 1. Próbkę pękały w przekrojach przechodzących przez

Rys. 2. Algorytm oceny trwałości zmęczeniowej istniejącej konstrukcji stalowej [4]

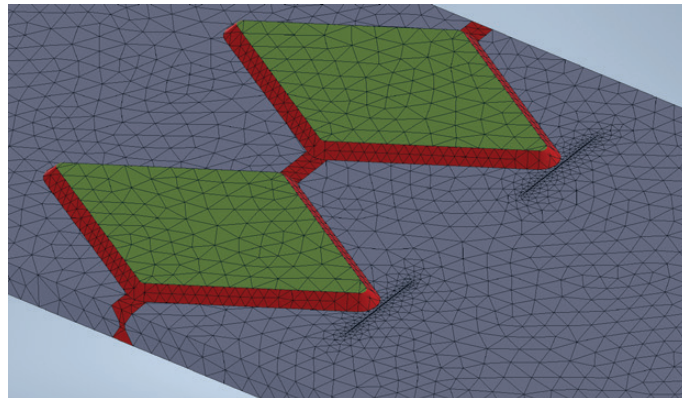
istniejących obiektów mostowych. Nie można było tego oszacować z rozwiązania ogólnego *C.E. Inglisa* [2]. Takie możliwości uzyskano dzięki zastosowaniu metody elementów skończonych (MES). Metoda ta umożliwia szczegółową analizę rozkładu naprężeń, przemieszczeń, oceny trwałości zmęczeniowej, analiz termicznych, symulacji dynamicznych, analiz wyboczeniowych i modalnych oraz pomaga w sposób kompleksowy analizować wiele innych zagadnień w złożonych układach przestrzennych. Analizy mogą uwzględniać zarówno liniowe, jak i nieliniowe zachowanie się materiałów o różnej mechanice pracy i zniszczenia, np. materiały ciągliwe, kruche, materiały zwiększające nośność w zależności od czasu przyłożenia siły.

Wnioski z analizy opracowań własnych [13, 14]

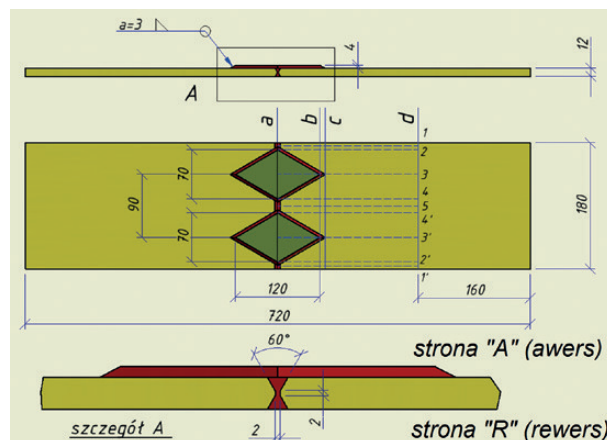
Podstawową analizę rozkładu naprężeń w złączu stalowym doczołowym z jednostronnymi nakładkami rombowymi przedstawiono w artykule [13]. Obliczenia wykonano, wykorzystując program Inventor Nastran w przypadku modelu pokazanego na rys. 3, wykonanego ze stali o $R_e = 254$ MPa i $R_m = 359$ MPa.

Naprężenia obliczono w czterech przekrojach poprzecznych a–d, w punktach 1–1' (rys. 4), przy naprężeniach rozciągających σ równych 75, 80, 100, 120 i 140 MPa. Łącznie po stronie „A” z nakładkami rombowymi (awers) określono naprężenia w 212 punktach i po stronie odwrotnej „R” (rewers) w 180 punktach. Na podstawie obliczonych wartości rozciągających naprężeń złącza stwierdzono, że nakładki rombowe:

- przenoszą zwiększone siły z przekroju c–c, wywołane koncentracją naprężeń o wartości $K_\sigma = 1,67 \div 1,69$ w punktach c3 i c3';

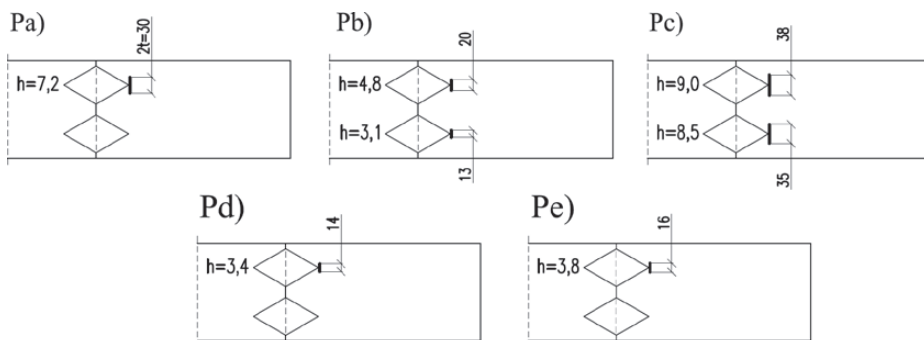


Rys. 3. Model MES z podziałem na elementy skończone



Rys. 4. Konstrukcja złącza i usytuowanie punktów pomiarowych

ostre naroża nakładek rombów w materiale rodzimym; w ogniskach konstrukcyjnej koncentracji naprężeń na wtrąceniach niemetalicznych. Przy naprężeniach $\sigma_{\max}$ równych 80, 100 i 140 MPa w pięciu próbkach pojawiło się siedem pęknięć o parametrach podanych na rys. 5.



Rys. 5. Próbkę zniszczoną: Pa), Pb), Pc) przy $\sigma_{\max}$ równym 80, 100 i 140 MPa oraz próbki niezniszczone: Pd), Pe) przy $\sigma_{\max} = 80$ MPa

W próbkach Pa, Pb i Pc pęknięcia pojawiły się po 99 000, 168 900 i 20 000 cyklach obciążenia przed całkowitym zniszczeniem próbek. Natomiast próbki Pd i Pe nie uległy zniszczeniu, chociaż od momentu wystąpienia pęknięć były dodatkowo poddane 1 819 800 i 836 800 cyklom obciążenia $\sigma_{\max} = 80$ MPa.

Na rysunku 6a pokazano przełom zmęczeniowy rozerwanej dynamicznie próbki Pc z dwoma pęknięciami po 555 000 cyklach obciążenia, a na rys. 6b schemat makrobudowy złomu zmęczeniowego pęknięcia powierzchniowego według [14]. Przełomy powierzchniowych pęknięć zmęczeniowych mają charakterystyczne cechy makroskopowe, wyróżniające je spośród przełomów innych rodzajów, które rozwijają się lawinowo.

Makrobudowa złomu zmęczeniowego według rys. 6b obrazuje trzy stadia pęknięcia zmęczeniowego:

- I – zarodkowanie pęknięcia,
- II – ciągle rozprzestrzenianie się pęknięcia w zakresie odkształceń plastycznych,
- III – gwałtowne rozprzestrzenianie się pęknięcia krucho – dołamanie.

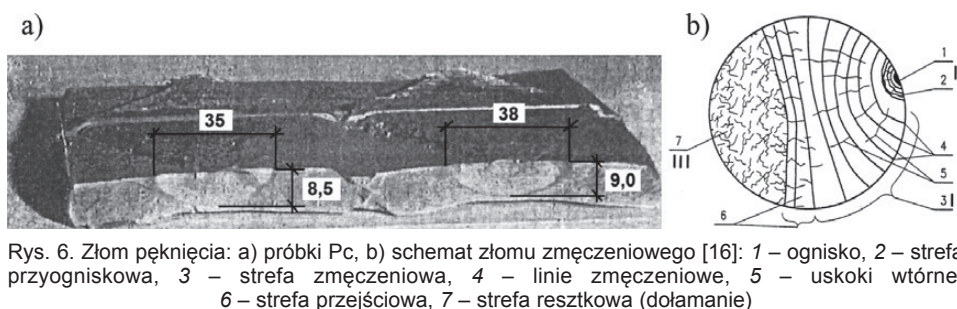
Analizę obliczeniową II stadium pęknięcia zmęczeniowego w złączu stalowym doczołowym z nakładkami rombowymi przedstawiono w artykule [14]. Jest to stadium ustalonego rozwoju głównego pęknięcia zmęczeniowego w płaszczyźnie o maksymalnym naprężeniu normalnym, tzn. w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku naprężenia normalnego, w osi c-c według rys. 4. W strefie przejściowej według rys. 6b w stadium II następuje zjawisko nazwane zamykaniem pęknięcia zmęczeniowego. Według [16] zjawisko to opisał W. Elber, w wyniku odkształcenia plastycznego, P.C. Paris wskutek utleniania oraz R.J. Cook i C.J. Beevers wskutek chropowatości powierzchni pęknięcia. Niestety, nie ustalono żadnej hipotezy ostatecznej, ogólnie akceptowalnej.

W celu wyjaśnienia etapowego rozwoju pęknięć zmęczeniowych według rys. 7, określono rozkład naprężeń na krawędziach jednej półeliptycznej szczeliny Pb usytuowanej w przekroju c-c. Określone wartości naprężeń dotyczą

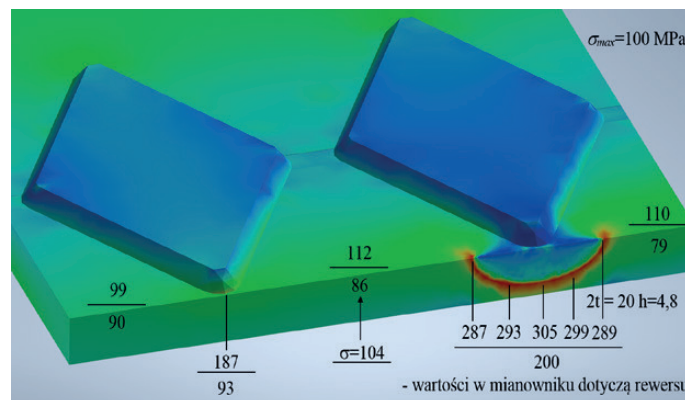
granic końcowego stadium ustalonego rozwoju głównego pęknięcia zmęczeniowego, strefy przejściowej 6 według rys. 6b. Granica ta występuje między strefą odkształcenia sprężystego i plastycznego. Podobne rozkłady naprężeń uzyskano przy pęknięciach trzech złącz zniszczonych

Pa, Pb i Pc, które opisano w tabl. 1. Na uwagę zasługuje fakt prawie jednakowych wartości naprężeń uzyskanych w poszczególnych kolumnach 6, 7 i 8, niezależnie od naprężeń rozciągających $\sigma_{\max}$ równych 80, 100 i 140 MPa.

W celu wykonania rozszerzonej analizy tych naprężeń autorzy na rys. 8 przedstawili wykresy rozciągania stali zlewnej niskowęglowej (Flußstahl) o C = 0,045%, z której zostały zbudowane złącza. Właściwości te wprowadzono do programu obliczeniowego analizowanego połąc-



Rys. 6. Złom pęknięcia: a) próbki Pc, b) schemat złomu zmęczeniowego [16]: 1 – ognisko, 2 – strefa przyogniskowa, 3 – strefa zmęczeniowa, 4 – linie zmęczeniowe, 5 – uskoki wtórne, 6 – strefa przejściowa, 7 – strefa resztkowa (dołamanie)



Rys. 7. Naprężenia w przekroju c-c z pęknięciem Pb przy $\sigma_{\max} = 100$ MPa

czenia. Jest to stal mostu na linii kolejowej 275 Wrocław – Berlin, oddanego do eksploatacji 15 maja 1875 r. Na uwagę zasługują uzyskane wartości górnej granicy plastyczności R_{eH} wynoszące 254÷280 MPa i granicy dolnej R_{eL} wynoszące 243÷278 MPa. Skrajne różnice pomiędzy wartościami R_{eH} i R_{eL} wynoszą aż 37 MPa.

Uwzględniając wyniki obliczonych naprężeń pięciu szczelin z trzech zniszczonych złącz, autorzy w opracowaniu [14] zaproponowali nowatorskie rozwiązanie rozwoju pęknięć w II jego części. Wykorzystano trzy fakty:

- 1) przebieg pęknięcia ciągłego może być zahamowany w każdym momencie w wyniku zmniejszenia naprężenia poniżej granicy plastyczności materiału; w omawianych złączach do wartości podanej w kolumnie 6, tabl. 1;
- 2) kształt półeliptycznych pęknięć, o stosunku $2a/h \approx 2$, gwarantuje dotarcie w pierwszej kolejności ich krawędzi

Tablica 1

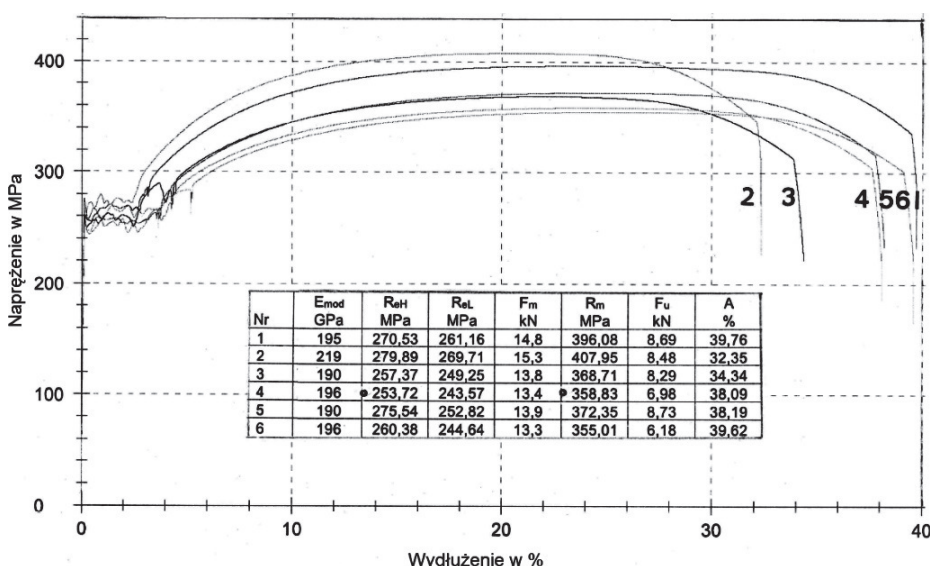
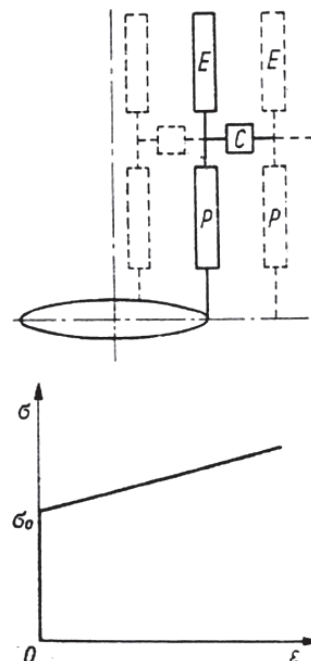
Naprężenia w przekroju c-c złączy Pa, Pb i Pc z pięcioma zniszczonymi pęknięciami zmęczeniowymi (por. rys. 10)

Nr złącza	$\sigma_{\max}$ MPa	Pęknięcie (2a/h) mm	σ_{c-c} (blacha) MPa	Naprężenia – awers rys. 4, „c-c” p. 1(1') i 5	Naprężenia krawędziowe pęknięć		
					awers	krawędzie w materiale	czoło
1	2	3	4	5	6	7	8
Pa	80	30/7,2	87	89 i 77	303 i 298	290 – 299	306
Pb	100	13/3,1 20/4,8	105	99 i 100 104 i 100	281 i 282 274 i 310	267 – 261 284 – 286	296 287
Pc	140	35/8,5 38/9,0	183	172 i 180 176 i 180	275 i 279 273 i 279	288 – 286 293 – 292	295 306

końcowych na awersie w pobliże wartości materiałowych naprężeń sprężystych z kolumny 5 (77÷180 MPa) i zanik rozwoju pęknięcia;

3) wartości naprężeń podane w kolumnach 6, 7 i 8 są jednocześnie spowodowane pewną pozostałą wartością współczynnika koncentracji naprężeń od wtrąceń niemetalicznych; w rzeczywistości naprężenia te będą miały wartość R_{eH} według rys. 8.

Rys. 9. Schemat rozwoju pęknięcia zmęczeniowego według Heada [3]



Rys. 8. Wykresy rozciągania próbek stali zlewnej niskowęglowej (C = 0,045%)

Jako wynik konwergencyjnego myślenia, najpierw następuje zmniejszenie naprężeń na powierzchni awersu w punktach krawędziowych szczeliny do wartości obliczonych 273÷310 MPa (kolumna 6, tabl. 1). Zanika rozwój pęknięcia ciągłego. Zjawisko to wpływa na sąsiednie dolne punkty krawędziowe szczeliny i w ramach zasady wyrównywania naprężeń zahamowuje pęknięcie oraz sukcesywnie dwustronnie podąża do wierzchołka pęknięcia. Zanika całkowity rozwój pęknięcia (por. rys. 7).

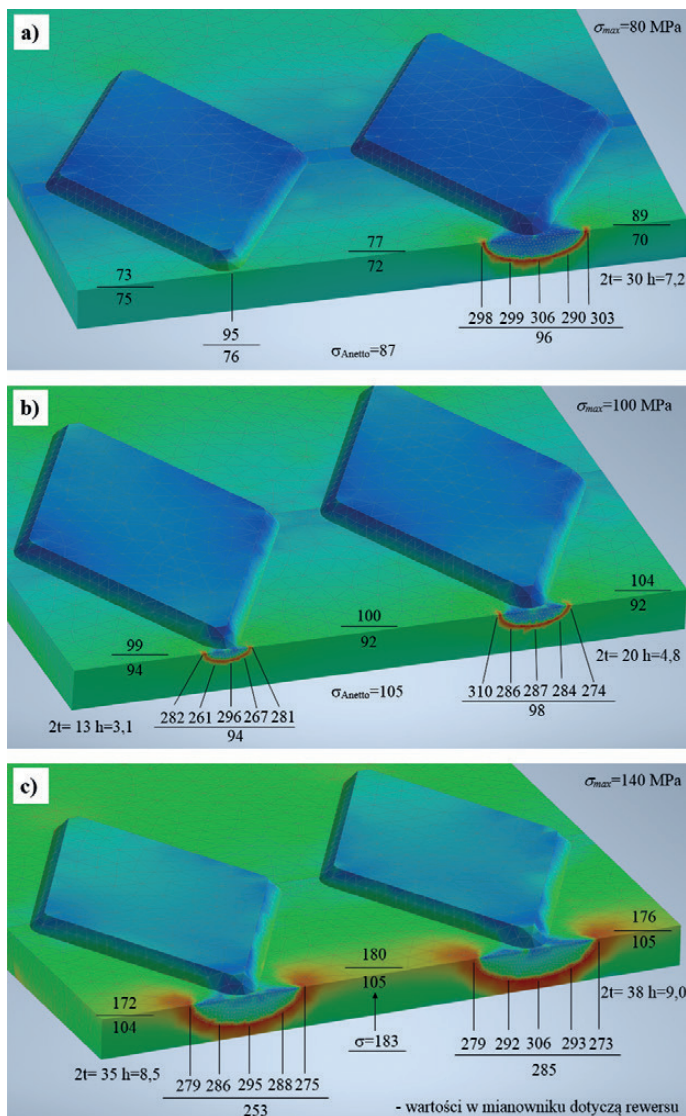
Przyjęty przez autorów powyższy schemat rozwoju pęknięcia zmęczeniowego jest analogiczny do schematu podanego na rys. 9 przez A.K. Heada już w 1953 r. Elementy plastyczne P i sprężyste E dotyczą powierzchni awersu, a elementy wiążące C („shear elements”) długości 0,5·2a elementów P poprzez odkształcenia plastyczne przekazują naprężenia elementom E. Następuje relaksacja w P i zanik pęknięcia [3]. Założeniem podanej analizy jest to, że odkształcenia plastyczne w elementach P w najbliższym obszarze szczeliny zaczynają się od wartości σ_0 i nie są poprzedzone odkształceniem sprężystym.

Strefa niestabilnego rozwoju pęknięcia – dołamywanie pęknięcia

Badacze powierzchniowych pęknięć zmęczeniowych są zgodni, że istnieją trzy stadia ich rozwoju, określone na rys. 6b. Jednocześnie wszystkie omawiane w literaturze zależności dotyczą wyłącznie I i II stadium, czyli podkrytycznego zakresu rozwoju pęknięcia – rozwoju do chwili osiągnięcia przez pęknięcie długości krytycznej, od której począwszy następuje gwałtowny, katastrofalny jego rozwój – strefy III. Przykładowo, w pracy [3], stanowiącej wademecum w tej dziedzinie, do rozdziału „Rozwój pęknięć zmęczeniowych” dołączono wykaz 469 pozycji literaturowych. Niestety, nie ma tam żadnej pozycji dotyczącej

strefy dołamywania. Doświadczalnie ustalono, że prędkość propagacji pęknięcia zmęczeniowego jest kontrolowana przez jego długość 2a oraz wartość naprężeń $\sigma_{\max}$ (rys. 10). Według [16] istnieje około 20 zależności empirycznych opisujących probabilistycznie pełny wykres pęknięcia zmęczeniowego, każdorazowo wykorzystujących strefy mikrostrukturalne.

Na podstawie danych literaturowych stwierdzono, że przy stałym naprężeniu materiał uzyskuje z upływem czasu zdolność do zwiększania odkształcenia plastycznego w określonych warunkach procesu. Podobnie w strefie odkształceń zjawiska niesprężystości wywołują opóźnienie tych odkształceń przy zmianie naprężenia [16]. Te zależności powolnego ciągłego odkształcenia trwałego materiału przy stałym obciążeniu opisuje krzywa pełzania, przy stałym naprężeniu według rys. 11. Zdaniem autorów powyższe właściwości materiału pozwoliły opracować przez A.H. Cottrela i N.J. Petcha jedynego [16] modelu przejścia ze strefy III resztkowego pęknięcia do dołamywania (por. rys. 6b) – modelu przejścia od stanu pęknięcia plastycznego do kruchego.



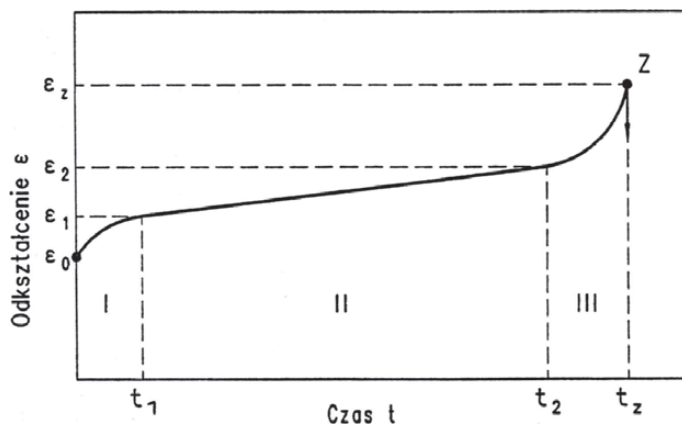
Rys. 10. Rozkład naprężeń w przekroju c-c: a) z pęknięciem Pa ($2t = 30$ mm), b) z pęknięciami: Pb ($2t = 13$ mm i $2t = 20$ mm), c) z pęknięciami Pc ($2t = 35$ mm i $2t = 38$ mm)

Za podstawę przejścia wykorzystano to, że [16]:

a) wiele materiałów, zwłaszcza metali, w zależności od warunków obciążenia i struktury może pękać krucho lub plastycznie;

b) naprężenia niezbędne do koalescencji (łączenia się) grupy mikropęknięć w zarodek pęknięcia są mniejsze niż naprężenia rozprzestrzeniania pęknięcia.

Za kryterium przejścia od stanu pęknięcia plastycznego do kruchego przyjęto granicę plastyczności σ_{pl} . Gdy granica ta jest większa niż naprężenie rozprzestrzeniania się pęknięcia, to materiał jest kruchy i odwrotnie: Pękanie kruche będzie zachodzić, gdy praca przyłożonego naprężenia σ podczas rozprzestrzeniania się pęknięcia będzie dorównywać efektywnej energii nowo powstałej powierzchni. Oznacza to,



Rys. 11. Schemat krzywej prędkości odkształcenia przy stałym naprężeniu; ϵ_0 – odkształcenie początkowe, I – pełzanie nieustalone, II – pełzanie ustalone, III – pełzanie przyspieszone, Z – zniszczenie [16]

że pękanie kruche nastąpi przy naprężeniu $\sigma = \sigma_{pl}$ (por. rys. 10 i tabl. 2).

Próbę wyjaśnienia tego zjawiska w odniesieniu do przedstawionych pięciu pęknięć, w zniszczonych trzech złączach Pa, Pb i Pc, przedstawiono w tabl. 2. W analizie wykorzystano w szczególności wyniki podane na rys. 1, które uzyskano podczas badań wytrzymałości zmęczeniowej przedmiotowych złączy. Praktycznie dotyczy to wartości Z_j w funkcji N_j .

Określony spadek wartości naprężeń z kolumny 7, po zatrzymanym rozwoju pęknięcia, do wartości w chwili załamania według kolumny 8 wyznaczono z prostej regresji określonej na rys. 1. Wyznaczone tak wartości naprężeń w chwili załamania poszczególnych złączy wynoszą od 185 do 292 MPa (kolumna 8). Praktycznie, zgodnie z nierównościami podanymi w kolumnie 10 wartości te według hipotezy A.H. Cottrela i N.J. Petcha decydują o przejściu do pęknięcia kruchego strefy III. Filozofia wyrównywania naprężeń $\sigma = \sigma_{pl}$ jest tutaj zachowana. Istniejące drobne anomalie w wartościach naprężeń σ w przypadku złączy Pa i Pc według kolumny 8 należy tłumaczyć nieznanymi zróżnicowanymi wartościami współczynników koncentracji naprężeń, K_σ wtrąceń niemetalicznych, decydujących

Tablica 2
Analiza strefy dołamywania pęknięć w zniszczonych złączach Pa, Pb i Pc

Nr złącza	σ_{max} MPa	Pęknięcie ($2a/h$) mm	$Z_j^{(1)}$ MPa	$Z_{jmin}^{(2)}$ (rys. 1) MPa	$\gamma^{(3)} = Z_{jmin}/Z_j$	$\sigma_{3(3')}^{(4)}$ (rys. 10) MPa	$\gamma\sigma_{3(3')}^{(4)}$ MPa	σ_{pl} (rys. 8) MPa	$\gamma\sigma_3 = \sigma_{pl}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pa	80	30/7,2	82,9	79,2	0,955	306	292	280	$\sigma \approx \sigma_{plmax}$
Pb	100	13/3,1 20/4,8	88,7	79,2	0,893	287 (296)	256 (264)	254÷280	$\sigma = \sigma_{plmax}$ $\sigma = \sigma_{plmax}$
Pc	140	35/8,5 38/9,0	126,3	79,2	0,627	306 (295)	192 (185)	254	$\sigma < \sigma_{pl}$ $\sigma < \sigma_{pl}$

¹⁾ Nieograniczona wytrzymałość zmęczeniowa (NWZ) złącza po pęknięciu, według równania „y” – rys. 1.

²⁾ NWZ po $2 \cdot 10^6$ cykli obciążenia.

³⁾ γ – współczynnik zmniejszający naprężenia w wyniku zwiększenia cykli N.

⁴⁾ Zmniejszone naprężenia przed dołamywaniem, proporcjonalnie do $\gamma - \sigma_{3(3')}$ według tabl. 1, kolumna 8.

o danym pęknięciu [14]. Jednocześnie podane wartości σ w kolumnach 8 i 9 należy rozpatrywać łącznie z wynikami podanymi na rys. 8. Należy więc uwzględnić cały zakres uzyskanych wartości R_{eH} z górnej granicy plastyczności stali, a nie tylko wartość normową $R_{eH} = 254$ MPa.

Podsumowanie

W artykule podsumowano rozważania dotyczące złącza stalowego doczołowego z jednostronnymi nakładkami rombowymi, ujęte w opracowaniach [13, 14]. Złącza te stosowano powszechnie w XX wieku jako wzmocnienie styków doczołowych w pasach blachownicowych mostów stalowych. W artykule [13] omówiono przeprowadzoną analizę naprężeń rozciągających złączy oraz inicjację pęknięć zmęczeniowych powstałych w trakcie badań laboratoryjnych – I strefa pęknięć, a w artykule [14] – plastyczną strefę rozwoju szczelin zmęczeniowych – II strefa pęknięć. W niniejszym artykule podsumowano wcześniejsze rozważania oraz omówiono III strefę pęknięcia, czyli zniszczeniowe pęknięcie kruche – dołamanie pęknięcia.

Dotychczas, według analiz literaturowych, zagadnienia powyższe prowadzono w zakresie mikrostruktury, a koncepcja mechanizmu stępienia wierzchołka pęknięcia była decydująca w powstawaniu opóźnionego jego rozwoju. Wykonana analiza zagadnienia w zakresie makro, przy zastosowaniu metody elementów skończonych (MES), wykazała błędność takiego podejścia i umożliwiła opracowanie nowych hipotez [1]. Autorzy każdorazowo stosowali zasady prakseologii (skuteczności) według myślenia konwergencyjnego, a nie według literaturowego dywergencyjnego.

Metoda MES pozwoliła na określenie naprężenia w każdej fazie eksploatacyjnej złącza. Otrzymane z tej analizy wyniki umożliwiły:

1) ocenę negatywną przydatności stosowania przedmiotowego złącza – całkowitą dyskwalifikację nakładek;

2) opracowanie hipotezy wyjaśniającej inicjację i rozwój powierzchniowego pęknięcia zmęczeniowego w zakresie plastycznym w strefie I i II;

3) sprawdzenie, na konkretnych pęknięciach, zadowalającej, zgodnej z analizą obliczeniową, przydatności algorytmu A.H. Cottrella i N.J. Petcha, dotyczącego przejścia stanu pęknięcia plastycznego w stan kruchy – w strefie dołamania.

Po wyżej podanej analizie powstaje pytanie: czy nastąpi regresja w tworzeniu nowych, fikcyjnych i błędnych hipotez dotyczących rozwoju powierzchniowych pęknięć zmęczeniowych? (por. [1, 3, 16]).

Znakiem rozpoznawczym dokonanej przez autorów analizy zmęczeniowej są przypisane przysłowia łańskie.

Oto one: „cogitationum poenam nemo luit” (nikt nie ponosi kary za swoje myśli) i „docendo discimus” (ucząc innych, sami się uczymy).

PIŚMIENNICTWO

- [1] Gross C., Kłysz S., Wojnowski W.: Problemy niskocyklowej trwałości zmęczeniowej wybranych stali i połączeń spawanych. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2004.
- [2] Inglis C.E.: Stresses in a plate due to the presence of cracks and sharp corners. Transactions of the Institute of Naval Architects. Vol. 55, 1913.
- [3] Kocańda S.: Zmęczeniowe pękanie metali. WNT, Warszawa 1985.
- [4] 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, Luxembourg 2008.
- [5] Kühn B.: Assessment of existing steel structures: Recommendations for estimation of the remaining fatigue life. „Procedia Engineering”, 66 (2013).
- [6] Neimitz A.: Mechanika pęknięcia. PWN, Warszawa 1998.
- [7] Pipinato A. (ed.): Innovative Bridge Design Handbook. Construction, Rehabilitation and Maintenance. Elsevier Inc., Amsterdam – Tokyo 2016.
- [8] SB-LRA. Guideline for Load and Resistance Assessment of Railway Bridges – Advice on the Use of Advanced Methods. Sustainable Bridges VI FP, Brussels 2007.
- [9] Wichtowski B.: Wytrzymałość zmęczeniowa spawanych złączy doczołowych w stalowych mostach kolejowych. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 572. Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2002.
- [10] Wichtowski B., Wichtowski M.: Wytrzymałość zmęczeniowa spoin czołowych z nakładkami według Eurokodu 3. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 3/2011.
- [11] Wichtowski B., Wichtowski M.: Analiza wyników badań zmęczeniowych elementów stalowych w świetle wymogów norm europejskich. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 5/2018.
- [12] Wichtowski B.: Trwałość zmęczeniowa najstarszych spawanych mostów w Polsce w świetle badań. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 5/2017.
- [13] Wichtowski B., Konecki K.: Rozkład naprężeń w złączu stalowym doczołowym z jednostronnymi nakładkami rombowymi określony metodą elementów skończonych. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 12/2020.
- [14] Wichtowski B., Konecki K.: Analiza obliczeniowa metodą elementów skończonych pęknięć zmęczeniowych w złączu stalowym doczołowym z jednostronnymi nakładkami rombowymi. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 3/2021.
- [15] 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.
- [16] Wyrzykowski J.W., Pleszakow E., Sieniawski J.: Odształcanie i pękanie metali. WNT, Warszawa 1999.

Szanowny Czytelniku!

**Zaprenumeruj
„Inżynierię i Budownictwo”
na 2021 rok**

Więcej informacji na stronie www.inzynieriaibudownictwo.pl

