

Stan techniczny pomostów niewspółpracujących a bezpieczeństwo i trwałość mostów stalowych

tekst, zdjęcia i rysunki: **prof. dr hab. inż. ADAM WYSOKOWSKI**, kierownik Zakładu Dróg, Mostów i Kolei, Uniwersytet Zielonogórski



Przez pojęcie trwałości budowli, w tym wypadku pomostów mostów stalowych jako ich elementu składowego, rozumie się jej zdolność do spełniania przez określony czas wymagań użytkowych w warunkach oddziaływania określonych czynników, bez wyraźnego obniżenia właściwości użytkowych lub wystąpienia nadmiernych kosztów użytkowych [1, 2, 3]. Trwałość jest funkcją właściwości użytkowych materiałów, projektu i wykonawstwa oraz oddziaływań na most, jak również sposobu jego użytkowania i poziomów utrzymania [4]. Trzeba zwrócić uwagę na fakt, że utrzymanie mostu wiąże się z określonymi nakładami finansowymi [5].

Trwałość mierzona jest okresem eksploatacji, podczas którego wybrana właściwość użytkowa lub zespół takich właściwości nie ulegnie degradacji poniżej założonego poziomu dopuszczalnego, którego miernikiem są stany graniczne nośności i stany graniczne użytkowania [6]. Stany te są bezpośrednio powiązane z poszczególnymi głównymi elementami konstrukcyjnymi mostów, których stan techniczny determinuje ogólną trwałość obiektu mostowego jako całości [7, 8, 9, 10, 11]. Jednym z takich niewrażliwych elementów strukturalnych obiektów mostowych są pomosty.

Pomosty w mostach stalowych stanowią ważny element całej konstrukcji. W ciągu wieków zmieniał się sposób ich konstruowania i zarazem funkcja [12]. W pierwszym okresie służyły jedynie do przeniesienia obciążeń na dźwigary główne i nie stanowiły elementu współpracującego w przenoszeniu obciążeń z przęsła na podpory. Z czasem przy uwzględnianiu przestrzennej pracy konstrukcji zaczęto włączać je do współpracy, oprócz zasadniczej funkcji przenoszenia obciążeń dodatkowo jako elementy współpracujące z dźwigarami głównymi.

Pomosty stanowią również istotny element wpływający na trwałość konstrukcji mostowych [13, 14]. Szczelność pomostów, podobnie jak izolacji, jest kluczowym czynnikiem mającym bezpośredni wpływ na trwałość obiektów mostowych. Z tego względu niejednokrotnie stan techniczny samego pomostu świadczy o ogólnym stanie technicznym całego obiektu mostowego i ma też bezpośredni wpływ na nośne elementy konstrukcyjne. Awaria pomostu jednoznacznie decyduje o możliwości spełniania przez most przypisanych mu funkcji użytkowych [15], tym samym bez trwałego pomostu nie możemy mówić o trwałym obiekcie mostowym jako całości.

Trwałość pomostów niewspółpracujących

Pomosty w konstrukcjach mostowych pełnią istotną funkcję, ich zadaniem jest przeniesienie obciążeń od ruchu na dźwigary główne, i to w sposób jak najbardziej równomierny. We współczesnych konstrukcjach mostowych pomosty odgrywają

również ważną rolę konstrukcyjną, współpracując z dźwigarami głównymi jako elementy ich konstrukcji. Takie rozwiązanie zwiększa sztywność budowanych w ten sposób mostów. Wykorzystuje się tym samym dużą sztywność pomostów w postaci płyt ortotropowych bądź też płyt żelbetowych w mostach zespolonych.

Nadal jednak w eksploatacji w ciągu dróg i linii kolejowych znajduje się wiele obiektów mostowych z pomostami tradycyjnymi, tzw. niewspółpracującymi z belkami głównymi. Z uwagi na ich zaawansowany wiek i sposób konstruowania występuje problem ich trwałości i związane z tym kwestie odpowiednich zabiegów utrzymaniowych, a także poziomu bezpieczeństwa takich obiektów mostowych.

Do typowych rodzajów pomostów niewspółpracujących stosowanych w tradycyjnych konstrukcjach mostowych należą:

- **kształtowniki Zoresa** (stalowe profile ułożone na podłużnicach lub bezpośrednio na dźwigarach głównych),
- **blachy cylindryczne** (z podłużnych blach w kształcie cylindrycznym, ułożonych na dźwigarach głównych lub podłużnicach),
- **blachy nieckowe** (z blach w rzucie z góry w kształcie kwadratu lub prostokąta, opartych na dźwigarach głównych i jednocześnie poprzecznicach),
- **płyty betonowe prefabrykowane**, oparte na głównych elementach konstrukcyjnych,
- **pomosty otwarte** z mostownicami w przypadku obiektów kolejowych.

Problemy z trwałością tego typu pomostów wiążą się z faktem, że przy ich wykonywaniu w dawnych latach pełna ich szczelność (z uwagi na czynniki atmosferyczne) nie była traktowana priorytetowo. Np. kształtowniki Zoresa bądź też blachy nieckowe czy w kształcie cylindrycznym wypełniane były najczęściej mineralnymi materiałami miejscowymi [16]. Zwracano uwagę jedynie na w miarę dobre zagęszczenie tej zasyпки, a stosowany chudy beton był o stosunkowo niskiej wytrzymałości. Nie wprowadzano specjalnych, szczelnych

warstw hydroizolacji. Rolą zasyпки było natomiast zapewnienie nośności, najczęściej pod warstwy dolne (podbudowę) kostki kamiennej, bądź tłucznia – w przypadku obiektów kolejowych. Sama zasyпка była traktowana jako wodoprzepuszczalna. Zasadnicze odwodnienie tak budowanych wówczas mostów miały zapewnić stosunkowo duże spadki zarówno poprzeczne, jak i podłużne oraz duże wyniesienia nawierzchni mostu. Z założenia część wody opadowej przenikała tym samym przez zasypkę i wydostawała się na zewnątrz przez istniejące szczeliny pomiędzy kształtownikami Zoresa. Przykład drogowego obiektu mostowego z zastosowaniem pomostu z kształtowników Zoresa przedstawiono na rycinie 1.



Ryc. 1. Przykład pomostu niewspółpracującego, wykonanego z kształtowników Zoresa, ułożonych bezpośrednio na stalowych dźwigarach głównych. Widoczne dodatkowe wykorzystanie kształtowników w celu mocowania balustrady (zdjęcie po lewej) oraz widok konstrukcji pomostu od spodu

W przypadku pomostów z blach nieckowych bądź też z blach cylindrycznych w celu odprowadzenia wody, która dostała się do warstw pomostu, stosowano specjalne otwory w najniższych punktach tych blach pomostu. Często zakańczano je również specjalnymi rurkami ze ściętymi na ukos końcówkami, co miało zapewnić kontrolowane skapywanie wody opadowej. Takie rozwiązania stosowano zarówno w mostach kolejowych, jak i drogowych. Według wiedzy autora, do stałych zadań pracowników służb utrzymania obiektów mostowych w poprzednim wieku należało regularne czyszczenie od dołu wspomnianych otworów spustowych w tego typu płytach pomostowych. Wykonywano te prace utrzymaniowe w celu udrożnienia odpływu wody opadowej, która mogłaby i często faktycznie zbierała się w elementach pomostu.

Trwałość korozyjna, która jest w pewnym stopniu widoczna do dzisiaj w tych jeszcze eksploatowanych konstrukcjach mostowych zarówno w ciągu linii kolejowych, jak i dróg kołowych (już głównie lokalnych, samorządowych), wynika zasadniczo z zastosowania do wykonania tych pomostów stali zgrzewnych. Stale te zawierają w swoim składzie zwiększoną ilość domieszek, w tym węgla, co przyczynia się do ich zwiększonej odporności na korozję, pomimo często widocznego braku zabezpieczeń antykorozyjnych [17]. Przykłady opisywanych typów pomostów z blach nieckowych i cylindrycznych w eksploatowanych obiektach mostowych przedstawia rycina 2.

W nieco późniejszym okresie jednocześnie z pomostami zbudowanymi z blach nieckowych zaczęto stosować płyty żelbetowe, niewspółpracujące z belkami głównymi. Podobne pomosty zdarzają się czasami również współcześnie, aczkolwiek nie zawsze ma to uzasadnienie ekonomiczne. Przykłady takich rozwiązań przedstawiono na rycinie 3.

W przypadku stalowych pręseł kolejowych stosowane były jedynie pomosty otwarte z mostownicami. Przykład takiego rozwiązania pokazano na rycinie 4.



Ryc. 2. Przykłady pomostów niewspółpracujących z blach – pomost wiaduktu kolejowego z blach nieckowych w czasie jego remontu (po lewej) oraz blach cylindrycznych wiaduktu na głowicy Dworca Głównego we Wrocławiu (po prawej)



Ryc. 3. Przykłady pomostów niewspółpracujących, wykonanych z płyt żelbetowych, ułożonych bezpośrednio na elementach konstrukcyjnych mostu stalowego: a) most drogowy przez Odrę w Ścinawie w ciągu DK36, b) kładka dla pieszych zlokalizowana na os. Gagarina w Radomiu

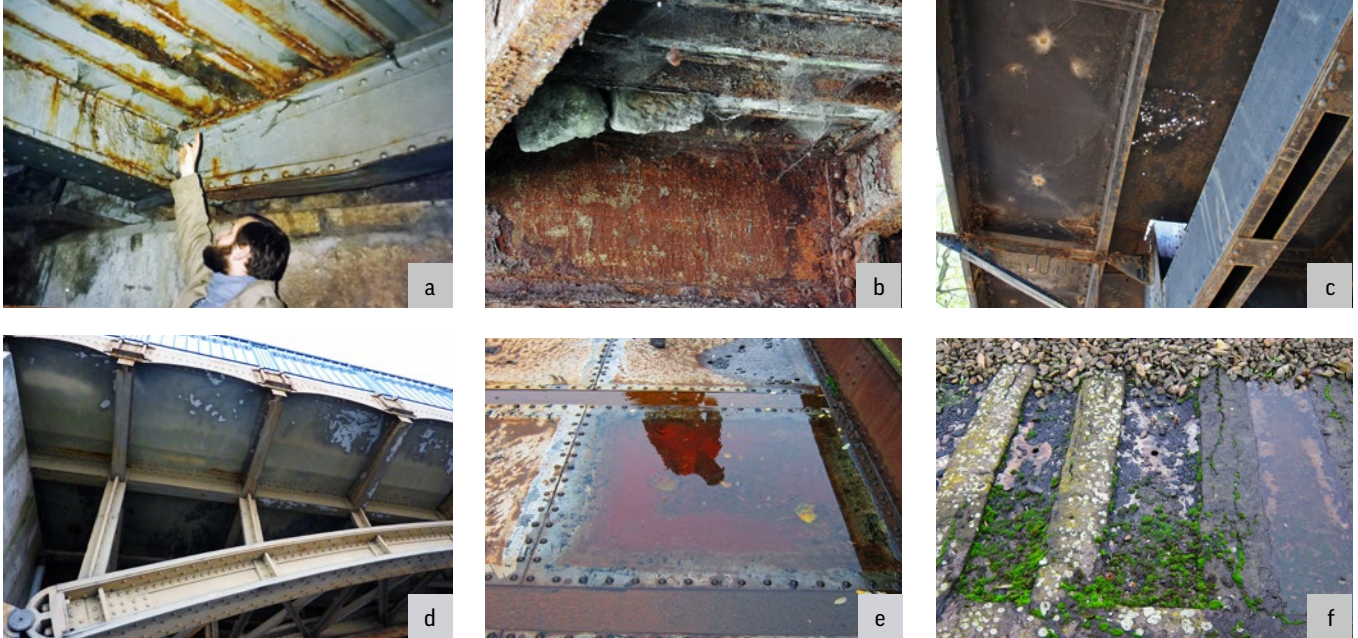


Ryc. 4. Przykład typowego pomostu otwartego mostu kolejowego z zastosowaniem mostownic opartych na dźwigarach blachownicowych. Widoczny nieograniczony wpływ warunków atmosferycznych na poszczególne elementy konstrukcyjne mostu (dźwigary główne, poprzecznice, stężenia itp.)

Stan techniczny po wielu dekadach eksploatacji stalowych elementów niewspółpracujących, odkrytych przy ich przebudowie [18, 19], pokazano na rycinie 5.

Jak wynika z dokumentacji fotograficznej dotyczącej przykładowo przedstawionych pomostów, stan techniczny tych pomostów nie jest odpowiedni. Dlatego też utrzymanie obiektów z pomostami niewspółpracującymi wymaga podjęcia właściwych działań w celu niedopuszczenia do ich dalszej degradacji.

Doświadczenia z przeglądów stalowych obiektów mostowych przeprowadzone na dużej grupie stały się głównym przyczynkiem do przygotowania niniejszego artykułu. Jest oczywiste, że obiekty z pomostami niewspółpracującymi, które są nadal w użytkowaniu, wymagają zwiększonych nakładów na ich utrzymanie, co z pewnością może zapewnić ich dalszą bezpieczną eksploatację, tym bardziej że wiele z tych obiektów ma charakter zabytkowy. Żle by się stało, gdyby z powodu złego stanu samych pomostów podejmowano decyzje o budowie nowych w ich miejsce.



Ryc. 5. Przykłady złego stanu technicznego pomostów niewspółpracujących: a) typowy pomost z belek typu Zoresa z widoczną degradacją kształtowników, b) praktycznie całkowita degradacja beleczek Zoresa na skutek korozji, c) perforacja pomostu z blach nieckowych, d) spód konstrukcji pomostu z blach nieckowych z widocznymi ubytkami zabezpieczenia antykorozyjnego i korozją w obrębie odwodnienia, e) pomost mostu kolejowego z blach nieckowych z zastoiskami wody opadowej, f) całkowita degradacja warstw izolacji oraz elementów konstrukcyjnych pomostu niewspółpracującego

Metody zwiększania trwałości konstrukcji mostów stalowych z pomostami niewspółpracującymi

Przy przebudowie obiektów posiadających starego typu pomosty (niewspółpracujące, w złym stanie technicznym) są one często zastępowane nowoczesnymi rozwiązaniami, które przedłużają żywotność konstrukcji tych obiektów. Według doświadczeń autora, najczęściej stosowane są dwa podejścia do tego typu przebudowy.

Sposób pierwszy polega na wykonaniu żelbetowej płyty zespalającej, współpracującej z istniejącymi elementami stalowymi pomostu. Zasadnicze prace budowlane polegają w takich przypadkach na usunięciu istniejącej nawierzchni ciężkiego typu oraz zasypki, co w dużym stopniu odciąża obiekt. Następnie określony zostaje aktualny stan techniczny elementów pod względem ewentualnych ubytków korozyjnych i wykonuje się dokładne oczyszczenie powierzchni stalowych, np. przez piaskowanie. W kolejnym etapie realizowana jest płyta żelbetowa o odpowiedniej jakości i wytrzymałości. Zdaniem autora, dużym błędem jest, gdy po oczyszczeniu elementów stalowych wykonywane są warstwy antykorozyjne z powłok malarskich (najczęściej jedynie powłok z warstw podkładowych), po czym kładzie się na nich beton. Taki sposób postępowania umożliwi niechybnie powstawanie i rozwój korozji szczelinowej. Ponadto powoduje to brak właściwej przyczepności betonu do stali (w tym przypadku bezpośrednio do powłok malarskich).

Po wypiękowaniu zastosowany beton o odpowiedniej jakości zespała się z oczyszczoną powierzchnią stalową, tworząc nośną konstrukcję hybrydową. Takie rozwiązanie stanowi odpowiednią, wyjątkowo trwałą ochronę antykorozyjną starożytnych elementów stalowych. Po takim wzmocnieniu konstrukcji w postaci dodatkowej, zespolonej płyty betonowej następuje wzrost nośności obiektu, ale również trwałości sa-

mych dźwigarów nośnych. Przykład zrealizowanego wzmocnienia obiektu z pomostem z kształtowników Zoresa w ciągu ulicy miejskiej, na podstawie projektu technicznego wykonanego pod kierunkiem autora, poprzedzonego ekspertyzą i odpowiednimi analizami obliczeniowymi, pokazano na rycinach 6 i 7.



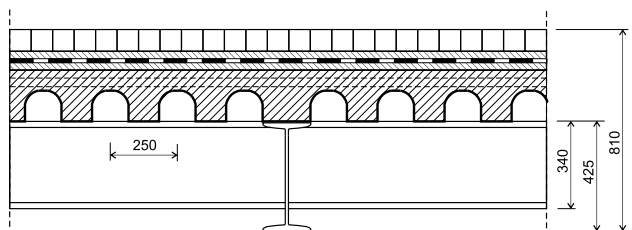
Ryc. 7. Widok prac mających na celu odpowiednie oczyszczenie powierzchni stalowych kształtowników Zoresa przed wykonaniem wzmocniającej płyty żelbetowej. Widoczny szczegół połączenia kapy chodnikowej z pomostem (po lewej) oraz widok zasadniczych prac przygotowawczych z użyciem metody strumieniowo-ściernej

Dodatkowo na rycinach 8 i 9 przedstawiono ogólny schemat wzmocnienia mostu oraz rozkład obciążeń na główne elementy konstrukcyjne pomostu. Obiekt ten jest z powodzeniem eksploatowany w dalszym ciągu po jego przebudowie – od ponad 30 lat służy mieszkańcom miasta (ryc. 10).

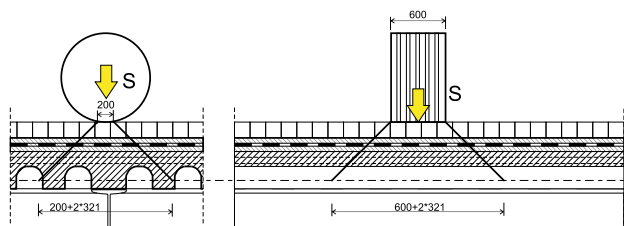
Drugi sposób polega na wykonaniu nowego pomostu na ruszcie istniejących dźwigarów głównych, oczywiście uprzednio demontowane są elementy wyeksploatowane pomostu niewspółpracującego. W takich rozwiązaniach projektuje się



Ryc. 6. Przykład mostu drogowego z pomostem niewspółpracującym z kształtowników Zoresa, dla którego opracowano projekt, a następnie wykonano wzmocnienie pomostu przy udziale autora artykułu: a) widok ogólny mostu przed remontem, b) wykonana odkrywka mająca na celu ocenę stanu technicznego kształtowników Zoresa, c) widok części pomostu w strefie kap chodnikowych wraz z uszkodzeniami korozyjnymi



Ryc. 8. Przykład idei wzmocnienia mostu z pomostem niewspółpracującym z belek typu Zoresa z zastosowaniem dodatkowej płyty żelbetowej



Ryc. 9. Idea współpracy wzmacniającej płyty żelbetowej przy przenoszeniu obciążeń od kół pojazdów na główne nośne elementy konstrukcyjne mostu drogowego



Ryc. 10. Widok ogólny mostu po ponad 30 latach eksploatacji od czasu jego remontu

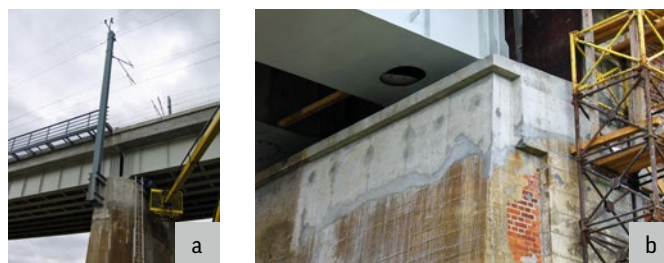
nowoczesne rodzaje pomostów współpracujących z dźwigarami głównymi. Do zalet tego typu rozwiązań należy uzyskanie trwałego pomostu, który rozkłada obciążenie użytkowe i usztywnia całą konstrukcję nośną. Odciąża się również stalowe dźwigary główne i po takiej przebudowie obiekty mogą być w dalszym ciągu eksploatowane. Ponadto ważne jest przy tym, że mogą one przenosić zwiększone obciążenia eksploatacyjne według aktualnych norm oraz uwzględniają losowość tych obciążeń [20].

Spektakularnym przykładem przebudowy może być znany, kratowy most drogowy przez Wisłę w Płocku. W latach 80. XX w. był on jedyną przeprawą przez Wisłę w tym rejonie. Wówczas to przy jego przebudowie zastosowano nowy, współpracujący pomost z dwoma nitowanymi dźwigarami kratowymi w postaci płyty ortotropowej. Obiekt jest z powodzeniem eksploatowany do dzisiaj, tym samym wykonana przebudowa przedłużyła trwałość istniejącego, ważnego dla potrzeb komunikacyjnych obiektu mostowego.

W przypadku mostów kolejowych dobrym przykładem może być obiekt znajdujący się w ciągu modernizowanej linii

magistralnej. W celu zwiększenia bezpieczeństwa użytkowania mostu i podniesienia jego nośności inwestor zdecydował się na przebudowę istniejącej konstrukcji wieloprzęsłowego mostu stalowego, polegającą na zamianie pomostu typu otwartego na pomost współpracujący z dźwigarami głównymi. Próbne obciążenia tak przebudowanego obiektu wykonane pod kierunkiem autora wykazały pełną skuteczność przeprowadzonej kompleksowej przebudowy obiektu na konstrukcję zespoloną, stalowo-betonową. Tak zrealizowana przebudowa z pewnością zapewni dalszą trwałość obiektowi mostowemu.

Rycina 11 dobrze ilustruje jeszcze jeden aspekt techniczny wykonanej przebudowy (zamiany pomostu otwartego – niewspółpracującego, na pomost żelbetowy – współpracujący): nastąpiło znaczne zmniejszenie wysokości konstrukcyjnej przęseł mostu (na fotografii widoczna jest konieczność nadbudowy korpusów podpór w celu zachowania niwelety obiektu). Ma to niebagatelne znaczenie przy rewitalizacji i przebudowie mostów i wiaduktów kolejowych w obrębie infrastruktury miejskiej. Pozwala to na uzyskanie tak potrzebnej skrajni pod wiaduktami kolejowymi w aglomeracjach miejskich.



Ryc. 11. Przykład przebudowy mostu kolejowego: a) zamiana pomostu otwartego, niewspółpracującego, na żelbetowy pomost współpracujący, b) znaczne zmniejszenie wysokości konstrukcyjnej przęseł mostu w rezultacie przebudowy

Ze względu na specyfikę obiektów mostowych należy dodatkowo poszukiwać optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych w zakresie zabezpieczenia płyt pomostów przed negatywnym wpływem oddziaływań atmosferycznych, zwłaszcza na mosty stalowe. Dotyczy to zarówno samych grubości warstw hydroizolacji, jak i rodzaju materiałów hydroizolacyjnych. W przypadku tak istotnego zagadnienia, mającego niebagatelny wpływ na ogólną trwałość obiektów mostowych, rodzaj zastosowanych materiałów powinien odgrywać kluczową rolę. Najnowsze osiągnięcia w dziedzinie inżynierii materiałów wysoko modyfikowanych powinny być coraz częściej wdrażane w praktyce inżynierskiej. Zdaniem autora, biorąc pod uwagę własne doświadczenie w zakresie identyfikacji uszkodzeń obiektów mostowych spowodowanych złym stanem hydroizolacji, materiały tradycyjne w postaci m.in. tradycyjnych pap powinny być sukcesywnie zastępowane przez materiały polimerowe i wysoko modyfikowane.

Podsumowanie

Z uwagi na dużą liczbę stalowych obiektów mostowych wykonanych przed laty o typowej na owe czasy konstrukcji z pomostami niewspółpracującymi, a znajdujących się nadal w eksploatacji, wskazane jest ich odpowiednie utrzymanie bądź przebudowa. Ważne jest przy tym, co należy podkreślić, że stanowią one istotne ogniwo sprawności naszej infrastruktury komunikacyjnej (w przypadku tego typu

pomostów szczególnie w ciągach dróg lokalnych lub też linii kolejowych).

Doświadczenia autora z przeglądów takich konstrukcji wskazują, że po latach eksploatacji ich stalowe pomosty znajdują się często w złym, a nawet bardzo złym stanie technicznym. Spowodowane jest to (jak już wspomniano w artykule) nieodpowiednim stanem hydroizolacji albo w ogóle jej brakiem, co powoduje wzmożoną korozję. Przyspiesza ją gromadzenie się wilgoci i oddziaływanie chlorków pochodzących ze środków odladzających przy jednoczesnym braku przewietrzania. Dodatkowo większość tego typu obiektów położona jest nad ciekami wodnymi, gdzie problemy szkodliwości wilgoci są sprawą oczywistą. Ponadto rzadko wykonuje się nowe zabezpieczenia antykorozyjne stalowych elementów pomostów od spodu konstrukcji, a wcześniej wykonane, jak uczy doświadczenie, znajdują się najczęściej w stanie szczątkowym. Taki stan prowadzi do dalszej destrukcji elementów pomostów, co obniża nośność konstrukcji i zagraża bezpieczeństwu użytkowania.

Opisywaną sytuację pogarsza fakt, że wykonywane są nowe warstwy nawierzchni jezdni na takich mostach (warto wspomnieć, że są to obiekty najczęściej o niewielkich długościach) przy okazji rewitalizacji ciągów drogowych. Bez dokładnego przeglądu pomostu od spodu i jego właściwej diagnostyki, zgodnie z obowiązującymi przepisami [21, 22] nie można przyjąć, że obiekt jest w pełni sprawy pod względem technicznym i przy tym zapewnia komfort użytkowania.

Podjęcie właściwych działań i, co ważne, w odpowiednim czasie może znacznie przedłużyć okres trwałości obiektów mostowych [23] ze stalowymi pomostami niewspółpracującymi. Zdaniem autora, wykonanie nowego pomostu w ramach przebudowy poprawi trwałość samych dźwigarów głównych, ale również często umożliwi zwiększenie nośności obiektu. Podniesione będą też jego parametry użytkowe, np. przez poszerzenie jezdni lub dobudowę chodników (ewentualnie ścieżki rowerowej). Wnioski te bazują na praktycznych doświadczeniach autora i dotyczą obiektów, które po odpowiednich ekspertyzach i wykonanych projektach technicznych zakończyły się skutecznym wdrożeniem w rzeczywistych konstrukcjach mostowych, do dzisiaj z powodzeniem eksploatowanych. Dotyczy to, co istotne przy dzisiejszej intensywnej rewitalizacji naszej infrastruktury kolejowej, również mostów i wiaduktów kolejowych. Przebudowa pomostów otwartych na pomosty typu zamkniętego, współpracujących z dźwigarami głównymi, zwiększa trwałość tych obiektów, a jednocześnie zwiększa nośność tak przebudowanych konstrukcji, zapewniając wyższy komfort ich użytkowania.

Literatura

- [1] *Durability and the Construction Products Directive (89/106/EEC)*.
- [2] Ściślewski Z.: *Trwałość budowli*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 1995.
- [3] Nowogońska B.: *Diagnoza w procesie starzenia budynków mieszkalnych wykonanych w technologii tradycyjnej*. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN. Studia z Zakresu Inżynierii, nr 96. Warszawa 2017.

- [4] Rymśa J.: *Trwałość i model degradacji obiektu mostowego*. „Inżynieria i Budownictwo” 1995, nr 10.
- [5] Salamak M.: *BIM w cyklu życia mostów*. PWN. Warszawa 2021.
- [6] *Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie*. Dz.U. 2000, nr 63, poz. 735.
- [7] Bęben D., Mańko Z.: *Typowe uszkodzenia obiektów mostowych*. „Polskie Drogi” 2005, nr 9, s. 38–43.
- [8] Bień J.: *Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych*. WKŁ. Warszawa 2010.
- [9] Brandt A.M.: *Trwałość obiektów inżynierskich a zrównoważony rozwój*. „Drogi Lądowe, Powietrzne, Wodne” 2008, nr 10, s. 93–107.
- [10] Czudek H., Wysokowski A.: *Trwałość mostów drogowych*. WKŁ. Warszawa 2005.
- [11] Madaj A., Wołowicki W.: *Budowa i utrzymanie mostów*. WKŁ. Warszawa 2007.
- [12] Wołowicki W., Ratajczak G.: *Trwałość i przydatność użytkowa konstrukcji mostowych*. „Inżynieria i Budownictwo” 1990, nr 4–5, s. 167–169.
- [13] Bień J.: *Modelowanie obiektów mostowych w procesie ich eksploatacji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2002.
- [14] Czudek H.: *Podstawy mostownictwa metalowego*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1997.
- [15] Kamiński T., Hildebrand M.: *Wczesne uszkodzenia obiektów mostowych*. „Materiały Budowlane” 2015, nr 7, s. 64–66.
- [16] Rymśa J.: *Nośność eksploatacyjna pomostów wykonanych z kształtowników Zoresa*. „Inżynieria i Budownictwo” 1997, nr 6, s. 302–304.
- [17] Wysokowski A.: *Research on changes in properties of steel from the old road bridge*. „Journal of Constructional Steel Research” 2018, Vol. 147, pp. 360–366; <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.02.014>.
- [18] Rymśa J., Wysokowski A. et al.: *Ocena nośności eksploatacyjnej obiektów mostowych na sieci dróg krajowych w celu poprawy przejeźdźności ciągów komunikacyjnych. Etap I*. IBDiM–TT2-361-4SP/15/94/TM-231. Warszawa 1994.
- [19] Wysokowski A.: *Trwałość mostów stalowych w funkcji zjawisk zmęczeniowych i korozyjnych*. Studia i Materiały, nr 53. IBDiM. Warszawa 2001.
- [20] Wysokowski A.: *Impact of Traffic Load Randomness on Fatigue of Steel Bridges*. „The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering” 2020, Vol. 15, No. 5, pp. 21–44; DOI: 10.7250/bjrbe.2020-15.505.
- [21] Biliszczuk J., Mistewicz M.: *Wytyczne oceny stanu technicznego drogowych obiektów inżynierskich WR-M-81. Wzorce i standardy rekomendowane przez Ministra właściwego ds. transportu*. Ministerstwo Infrastruktury. Warszawa 2021.
- [22] *Instrukcje przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich*. Załącznik do Zarządzenia nr 35 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 28 września 2020. Warszawa 2020.
- [23] Furtak K.: *Wybrane refleksje na temat rozwoju nauki i techniki – wczoraj, dziś i jutro*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2019.

