O możliwości bezpiecznego użytkowania zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych

On the safe use of historic railway bridges and viaducts

dr hab. inż. Janusz Rymsza, prof. IBDiM (ORCID: 0000-0002-0855-7036),
dr hab. inż. Barbara Rymsza, prof. IBDiM (ORCID: 0000-0002-0504-2360), Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie

DOI 10.5604/01.3001.0053.8492

Streszczenie: W artykule zaproponowano wartości obciążeń i oddziaływań, które jako pochodne pionowego obciążenia eksploatacyjnego mogłyby być stosowane w odniesieniu do istniejących mostów i wiaduktów kolejowych, przede wszystkim zabytkowych. Zaproponowano również wartości oddziaływań, które są niezależne od pionowego obciążenia, a powinny być brane pod uwagę przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania istniejących obiektów kolejowych. Zaproponowano wartości współczynników obliczeniowych w odniesieniu do poszczególnych obciążeń i oddziaływań. Podstawę techniczną zaproponowanych zasad stanowi przyjęcie obciążenia pionowego według normy PN-EN 15528 i pozostałych wymagań według normatywów niemieckich dotyczących istniejących kolejowych konstrukcji mostowych. Artykuł dotyczy zasad sprawdzania bezpieczeństwa kolejowych mostów i wiaduktów mających charakter obiektów zabytkowych, a takich obiektów w Polsce jest ponad 900. Niestety coraz częściej są zastępowane obiektami nowymi, choć mogą być w dalszym ciągu użytkowane.
Słowa kluczowe: kolej, zabytki techniki, most kolejowy, wiadukt kolejowy, nośność.

Abstract: The article proposes the values of loads and actions which, as derivatives of the vertical service load, could be applied to the existing bridges and railway viaducts, especially the historic ones. Action values that are independent of the vertical load have also been proposed, and should be taken into account when checking the safe use of existing railway facilities. Values of calculation coefficients were proposed in relation to individual loads and impacts. The technical basis for the proposed rules is the adoption of the vertical load according to the PN-EN 15528 standard and other requirements according to German standards for existing railway bridge structures. The article concerns the rules for checking the safety of railway bridges and viaducts that are historic buildings, and there are over 900 such buildings in Poland. Unfortunately, they are increasingly being replaced with new ones, although they can still be used.
Keywords: railway, technical monuments, railway bridge, railway viaduct, carrying capacity.

1. Wprowadzenie

1.1. Przepisy prawne dotyczące mostów kolejowych

Zgodnie z art. 5 ust. 1 ustawy Prawo budowlane [1]: „obiekt budowlany (…) należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając:

1) spełnienie wymagań podstawowych dotyczących (…):
a) nośności i stateczności konstrukcji,
b) bezpieczeństwa pożarowego,
c) higieny, zdrowia i środowiska,
d) bezpieczeństwa użytkowania i dostępności obiektów,
e) ochrony przed hałasem,
f) oszczędności energii i izolacyjności cieplnej,
g) zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych; (…)
3) możliwość utrzymania właściwego stanu technicznego; (…)
7) ochronę obiektów wpisanych do rejestru zabytków oraz obiektów objętych ochroną konserwatorską".

Zatem zgodnie z prawem każdy obiekt budowlany, w tym wpisany do rejestru zabytków, w przewidywanym okresie użytkowania powinien zapewniać przede wszystkim bezpieczeństwo konstrukcji i użytkowania poprzez utrzymanie właściwego stanu technicznego. W artykule wprowadzono podział obiektów na dwa rodzaje: istniejące (obecnie lub dawniej użytkowane) i projektowane (nowe), a mosty i wiadukty kolejowe nazwano dalej „mostami kolejowymi".

W odniesieniu do mostów istniejących, zgodnie z §14a rozporządzenia [2], przy sprawdzaniu wytrzymałości (nośności) budowli kolejowych stosuje się modele obciążeń eksploatacyjnych zgodnie z normą PN-EN 15528 [3]. Natomiast do mostów projektowanych, zgodnie z §14b ww. rozporządzenia [2] „modele obciążeń projektowych stosuje się zgodnie z normą PN-EN 1991" [4]. Ponadto w pkt 5.1.1 normy PN-EN 15528 [3] podano, że „Modele obciążenia określone w Załączniku A dotyczą klasyfikacji linii i nie powinny być wykorzystywane do projektowania nowych konstrukcji.

Do projektowania nowych konstrukcji należy stosować obciążenie ruchem kolejowym podane w EN 1991".
Wydawałoby się, że przepisy prawne są jednoznaczne – biura projektowe w odniesieniu do mostów projektowanych powinny stosować obciążenia projektowe według normy PN-EN 1991-2 [4], a do mostów istniejących – obciążenia eksploatacyjne według normy PN-EN 15528 [3]. Co oczywiste, obciążenie eksploatacyjne jest mniejsze niż obciążenie projektowe – z zasady mosty istniejące projektowano na mniejsze obciążenie projektowe niż obecnie obowiązujące.
Jednak ww. przepisy prawne nie tworzą jednoznacznych wymagań technicznych. W normie PN-EN 15528 [3] podano – co prawda – modele obciążeń eksploatacyjnych, ale dotyczą one wyłącznie obciążenia pionowego. W normie tej nie zawarto np. zasad obliczania innych oddziaływań, takich jak: siły hamowania i przyspieszenia, uderzenie boczne i siła odśrodkowa, które są zależne od obciążenia pionowego. Natomiast w normie PN-EN 1991-2 [4] podano zarówno modele obciążeń projektowych dotyczących obciążenia pionowego, jak i wszystkich pozostałych oddziaływań. Ponadto w normie z 1985 r. [5] dotyczącej obciążeń projektowych w pkt 1.2. dotyczącym zakresu stosowania normy stwierdzono: „Normę należy stosować do projektowania nowych i sprawdzania nośności istniejących obiektów mostowych". Niniejszy zapis wskazuje, że wymagania zawarte w normie dotyczącej projektowania mogą być stosowane również do mostów istniejących.
Powyższy stan prawny można zinterpretować następująco: przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania istniejących mostów kolejowych obciążenie pionowe należy przyjąć zgodnie z normą PN-EN 15528, a pozostałe obciążenia i oddziaływania nie podane w ww. normie (np. siły hamowania i przyspieszenia) – pominąć. Tyle, że ta interpretacja jest technicznie nieuzasadniona i połączona z ignorancją ogólną (nietechniczną).
Ale powyższy stan prawny można zinterpretować jeszcze inaczej: przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania istniejących mostów kolejowych obciążenie pionowe taborem kolejowym należy przyjąć zgodnie z normą PN-EN 15528 [3], a wszystkie pozostałe obciążenia i oddziaływania z normą PN-EN 1991-2 [4]. Tyle, że ta interpretacja jest zarówno technicznie, jak i ekonomicznie nieuzasadniona: przyjmowane obciążenia i oddziaływania projektowe są zdecydowanie zawyżone, gdyż są wywoływane przez obciążenia projektowe według normy PN-EN 1991-2 [4], a nie znacznie mniejsze obciążenia eksploatacyjne według normy PN-EN 15528 [3]. Z uwagi na to, że w Polsce nie ma specjalnej procedury postępowania z zabytkowymi mostami kolejowymi, możliwość dalszego bezpiecznego ich użytkowania jest zazwyczaj określana na podstawie procedury podanej w normie dotyczącej projektowania nowych mostów – PN-EN 1991-2 [4].
W niektórych krajach wartości obciążeń i oddziaływań dotyczące projektowania nowych mostów kolejowych są różne od obciążeń i oddziaływań dotyczących mostów istniejących. Na przykład w Niemczech wymagania dotyczące istniejących mostów kolejowych znajdują się w dwóch normatywach:

- Richtlinie 805.0102 [6], Dyrektywa Kolei Niemieckich, zwana dalej „dyrektywą RiL 805";
- DS 804 Standard [7], zwanym dalej „normatywem DS 804".

Szczególnie istotnym dokumentem jest dyrektywa RiL 805 [6], która dotyczy bezpieczeństwa konstrukcyjnego istniejących mostów kolejowych. Dokument zawiera podstawy ponownego przeliczenia, założenia dotyczące obciążeń i wartości częściowych współczynników obliczeniowych (współczynników bezpieczeństwa).

1.2. Obciążenia i oddziaływania mostów kolejowych

Przy projektowaniu mostów należy brać pod uwagę obciążenia, które będą działać na obiekty w przewidywanym okresie użytkowania [1]. Na podstawie tabeli 2.1 w normie PN-EN 1990 [8] przyjmuje się, że jest to okres co najmniej 100 lat. Zgodnie z definicjami podanymi w tej normie [8] wszelkie wpływy, które mogą wywołać w konstrukcji obiektu siły wewnętrzne, odkształcenia lub przemieszczenia, w niniejszym artykule nazywano „oddziaływaniami", natomiast można przyjąć, że „obciążenia" są rodzajem oddziaływań grawitacyjnych. Zgodnie z pkt 4.1.1(1) w normie PN-EN 1990 [8] oddziaływania można podzielić na stałe i zmienne.
Oddziaływaniami stałymi jest ciężar własny konstrukcji i ciężar elementów wyposażenia. Elementami wyposażenia mostu kolejowego są w szczególności nawierzchnia, pomost i balustrada.
Głównym oddziaływaniem zmiennym jest obciążenie pionowe taborem kolejowym. Jest ono zwiększane ze względu na mimośród (niesymetryczne wzajemne usytuowanie toru i dźwigarów) oraz efekty dynamiczne. Obciążenie pionowe taborem kolejowym wywołuje inne oddziaływania, takie jak: siły hamowania i przyspieszania pociągów (siły poziome wzdłuż toru) oraz uderzenia boczne (siły poziome w poprzek toru i siły pionowe). Uderzenia boczne wynikają z geometrycznych niedoskonałości toru. Przyjmuje się je jako siłę poziomą prostopadłą do osi toru, przyłożoną do główki szyny, powodującą również obciążenie dźwigarów parą sił o przeciwnych zwrotach.
Jeżeli na moście kolejowym tor jest w łuku poziomym, powstają siły odśrodkowe uzależnione m.in. od obciążenia pionowego taborem i promienia łuku. Siły te powodują powstanie sił poziomych działających w poprzek toru i sił pionowych. Wypadkowa siła pozioma jest przykładana do górnego pasa dźwigara jako siła pozioma i powoduje obciążenie pionowe dźwigarów parą sił o przeciwnych zwrotach. Ponadto na konstrukcję mostu i tabor oddziałuje wiatr. Wypadkowa parcia wiatru jest przykładana w połowie wysokości taboru (2,0 m nad główką szyny) i jest równomiernie rozłożona na długości mostu. To parcie powoduje powstanie

oddziaływania poziomego i obciążenia pionowego dźwigarów parą sił o przeciwnych zwrotach. Na konstrukcję mostu mogą mieć wpływ również zmiany temperatury. Ponadto należy uwzględnić pionowe obciążenie chodników służbowych. Oddziaływania wiatru i temperatury oraz obciążenie chodników służbowych są niezależne od głównego oddziaływania – obciążenia pionowego taborem kolejowym.
Wszystkie ww. oddziaływania powinny być stosowane zarówno przy projektowaniu nowego mostu, jak i przy określaniu bezpiecznego użytkowania istniejącego mostu zabytkowego. Natomiast wartości oddziaływań dotyczące nowego mostu, który będzie eksploatowany co najmniej 100 lat i już użytkowanego np. przez 100 lat mostu zabytkowego, powinny być zasadniczo różne.

2. Obciążenia stałe

2.1. Ciężar własny konstrukcji

Przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania mostów zabytkowych wartość charakterystyczną ciężaru własnego konstrukcji należy przyjmować na podstawie dokładnej inwentaryzacji konstrukcji, zarówno elementów konstrukcji, jak i ich połączeń. Ciężar blach i łączników powinien być obliczony na podstawie inwentaryzacji, a nie szacowany (w takiej sytuacji nie należy stosować współczynników zwiększających ze względu zarówno na blachy węzłowe, jak i łączniki). Wartość charakterystyczną ciężaru własnego konstrukcji stalowej można zwiększać, stosując współczynnik obliczeniowy o wartości 1,15, zgodnie z tabelą 1 w dyrektywie RiL 805 [6].
W takiej sytuacji nie należy zwiększać charakterystycznego ciężaru własnego konstrukcji o 2,7 kN/m^3 (zgodnie z tabelą 2 w normie [5]) ze względu na nity i o 5% ze względu na blachy węzłowe. Ponadto należy mieć na uwadze, że wartość współczynnika obliczeniowego równa 1,15 jest zgodna z normą PN-EN 1990 [8] (według równania 6.10b w tej normie jest to wartość równa iloczynowi współczynnika 1,35 i współczynnika redukcji $\xi = 0{,}85$).

2.2. Ciężar elementów wyposażenia

Przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania mostów zabytkowych wartość charakterystyczną ciężaru elementów wyposażenia należy przyjmować na podstawie dokładnej inwentaryzacji stanu istniejącego, a zmiana tego stanu (zazwyczaj zwiększenie ciężaru) powinna być określona przez Inwestora. Co oczywiste, w trakcie eksploatacji może zaistnieć konieczność wymiany nawierzchni (np. z S 49 na S 60), podkładów (np. z drewnianych na strunobetonowe), przebudowy chodników lub umieszczenia urządzeń SRK. Jednak zwiększenie ciężaru wyposażenia powinno być obliczane, a nie przyjmowane. Wartość charakterystyczną ciężaru elementów wyposażenia nawierzchni otwartej (bez podsypki, na mostownicach – takiej, jaka zazwyczaj występuje na zabytkowych liniach kolejowych) można zwiększać, stosując współczynnik obliczeniowy o wartości 1,20, zgodnie z tabelą 1 w dyrektywie RiL 805 [6].
Ponadto należy mieć na uwadze, że wartość współczynnika obliczeniowego 1,20 jest większa niż wartość 1,15, która jest zgodna z wymaganiami normy PN-EN 1990 [8] (według równania 6.10b w tej normie jest to wartość równa iloczynowi współczynnika 1,35 i współczynnika redukcji $\xi = 0{,}85$).

3. Główne oddziaływanie zmienne

3.1. Obciążenie pionowe taborem kolejowym

Przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania mostów zabytkowych wartości charakterystyczne obciążenia pionowego taborem kolejowym należy przyjmować według normy PN-EN 15528 [3] lub biorąc pod uwagę rzeczywiste pojazdy wskazane przez Inwestora. Przy czym, na danej linii kolejowej Inwestor może przewidzieć różne rodzaje obciążenia eksploatacyjnego, np. klasy B2 według normy PN-EN 15528 [3] lub np. rzeczywistymi pojazdami typu PESA.
Wartości charakterystyczne obciążenia pionowego taborem kolejowym można zwiększać, stosując współczynnik obliczeniowy o wartości 1,20, zgodnie z tabelą 1 w dyrektywie RiL 805 [6] (taką wartość współczynnika można stosować, jeżeli jest określony tabor kolejowy dopuszczony do ruchu na danej linii oraz tor jest bez podsypki).
Należy mieć na uwadze, że model obciążenia projektowego LM71 według normy PN-EN 1991-2 [4] powoduje powstanie sił wewnętrznych w konstrukcji o wartościach zdecydowanie większych niż model obciążenia eksploatacyjnego klasy B2 według normy PN-EN 15528 [3]. Na przykład w wolnopodpartej konstrukcji belkowej o rozpiętości przęsła 30 m charakterystyczne obciążenie projektowe LM71 wywołuje 1,7 razy większe siły poprzeczne niż obciążenie eksploatacyjne klasy B2. Przy porównaniu obciążenia projektowego z obciążeniem pojazdami typu PESA różnica jest jeszcze większa. Przy rozpiętości przęsła jw. charakterystyczne obciążenie projektowe LM71 wywołuje 3,6 krotnie większe siły poprzeczne niż obciążenie rzeczywistymi pojazdami typu PESA SA 135. Tak więc:

- po pierwsze: zazwyczaj obciążenie pionowe rzeczywistymi pojazdami wywołuje mniejsze siły wewnętrzne niż obciążenie eksploatacyjne według normy PN-EN 15528 [3], a to z kolei – mniejsze siły wewnętrzne niż obciążenie projektowe według normy PN-EN 1991-2 [4],
- po drugie: siły hamowania i przyspieszenia pociągów, uderzenia boczne i siły odśrodkowe, są proporcjonalne do obciążenia pionowego taborem kolejowym i przy zmniejszaniu obciążenia pionowego, powinny być proporcjonalnie zmniejszone.

3.2. Przeciążenie pionowe wynikające z niesymetrycznego usytuowania osi toru i dźwigarów

Ze względu na niesymetryczne wzajemne usytuowanie w przekroju poprzecznym osi toru i dźwigarów przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania mostów zabytkowych

należy przyjmować mimośród pomierzony, a nie hipotetyczny (normowy). Należy pomierzyć mimośrody rzeczywiste na długości mostu, w rozstawie co drugą mostownicę, obliczyć średni mimośród w odniesieniu do każdego przęsła, jako średnią arytmetyczną z pomiarów i na tej podstawie obliczyć współczynnik zwiększający lub zmniejszający obciążenie pionowe.
Należy mieć na uwadze, że przyjmowanie mimośrodu hipotetycznego (o wartości zgodnej z pkt 6.3.5 normy PN-EN 1991-2 [4]) przy projektowaniu nowego mostu jest poprawne. W moście, który istnieje, mimośród należy zmierzyć. Natomiast dodawanie mimośrodu hipotetycznego do pomierzonego jest technicznie nieuzasadnione.

3.3. Zwiększenie obciążenia pionowego wynikające z jego dynamiki (współczynnik dynamiczny)

Przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania mostów zabytkowych wartości współczynników dynamicznych należy przyjmować według zasad podanych w załączniku C do normy PN-EN 1991-2 [4], które są takie, jak podane w pkt 2(5) dyrektywy RiL 805 [6]. Przy obliczaniu współczynnika należy przyjmować rzeczywistą długość elementów konstrukcyjnych. Wartość współczynnika dynamicznego zależy od sposobu utrzymania toru – inwestor powinien decydować, czy utrzymanie jest staranne czy standardowe (przyjmuje się Φ_2 przy starannym utrzymaniu, a Φ_3 przy standardowym). Co oczywiste, staranne utrzymanie toru pozwoli na przyjęcie współczynnika dynamicznego o mniejszej wartości.
Rozpatrując kombinację oddziaływań, obciążenie pionowe należy zwiększyć o współczynnik dynamiczny, zależny od rozpiętości teoretycznej dźwigarów głównych (a nie innych elementów konstrukcji, np. poprzecznic czy podłużnic). Współczynnik dynamiczny należy stosować do zwiększania wartości obciążenia pionowego taborem kolejowym oraz składowej pionowej: uderzenia bocznego, siły odśrodkowej i oddziaływania wiatru.

4. Oddziaływania zależne od obciążenia pionowego taborem kolejowym

4.1. Oddziaływanie sił hamowania i przyspieszenia pociągów

Przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania mostów zabytkowych wartości charakterystyczne sił hamowania i przyspieszenia należy przyjmować na podstawie niemieckich normatywów albo według rozwiązania przyjmowanego przez BPK Mosty [10].
Zgodnie z pkt 3(3) dyrektywy RiL 805 [6] siłę przyspieszenia na odcinkach niezelektryfikowanych należy obliczać następująco: $20 \times L \times \xi \le 600$ [kN]. Wartość współczynnika ξ zależy od długości obciążenia (rozpiętości przęsła swobodnie podpartego) L oraz ciągłości szyn. Wartości współczynników ξ podano w tabeli 12 w normatywie DS 804 [7]. Na przykład przy ciągłym układzie szyn i $L \le 60$ m współczynnik $\xi = 0{,}5$.
Zgodnie z pkt 73 normatywu DS 804 [7] siły hamowania należy obliczać według ww. wzoru, a przy obliczaniu siły przyspieszenia długość obciążenia należy ograniczyć do $L = 30$ m.
Wartości sił hamowania i przyspieszenia pociągów można zwiększać stosując współczynnik obliczeniowy o wartości 1,10, zgodnie z tabelą 1 w dyrektywie RiL 805 [6].
W [10] przyjęto, że wartość sił hamowania i przyspieszenia jest proporcjonalna do obciążenia pionowego i jest obliczana według wzoru (1):

$$s = q_{LM71} \cdot \frac{p \cdot g}{q_{vk}} \cdot L_{a,b} \le S_{max} \qquad (1)$$

gdzie:
s – wartość siły hamowania lub przyspieszenia proporcjonalna do obciążenia pionowego według normy PN-EN 15528 [3] lub taboru rzeczywistego dopuszczonego na danej linii [kN],
q_{LM71} – nominalna wartość obciążenia modelu LM71 według normy PN-EN 1991-2 [kN/m],
p – masa na jednostkę długości wagonu referencyjnego według normy PN-EN 15528 lub taboru rzeczywistego dopuszczonego na danej linii [t/m],
g – przyspieszenie ziemskie 9,81 [m/s^2],
q_{vk} – obciążenie równomiernie rozłożone właściwe dla modelu LM71 według normy PN-EN 1991-2, o wartości 80 kN/m,
$L_{a,b}$ – długość linii wpływu [m],
S_{max} – graniczna wartość siły: 6000 kN przy obliczaniu hamowania i 1000 kN przyspieszenia.
Analizując siły hamowania i przyspieszenia, do obliczeń należy wziąć pod uwagę siły o większej wartości. Ponadto ciągłość szyn powoduje przekazanie części sił hamowania lub przyspieszenia poza obiekt, tym większą, im jest on krótszy.
Należy mieć na uwadze, że jeżeli zostaną przyjęte do obliczeń charakterystyczne siły przyspieszenia wg PN-EN 1991-2 [4], to np. w wolnopodpartej konstrukcji o rozpiętości 30 m będą one 3,3 krotnie większe niż obliczone na podstawie niemieckich normatywów.

4.2. Oddziaływanie uderzeń bocznych

Przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania mostów zabytkowych wartość charakterystyczną uderzenia bocznego należy przyjmować równą 1/3 maksymalnego nacisku osi, ale nie mniejszą niż 60 kN. Wartość charakterystyczną uderzenia bocznego można zwiększać stosując współczynnik obliczeniowy o wartości 1,10, zgodnie z tabelą 1 w dyrektywie RiL 805 [6].
W dyrektywie RiL 805 [6] siła uderzenia jest niezależna od nacisku osi. Przy prędkości większej niż 25 km/h wartość uderzenia jest stała i wynosi 60 kN. Jeżeli maksymalny nacisk osi wynosi 180 kN, np. w klasie obciążenia B2 według normy PN-EN 15528 [3], to w tym konkretnym przypadku siła uderzenia jest równa 1/3 maksymalnego nacisku osi. Tę zależność można potraktować jako zasadę określającą stosunek wartości uderzenia bocznego do nacisku osi. Należy

mieć na uwadze, że uderzenie boczne według pkt 6.5.2 normy PN-EN 1991-2 [4] ma wartość charakterystyczną prawie 1,7 razy większą niż podana w dyrektywie RiL 805 [6] (100:60 = 1,67).

4.3. Oddziaływanie sił odśrodkowych

Przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania mostów zabytkowych wartość charakterystyczną siły odśrodkowej należy przyjmować na podstawie obciążenia pionowego wg normy PN-EN 15528 [3] lub biorąc pod uwagę rzeczywiste pojazdy wskazane przez Inwestora. Siły należy obliczać według wzorów podanych w pkt 6.5.1 normy PN-EN 1991-2 [4]. Według pkt 55 normatywu DS 804 [7] należy przyjąć, że wypadkowa siły odśrodkowej działa na wysokości 1,80 m od główki szyny. Wartości charakterystyczne siły odśrodkowej można zwiększać stosując współczynnik obliczeniowy o wartości 1,20, zgodnie z tabelą 1 w dyrektywie RiL 805 [6]. Należy także sprawdzić, czy na części, czy na całym moście tor jest w łuku i tylko w odniesieniu do tej części obiektu w łuku obliczyć siłę odśrodkową.

Należy mieć na uwadze, że charakterystyczne obciążenie według normy PN-EN 1991-2 [4], np. w konstrukcji o rozpiętości przęsła 30 m, jest ponad 1,5 razy większe niż według normy PN-EN 15528 [3] (302,55: (11×18) = 1,52) i ponad 3-krotnie większe niż przy obciążeniu rzeczywistymi pojazdami typu PESA SA 135 (302,55:(6 × 16) = 3,15).

5. Oddziaływania niezależne od obciążenia pionowego taborem kolejowym

5.1. Oddziaływanie wiatru

Przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania mostów zabytkowych wartość charakterystyczną oddziaływania wiatru należy przyjmować na podstawie normatywu DS 804 [7]. Zgodnie z tabelą 11 w ww. normatywie przy odległości od najniższego punktu terenu pod obiektem do główki szyny nieprzekraczającej 20 m oddziaływanie wiatru na obiekt nieobciążony należy przyjąć równe 1,75 kN/m^2, a na obiekt obciążony taborem – 0,9 kN/m^2. Według pkt 68 normatywu DS 804 [7] w obliczeniach należy przyjmować wysokość taboru ponad główkę szyny wynoszącą 3,5 m. W odniesieniu do stateczności, w pkt 46(1) normatywu DS 804 [7] podano wartość obciążenia 13 kN/m, które należy zabezpieczyć przed przewróceniem przy obciążeniu wiatrem ze współczynnikiem $\gamma \geq 1,3$, zgodnie z pkt 65 tego normatywu.

Wartość charakterystyczną oddziaływania wiatru można zwiększać, stosując współczynnik obliczeniowy o wartości 1,10, zgodnie z tabelą 1 w dyrektywie RiL 805 [6], w odniesieniu do obiektu nieobciążonego oraz o wartości 1,30, zgodnie z normatywem DS. 804 [7], w odniesieniu do obiektu obciążonego taborem.

Przy sprawdzaniu stateczności ogólnej mostów zabytkowych należy przyjąć obciążenie pionowe najlżejszym taborem rzeczywistym, który będzie dopuszczony do ruchu na linii przez inwestora. Model obciążenia „pociągiem bez ładunku" o obciążeniu równomiernym 10 kN/m, przyjęty według pkt 6.3.4 normy PN-EN 1991-2 [4], jest zawsze lżejszy niż najlżejszy model klasy według normy PN-EN 15528 [3]. Przy obliczaniu stateczności im lżejszy tabor, tym bardziej niekorzystnie wpływa na stateczność. Na przykład obciążenie równomiernie rozłożone najlżejszego pojazdu rzeczywistego typu PESA SA 135 (z dwoma wózkami) wynosi 17,7 kN/m = [(116 kN × 2 + 101 kN × 2)/24,5 m].

5.2. Oddziaływanie zmian temperatury

Zgodnie z rozdz. 6 w normie PN-EN 1991-1-5 [9] oddziaływania termiczne w przęsłach swobodnie podpartych nie będą powodowały pionowych reakcji hiperstatycznych. Można przyjąć, że jeżeli przęsło mostu zabytkowego ma schemat statyczny belki swobodnie podpartej, to zazwyczaj można nie uwzględniać oddziaływania zmian temperatury. W odniesieniu do konstrukcji o schemacie hiperstatycznym, oddziaływanie zmian temperatury należy uwzględniać według zasad podanych w normie PN-EN 1991-1-5 [9]. Wartość charakterystyczną oddziaływania zmian temperatury można zwiększać stosując współczynnik obliczeniowy o wartości 1,10, zgodnie z tabelą 1 w dyrektywie RiL 805 [6].

5.3. Obciążenie pionowe chodników służbowych

Przy sprawdzaniu bezpiecznego użytkowania mostów zabytkowych należy przyjmować obciążenie chodników służbowych o wartości charakterystycznej 3 kPa, zgodnie z pkt 2(7) dyrektywy RiL 805 [6]. Wartość charakterystyczną obciążenia można zwiększać, stosując współczynnik obliczeniowy o wartości 1,10, zgodnie z tabelą 1 w tej dyrektywie. Niezależnie od wzajemnych relacji skrajni, należy brać pod uwagę obciążenie chodników służbowych.

6. Zalecenia autorskie dotyczące sprawdzania bezpieczeństwa użytkowania zabytkowych mostów kolejowych

6.1. Zasady przyjmowania oddziaływań charakterystycznych

- Charakterystyczny ciężar własny konstrukcji i ciężar elementów wyposażenia należy przyjmować na podstawie dokładnej inwentaryzacji stanu istniejącego. Ewentualna zmiana tego stanu powinna być wyspecyfikowana przez inwestora.
- Obciążenia pionowe taborem kolejowym należy przyjmować według normy PN-EN 15528 [3] lub biorąc pod uwagę rzeczywiste pojazdy wskazane przez inwestora.
- Ze względu na niesymetryczne usytuowanie w przekroju poprzecznym toru i dźwigarów należy przyjmować mimośród pomierzony.
- Wartości współczynników dynamicznych należy przyjmować według zasad podanych w załączniku C do normy PN-EN 1991-2 [4], biorąc pod uwagę sposób utrzymania toru wskazany przez inwestora – staranny albo standardowy.

• Wartości charakterystyczne sił hamowania i przyspieszenia należy przyjmować na podstawie niemieckich normatywów albo równe 0,15 obciążenia pionowego rzeczywistymi pojazdami na długości wpływu oddziaływania.
• Wartość charakterystyczną uderzenia bocznego należy przyjmować równą 1/3 maksymalnego nacisku osi, ale nie mniejszą niż 60 kN.
• Wartość charakterystyczną siły odśrodkowej należy przyjmować na podstawie obciążenia pionowego według normy PN-EN 15528 [3] lub biorąc pod uwagę rzeczywiste pojazdy wskazane przez inwestora.
• Wartość charakterystyczną oddziaływania wiatru należy przyjmować zgodnie z niemieckim normatywem DS 804 [7].
• Przy sprawdzaniu stateczności ogólnej należy przyjąć obciążenie pionowe najlżejszym taborem rzeczywistym wskazanym przez Inwestora, który będzie dopuszczony do ruchu na linii.
• Jeżeli most zabytkowy ma schemat statyczny belki swobodnie podpartej, zazwyczaj można nie uwzględniać oddziaływania zmian temperatury. W odniesieniu do konstrukcji o schemacie hiperstatycznym, oddziaływanie zmian temperatury należy uwzględniać według zasad podanych w normie PN-EN 1991-1-5 [9].
• Należy przyjmować obciążenie chodników służbowych o wartości charakterystycznej 3 kPa, zgodnie z niemiecką dyrektywą RiL 805 [6].

Ponadto nacisk każdej osi lub jej oddziaływania w postaci pionowej lub poziomej siły skupionej, można zmienić na 3 siły skupione o wartościach 25/50/25% w uśrednionym dla danego przęsła rozstawie mostownic.

6.2. Wartości współczynników obliczeniowych związanych z oddziaływaniami

Wartości niekorzystnych współczynników częściowych podanych w tabeli 1 w dyrektywie RiL 805 [6], które można przyjąć w kombinacji oddziaływań w stanie granicznym nośności STR zestawiono w tabeli 1.

6.3. Podsumowanie

W odniesieniu do obiektów istniejących oddziaływania stałe – ciężar własny konstrukcji i ciężar elementów wyposażenia – powinny być określone w wyniku ich dokładnej inwentaryzacji. Możliwość przyjęcia do obliczeń rzeczywistego ciężaru powoduje, że wartość częściowych współczynników obliczeniowych – zwiększających ten ciężar – może być zdecydowanie mniejsza, niż podanych w normach do projektowania nowych obiektów.

Tabor dopuszczony do ruchu po obiektach istniejących jest z zasady lżejszy niż przewidziany w normach do projektowania nowych obiektów. W tym wypadku również możliwość przyjęcia do obliczeń taboru rzeczywistego o ściśle określonych parametrach powoduje, że wartość częściowych współczynników obliczeniowych zwiększających to znane obciążenie – może być zdecydowanie mniejsza, niż podana w normach do projektowania nowych obiektów. Również inne oddziaływania zmienne, takie jak: siły hamowania i przyspieszenia, uderzenia bocznego i siły odśrodkowej są związane ze znanymi parametrami eksploatacyjnymi taboru dopuszczonego do ruchu, czyli powinny być proporcjonalnie mniejsze niż podane w normach do projektowania nowych obiektów.

Wartości oddziaływań podane w normach do projektowania nowych obiektów uwzględniają progresję obciążeń użytkowych w długim, 100-letnim okresie życia obiektu. Sprawdzenie bezpiecznego użytkowania istniejących obiektów to wskazanie takich wartości oddziaływań, które umożliwią eksploatację na określnych warunkach obciążenia. Stosowanie zasad dotyczących projektowania nowych obiektów podanych w Eurokodach do oceny bezpiecznego użytkowania istniejących obiektów jest technicznie nieuzasadnione, a ponadto powoduje nieadekwatne konsekwencje ekonomiczne dla zarządcy obiektów. Tak więc, w odniesieniu do obiektów istniejących, należy zapewnić bezpieczeństwo dalszego ich użytkowania, a nie zgodność z wymaganiami stosowanymi do projektowania nowych obiektów.

Powyższe zasady są związane z sytuacją, jaka miała miejsce na Dolnym Śląsku. Jedna z linii kolejowych wybudowana w latach 1904–1910 podlegała rewitalizacji. Nośność 16 zabytkowych mostów w ciągu tej linii była sprawdzana przez dwa zespoły projektowe. Zasadniczo różne podejścia obu zespołów do obiektów zabytkowych na tej samej linii kolejowej zostały opisane w [11] i są jednym z przyczynków dla jakiego ogólnopolskie wytyczne określania możliwości dalszego bezpiecznego użytkowania są niezbędne.

Tabela 1. *Zestawienie częściowych współczynników bezpieczeństwa*

Lp.	Rodzaj oddziaływania	Współczynnik
1	Ciężar własny konstrukcji	1,15[1)]
2	Ciężar elementów wyposażenia	1,20[2)]
3	Obciążenie pionowe taborem kolejowym	1,20[3)]
4	Przeciążenie wynikające z wzajemnego usytuowania toru i dźwigarów	1,20
5	Oddziaływanie sił hamowania i przyspieszenia	1,10
6	Oddziaływanie uderzenia bocznego	1,10
7	Oddziaływanie siły odśrodkowej	1,10
8	Oddziaływanie wiatru	1,10[4)]; 1,30[5)]
9	Oddziaływanie zmian temperatury	1,10
10	Pionowe obciążenie chodników służbowych	1,10

[1)] przy dokładnej inwentaryzacji, 1,20 – przy oszacowaniu
[2)] dotyczy nawierzchni otwartych (bez podsypki)
[3)] dotyczy określonego taboru dopuszczonego do ruchu po linii
[4)] dotyczy obiektu nieobciążonego taborem
[5)] dotyczy obiektu obciążonego taborem

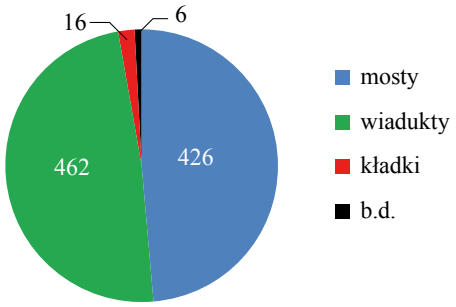
7. Zabytkowe mosty i wiadukty kolejowe – stan posiadania

7.1. Źródło danych na temat zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych

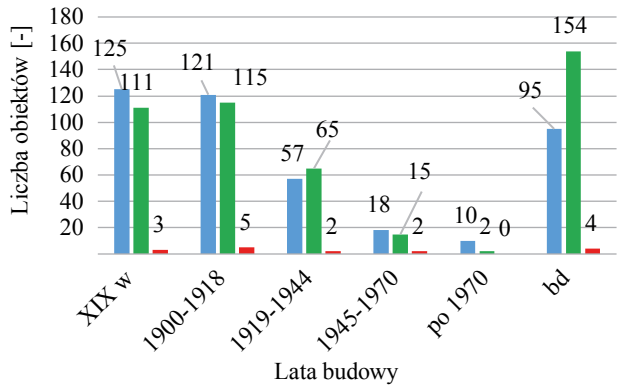
W pracy [13] autorzy niniejszego artykułu zaprezentowali dane dotyczące zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych zlokalizowanych na terenie Polski. Z analizy danych służących do jego przygotowania wynikało, że zestawienia są niekompletne i wymagają przeprowadzenia dodatkowej kwerendy oraz aktualizacji danych. Wynik tych działań zaprezentowano niżej, korzystając z wykazów danych dotyczących zabytkowych kolejowych obiektów inżynieryjnych pozyskanych z Departamentu Ochrony Zabytków Ministerstwa Kultury i Dziedzictwa Narodowego [14].

7.2. Liczba zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych

Z danych zawartych w [14] wynika, że do rejestru zabytków wpisano w Polsce 910 inżynieryjnych obiektów kolejowych, na co składają się: mosty (426), wiadukty (462) i kładki dla pieszych (16). Zaprezentowano liczbę obiektów kolejowych w podziale na rodzaj obiektu: mosty, wiadukty i kładki (rys. 1) oraz w funkcji roku budowy (obiekty wybudowane do końca XIX w., w latach 1900–1918, 1919–1944, 1945–1970 i po 1970 roku – rysunek 2).



Rys. 1. *Liczba zabytkowych kolejowych obiektów inżynieryjnych w podziale na rodzaj obiektu*



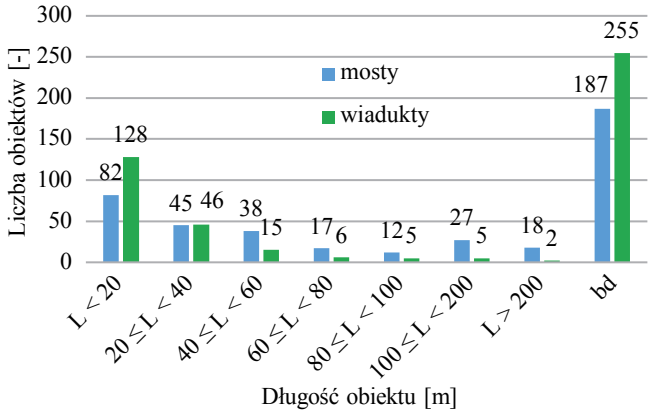
Rys. 2. *Liczba zabytkowych kolejowych obiektów inżynieryjnych w funkcji roku budowy*

W odniesieniu do części obiektów brakuje niektórych informacji, stąd na wszystkich kolejnych rysunkach pokazano także liczbę takich obiektów. Przykładowo dla 28% obiektów brakuje danych na temat okresu ich budowy.

Należy zwrócić uwagę na to, że ponad połowa wszystkich obiektów (52%) została wybudowana do 1918 r. Natomiast liczba kładek dla pieszych jest pomijalnie mała w stosunku do mostów i wiaduktów, których dotyczy niniejsza publikacja, stąd w dalszej charakterystyce kolejowych obiektów inżynieryjnych skoncentrowano się jedynie na mostach i wiaduktach.

7.3. Charakterystyka zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych

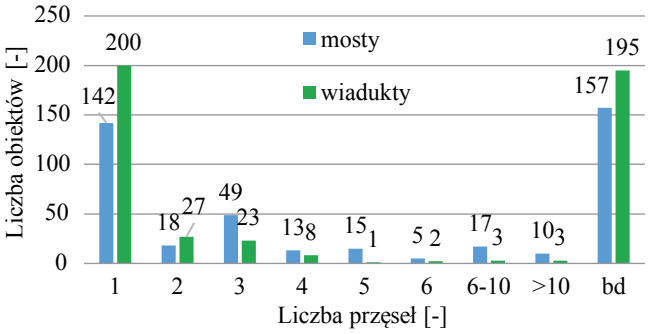
Długość obiektu w wypadku mostów i wiaduktów nieco się różni (rys. 3), tzn. liczba obiektów w poszczególnych, przyjętych przedziałach długości ($L < 20$ m, $20 \le L < 40$, $40 \le L < 60$, $60 \le L < 80$, $80 \le L < 100$, $100 \le L < 200$ i $L > 200$ m). Niestety w odniesieniu do 442 mostów i wiaduktów (49,7%) brakuje danych na temat ich długości. Większość (64%) obiektów spośród obiektów o znanej długości, to mosty i wiadukty nie dłuższe niż 40 m.



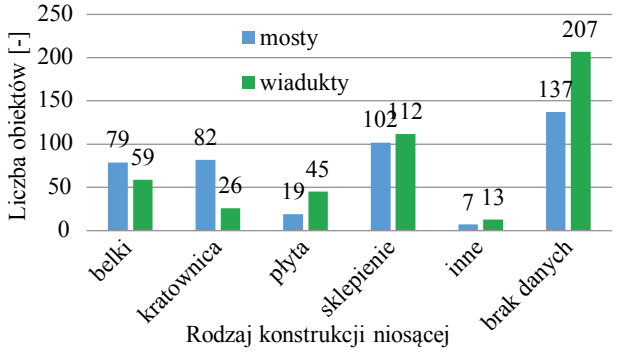
Rys. 3. *Liczba zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych w funkcji długości obiektu*

Dane dotyczące liczby przęseł obiektów zaprezentowano na rysunku 4. W wypadku 39,6% obiektów brakuje, tak prostej do określenia informacji, jaką jest liczba przęseł. Na 536 obiektów ze znaną liczbą przęseł 39% stanowią mosty i wiadukty jednoprzęsłowe, a jedynie 14% obiektów ma więcej niż trzy przęsła.

Podobnie jak w wypadku liczby przęseł, czy roku powstania obiektu także przy określaniu rodzaju konstrukcji niosącej (belki, kratownice, płyta, sklepienie lub inne) wiele obiektów nie ma podanej tej informacji (rys. 5). Zważywszy, że dane były zbierane przez specjalistów niezwiązanych z mostownictwem można uznać, że jest to w pewnym stopniu zrozumiałe. Obiekty o konstrukcji innej lub nieokreślonej (brak danych) stanowią 40,9% wszystkich zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych. Wśród obiektów o znanej konstrukcji niosącej (524 obiekty)



Rys. 4. *Liczba zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych z daną liczbą przęseł*



Rys. 5. *Liczba zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych z daną konstrukcją niosącą*

obiekty sklepione stanowią 40,8%, belkowe 26,4%, płytowe 12,2% a kratownicowe 20,6%.

Zabytkowe mosty i wiadukty kolejowe stanowią zasób dziedzictwa kulturowego techniki nie tylko naszego kraju, ale i całej Europy. Z tego względu powinny podlegać ochronie, co będzie łatwiejsze w realizacji, jeżeli zostaną opracowane zasady postępowania przy określaniu bezpiecznego użytkowania zabytkowych mostów i wiaduktów. Zasady takie będą wsparciem dla wojewódzkich urzędów ochrony zabytków w działaniach mających na celu zachowanie zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych w możliwie nienaruszonym stanie, a jednocześnie umożliwią ich bezpieczne użytkowanie.

8. Podsumowanie

Zachowanie zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych w możliwie nienaruszonym stanie jest wyzwaniem, ale należy je podjąć, skoro w innych krajach np. w Niemczech, ten problemem poprawnie rozwiązano.

Stosowanie w Polsce tego samego podejścia projektowego do tych obiektów, które:

- dopiero powstaną i będą eksploatowana przez co najmniej 100 lat,
- są eksploatowane, w tym niektóre przez np. 100 lat i zarządca ma zamiar je dalej bezpiecznie użytkować przez kolejne np. 50 lat,
- jest technicznie i ekonomicznie całkowicie bezzasadne, a co najważniejsze prowadzi do niszczenia obiektów zabytkowych.

Konieczne jest powstanie ogólnopolskich wytycznych, które w jednoznaczny sposób wskazywałyby biurom projektowym postępowanie przy ocenie możliwości bezpiecznego użytkowania zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych. Informacje na ten temat są już w różnych dokumentach. W stanowisku rządu na temat strategii UE w zakresie normalizacji [12] strona polska dopisała następujące zdanie: „W kwestii *Programu Prac Unii* w zakresie normalizacji w opinii PL należałoby rozważyć uzupełnienie go o opracowanie europejskiego systemu normalizacyjnego dotyczącego norm użytkowania istniejących obiektów budowlanych, ze szczególnym uwzględnieniem obiektów zabytkowych". Ponadto Rada Ochrony Zabytków przy Ministrze Kultury i Dziedzictwa Narodowego w dniu 21 marca 2022 r. przyjęła uchwałę w sprawie konieczności opracowania europejskiego systemu normalizacyjnego dotyczącego zabytkowych obiektów budowlanych.

Przyjęcie obciążenia pionowego według normy PN-EN 15528 i pozostałych wymagań według normatywów niemieckich dotyczących istniejących kolejowych konstrukcji mostowych może stanowić podstawę techniczną zasad sprawdzania możliwości użytkowania zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych do momentu powstania ogólnopolskich wytycznych.

BIBLIOGRAFIA

[1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. z 2020 r., poz. 1333 t.j.)

[2] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U., poz. 987 z późn. zm.)

[3] PN-EN 15528:2015: Kolejnictwo – Klasyfikacja linii w odniesieniu do oddziaływań pomiędzy obciążeniami granicznymi pojazdów szynowych a infrastrukturą

[4] PN-EN 1991-2:2007 Eurocode 1: Oddziaływanie na konstrukcje – Część 2: Obciążenia ruchome mostów

[5] PN-S-10030:1985: Obiekty mostowe. Obciążenia

[6] Directive RiL 805, Richtlinie 805.0102: Tragsicherfeit bestehender Eisenbahnbrücken, DB Netz AG, 5. Aktualisierung, 2010

[7] DS 804 Standard: Vorschrift für Eisenbahnbrücken und sonstige Ingenieurbauwerke, Deutsche Bahn AG, 2000

[8] PN-EN 1990:2004 Eurocode: Podstawy projektowania konstrukcji

[9] PN-EN 1991-1-5:2005/NA:2010 Eurocode 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-5: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania termiczne

[10] Tomiczek M., Plaszczyk B., Broś J., Sierka G., Szczepański P., Stosowanie poziomych obciążeń eksploatacyjnych w analizie nośności istniejących obiektów kolejowych wg PN-EN 15528, Mosty 1/2021, str. 30–33

[11] Rymsza J., Rakoczy A. M., Zasady przyjmowania obciążeń przy sprawdzaniu nośności zabytkowych mostów i wiaduktów kolejowych, Drogi i Mosty (20)2021, str. 271–237

[12] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno – Społecznego i Komitetu Regionów Strategia UE w zakresie normalizacji. Ustanawianie światowych norm na rzecz odpornego, ekologicznego i cyfrowego jednolitego rynku UE. COM(2022)31

[13] Rymsza J., Rymsza B., Kolej na kolejowe mosty i wiadukty zabytkowe, Materiały Budowlane 5/2021, str. 58–59, ISSN 0137-2971, e-ISSN 2449-951X

[14] Dane dotyczące zabytków kolejowych obiektów inżynieryjnych. Departamentu Ochrony Zabytków Ministerstwo Kultury i Dziedzictwa Narodowego, 2021 r. (niepublikowane)