

# Niekonwencjonalne technologie przebudowy mostów



tekst: **mgr inż. MAKSYMILIAN KLIŃSKI**, **mgr inż. ALEKSANDER MRÓZ**, Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Potrzeba przebudowy funkcjonujących obiektów mostowych i budowy nowych obiektów stanowiących kluczowe elementy układu transportowego jest obecnie bardzo duża. Wynika to m.in. z konieczności spełnienia warunków bezpiecznego eksploataowania obiektów mostowych będących często u kresu swojej przydatności użytkowej.

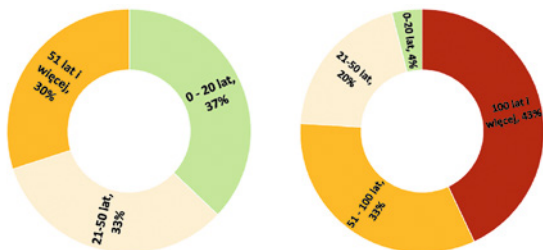
## 1. Wprowadzenie

Po zakończeniu działań projektowych i budowlanych prowadzonych w ramach wieloletniego programu inwestycyjnego realizowanego do 2015 r. polska kolej jest w trakcie realizacji dalszych inwestycji. Obecny plan inwestycyjny, *Krajowy program kolejowy na lata 2015–2023*, ma wartość ponad 70 mld zł i docelowo w jego ramach będzie realizowanych 230 projektów inwestycyjnych, a ponad 9 tys. km linii kolejowych zostanie poddanych modernizacji [1].

Dodatkowo w ciągu ostatnich lat, przy wykorzystaniu ogromnych środków z Unii Europejskiej, prowadzona jest intensywna rozbudowa i modernizacja infrastruktury drogowej. Pomiędzy 2004 a końcem maja 2020 r. w Polsce oddano do użytku łącznie 5116 km dróg i autostrad, w tym 1212 km autostrad, 2315 km dróg ekspresowych i 1589 km dróg krajowych.

Wartości te na pierwszy rzut oka są znaczne, ale aby określić faktyczną skalę potrzeb dotyczących modernizacji użytkowanych obiektów mostowych, warto przeanalizować informacje o krajowej infrastrukturze mostowej z podziałem na jej przeznaczenie, wiek oraz materiał, z którego mosty wykonano.

W Polsce mamy ok. 35 tys. mostów drogowych oraz ok. 8 tys. mostów kolejowych [2, 3]. W odróżnieniu od drogowej kolejowa infrastruktura mostowa jest wyraźnie starsza, co przedstawiono na rycinie 1.



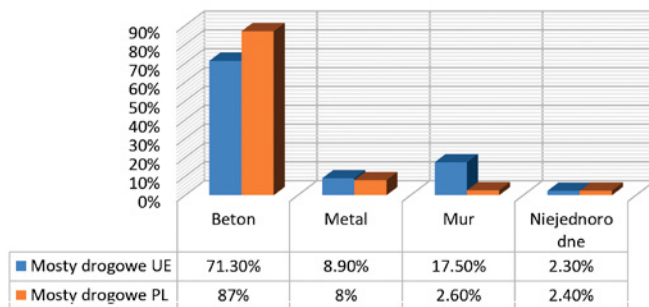
Ryc. 1. Struktura wiekowa mostów drogowych i kolejowych w Polsce

Tylko niespełna 4% ogólnej liczby obiektów to obiekty mające mniej niż 20 lat, natomiast ponad 43% – obiekty eksploatowane dłużej niż 100 lat. Warto dodać, że według danych przedstawionych w [4] z 7430 mostów i wiaduktów utrzymywanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe prawie 74% to obiekty eksploatowane od ponad 71 lat, w tym 43,40% od ponad 100 lat.

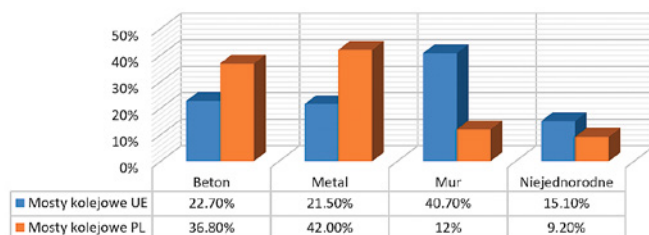
Zapewnienie bezpieczeństwa obiektom infrastruktury mostowej oraz jej użytkownikom jest zadaniem szczególnie trudnym

w świetle przedstawionych wyżej informacji mówiących o zaawansowanym wieku wielu obiektów oraz wynikającego z tego faktu pogorszenia ich stanu technicznego.

Podział mostów ze względu na materiał, z jakiego są wykonane, zaprezentowano na wykresach (ryc. 2 i 3). Podstawowy materiał, jakim jest beton, został zastosowany w Polsce w 87% konstrukcji drogowych oraz 36,8% konstrukcji kolejowych. Stal natomiast została wykorzystana w 8% obiektach drogowych i 42% kolejowych. Jeśli spojrzymy na stosunek konstrukcji betonowych do stalowych w Polsce, to jest on porównywalny do wskaźnika dla całej Unii Europejskiej. W zestawieniu uderza bardzo mała liczba obiektów murowanych eksploatowanych w Polsce w porównaniu z UE, ale wynika to z późniejszego rozpoczęcia rozbudowy infrastruktury i wykorzystywania w związku z tym nowocześniejszych materiałów konstrukcyjnych.



Ryc. 2. Podział mostów drogowych ze względu na materiał konstrukcyjny przeseł w Unii Europejskiej (kolor niebieski) i w Polsce (kolor pomarańczowy)



Ryc. 3. Podział mostów kolejowych ze względu na materiał konstrukcyjny przeseł w Unii Europejskiej (kolor niebieski) i w Polsce (kolor pomarańczowy)

Znając już strukturę wiekową oraz materiałową krajowych obiektów drogowych i kolejowych, możemy stwierdzić, że największym zagrożeniem dla bezpieczeństwa obiektów mosto-

wych. w szczególności kolejowych, jest czas. Ograniczenie okresu użytkowania obiektów inżynierskich jest skutkiem starzenia się konstrukcyjnego, komunikacyjnego i przestrzennego.

Starzenie konstrukcyjne obiektu jest w decydującym stopniu wynikiem redukcji trwałości materiałów, z których wykonano obiekt, na co wpływają różnego rodzaju procesy degradacji, np. chemiczne, fizyczne i biologiczne [3]. Na działania modernizacyjne znacząco wpływa także postęp techniczny i technologiczny, przynoszący lepsze rozwiązania pod względem ekonomicznym i budowlanym [5, 6].

Kolejnym czynnikiem jest starzenie komunikacyjne obiektów, które polega na tym, że nie zaspokajają one rosnących potrzeb transportu ludzi i towarów wynikających z rozwoju gospodarczego i społecznego obszarów przez nie obsługiwanych. Obiekty są projektowane przy założeniu pewnego natężenia ruchu w odniesieniu do panujących realiów w okresie projektowania. Często jednak nie doceniono prędkości, z jaką rozwijać się będzie handel oraz gospodarka państwa, a co za tym idzie – ruch towarów i ludzi przemieszczających się w sieci logistycznej. Starzenie przestrzenne obiektu spowodowane jest wzrostem utrudnień w zagospodarowaniu jego otoczenia. Problem ten ma szczególnie duże znaczenie na obszarach zurbanizowanych i uprzemysłowionych.

Na podstawie tej krótkiej analizy możemy stwierdzić, że dla znaczącej liczby obiektów infrastruktury mostowej w Polsce, szczególnie obiektów kolejowych, czas ich projektowanego użytkowania dobiega końca. Z uwagi na konieczność zapewnienia bezpiecznego funkcjonowania sieci transportowej zarządcy linii kolejowych stają przed trudnym pytaniem: remontować, przebudować czy może wybudować nowy obiekt.

## 2. Remontować, przebudować czy wybudować nowy obiekt?

Przy rozpatrywaniu każdej inwestycji należy zwrócić uwagę nie tylko na finansowy aspekt realizacji, ale również na koszty społeczne. Musimy odpowiedzieć na pytania: jaki jest rzeczywisty stan obiektu, jaka jest wymagana nośność obiektu, jaki jest przewidywany okres jego eksploatacji, jakie będą koszty eksploatacji obiektu oraz czy przebudowa istniejącego obiektu wymaga inwestycji towarzyszących.

Druga grupa pytań to wiedza o wpływie funkcjonowania obiektu na rozpatrywany obszar, czyli wiedza o efektach użytkowych bezpośrednich i pośrednich, np. jakie są skutki społeczne zamknięcia lub ograniczenia ruchu, jak inwestycja wpłynie na aktywizację obszaru obsługiwanego przez trasę mostową.

Podjmując decyzje związane z utrzymaniem obiektu mostowego, stajemy przed pytaniem o formę, jaką ma przyjąć nasza inwestycja. Najbardziej podstawowym i zarazem najtańszym rozwiązaniem jest remont, który ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane określa jako „wykonanie robót budowlanych polegających na odtworzeniu stanu pierwotnego, a niestanowiących bieżącej konserwacji”.

**Remont** obiektów mostowych obejmuje najbardziej podstawowe czynności, które w dużej mierze polegają na wymianie uszkodzonych elementów konstrukcyjnych oraz wykonaniu nowych zabezpieczeń przeciwwodnych, powłok antykorozyjnych i malarskich. Poprawa stanu wizualnego konstrukcji jest elementem istotnym, jednak ich najważniejsze parametry, np. nośność oraz szerokość użytkowa, pozostają niezmiennione. Forma ta jest jak najbardziej adekwatna dla konstrukcji mostowych, które wykazują się wystarczającą nośnością dla aktualnych obciążeń.

Pod pojęciem **przebudowy** Prawo budowlane rozumie wykonywanie robót budowlanych, w wyniku których następuje

zmiana parametrów użytkowych lub technicznych istniejącego obiektu. W stosunku do mostów zarządcy dróg wymagają w trakcie przebudowy podniesienia klasy nośności lub zmiany szerokości użytkowych na moście. Przebudowa wiąże się z koniecznością wykonania kompleksowej analizy statyczno-wytrzymałościowej oraz zaprojektowania i wykonania wzmocnienia elementów konstrukcyjnych. Zakres robót w trakcie przebudowy zależy od różnicy pomiędzy planowaną a obecną nośnością, ale również od typu konstrukcji mostowej. Inne podejście technologiczne należy zastosować przy wzmacnianiu konstrukcji żelbetowych, a zupełnie inne przy pracy ze stalowymi kratownicami nitowanymi, których stal jest często słabo spawalna lub niespawalna.

Niewykluczone jest, że obiekt może znajdować się w tak fatalnym stanie, iż dalsza jego eksploatacja będzie niemożliwa. Tak drastyczna sytuacja występuje, gdy remont lub wzmocnienie nie jest wystarczające albo jest zbyt kosztowne. Stary obiekt może zostać całkowicie rozebrany, a w jego miejsce powstanie całkiem nowy obiekt. **Budowa nowego obiektu** wiąże się z koniecznością zaprojektowania go zgodnie z aktualnymi normami i przepisami.

Praktyka krajowa wskazuje, że prowadzenie remontów i przebudów jest dominującą formą w stosunku do rozbiórki i wybudowania nowego mostu. Decydującym czynnikiem wpływającym na podejmowanie decyzji o przebudowie są koszty krótkotrwałe i doraźne.

## 3. Technologie przebudowy budowy obiektów mostowych

### 3.1. Wzmacnianie przęseł

Wzmacnianie przęseł można realizować wieloma metodami, jednak zawsze wymaga to indywidualnego przeanalizowania konstrukcji. Metody wzmacniania konstrukcji przęseł można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- wzmacnianie aktywne, które realizuje się przez wprowadzenie do konstrukcji redystrybucji sił wewnętrznych, rozumianej jako zmiana układu sił w porównaniu ze stanem pierwotnym;
- wzmacnianie pasywne, w którym zmiana sił wewnętrznych może wystąpić, lecz nie jest elementem podstawowym.

Temat wzmocnienia obiektów mostowych jest poruszany w licznych publikacjach. Zazwyczaj jest to rozdział w opisie większego zagadnienia. Jako przykład polskich publikacji można podać monografie [7, 8, 9, 10]. Dużo dokładniej metody są opisane w artykułach prezentowanych na ogólnopolskich seminariach *Współczesne metody budowy, wzmacniania i przebudowy mostów*, organizowanych corocznie przez Politechnikę Poznańską od 1990 r.

Zgodnie z [10] klasyfikację metod wzmacniania mostów betonowych przedstawiono w tabeli 1.

Metody wzmacniania stalowych lub zespolonych przęseł mostowych są praktycznie takie same. Z uwagi jednak na odmienny charakter materiału, z jakiego jest wykonany ustrój nośny, należy traktować je oddzielnie i podchodzić do zagadnień indywidualnie.

### 3.2. Wzmacnianie podpór

Konieczność wzmocnienia podpór jest stosunkowo rzadka i wynika głównie z modyfikacji szerokości ustroju nośnego konstrukcji. Wzmocnienie może dotyczyć poszczególnych elementów przyczółka z uwagi na niewystarczającą nośność. Przykładem mogą być np. skrzydła, które z uwagi na parcie gruntu wywołane dodatkowym obciążeniem użytkowym nie mogą przenieść dodatkowych sił. Zwiększanie nośności polega przeważnie na wykonaniu pewnych elementów konstrukcji na nowo przy jednoczesnym zwiększeniu wymiarów.

Tab. 1. Metody wzmocnienia mostów betonowych

Metody pasywne			Metody aktywne		
Zasada	Czas	Koszt	Zasada	Czas	Koszt
Zwiększanie przekroju poprzecznego elementów	duży	niski	Wbudowanie dodatkowych elementów	duży	wysoki
Przyklejanie i (lub) mocowanie płaskowników z blach stalowych	średni	średni	Zmniejszenie ciężaru własnego	duży	wysoki
Przyklejanie taśm kompozytowych CFRP	krótki	średni	Sprężenie kablami	duży	średni
Przyklejanie mat lub kształtek kompozytowych (np. CFRP)	krótki	średni	Sprężenie taśmami kompozytowymi	średni	wysoki
Wklejanie przypowierzchniowe taśm kompozytowych	średni	średni	Zmiana układu statycznego	średni	wysoki
Wymiana elementów na nowe	średni	wysoki			

Główne zagadnienia, które należy rozpatrzyć przy analizowaniu wzmocnienia konstrukcji, to:

- nośność przyczółka i posadowienia z uwagi na zwiększone obciążenie użytkowe;
- nośność elementów na zwiększone parcie od obciążenia ustalonego w zasięgu klina odłamu;
- warunki stateczności przyczółków z uwagi na przesunięcie lub obrót.

Projektowanie przebudowy obiektów mostowych jest zagadnieniem skomplikowanym i wymagającym od projektanta dużego doświadczenia zawodowego. Praktycznie każda konstrukcja jest zagadnieniem indywidualnym i wymaga bezpiecznego podejścia z uwzględnieniem badań materiałowych, starannej analizy stanu technicznego oraz dokładnych i szczegółowych obliczeń statyczno-wytrzymałościowych.

#### 4. Technologie budowy obiektów mostowych

Rozbiórkę oraz budowę nowych obiektów mostowych obecnie wykonuje się przy zachowaniu minimalnych przerw w ruchu. W czasie wymiany przęsła poddawane jest obciążeniom często nieprzewidzianym przy jego projektowaniu, z uwzględnieniem jedynie warunków docelowej eksploatacji. Wymagana nośność przęsła w czasie montażu powinna być dokładnie wyznaczona, gdyż ewentualna awaria może mieć katastrofalne konsekwencje. Proces usunięcia starego i montaż nowego przęsła przy jak najmniejszych utrudnieniach komunikacyjnych stanowi główny element działań organizacyjnych. Wśród technologii stosowanych do przebudowy obiektów mostowych można wyróżnić kilka podstawowych grup przedstawionych poniżej.

##### 4.1. Zastosowanie rusztowań stacjonarnych

Zastosowanie rusztowań stacjonarnych to stosunkowo najprostsza i, pomimo często skomplikowanego systemu konstrukcyjnego rusztowań, najwygodniejsza technologia przebudowy. Wadą tego rozwiązania jest potrzeba zabudowania przestrzeni

pod projektowanymi przęsłami. Dlatego też wymienione rozwiązanie może być brane pod uwagę, kiedy pod przebudowanym mostem nie znajduje się ciąg komunikacyjny, a ukształtowanie terenu pod obiektem jest korzystne. W przeciwnym razie w pierwszym przypadku trzeba liczyć się z zamknięciem ruchu na czas przebudowy, co w dzisiejszych czasach jest najczęściej niemiłe widziane. W drugim zaś niemożliwe jest zastosowanie podpór tymczasowych i konieczne jest szukanie droższych rozwiązań.



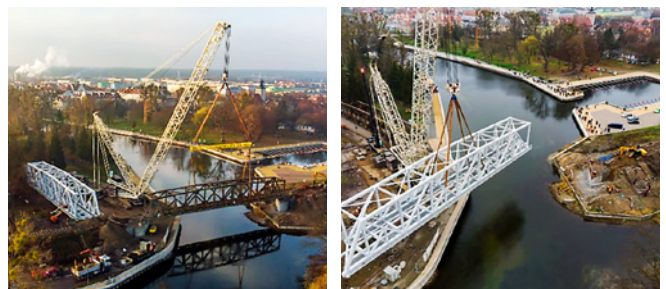
Ryc. 4. Budowa mostu kolejowego w Tarnawie Dolnej w Małopolsce z wykorzystaniem rusztowań stacjonarnych [11]

Przykładem budowy nowych obiektów w ciągu linii kolejowej nr 97 Skawina – Żywiec, której położenie uległo zmianie, jest przeprawa na nowym odcinku w miejscowości Tarnawa Dolna. 400-metrowy obiekt (ryc. 4) złożony jest z siedmiu betonowych przęseł o rozpiętości 57 m każde, wspartych na 24-metrowej wysokości podporach. Razem z przyczółkami i groblą przeprowadzającą linię kolejową nad wodami jeziora cała przeprawa liczy łącznie ponad pół kilometra. Obiekt przenosi ruch kolejowy na nowej linii z lewego brzegu jeziora na przeciwległy wał hydrotechniczny. Przęsła zalewowe wykonano przy pełnym podparciu konstrukcji w fazach budowy z wykorzystaniem rusztowań stacjonarnych.

##### 4.2. Montaż całych przęseł

Przy odpowiednio niewielkiej rozpiętości i masie możliwy jest zarówno montaż, jak i demontaż całych przęseł z zastosowaniem dźwigów o dużej nośności. Proces polega na usunięciu i utylizacji istniejącego obiektu oraz montażu nowej konstrukcji. Niezaprzecalną zaletą tej metody jest ograniczenie okresu zamknięcia przeprawy. Wszelkie prace związane z powstawaniem nowej konstrukcji są prowadzone w zakładach prefabrykacji, a właściwy obiekt może być użytkowany praktycznie do ostatniej chwili.

W niesprzyjających warunkach w okolicach obiektu, np. na terenach podmokłych, bardzo utrudnione staje się zapewnienie bezpiecznego stanowiska pracy maszyn oraz ludzi,



Ryc. 5. Demontaż istniejącego przęsła i montaż nowego przęsła mostu w Piszku za pomocą dźwigu [12]



co przedstawiono na rycinie 5. Całkowita długość konstrukcji montowanej w Piszynie wynosiła 50 m, a jej masa 200 t.

#### 4.3. Nasuwanie przęseł

Metoda nasuwania przęseł w wielu sytuacjach może okazać się bardzo efektywna. Nasuwanie możemy podzielić na podłużne i poprzeczne, w zależności od kierunku ruchu przęsła względem osi obiektu. W przypadku nasuwania podłużnego przęsła powstaje tuż za przyczółkiem, natomiast przy nasuwaniu poprzecznym – obok. Spotykamy również sytuacje, kiedy operacja wymiany przęsła może być wykonywana w układzie ciągłym przy jednoczesnym usuwaniu starego przęsła i nasuwaniu nowego.

W niektórych sytuacjach w czasie nasuwania wykorzystuje się platformy pływające, na których znajdują się podpory tymczasowe. Barki lub pontony mogą również służyć do transportu opuszczanych elementów z rozbiórki, a w sprzyjających warunkach i przy niewielkich rozpiętościach obiektu mogą być użyte do demontażu całych przęseł. W ramach przebudowy Starego Mostu w Bratysławie [13] wykorzystano podporę pływającą (ryc. 6), aby w bezpieczny sposób nasunąć przęsło na podpory pośrednie. W prezentowanym rozwiązaniu na czole nasuwanej konstrukcji umieszczono hydrauliczny dziób montażowy (ryc. 7), ułatwiający oparcie przęsła na docelowej podporze. Cały przebudowywany obiekt składa się z czterech przęseł o dźwigarach kratownicowych o rozpiętościach od 75 do 137 m.



Ryc. 6. Podpora pływająca w czasie podłużnego nasuwania przęseł mostu w Bratysławie [13]



Ryc. 7. Hydrauliczny dziób montażowy [13]

#### 4.4. Technologie niekonwencjonalne

Zdarza się, że przebudowa obiektu mostowego nie może być wykonana jedną z tradycyjnych metod z uwagi na skomplikowanie zadania, znaczne rozmiary przeszkody, niekorzystne warunki terenowe lub ograniczenia administracyjne. Z tego względu inżynierowie zmuszeni są do zastosowania indywidualnie opracowanych sposobów realizacji obiektów, bazujących na niekonwencjonalnych technologiach przebudowy mostów.

Interesującym przykładem takiej przebudowy jest most w ciągu linii kolejowej nr 177 na trasie Pňovany – Bezdrůžice w Czechach. Opisany most jest częścią jednotorowej linii prowadzonej z Pňovan do Bezdrůžic, ok. 30 km na północny zachód



Ryc. 8. Most podczas remontu kamiennych filarów [14]

od Pilzna. Przeprawa nad zbiornikiem Hracholusky składa się z trzech przęseł kratownicowych (ryc. 8). Z punktu widzenia transportu regionalna linia ma duże znaczenie dla lokalnej społeczności, skracając podróż pomiędzy miastami o ponad 35 km.

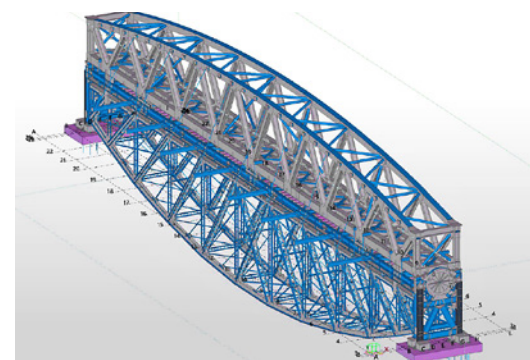
Przebudowa obiektu była przygotowywana od wielu lat. Pierwotnie zamierzano wykonać generalny remont konstrukcji stalowej. Z pomysłu ostatecznie zrezygnowano, ponieważ prace naprawcze byłyby bardzo wymagające, kosztowne i, co najważniejsze, nie dawałyby gwarancji koniecznej poprawy parametrów mostu. Kolejnym czynnikiem skłaniającym zarządców linii do przebudowy były petycje mieszkańców, którzy przechodzili przez obiekt chodnikami przeznaczonymi dla obsługi. Poruszanie się po obiekcie było bardzo niebezpieczne ze względu na intensywny ruch pociągów, znaczną wysokość nad rzeką i drewniany pomost. Montaż dodatkowej, niezależnej konstrukcji pod kładkę pieszo-rowerową okazał się niemożliwy.

Przeprawa powstała w latach 1899–1900. Ostatnie ważniejsze prace konserwacyjne konstrukcji stalowej rozpoczęły się w 1969 r. Czteroletni remont obejmował m.in. zabezpieczenie antykorozyjne konstrukcji, wymianę balustrad i dyliny drewnianej. Od 1973 r. nie wykonywano prac remontowych.

Most składa się z pięciu przęseł: trzech o dźwigarach kratownicowych z jazdą górą o rozpiętości 57,0 m oraz dwóch skrajnych sklepień kamiennych o rozpiętości 10,5 m. Całkowita długość obiektu wynosi 208,4 m. Dwie środkowe podpory wykonano z bloków kamiennych. Wysokość filarów wynosi aż 44,0 m. Ich wymiar przy podstawie to 10,2 x 8,1 m. Podpory centralne znalazły się pod powierzchnią wody po tym, jak ukończono budowę tamy. Wysokość mostu nad taflą zbiornika wynosi ok. 28,0 m.

Latem 2015 r. przeprowadzono szczegółowy przegląd stalowej konstrukcji. Różne położenie przęseł spowodowało zróżnicowane ubytki korozyjne na tych samych elementach. Część elementów stężeń dźwigarów głównych znajdowała się w stanie awaryjnym. Występowały również liczne pęknięcia w blachach węzłowych, najprawdopodobniej wywołane zmęczeniem.

Pobrano próbki do badań wytrzymałości stali. Według zebranych danych wykonano model obliczeniowy w programie komputerowym – model zaprezentowano na rycinie 9. Obliczenia dotyczące oddziaływania wiatru na konstrukcję poparto badaniami doświadczalnymi. Pomiary



Ryc. 9. Model starego i nowego przęsła w programie Tekla® Structures [15]



przeprowadzono na modelu w skali 1:40 w tunelu aerodynamicznym w Instytucie Badań Lotniczych.

Wyniki potwierdziły, że 118-letnia konstrukcja zbliża się do kresu użyteczności. Ze względów bezpieczeństwa wprowadzono ograniczenie prędkości do 10 km/h na obiekcie. Nowa konstrukcja miała powstać w ciągu trzech lat.

Nowe przęsła mają zmienną wysokość, zwiększającą się do środka przęsła. Wysokość dźwigara kratowego w połowie rozpiętości wynosi 6,7 m, a w miejscu podparcia 3,7 m. Rozstaw dźwigarów pozostał taki sam jak w starej konstrukcji kratownicowej, równej 3,6 m.

Rozpatrywano kilka wariantów montażu przęsła, przede wszystkim ze względu na dostępną przestrzeń i obecny stan osłabionej konstrukcji. Rozważane były podpory tymczasowe zamocowane do filarów. Brano pod uwagę oparcie rusztowań na podporach pływających. Jednak wszystkie wyżej wymienione technologie pociągały za sobą duże niebezpieczeństwo niepowodzenia lub katastrofy.

Zdecydowano o nasunięciu nowego ustroju na istniejącą kratownicę, a następnie obrót obu przęsła wokół osi podłużnej obiektu (ryc. 10 i 11). Scalanie przęsła opartego na pasie dolnym okazało się bardzo wygodne, głównie ze względu na zakrzywiony pas dolny. Przęsło nasunięte do miejsca docelowego zostało zamocowane do starego, a następnie oba dołączone do specjalnie zaprojektowanej ramy (ryc. 12). Zespół obrotowy wokół osi podłużnej przęsła wykonywał ruch za pomocą układu siłowników hydraulicznych. Cztery prasy, połączone ze sobą, działały synchronicznie. Po zakończeniu procesu obracania przęsła rozdzielano i analogicznie jak nowe przęsła wyciągano je poza przyczółek. Tam rozbierano cały ustrój i zabierano do złomowania. Tym sposobem zostały wymienione także dwa pozostałe przęsła.

Część pieszo-rowerowa o szerokości 2,0 m została przymocowana jednostronnie do dźwigara kratownicy (ryc. 13). Pomimo



Ryc. 13. Próbné obciążenie mostu z użyciem trzech lokomotyw T679 o masie 116 t [14]

zakrzywionego pasa dolnego duży promień krzywizny pozwala pieszym i rowerzystom na komfortowe i bezpieczne przemieszczanie się nad rzeką Mže. Ze względów bezpieczeństwa oddzielono ogólnodostępny ruch od transportu kolejowego. Balustrada po obu stronach ma wysokość 1,3 m, tak aby ruch rowerowy na kładce odbywał się normalnie. Nawierzchnię kładki wykonano z krat pomostowych. Zaraz po zakończeniu prac nad przebudową mostu wykonano nowe ścieżki piesze i rowerowe. Remont całego obiektu trwał 18 miesięcy. Proces całej przebudowy odbywał się bezpiecznie i bez zakłóceń.

Włodarze kraju pilzneńskiego potwierdzają, że obiekt stał się celem odwiedzin wielu turystów, którzy mogą podziwiać widok na zaporę Hracholusky i otaczające zalesione wyżyny. Ten przykład pokazuje, że można wybudować konstrukcję, zachowując jej cechy wizualne, ale przy zapewnieniu bezpiecznej i długotrwałej eksploatacji.

## 5. Podsumowanie

Od lat 90. XX w. jesteśmy świadkami postępu technologicznego oraz wzrostu gospodarczego, który dotyczy praktycznie każdej dziedziny naszego życia. Wzrost gospodarczy naszego kraju wiąże się pośrednio ze wzrostem transportu dóbr, produktów i ludzi w łańcuchu logistycznym (ryc. 14).

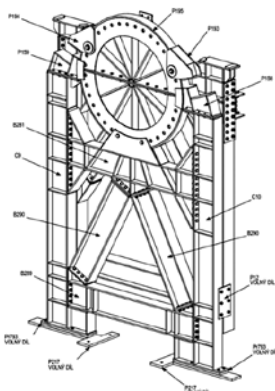
Podstawowymi wymaganiami stawianymi konstrukcjom mostowym są trwałość, ekonomiczność rozwiązania z uwzględnieniem całego okresu eksploatacji, łatwość utrzymania oraz zgodność ze strategią zrównoważonego rozwoju kraju. Duża część drogowych obiektów mostowych w Polsce została wykonana w niedalekiej przeszłości, dlatego podział struktury wiekowej infrastruktury charakteryzuje się zdrowym rozkładem, równomiernym dla po-



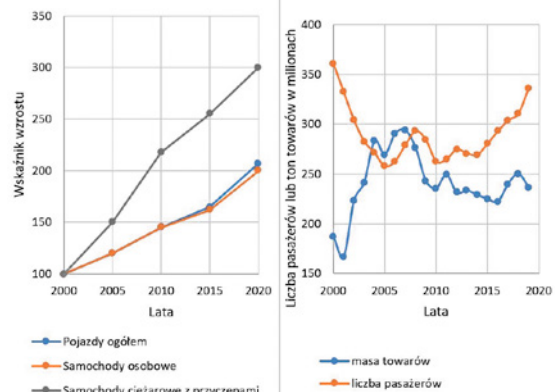
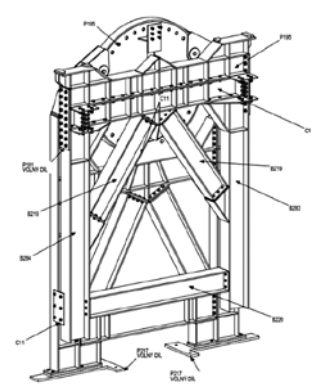
Ryc. 10. Początek obrotu nasuniętego przęsła [14]



Ryc. 11. Przęsło środkowe w fazie obracania [14]



Ryc. 12. Rama zespołu obrotowego [15]



Ryc. 14. Dynamika wzrostu ruchu samochodów ciężarowych i osobowych [16] (po lewej) i statystyka przewozów pasażerskich i towarowych [17, 18] (po prawej)

szczególnej kategorii wiekowych. W przeciwieństwie do infrastruktury drogowej wiek infrastruktury kolejowej wykazuje niepokojące tendencje. Przeważająca liczba obiektów przekracza bądź już przekroczyła swój projektowany okres użytkowania. Powstaje tym samym coraz pilniejsza potrzeba modernizacji lub wymiany dużej części obiektów.

Nie jest możliwe, aby sformułować ogólne zasady, które dotyczyłyby większości konstrukcji mostowych. Przy planowaniu remontu, przebudowy lub wymiany obiektu mostowego należy dokonać zarówno obszernej, jak i szczegółowej analizy, która powinna obejmować:

- analizę statyczno-wytrzymałościową,
- analizę czynników technologicznych oraz ekonomicznych z uwzględnieniem czynników krótko- i długofalowych,
- analizę funkcjonalną obiektu,
- analizę starzenia się konstrukcji w odniesieniu do trwałości i niezawodności.

Biorąc pod uwagę wzrost natężenia ruchu oraz potrzebę minimalizacji kosztów, należy zdecydować, czy obiekt kwalifikuje się do wzmocnienia, czy też jego okres eksploatacji dobiegł końca i należy wykonać nową, trwalszą konstrukcję oraz przystosowaną do obecnego natężenia ruchu. Podstawowe technologie budowy i przebudowy mostów charakteryzują się względnie tanimi, dobrze opracowanymi rozwiązaniami, które są chętnie wykorzystywane w projektowaniu i budowaniu nowych obiektów inżynierskich. Problemem stojącym przed modernizacją obiektów kolejowych jest konieczność szybkiego podniesienia parametrów użytkowych mostów przy jak najkrótszym czasie realizacji.

Przedstawiona w artykule technologia niekonwencjonalna niesie za sobą następujące korzyści w stosunku do tradycyjnych metod przebudowy:

- wymiana przęseł na nowe sprawia, że parametry użytkowe mostu są znacząco podniesione. Nowa konstrukcja została zaprojektowana na obciążenia dostosowane do obowiązujących norm, uwzględniając tym samym aktualne wymagania stawiane obiektom mostowym. Dzięki zastosowaniu lepszej jakości stali, wykonanej przy użyciu nowoczesnej technologii hutniczej, można uzyskać większą trwałość i niezawodność konstrukcji. Nowe przęsło charakteryzuje się zerową historią zmęczenia, a elementy nie wykazują ubytków w parametrach wytrzymałościowych;
- zastosowanie niekonwencjonalnej technologii wymiany konstrukcji przęseł pozwala na nieingerowanie w światło pod obiektem mostowym. Jest to duża oszczędność związana z brakiem konieczności stosowania wysokich rusztowań w niekorzystnych warunkach terenowych;
- znacząco skraca się czas konieczny na przeprowadzenie inwestycji. Linia kolejowa może być cały czas czynna, podczas gdy na obszarze tuż obok obiektu są prowadzone roboty montażowe i przygotowawcze na nowych przęsłach. Przeprawę należy zamknąć tylko na czas montażu oraz demontażu konstrukcji;
- nowa konstrukcja przez długi czas nie będzie wymagać prac związanych z utrzymaniem, a dzięki zastosowaniu stali spawalnej charakteryzuje się dużą podatnością na ewentualne wzmocnienia w późniejszym okresie eksploatacji.

W opinii autorów powyższy przykład jest bardzo pouczający, ponieważ pokazuje, że można przy ograniczonych kosztach ogólnych oraz w krótkim czasie wymienić przęsło na nowe, podnosząc walory użytkowe i estetyczne przeprawy. Zyskujemy nowe obiekty, które następnie mogą stanowić integralną część nowoczesnej, wydajnej i bezpiecznej infrastruktury.

## Literatura

- [1] *Krajowy program kolejowy* (online). Ministerstwo Infrastruktury. Dostępny w Internecie: <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/krajowy-program-kolejowy> (dostęp 10 lutego 2022).
- [2] *Podstawowe dane statystyczne o mostach w Polsce* (online). GDDKiA. Dostępny w Internecie: <https://www.gov.pl/web/gddkia/dane-statystyczne> (dostęp 14 lutego 2022).
- [3] Bień J.: *Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych*. WKŁ. Warszawa 2010.
- [4] Wichtowski B., Hołowaty J.: *Ocena właściwości stali konstrukcyjnych modernizowanego mostu na linii kolejowej nr 353*. „Inżynieria i Budownictwo” 2014, nr 8, s. 429–434.
- [5] Wasutyński Z.: *O analizie efektów użytkowych i nakładów w mostownictwie*. PWN. Warszawa 1964.
- [6] Radomski W.: *Analiza ekonomiczna i planowanie gospodarcze w budowie mostów*. W: *Budownictwo betonowe*. T. 14, vol. 2. Mosty, cz. 2. Red. A. Witkowski. Arkady. Warszawa 1972.
- [7] Radomski W.: *Bridge Rehabilitation*. Imperial College Press. London 2002.
- [8] Rybak M.: *Przebudowa i wzmocnianie mostów*. WKŁ. Warszawa 1983.
- [9] Muczko A., Stefański E.: *Modernizacja i naprawa mostów żelbetonowych*. WKŁ. Warszawa 1981.
- [10] Radomski W., Kasprzak A.: *Poszerzanie mostów*. PWN. Warszawa 2017.
- [11] Świnna Poręba. *Budowa wału hydrotechnicznego. Most kolejowy (Tarnawa Dolna)* (online). fotopolska.eu. Dostępny w Internecie: [https://fotopolska.eu/WszystkieZdjecia/Budowa\\_walu\\_hydrotechnicznego\\_Most\\_kolejowy\\_Tarnawa\\_Dolna](https://fotopolska.eu/WszystkieZdjecia/Budowa_walu_hydrotechnicznego_Most_kolejowy_Tarnawa_Dolna) (dostęp 14 lutego 2022).
- [12] *Pisz – most w przyszłość, most w przeszłość* (online). PKP PLK, 29 marca 2020. Dostępny w Internecie: <https://www.plk-sa.pl/biuro-prasowe/informacje-prasowe/pisz-most-w-przyszlosc-most-w-przeszlosc-4602/> (dostęp 18 lutego 2022).
- [13] *The Old Bridge over the Danube River in Bratislava* (online). LKM Consult. Dostępny w Internecie: <http://www.lkmconsult.cz/the-old-bridge-over-the-danube-river-in-bratislava-2> (dostęp 18 lutego 2022).
- [14] *Rekonstrukce mostu v km 1,429 Trati Pňovany – Bezdrůžice* (online). SMP CZ, a.s. Dostępny w Internecie: <https://www.smp.cz/rekonstrukce-mostu-v-km-1429-trati-pnovany-bezdruzice-4679> (dostęp 31 stycznia 2022).
- [15] Michalík V.: *Reconstruction of steel railway bridge Pňovany – Bezdrůžice* (online), s. 37. MCE Slaný. Dostępny w Internecie: [http://hidaszokertegyesulet.hu/resources/pdf/ev00034/prg00705\\_VMichalik\\_Hracholusky\\_hid\\_atepitese\\_Csehorszag.pdf](http://hidaszokertegyesulet.hu/resources/pdf/ev00034/prg00705_VMichalik_Hracholusky_hid_atepitese_Csehorszag.pdf) (dostęp 31 stycznia 2022).
- [16] Zieliński J., Tutka P., Kunikowski P., Szyszło A.: *Synteza wyników GPR 2020/21 na zamiejskiej sieci dróg krajowych*. GDDKiA. Warszawa 2021.
- [17] *Statystyka przewozów pasażerskich* (online). Urząd Transportu Kolejowego. Dostępny w Internecie: <https://utk.gov.pl/pl/raporty-i-analazy/analazy-i-monitoring/statystyka-przewozow-pa/15772,Dane-podstawowe.html> (dostęp 22 marca 2022).
- [18] *Statystyka przewozów towarowych* (online). Urząd Transportu Kolejowego. Dostępny w Internecie: <https://utk.gov.pl/pl/raporty-i-analazy/analazy-i-monitoring/statystyka-przewozow-to/15773,Dane-podstawowe.html> (dostęp 22 marca 2022).



Czytaj więcej