

Tomasz Biczel, Robert Czachowski, Małgorzata Mazanek, Paweł Nurek, Tomasz Wierzbicki

# Analiza stanu technicznego kolejowych obiektów inżynierskich na wybranych liniach kolejowych Opolszczyzny i Dolnego Śląska

*Artykuł jest próbą analizy wyników przeprowadzonych przeglądów z uwzględnieniem typowych problemów związanych z wykonaniem ekspertyz obiektów mostowych budowanych na przełomie XIX i XX w. na terenie dzisiejszych województw opolskiego i dolnośląskiego. Autorzy starają się, po zrealizowaniu znaczącej liczby przeglądów specjalnych (około 30 konstrukcji mostowych), wysnuć wnioski dotyczące stanu konstrukcji przejętych w zarząd Polskich Kolei Państwowych od kolei niemieckich przed sześćdziesięcioma laty. Ze względu na podobną konstrukcję, materiały użyte do budowy oraz zasady prowadzenia prac utrzymaniowych, doświadczenia uzyskane w trakcie wykonywania przeglądów mogą być wprost przeniesione na większość konstrukcji mostowych znajdujących się na terenach byłej Rzeszy Niemieckiej.*

W artykule, oprócz wyników badań, przedstawiono metody obliczeń wraz z typowymi problemami związanymi z modelowaniem konstrukcji oraz przykłady najczęstszych i najciekawszych uszkodzeń.

Koniec XIX w. na ziemiach Dolnego Śląska i Opolszczyzny był złotym wiekiem kolei żelaznych. Kolej wykorzystywana była do transportu surowca dla wielu powstających hut, kopalni, zakładów przemysłowych działających na rzecz potrzeb cywilnych i wojskowych. Jednocześnie stanowiła cenną pomoc transportową dla płodów rolnych z wielkich majątków dziedziców pruskich zlokalizowanych na tych terenach. Trzeba bowiem pamiętać, że te tereny były tradycyjnym spichlerzem silnie uprzemysłowionych

terenów centralnych Niemiec. W tym czasie Dolny Śląsk i Opolszczyzna pokryły się gęstą siecią dróg żelaznych z niezliczoną liczbą niedużych obiektów inżynierskich prowadzących ruch nad lokalnymi ciekami wodnymi lub krzyżującymi się drogami. Obiekty te, choć nie były świadectwem odważnej lub niekonwencjonalnej myśli inżynierskiej, jednak przez wiele lat z powodzeniem zapewniały możliwość korzystania z całej sieci linii kolejowych. Nie zostały one zaprojektowane w sposób skomplikowany ani nadmiernie zoptymalizowany, co paradoksalnie przyczyniło się do ich przetrwania po okresie prosperity, który skończył się z nadejściem II wojny światowej. Tereny te stały się celem gospodarki rabunkowej prowadzonej najpierw przez władze radzieckie, a następnie polskie. Wiele linii kolejowych zostało zlikwidowanych, wiele pozbawionych drugiego szlaku (o czym świadczą szerokie nasypy, podwójne przyczółki, czy rezerwa terenu na drugą parę szyn). Prawdopodobnie wiele z tych obiektów zostało wywiezionych na wschód w ramach zdobyczy wojennych lub jako reparacje wojenne. Niemniej zgodnie z dokumentacją, jaką dysponuje administracja kolejowa, wiele obiektów jest oryginałami konstrukcji inżynierskich wzniesionych w trakcie budowy sieci kolejowej. Obecnie większość tych konstrukcji znajduje się w niedostatecznym stanie technicznym, ze względu na wiek oraz niedostatek prac utrzymaniowych, jakich zaznały w okresie po 1945 r.

## Charakterystyka obiektów mostowych występujących na liniach kolejowych Opolszczyzny i Dolnego Śląska

Znakomita większość obiektów objętych zadaniem są to konstrukcje stalowe jedno- i rzadko dwuprzęsłowe, swobodnie podparte i posadowione na kamiennych przyczółkach za pośrednictwem łożysk stycznych. Rozpiętość przęseł obiektów nie przekracza kilkunastu metrów. Mają nieskomplikowaną budowę z blachownicowymi dźwigarami stężonymi poprzecznkami i zwiatrowaniami dolnymi. Na poprzecznkach leżą podłużnice, na których opierają się mostownice przenoszące szyny z obciążeniem pochodzącym od pociągów (fot. 1). Niekiedy wysokość dźwigarów zdecydowanie wykracza ponad nawierzchnię torowiska (fot. 2). Zazwyczaj wszystkie połączenia w konstrukcjach są nitowane, rzadziej spawane.

Konstrukcje wyposażone są w chodniki i balustrady zabezpieczające.

W części obiekty te pochodzą z I połowy XX w., choć niektóre z nich zostały zbudowane jeszcze w XIX w. Wytrzymałość stali użytej do ich budowy odpowiada w większości dzisiejszemu gatunkowi S235 według PN-EN 10025-2.



Fot. 1. Typowa konstrukcja spotykana podczas realizacji zadania

Spośród wszystkich tych konstrukcji, jedna wyróżnia się niepotykanym rozwiązaniem. Niezwykłość tej konstrukcji polega na skomplikowanej budowie dźwigarów wykonanych jako pary dwuteowników walcowanych I600 połączonych ze sobą tzw. stołkami. Stołki zaprojektowano w rozstawie 40 cm. Pary dźwigarów są stężone ze sobą za pomocą sześciu poprzecznicy wykonanych z blachownic. Nietypowo, szyny nie spoczywają na mostownicach, lecz są mocowane bezpośrednio do stołków. Takie mocowanie jest niekorzystne z uwagi na bezpośrednie przenoszenie obciążeń od składów pociągów, w tym oddziaływań dynamicznych, na konstrukcję stołków podtrzymujących szyny, czego efektem są liczne ich uszkodzenia. Konstrukcja taka nastęrcza mnóstwo kłopotów z utrzymaniem i konserwacją, z racji wielu trudnodostępnych miejsc i połączeń blach, a jednocześnie okazała się czasochłonna w modelowaniu do obliczeń.

### Typowe problemy związane z utrzymaniem i konserwacją obiektów

W większości badanych obiektów, z uwagi na utrzymujące się zanieczyszczenia oraz wilgoć w pasach dolnych, stężeniach i blachach węzłowych obiektu, stan powłok antykorozyjnych, a co za tym idzie i stan stali konstrukcyjnej, nie jest dobry. Teoretycznie brak prac utrzymaniowych mógłby być zniwelowany tezą, że ażurowa konstrukcja obiektu jest łatwiejsza do przewietrzania i samoczynnego osuszania. Nic bardziej mylnego. Usytuowanie niektórych obiektów na terenach leśnych lub w ich bezpośrednim sąsiedztwie, mnóstwo „zakamarków” w konstrukcji i mnogość elementów konstrukcyjnych, głównie przy braku konserwacji konstrukcji, ale również przy braku sprzyjających warunków wietrznych, powoduje znaczne wydłużenie czasu jej osuszania oraz odkładanie się coraz to nowych zanieczyszczeń.

Wspomniane położenie jednego z obiektów mostowych w terenie leśnym (fot. 5)) oraz brak bieżących działań utrzymaniowych doprowadziło do korozji perforacyjnej pasów dolnych dźwigara głównego (fot. 6) oraz ogromnych zanieczyszczeń konstrukcji i tożysk (zanieczyszczenia to głównie gnijące liście), a w konsekwencji uszkodzenia tożyska (fot. 7). Obiekt ten wymaga natychmiastowych działań, w postaci ograniczeń prędkości poruszających się po nim pociągów oraz bezwzględnej i szybkiej naprawy konstrukcji.

Charakterystyczną cechą większości badanych obiektów kolejowych jest wyraźna, a w niektórych przypadkach wręcz bardzo znacząca i bardzo szkodliwa degradacja betonu konstrukcji przyczółków. Przyczyną tych zjawisk są przecieki wody przez konstrukcję przyczółków mostowych, przecieki przez ażurowe pomosty, bezpośrednie opady deszczu i zaleganie śniegu na konstrukcji przyczółków (fot. 8).

Innym bardzo negatywnym zjawiskiem jest pękanie i niszczenie mostownic oraz wybijanie zamocowania torów do podkładów, powstające na skutek ruchu pojazdów szynowych. Są to najczęściej wymieniane elementy w obiektach kolejowych. Należy też zwrócić uwagę na degradację torowiska w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu mostowego, tuż przed najazdem na obiekt, jak i tuż za obiektem. Spękane i rozwarstwione drewniane lub sprężone podkłady kolejowe „kąpią się” w kałużach, powstałych na skutek wybicia podtorza oraz obniżenia poziomu nasypu w strefie przejścia z nasypu na konstrukcję mostową. Są to bardzo często spotykane uszkodzenia na liniach kolejowych (fot. 9). To zdaje się być

znacznie szerszym problemem, który dotyczy wszystkich linii kolejowych w kraju.

### Nowoczesne metody obliczeniowe w modelowaniu XIX- i XX-wiecznych rozwiązań konstrukcyjnych obiektów mostowych

Wśród obiektów podlegających przeglądowi, często występującymi konstrukcjami były wiadukty o rozpiętości przęsła rzędu kilku metrów, przenoszące ruch po jednym torze. W takiej sytuacji konstrukcję stanowił ruszt z elementów belkowych z ułożoną bez-



Fot. 2. Konstrukcja mostowa o wysokich dźwigarach głównych



Fot. 3. Konstrukcja o nietypowej budowie dźwigarów



Fot. 4. Mocowanie szyn bezpośrednio do konstrukcji dźwigarów



Fot. 5. Usytuowanie obiektu mostowego w lesie



Fot. 6. Uszkodzenia korozyjne dolnej półki spowodowane zaleganiem liści



Fot. 7. Zniszczona blacha nadłożyskowa i półka dolna dźwigara na skutek korozji spowodowanej zaleganiem liści



Fot. 8. Zawilgocone ściany przyczółków

pośrednio na nim nawierzchnią torową (rys. 1). Przejrzysty układ elementów nośnych takiej konstrukcji oraz sposób podparcia umożliwia proste zamodelowanie jej jako układu prętów. Przy takiej rozpiętości wszystkie elementy konstrukcji nośnej przeszła dobrane są z typowych profili. Sporadycznie zdarzało się zastosowanie profilu dzisiaj nie produkowanego. Przykładem tu może być HEB o wysokości 380 mm. W niektórych programach taki profil może nie istnieć w bazie przekrojów, co wiąże się z koniecznością manualnego wprowadzenia danych przekroju do programu.

Wraz ze zwiększeniem rozpiętości przeszła zwiększa się też wysokość dźwigara. Pozostałe elementy raczej nie zmieniają się lub zmieniają się w niewielkim zakresie, ponieważ szerokość obiektu jest dostosowana do szerokości skrajni jednego toru (rys. 2).

W tych konstrukcjach pojawia się już dźwigar o zmiennej geometrii. Mimo stosunkowo niewielkiej rozpiętości przeszła, były projektowane nawet trzy przekroje dla dźwigara takiej konstrukcji.

Dźwigary były wykonywane jako blachownice spawane lub – w przypadku starszych konstrukcji – nitowane. Te ostatnie były jeszcze bardziej urozmaicone pod względem geometrii. Często też wykazywały się dużymi ubytkami ze względu na korozję. Przy określaniu nośności wiązało się to z przyjmowaniem dużej liczby podziałów dźwigara na długości w celu dostatecznie wiernego zróżnicowania zredukowanych przekrojów.

W wielu miejscach istniała konieczność zastosowania konstrukcji z linią łożysk dźwigarów w skosie w stosunku do osi obiektu (rys. 3). Stosowano wtedy dodatkowe podparcie pod koniec podłużnicy. Sposób zamodelowania tego podparcia ma wpływ na poziom naprężeń w podłużnicy nad najbliższą poprzecznicy. Przy analizie wyników należy zwrócić uwagę na wiarygodność otrzymany wartości w strefie podparcia.

Poza typowymi konstrukcjami w ramach przeglądu wykonano również modele konstrukcji innego typu. Przykładem będzie tutaj wiadukt o rozpiętości teoretycznej 9,5 m, przenoszący ruch kolejowy nad jezdnią (rys. 4).

Zamodelowanie tego wiaduku wymagało odpowiedniego podziału belek między dźwigarami. Podział ten musiał umożliwiać zasymulowanie istniejących pęknięć w środku rozpiętości tych elementów. Dodatkowo model musiał być obciążony pięcioma wariantami ustawienia lokomotywy, które umożliwiły skontrolowanie stanu naprężenia konstrukcji. Przy niewielkiej rozpiętości przeszła jest to znacząca liczba.

## Niedostatki materiałowe i konstrukcyjne w starych konstrukcjach mostowych

Kształt oraz w pewnej mierze kondycja omawianych mostów i wiaduktów kolejowych są efektem dostosowania ich na etapie projektowania do obowiązujących wówczas normatywów, wymiarowania według obowiązujących metod oraz spełnienia potrzeb i warunków, jakim powinny odpowiadać. Elementy głównego mostu i połączenia projektowano metodą naprężeń liniowych, biorąc pod

uwagę obowiązujący, według ówczesnych norm, współczynnik bezpieczeństwa. Wartość obciążenia użytkowego, co do jego masy, nie różniła się znacząco od określonych w obecnie obowiązujących normach. Stosowano gęsto rozmieszczone, mocne poprzecznice, przez co eliminowano wchrowatość. Dlatego przekrój był solidny i gdyby nie braki w utrzymaniu, większość z nich mogłaby prawidłowo spełniać swoją rolę do dzisiaj. Starano się uzyskać jak najmniejszą wysokość konstrukcyjną obiektu. Decydowały o tym względy wojskowe (obiekt trudny do zniszczenia z dużej odległości) oraz ekonomiczne (wysokość nasypu na dojazdach lub głębokość wykopu dla drogi pod obiektem). W trakcie procesu projektowania zwracano małą uwagę na sztywność przęseł przez co, o ile stan graniczny nośności w większości obiektów jest spełniony dla określonej klasy obciążenia, o tyle stan graniczny ugięć nie zawsze. W konstrukcjach stalowych, wzmacniając obiekt, o wiele trudniej jest zwiększyć jego sztywność niż nośność. Zwłaszcza w obiektach nitowanych. Mała sztywność obiektu powoduje jego większą podatność na oddziaływania dynamiczne. Powstaje więc konieczność znacznego ograniczenia prędkości pociągów. Sprawia to, że niecelowa staje się przebudowa torowiska na całej linii bez remontu, przebudowy lub wymiany obiektu mostowego, która wynikałaby z potrzeby zwiększenia prędkości.

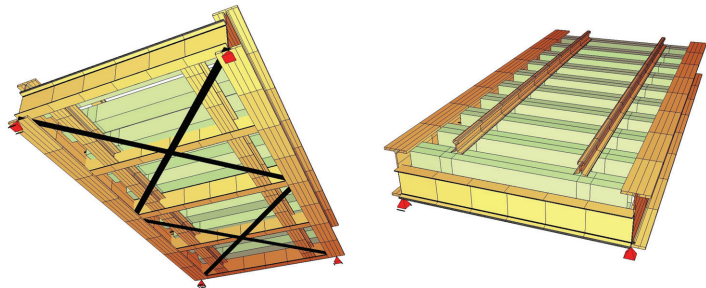
Jak wspomniano, niemal wszystkie konstrukcje mostowe miały mniejsze lub większe uszkodzenia korozyjne. Wynika to z faktu, że bardzo małą wagę przywiązywano do zagadnień ochrony antykorozyjnej, a jednocześnie ówczesne technologie nie zapewniały długotrwałej ochrony. Projektowane były konstrukcje złożone, o dużym rozwinięciu powierzchni z dużą liczbą potencjalnych ognisk korozji. Być może ówczesni decydenci i w ślad za nimi projektanci obiektów nie przewidywali możliwości braku wykonywania robót utrzymaniowych czy konserwatorskich. XIX-wiecznym elitom nie wydawały się możliwe dwie wojny światowe, okres realnego socjalizmu, kiedy społeczeństwo i administracja kolejowa miały sprawy ważniejsze do rozstrzygnięcia, aniżeli żmudne i nieefektywne prace przy zabezpieczeniach antykorozyjnych. Ważną przesłanką może być też gwałtowne zwiększenie kosztów pracy ludzkiej, spowodowane zwiększeniem podatków, innych danin publicznych i samego wynagrodzenia. Innym wytłumaczeniem może być projektowany krótki okres użytkowania obiektu. Być może projektanci liczyli się z tym, że po stosunkowo krótkim okresie eksploatacji konstrukcja zostanie wymieniona na nową i zagadnienie jej trwałości nie będzie miało tak fundamentalnego znaczenia. Jednakże splot wydarzeń spowodował, że nawet dziś myśli się o ich modernizacji i wzmocnieniu, zamiast zastąpieniu nowymi konstrukcjami.

## Wnioski z przeprowadzonych badań obiektów mostowych

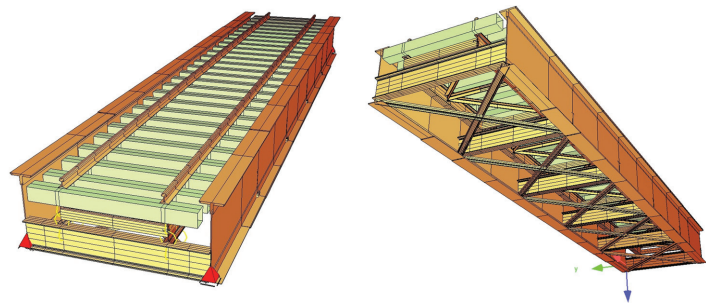
Podstawowym wnioskiem, jaki nasunął się po wykonaniu przeglądów, jest niedostatek prac utrzymaniowych na wszystkich obiektach mostowych. Uszkodzenia i pęknięcia betonu podpór, wegetacja roślin, liczne śmieci (liś-



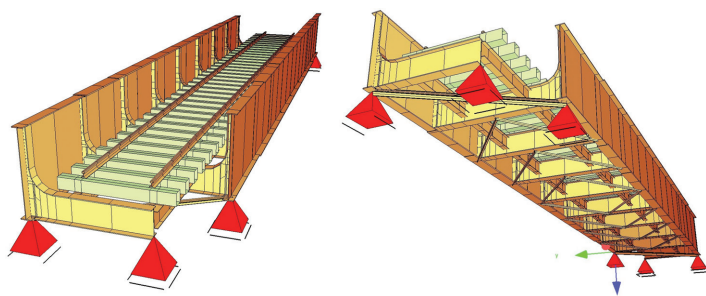
Fot. 9. Podmyte podkłady kolejowe przed wjazdem na obiekt



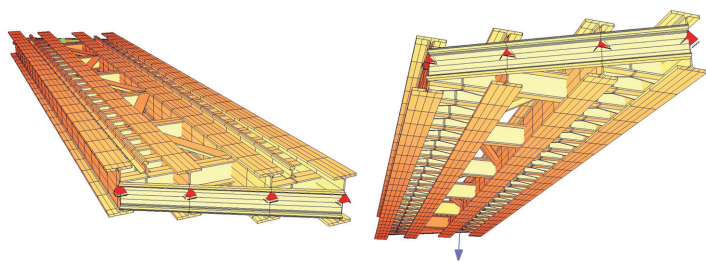
Rys. 1. Model konstrukcji jednoprzęsłowej o niewielkiej rozpiętości przęsta



Rys. 2. Model konstrukcji jednoprzęsłowej o rozpiętości przęsta przekraczającej 10 m



Rys. 3. Modelu konstrukcji jednoprzęsłowej w skosie



Rysunek 4. Modelu konstrukcji jednoprzęsłowej o małej wysokości konstrukcyjnej

cie), kumulujące zanieczyszczenia i wilgoć, zniszczona powłoka antykorozyjna, skorodowane elementy konstrukcyjne obiektów mostowych czy brak obowiązkowego wyposażenia kolejowego (np. brak blach przeciwpożarowych czy zniszczone mostownice) to są wszystko uszkodzenia, które powinny zostać wychwycone i naprawione w ramach rutynowych prac utrzymaniowych.

Wiele wiaduktów z tego okresu nie zachowuje skrajni drogowej. W czasie ich budowy obowiązywały inne przepisy w tym zakresie. Sytuacje tego typu w większości przypadków rozwiązywane są przez zmianę niwelety drogi pod wiaduktem. Nie zawsze jest to jednak możliwe. Ograniczać to mogą wymagane spadki na dojazdach drogi, warunki gruntowo-wodne oraz konstrukcja fundamentów. W takiej sytuacji konieczna może się okazać wymiana konstrukcji.

Ogólnie rzecz biorąc obiekty mostowe powinny być remontowane, a nie wymieniane na nowe. Wyjątkiem są sytuacje, gdy znajdują się one w stanie krytycznym co do nośności, gdy jest konieczne powiększenie skrajni pod wiaduktem, gdy wymaga tego zmiana układu torowego oraz gdy stan materiału konstrukcyjnego nie daje pewności co do jego niezawodnej pracy.

Z praktyki wynika, że jednostki badawcze, wydające opinie techniczne o stanie obiektów mostowych na podstawie inwentaryzacji uszkodzeń, badań i obliczeń, mają bardzo mały wpływ na jakość utrzymania. Opinie takie powstają dopiero wówczas, gdy stan obiektu budzi poważne obawy służb kolejowych lub gdy mają ulec zmianie warunki eksploatacyjne, a brak jest dokumentacji technicznej obiektu. Zaznaczyć należy, że ta ostatnia sytuacja świadczy o „zwyczajowym” użytkowaniu obiektu, bo choć brak jest dokumentacji, to obiekt dopuszczony jest do eksploatacji na zasadach „jak do tej pory”. Należy pamiętać, że utrzymanie obiektu to również kontrola nad masą i prędkościami pociągów. Opracowując opinię należy brać pod uwagę wszystkie dane o obiekcie, pomiary, inwentaryzację uszkodzeń, istniejącą dokumentację, własne obliczenia, ważne zdarzenia z historii obiektu (kwerenda). Jest to konieczne do stworzenia czytelnego i jednoznacznego obrazu stanu obiektu. Opinie wydane jedynie na podstawie badań obciążeniowych czy materiałowych nie są w pełni wyczerpujące. Administracja kolejowa zwraca się do jednostek badawczych o wykonanie próbnego obciążenia lub badań materiałowych i takie badania są wykonywane. Wynikiem tego postępowania jest stwierdzenie, że otrzymane wyniki mieszczą się w przewidywanym zakresie lub nie. Nie są to wszystkie parametry decydujące o przydatności obiektu do dalszej eksploatacji. Jednostki badawcze przygotowane są do przeprowadzenia analizy wszystkich przesłanek świadczących o stanie obiektu.

### **Przyszłość stuletnich obiektów mostowych w świetle podnoszenia prędkości pociągów oraz zwiększania obciążeń eksploatacyjnych**

W trakcie prowadzonych prac pojawiło się pytanie o zwiększenie prędkości pociągów na obiektach inżynierskich do prędkości obowiązującej nominalnie na danym szlaku, a są to prędkości wynoszące nawet 160 km/h. Zdaniem autorów dopuszczenie

ruchu pociągów z takimi prędkościami jedynie na podstawie fragmentarycznych badań materiałowych i nawet szczegółowych przeglądów, byłoby działaniem nieodpowiedzialnym. Należy pamiętać, że w większości są to obiekty wykonane przed kilkunastoma dekadami, z ówczesnych, niedoskonałych metalurgicznie materiałów konstrukcyjnych, które przez dziesiątki lat poddawane były intensywnemu obciążeniu dynamicznemu. Wydaje się, że w tej sytuacji należy pogodzić się ze śmiercią techniczną wyeksploatowanej konstrukcji stalowej obiektu mostowego i zastąpić ją nowoczesną konstrukcją stalową lub zespoloną stalowo-betonową, która przez dziesięciolecia zapewni przeprawę bezpieczną i wolną od trosk utrzymaniowych.

Należy wspomnieć, że obecne tendencje europejskie kładą nacisk na ciągłe monitorowanie kolejowych obiektów mostowych. Eksperymentalne systemy zbierają dane dotyczące obciążeń, naprężeń, charakterystyki dynamicznej czy pośrednio odnotowują pojawienie się ewentualnych uszkodzeń. Najważniejsze prace toczą się pod auspicjami Badawczego Funduszu Węgla i Stali, którego nieustającą troską jest wykorzystanie stali w budownictwie mostowym. W związku z tym Fundusz subsydiuje prace, których zadaniem jest ulepszanie konstrukcji i zwiększanie bezpieczeństwa eksploatacji obiektów ze stali tak, aby zachęcić inwestorów kolejowych do korzystania ze stali, jako materiału konstrukcyjnego. Do najważniejszych należą programy FADLESS – *Monitorowanie i ocena wytrzymałości zmęczeniowej drogowych i kolejowych obiektów mostowych* czy DETAILS – *Projektowanie pod kątem optymalnego kosztu wytwarzania i eksploataowanie kolejowych konstrukcji mostowych, z wykorzystaniem metod monitoringu*. Wszystkie raporty z tych programów badawczych dostępne są na stronach <http://cordis.europa.eu/coal-steel-rtd/>.



*mgr inż. Tomasz Biczal*  
*Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa*

*inż. Robert Czachowski*  
*Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa*

*mgr inż. Małgorzata Mazanek*  
*Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa*

*mgr inż. Paweł Nurek*  
*Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa*

*dr inż. Tomasz Wierzbicki*  
*Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa*