

Sprężone obiekty kolejowe w aspekcie doświadczeń firmy **Budimex**

tekst: **MARCIN SMOLNIK, JUSTYNA MALETA**, Budimex SA, Biuro Techniczne, zdjęcia: **BUDIMEX SA**

Fundusze europejskie przyznane Polsce w ramach perspektywy UE na lata 2014-2020 stanowią znaczący bodziec dla budownictwa infrastrukturalnego w naszym kraju. Co prawda przetargów organizowanych przez PKP w latach 2014-2017 było niewspółmiernie mniej niż organizowanych w tym samym czasie przez GDDKiA, jednak i w tych drugich do wykonania zdarzały się obiekty w ciągu linii kolejowych.



Budimex SA jest firmą budowlaną z 50-letnią tradycją. Mamy znaczący udział w rozwoju gospodarczym Polski, naszą pracą podnosimy jakość życia milionów Polaków. Zrealizowaliśmy tysiące nowoczesnych inwestycji infrastrukturalnych, kubaturowych i przemysłowych. Innowacyjność, doskonalenie i kierowanie się zasadami zrównoważonego rozwoju pozwoliły nam zdobyć pozycję lidera polskiego rynku budowlanego. Jesteśmy obecni także na rynkach zagranicznych. Stopniowo zwiększamy swoje zaangażowanie w sektorze *facility management* (obsługa nieruchomości i obiektów infrastruktury) oraz gospodarki odpadami. Od 1995 r.

nasza spółka notowana jest na warszawskiej GPW, a od 2011 r. wchodzi w skład indeksu Respect – najbardziej odpowiedzialnych spółek giełdowych. Inwestorem strategicznym Budimeksu jest hiszpańska firma o globalnym zasięgu – Ferrovial. W skład grupy wchodzi: Budimex Nieruchomości, Mostostal Kraków oraz Elektromontaż Poznań SA. Jesteśmy jednym z sygnatariuszy Porozumienia dla Bezpieczeństwa w Budownictwie – inicjatywy utworzonej w 2010 r., zrzeszającej największych generalnych wykonawców w Polsce w celu podniesienia poziomu bezpieczeństwa pracy w branży budowlanej.

Lata 2018–2020 i kolejne powinny odwrócić tę tendencję, czyniąc z PKP głównego inwestora napędzającego w Polsce budownictwo infrastrukturalne. W tym aspekcie doświadczenia uzyskane w trakcie prac koncepcyjnych, uwzględniających warunki kontraktowe, jak i prac projektowych nad obiektami kolejowymi są szczególnie cenne.

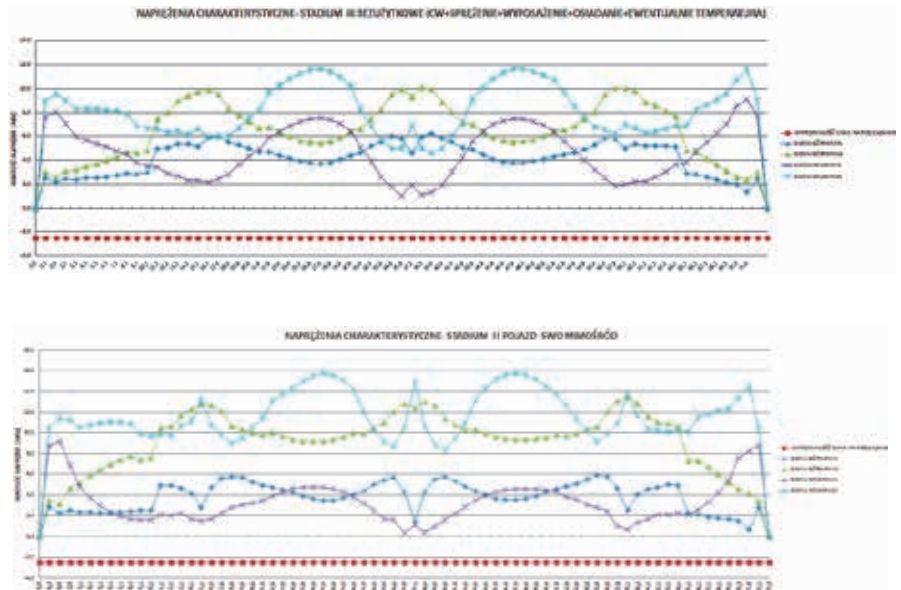
Artykuł skupia się na najistotniejszych doświadczeniach firmy Budimex uzyskanych podczas prac nad sprężonymi obiektami kolejowymi, wykonywanymi dla GDDKiA.

Formalne aspekty projektowania kolejowych obiektów inżynierskich

Projektowanie kolejowych obiektów inżynierskich umocowane jest w zupełnie innych realiach formalnych niż projektowanie drogowych obiektów inżynierskich. Niewątpliwym plusem tej gałęzi infrastruktury są unowocześnione ramy prawne. Istnieje tutaj jasność co do doboru zestawu norm projektowych, dzięki takim zapisom, jak w paragrafie 14b [1], tj.: „Modele obciążeń projektowych stosuje się zgodnie z normą PN-EN 1991 Eurokod 1 *Oddziaływania na konstrukcje*”.

W przypadku kontraktów, w których inwestorem są spółki PKP (w odróżnieniu od np. budowanej przez Budimex PKM w Gdańsku, gdzie inwestorem była Pomorska Kolej Metropolitarna – PKM), dzięki uchwale [2] wymóg i zakres stosowania norm PN-EN jest określony jeszcze wyraźniej. W punktach 1.3.3 i 1.3.4 uchwała [2] szczegółowo na pięciu stronach określa w odniesieniu do norm PN-EN sposób wyznaczania i wymiarowania poszczególnych stanów granicznych nośności i stanów granicznych użytkowalności dla obiektów inżynierskich.

Powyższy wymóg stosowania norm PN-EN jest powiązany z wdrażaniem dyrektyw europejskich. Najnowsza wersja dyrektywy Parlamentu Europejskiego w sprawie interoperacyjności systemu kolei w Unii Europejskiej [3] nakłada na inwestycje kolejowe obowiązek ich certyfikacji. Inwestycjami kolejowymi mogą być w rozumieniu tych przepisów przebudowa, rozbudowa czy też modernizacja linii kolejowej, i to właśnie linia kolejowa jako całość ulega ostatecznie certyfikacji. Należy mieć świadomość



Dla wszystkich stanów pracy konstrukcji otrzymano pełne ściskanie – zwiększyło to trwałość konstrukcji

tego faktu podczas projektowania kolejowych obiektów inżynierskich.

W aspekcie samego projektowania według EC projektowany przez jednostkę projektową Budimex (BT Projekt) obiekt WK-1, będący obiektem kablobetonowym, dwudźwigarowym, czteroprzęsłowym, o rozpiętościach 12,5 m, 22 m, 22 m, 14,5 m, sprawdzony został w odniesieniu do następujących warunków:

- A. SLS (obliczeń dokonano dla trzech stadiów pracy konstrukcji):
 - stadium I. Stan beзуżytkowy,
 - stadium II. Open traffic,
 - stadium III. Stan użytkowy.
- a. Ograniczono naprężenia ściskające w betonie do wartości $k_1 \cdot f_{ck} = 24 \text{ MPa}$ dla kombinacji charakterystycznej.
- b. Ograniczono naprężenia ściskające w betonie do wartości $k_2 \cdot f_{ck} = 18 \text{ MPa}$ dla kombinacji quasi-stałej.
- c. Ograniczono naprężenia w cięgnach sprężających do wartości $k_s \cdot f_{ck} = 1395 \text{ MPa}$ dla kombinacji charakterystycznej.
- d. Wyznaczono minimalne pole przekroju ze względu na zarysowanie, za-

kładając odpowiednie f_{ctk} , zależne od stadium pracy konstrukcji.

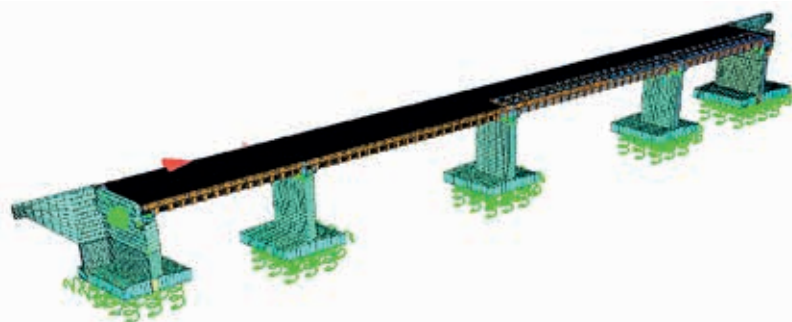
e. Sprawdzono warunek dekompresji przy założeniu rejonu dekompresji 100 mm.

f. Obliczono szerokość rys przy uwzględnieniu obciążenia dominującego krótkotrwałego.

B. ULS (obliczeń dokonano dla trzech stadiów pracy konstrukcji):

- stadium I. Stan beзуżytkowy,
- stadium II. Open traffic,
- stadium III. Stan użytkowy.
- a. Sprawdzono przekroje obciążone momentem zginającym i siłą podłużną.
- b. Wyznaczono ilość zbrojenia ze względu na ścinanie.
- c. Wyznaczono ilość zbrojenia ze względu na skręcanie.

Przy projektowaniu obiektu kluczową rolę odgrywa model obliczeniowy oraz jego wierność w stosunku do rzeczywistej pracy konstrukcji. Na ten aspekt podczas projektowania obiektu WK-1 położono szczególny nacisk. Wykonano szereg modeli poszczególnych elementów (podpór,



Model obliczeniowy obiektu WK-1

ustroju), ostatecznie łącząc je wszystkie w jeden. Powyższy zabieg w połączeniu z uwzględnieniem rzeczywistych faz pracy występujących w obiekcie pozwolił na uzyskanie rzeczywistego zachowania samego modelu. Autorzy zwracają uwagę na niebezpieczeństwa związane z oddzielnym modelowaniem ustroju i liczeniem pali na podstawie uzyskanych sił na ławy przez firmy specjalistyczne. Stosując ten zabieg, łatwo popełnić następujące błędy:

1. Nieuwzględnienie rzeczywistych podatności ławy w modelu, wpływających na rozkład przemieszczeń i naprężeń w samej konstrukcji (zwłaszcza dla konstrukcji o podatnych ławach).

2. Mieszanie systemów norm, tj. zbieranie sił na podstawie PN, a wymiarowanie przez firmy specjalistyczne według własnych wzorów empirycznych, powiązanych z EC7.

Technologie wykonywania i badania kolejowych obiektów inżynierskich

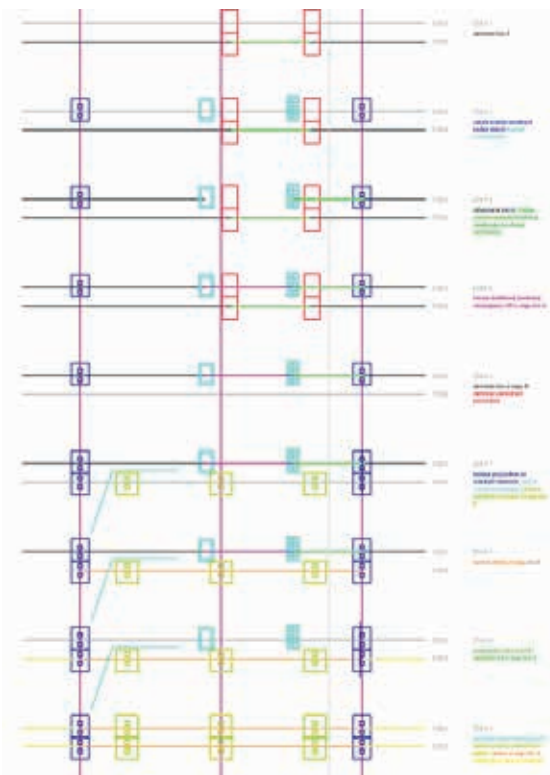
W kontraktach typu zaprojektuj i zbuduj duży wpływ na formę projektowanego i realizowanego obiektu mają warunki kontraktowe. Często to one ostatecznie wpływają na technologię wykonania obiektu, gdzie z kolei ta ostatnia determinuje rodzaj konstrukcji samego obiektu. Budowa kolejowych obiektów inżynierskich zlokalizowanych w ciągu istniejących linii kolejowych prowadzona jest zazwyczaj z zastosowaniem jednej z następujących technologii:

Budowa obiektu w pobliżu jego docelowej lokalizacji i jego nasunięcie / wciśnięcie

Produkcja konstrukcji w tej technologii odbywa się na specjalnie przygo-



Budowa drogi S19 Lubartów – Kraśnik z zastosowaniem metody przecisku ramy dwukomorowej



Analiza stadiów budowy WK-1 metodą półwkową z zastosowaniem konstrukcji odciążających

utowanym stanowisku, zlokalizowanym w sąsiedztwie planowanego mostu. Po zbudowaniu obiektu (w przypadku nasuwania poprzecznego i wciskania) lub po wybudowaniu zadanych sekcji (w przypadku nasuwania podłużnego) następuje nasunięcie konstrukcji obiektu na odpowiednie podpory. Przesunięcie to wykonuje się na łożyskach ślizgowych w ściśle określonych ramach czasowych.

Obiekty realizowane metodą nasuwania poprzecznego to głównie obiekty stalowe blachownicowe, w przypadku zaś nasuwania podłużnego mówimy przede wszystkim o obiektach kablo-betonowych.

Obiekty najmniejsze wykonuje się metodą przecisku w kierunku poprzecznym do osi linii kolejowej. Jest to metoda bezwykopowa, umożliwiająca wykonanie obiektów o małych gabarytach, których długość jest mniejsza niż 20 m. Należy pamiętać, że przeciskany element musi posiadać odpowiednią sztywność, w związku z tym zazwyczaj przeciska się obiekty ramowe zamknięte, jedno- lub dwukomorowe.

Budowa obiektu nitka po nitce, tzw. metoda półwkowa

Najpopularniejszą z metod budowy obiektów inżynierskich w ciągu istnie-

jących linii kolejowych jest tzw. metoda półwkowa. Metoda ta pozwala na wykonywanie wszelkiego rodzaju prac budowlanych w torze zamkniętym oraz zapewnienie przepustowości w torze czynnym. Metoda półwkowa polega na zabezpieczeniu czynnego toru (bądź torów) przez wbicie ścianek szczelnych między torem czynnym oraz torem zamkniętym na długości wynikającej z pochylenia wykopu powstałego w torze zamkniętym. Ze względu na konieczność zapewnienia stateczności pograżonych ścianek w większości przypadków należy wykonać pograżanie tzw. kontrścianek wzdłuż toru czynnego oraz połączenie ich ze ściankami zasadniczymi za pomocą stalowych ściągow. Często metodzie tej towarzyszy również stosowanie konstrukcji odciążających.

Budowa obiektu z zastosowaniem tzw. bajpasów

Jest to metoda wymagająca bardzo dokładnego poznania warunków kontraktowych (włącznie z takimi szczegółami, jak uzyskanie informacji o właścicielach działek przylegających do inwestycji, znajdujących się poza liniami rozgraniczającymi, w celu oceny możliwości ingerencji w te działki). Metoda ta jest



Budowa bajpasu przy WK-9 na obwodnicy Jarocina

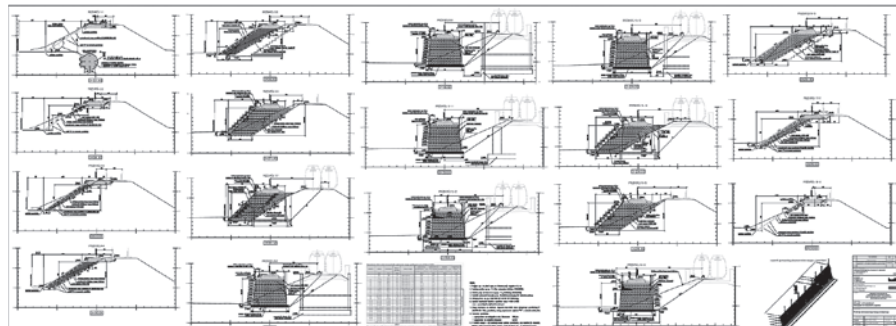


w Polsce słabo rozpowszechniona, uznawana za nowinkę technologiczną, jednak zdaniem Biura Technicznego Budimeksu, często to właśnie ona pozwala na wybudowanie obiektu w najbardziej optymalnym wariantcie. Budimex przy wsparciu swojego Biura Technicznego wykonał w tej technologii obiekty kolejowe na obwodnicy Jarocina we wspomnianym wcześniej kontrakcie na budowę S17, odcinek 3, Kołbiel – Garwolin oraz planuje zastosowanie tej technologii przy budowaniu obiektów na Trasie Łągiewnickiej w Krakowie.

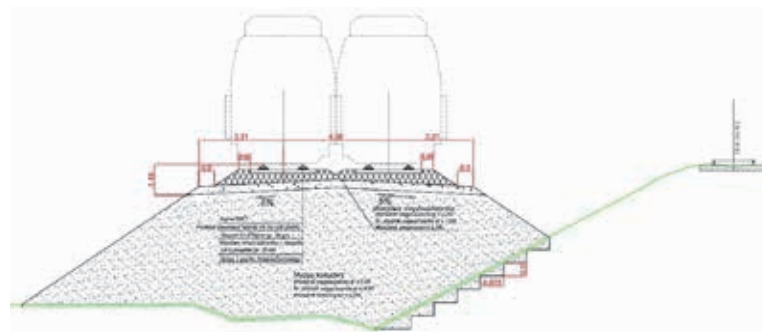
Metoda ta polega na wybudowaniu – równoległej do istniejącej linii kolejowej – skarpy kolejowej, na którą przeniesiony zostaje tymczasowo ruch kolejowy. Odbiór oraz włączenie do użytkowania bajpasu kolejowego pozwala na bezproblemowe prowadzenie prac budowlanych w lokalizacji docelowego obiektu inżynierskiego. Dzięki tej metodzie nie ma problemu z rozebraniem zarówno istniejącej skarpy kolejowej, jak i kolidującego z budową starego obiektu inżynierskiego. Po bezproblemowym wybudowaniu docelowego obiektu materiał ze skarpy bajpasu można wykorzystać ponownie w kontrakcie – fakt ten powoduje dodatkową optymalizację kosztów związaną z zastosowaniem omawianej technologii.

W zależności od przebiegu linii rozgraniczających inwestycji może okazać się potrzebne zastosowanie bajpasu nie w postaci tradycyjnej skarpy z pochyleniem, lecz w formie bloku z gruntu zbrojonego. Przedmiotowe skarpy o pochyleniu 80° zastosowano na obwodnicy Jarocina. Dodatkowym plusem takiego rozwiązania jest ograniczenie liczby ścian szczelnych, potrzebnych do wykonania w rejonie ław docelowego obiektu inżynierskiego. Innym elementem mogącym wystąpić na bajpasie jest konstrukcja odciążająca. Wystąpiła ona na WK-1, a jej obecność była spowodowana koniecznością utrzymania ruchu poprzecznego do kierunku istniejącej linii kolejowej.

Podczas projektowania WK-1 dużą uwagę zwracano na dobór odpowiedniej



Projekt bajpasu budowanego przy WK-9 na obwodnicy Jarocina



Projekt bajpasu budowanego przy WK-1 na S17, odcinek 3, Kołbiel – Garwolin



Budowa bajpasu przy WK-1 na S17, odcinek 3, Kołbiel – Garwolin

konstrukcji odciążającej. Zdecydowano się na użycie takiej, której geometria mogła zminimalizować jej wysokość konstrukcyjną (był to ważny aspekt przy rozwiązaniu zagadnienia tymczasowej organizacji ruchu na czas budowy). Zastosowano również systemowe, wypożyczone wraz z konstrukcją odciążającą, bloki podłożyskowe.

Obciążenie dynamiczne obiektu

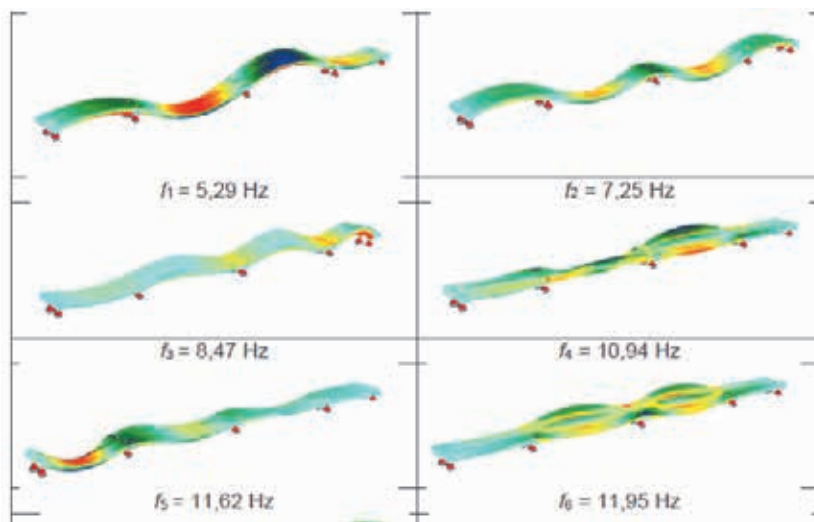
Przy projektowaniu WK-1 zdecydowano się na zastosowanie zarówno rozwiązań sprawdzonych na innych budowach Budimeksu, jak i rozwiązań innowacyjnych, których wdrażanie wspierane było przez jednostkę naukową. Jedną z innowacji był sposób podejścia do obciążeń dynamicznych. Projektant



Konstrukcja odciążająca



Prefabrykowane bloki podłożyskowe pod konstrukcją odciążającą



Wizualizacja przedstawiająca podstawowe częstotliwości i postaci drgań własnych, otrzymana w wyniku przeprowadzonych analiz teoretycznych

zdecydował się na podjęcie w przedmiotowej kwestii współpracy z Politechniką Gdańską, co zaowocowało utworzeniem projektu próbnego obciążenia WK-1 z wykorzystaniem autorskiego sposobu wzbudzenia konstrukcji (nie zaś za pomocą standardowego rozwiązania polegającego na przejazdach pociągu przez obiekt z kolejnymi prędkościami). Wykorzystana technologia w swoim założeniu umożliwi nie tylko na zbadanie zachowania pociągu przy wzbudzanych przez przejeżdżający pociąg częstotliwościach, lecz pozwoli także na zbadanie zachowania konstrukcji dla wzbudzeń zgodnych z częstotliwościami drgań własnych konstrukcji, co jest istotną zaletą tego sposobu badania dynamicznego obiektu. Autorzy artykułu (w tym Marcin Smolnik, główny projektant mostowy kontraktu S17 Kołbiel – Garwolin) wiążą duże nadzieje z wykorzystaniem przedmiotowej technologii obciążenia obiektów inżynierskich w przyszłości.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono główne aspekty projektowania oraz realizacji kolejowych obiektów inżynierskich z perspektywy projektanta mostowego zatrudnionego w strukturach generalnego wykonawcy. Perspektywa ta jest na tyle wyjątkowa, że stwarza możliwość realnego wpływu na formę obiektu, od momentu wzięcia udziału w przetargu na zaprojektowanie obiektu aż do momentu jego odbioru. Z racji krótkiej formy wymieniono zaledwie kilka aspektów, na które autorzy chcieliby zwrócić uwagę i które przytoczyli bądź to formie upomnienia czytelnika, bądź w formie podzielenia się swoimi doświadczeniami.

W podsumowaniu autorzy chcieliby zwrócić uwagę na dwie główne kwestie.

1. Należy pamiętać, że tematy kolejowe znacznie różnią się wachlarzem stosowanych technologii oraz rozwiązań od tematów drogowych. Mowa tu nie tylko o szczegółach (takich jak łożyskowanie czy strefa przejściowa za obiektem), ale i priorytetach, którymi projektant powinien się kierować, chcąc przedstawić możliwie najbardziej optymalne rozwiązanie. Często okazuje się (ze względu na wysokie koszty wyłączeń kolejowych), że najbardziej optymalna technologia budowy sumarycznie oparta jest na jak najkrótszych okresach wyłączeń kolejowych.

2. Należy zwrócić uwagę, że tematy kolejowe są uporządkowane pod względem formalnym. Obecnie kolejowe obiekty inżynierskie mogą, a wręcz powinny być projektowane według ujednoliconego zestawu norm europejskich, tzw. Eurokodów (PN-EN). Stosowanie Eurokodów do projektowania mostów, wiaduktów oraz innych obiektów kolejowych na liniach zarządzanych przez PKP PLK SA jest zagwarantowane prawnie przez [1 i 2].

Brak niestety podobnych uregulowań prawnych w dziedzinie projektowania drogowych obiektów inżynierskich. Często wprowadza to nieład w zakresie używanych przez projektantów drogowych obiektów inżynierskich norm. Zdarza się, że projektanci obiektów drogowych nieświadomie łączą ze sobą system norm polskich z Eurokodami. Autorzy wyrażają nadzieję, że w najbliższym czasie kwestia obowiązkowego używania Eurokodów do projektowania wszystkich obiektów inżynierskich (zarówno kolejowych, jak i drogowych) zostanie ostatecznie rozwiązana.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 5 czerwca 2014 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie.
- [2] Uchwała nr 263/2010 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 14 czerwca 2010 r. w sprawie przyjęcia do stosowania w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. „Standardów technicznych – szczegółowych warunków technicznych dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} < 200$ km/h (dla taboru konwencjonalnego) i 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem)”.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2016/797 z dnia 11 maja 2016 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei w Unii Europejskiej.
- [4] Eurokod 1 PN-EN 1991 *Oddziaływania na konstrukcje*.
- [5] Fragmenty projektów wykonawczych i technologicznych obwodnicy Jarocina; jednostka projektowa URS Polska, wykonawca Budimex.
- [6] Projekt wykonawczy tymczasowego nasypu kolejowego przy WK-9; mgr inż. Marcin Derlacz, Maccaferri Polska.
- [7] Fragmenty projektów wykonawczych i technologicznych S17 Kołbiel – Garwolin; jednostka projektowa Biuro Techniczne Budimex, wykonawca Budimex.
- [8] Projekt próbnego obciążenia obiektu WK-1; dr inż. Mikołaj Miśkiewicz, prof. dr hab. inż. Jacek Chróścielewski, Politechnika Gdańska.

