



JERZY WESELI, *jerzy.weseli@polsl.pl*  
ANDRZEJ RADZIECKI, *andrzej.radziecki@polsl.pl*  
STEFAN PRADELOK, *stefan.pradelok@polsl.pl*  
Politechnika Śląska, Katedra Dróg i Mostów

## JAK NIE NALEŻY BUDOWAĆ MOSTÓW NA TERENACH GÓRNICZYCH

### HOW NOT TO BUILD BRIDGES IN MINING AREAS

**Streszczenie** W referacie przedstawiono przykłady błędów w realizacjach mostów na terenach objętych górnictwymi deformacjami terenu. Błędy te wynikają głównie ze źle pojętego określenia „układ statycznie wyznaczalny”. Jeden z takich błędów doprowadził do awarii. Wyjaśniono genezę błędu i podano wskazówki właściwych rozwiązań.

**Abstract** The paper presents examples of errors in construction of bridges in areas subject to mining related terrain deformations, focusing on problems resulting from incorrect implementation of statically determinate concept. One of such errors led to the serious failure. The paper attempts to explain sources of such errors and provides guidance for appropriate solutions.

#### 1. Wstęp

Obecna sytuacja, szczególnie związana z systemem przetargowym powoduje, że budowle mostowe na terenach objętych eksploatacją górnictw są nierzadko projektowane przez zespoły nie mające w tej dziedzinie doświadczeń. Ponadto występują formalne wymagania często nie mające uzasadnienia technicznego. Na przykład w krążących po biurach projektów dawnych wytycznych projektowania budowli komunikacyjnych na terenach górnictw, w niektórych podręcznikach i czasem w obecnych formalnych warunkach technicznych projektowania występuje zalecenie, by mosty na terenach górnictw wykonywać jako swobodnie podparte, a więc w domyśle statycznie wyznaczalne.

To żądanie jest niewykonalne.

#### 2. Co to jest ustrój statycznie wyznaczalny

Pojęcie „ustrój statycznie wyznaczalny” należy do tak podstawowych z dziedziny inżynierii, że traktowane jest niemal jak pojęcie pierwotne, nie wywołujące zastanowienia się nad jego znaczeniem. Już wielokrotnie przy różnych okazjach i w publikacjach (np. [1]) wskazano na pułapki takiego traktowania tego terminu.

Przed wszystkim należy rozróżnić abstrakcyjny model od rzeczywistej konstrukcji, która tylko może w jakiejś mierze do tego modelu się zbliżyć.

Z punktu widzenia mechaniki ustrój statycznie wyznaczalny to model, którego zewnętrzne rozwiązanie, czyli wyznaczenie niewiadomych reakcji, jest możliwe z wykorzystaniem samych warunków równowagi. Wynikają z tego inne własności, między innymi niezależność sił wewnętrznych od rozkładu sztywności materiałów oraz niewrażliwość na wpływy

niemechaniczne. To ostatnie, czyli nie wywoływanie w ustroju sił wewnętrznych przy działaniu różnic temperatury i przemieszczeń podpór, legło u podstaw wspomnianego wymogu dotyczącego budowli na terenach podlegających deformacjom górniczym. Na przykład w rozporządzeniu [6] występuje stwierdzenie „Powinno się dążyć do tego, aby ustroje nośne obiektów mostowych na terenach górniczych były przewidziane jako wolno podparte, a układy łożysk zapewniały swobodę przemieszczeń przęsła”. Wprawdzie nie mówi się tam wprost o statycznej wyznaczalności, ale właśnie to kryterium legło u podstaw powyższego zalecenia.

### 3. Postulaty dotyczące mostów na terenach deformacji górniczych

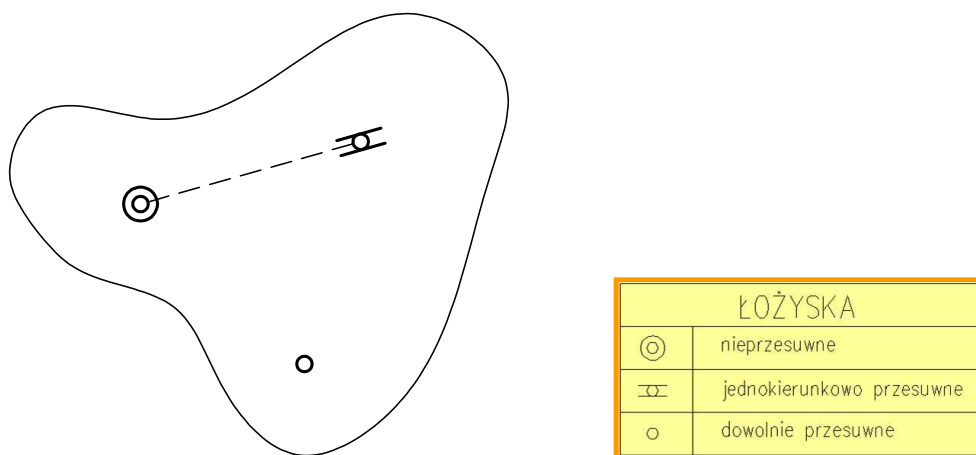
Zapytajmy, co kryje się pod żądaniem projektowania układów statycznie wyznaczalnych. Jest to po prostu żądanie spokoju dla właściciela obiektu. Bo skoro w ustroju w wyniku deformacji terenu nie występują dodatkowe siły wewnętrzne, nie ma potrzeby zwracania na deformacje specjalnej uwagi i przeznaczania dodatkowych środków na czas eksploatacji.

O prawdziwości tego podejścia świadczy fakt, że mimo nakazanych administracyjnie wymogów monitorowania, do powszechnej praktyki należy zaniechanie obserwacji pod kątem wpływów deformacji terenu na obiekt z chwilą przejścia go przez administrację. Występuje to nawet wtedy, gdy w czasie budowy obiekt był już obserwowany [2].

A spokój taki jest niestety złudny.

### 4. Istnienie a odpowiedniość do ustrojów statycznie wyznaczalnych

Pomijając wiele innych założeń mechaniki co do ustrojów statycznie wyznaczalnych [1] zajmijmy się tylko jednym aspektem: sposobem ułożyskowania ustrojów płaskich. Ustroje takie w postaci płyt i rusztów wielobelkowych stanowią przeważającą grupę konstrukcji mostowych.

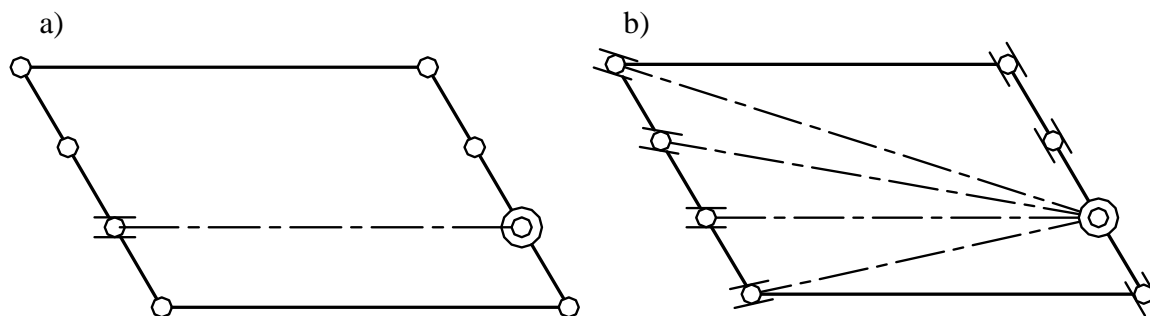


Rys. 1. Płaski ustrój swobodnie podparty

Płaski układ statycznie wyznaczalny powinien mieć schemat ułożyskowania jak na rys. 1. Trudno wyobrazić sobie sytuację terenową, w której most nie byłby podparty w co najmniej czterech punktach. Ruszt czy płyta podparta w czterech punktach nie jest już układem statycznie wyznaczalnym nawet wtedy, gdy w widoku bocznym ma schemat ułożyskowania odpowiadający belce swobodnie podpartej.

Szczególnie odległe od założeń modelu statycznie wyznaczalnego są mosty ukośne (rys. 2). W nich nawet przy froncie eksploatacji górniczej prostopadłym do osi szlaku komunikacyjnego występują przechylenia podpór prowadzące do zginania i skręcania ustroju nośnego.

Niekiedy statyczna wyznaczalność jest mylona ze swobodą odkształceń w odniesieniu do dylatacji [3]. Na przykład ustroje na rys. 2 mają pełną swobodę rozszerzania się pod wpływem równomiernego przyrostu temperatury, choć są układami statycznie niewyznaczalnymi. Ta ich niewyznaczalność ujawniłaby się przy nierównomiernym przyroście temperatury na kierunku pionowym, a tym samym przy deformacji podłoża.

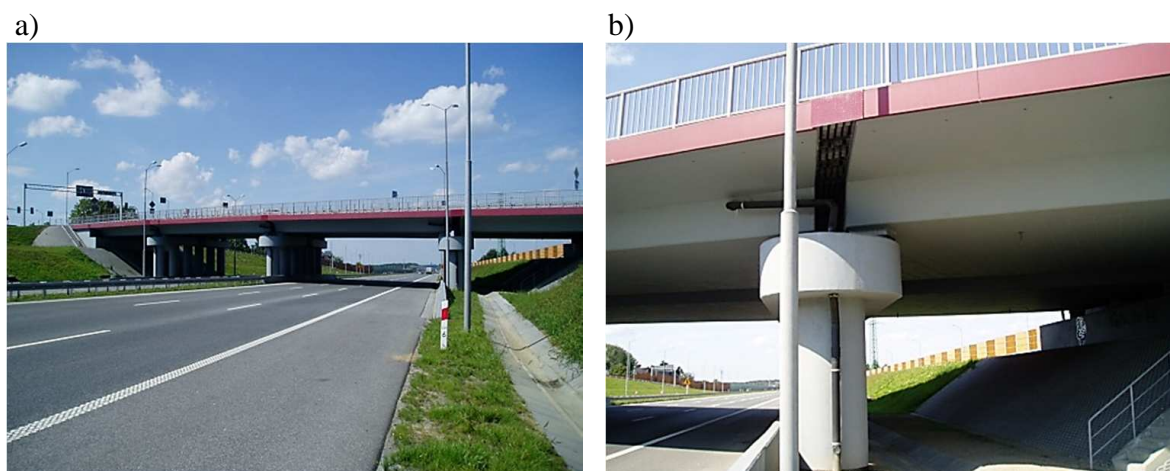


Rys. 2. Płyty ukośne z układami łożysk zapewniającymi swobodę dylatacji

Niestety, w klasycznej teorii deformacji górniczych występuje tendencja niezależnego traktowania parametrów niecki i na przykład przy analizie poziomych odkształceń terenu układ łożysk zapewniający swobodę odkształceń termicznych jak na rys. 2 uważany jest za spełniający warunki swobody przy deformacjach górniczych. Tymczasem poziomym odkształceniom terenu zawsze towarzyszą zmienne obniżenia (klasycznie wyrażające się parametrami krzywizny i pochylenia) [4], które ujawniają statyczną niewyznaczalność ustroju.

Jest więc widoczne, że w praktyce zaprojektowanie statycznie wyznaczalnego mostu jest nierealne. Przerwy dzielące ustrój płaski na oddzielne przęsła same w sobie o tej wyznaczalności nie stanowią.

Dodatkowo daje się dostrzec, że ustroje zdylatowane nad każdą podporą ze względu na konieczne rozbudowanie partii łożyskowej są wyraźnie brzydsze od ustrojów ciągłych, które tak w partii podpór jak i ustrojów nośnych charakteryzują się elegancją (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Wiadukt z przerwami dylatacyjnymi nad każdą podporą

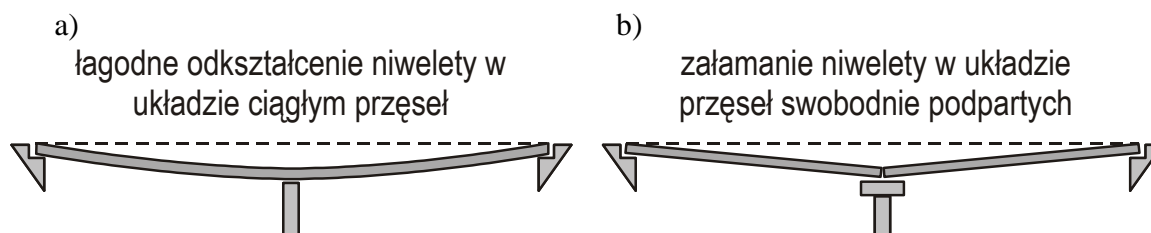


Rys. 4. Wiadukty o ustroju ciągłym

### 5. Stany graniczne a eksploatacja obiektów na ruchomym podłożu

Podstawę projektowania konstrukcyjnego stanowi formacja stanów granicznych. W wypadku budowli liniowych (w tym mostowych) dość wyraźnie występuje sprzeczność korzyści w ramach środków i celów projektowania.

Posłużmy się tu przykładem konstrukcji w postaci pojedynczej (bez szerokości) belki dwuprzęsłowej (rys. 5).



Rys. 5. Ustrój dwuprzęsłowy: a) ciągły; b) z przegubem nad podporą pośrednią

Można ją zaprojektować bądź jako dwuprzęsłową belkę ciągłą lub ustrój złożony z dwóch przęseł swobodnie podpartych. Linia ugięcia belki ciągłej w wyniku obniżenia podpory jest zawsze gładka i nie pogarsza komfortu jazdy, ale może dać w belce wartości momentów dla niej niebezpieczne. Na konstrukcji, w obu wypadkach może dojść do konieczności wykonania robót naprawczych (rektyfikacji położenia podpory). Drugi ustrój jest, przynajmniej teoretycznie, zupełnie nieczuły nawet na duże różnice osiadań podpór. Natomiast załamanie toru jazdy nad podporą środkową nawet przy małej wartości kąta wprowadza dyskomfort u szybko poruszających się użytkowników, a przy znaczniejszej – stanowi wręcz dla nich niebezpieczeństwo i dla jego likwidacji wymaga również robót naprawczych (wygładzenia) nawierzchni.

W ustroju ciągłym decydujący jest więc stan graniczny nośności, w ustroju o rozdzielonych przęsłach – stan graniczny użyteczności.

W jednym i drugim stanie mamy do czynienia z wartościami granicznymi. Zatem obojętnie, którego stanu to dotyczy, granice nie mogą być przekroczone. Dlatego zarówno w jednym, jak i drugim wypadku ustrój w czasie eksploatacji musi być monitorowany [2].

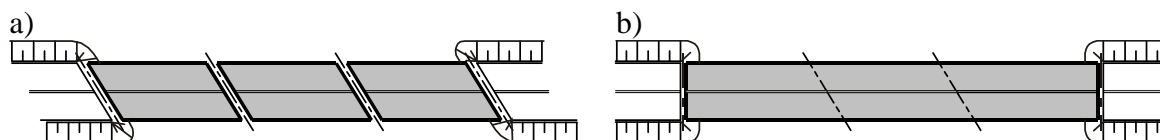
Nie ma monitoringu bez rektyfikacji. Obserwacji bez zaprojektowanej możliwości rektyfikacji nie powinno się nazywać „monitoringiem”. Szczególnie na terenach górniczych zawsze powinien pojawić się projekt tej pary: obserwacji i metod poprawiania stanu w wypadku zbliżania się w czasie użytkowania do z góry obranych wartości granicznych obserwacji.

Z punktu więc widzenia kosztów eksploatacji nie ma znaczenia, czy obrany został sposób pierwszy, czy drugi. Ze względu natomiast na koszty społeczne trzeba dać priorytet warunkom



używania. Dlatego należy preferować rozwiązanie typu pierwszego, ze zoptymalizowanym dopuszczalnym stopniem wzrostu sił wewnętrznych od wpływu deformacji terenu.

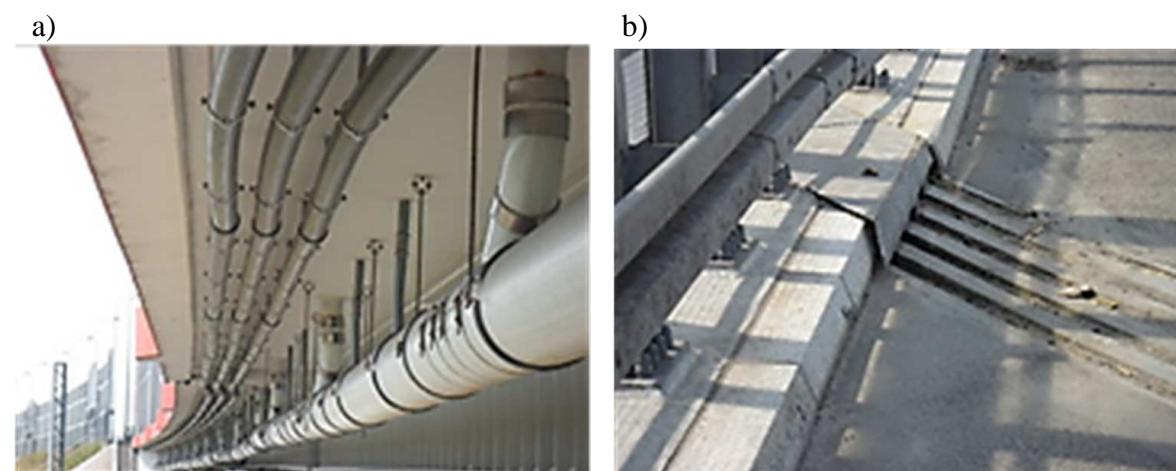
Podobnie można by wyeliminować przykre i niebezpieczne dla ruchu ukośne przerwy dylatacyjne w wiaduktach autostradowych nad przeszkodami w takim ukosie (rys. 6). Te przerwy pojawiają się tam w wyniku pójścia za tendencją swobodnego podpierania ustrojów. Wiadukt taki, nawet gęsto podzielony przerwami dylatacyjnymi, nie jest całkiem wolny od wpływów nierównomiernego obniżenia podpór, a ewentualne wzajemne przemieszczenia przęseł prowadzą do ostrych braków gładkości jezdni wskutek pojawienia się skośnych załomów. Na autostradzie pośrednie przerwy powinny być wyeliminowane, a końcowe usytuowane prostopadłe do osi trasy. Rozwiązanie to zwiększa komfort jazdy nawet w normalnych warunkach (bez deformacji terenu), ale wymaga szczególnej dbałości o ustrój. Jest ono również zalecane w rozporządzeniu [6], według którego podpory „... w przypadku przęseł skośnych, zwłaszcza o znacznej szerokości i długości, powinny być zaprojektowane w miarę możliwości prostopadłe do osi podłużnej obiektu”.



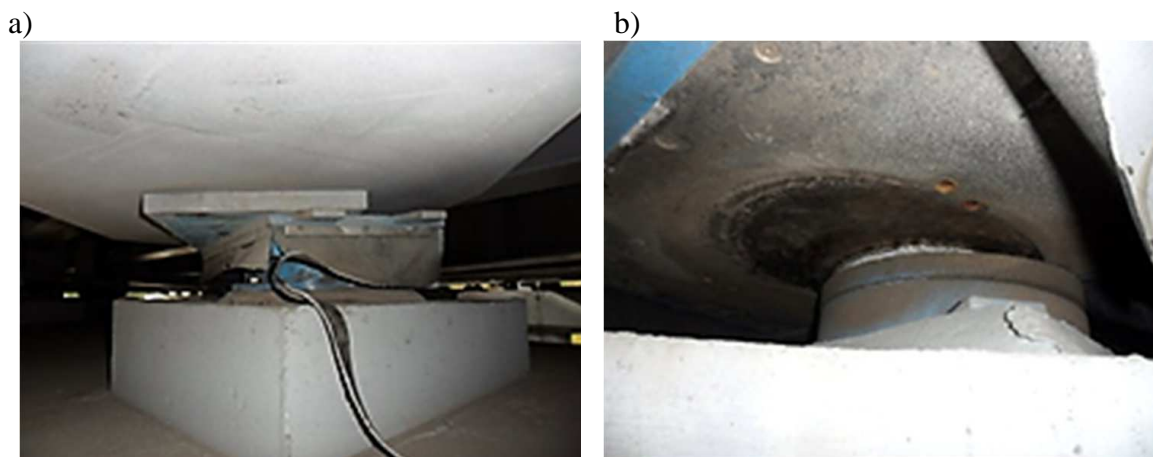
Rys. 6. Podział wiaduktu autostradowego przerwami dylatacyjnymi: a) niekorzystny; b) korzystny

## 6. Przykłady opacznie rozumianego żądania układów statycznie wyznaczalnych

W jednym z ukośnych wiaduktów, przy dostosowywaniu go do terenu górniczego, zmieniono w projekcie pierwotny system łożyskowania, który był wystarczająco nośny na siły poziome (rys. 2b) na system według typu z rys. 2a, to znaczy na wszystkie łożyska dowolnie przesuwne z wyjątkiem dwóch: jednego nieprzesuwne i położonego na przeciw łożyska jednokierunkowo przesuwne. Nośność tych łożysk pozostawiono jednak tylko na zestaw obciążeń podstawowych. W wyniku dobudowania na wiadukcie ekranów akustycznych siły boczne uaktywniły się do tego stopnia, że nastąpiło zniszczenie łożyska jednokierunkowo przesuwne przez ścięcie śrub mocujących. Ustrój nośny utracił poziomą stabilność i zaczął podlegać przesunięciom (rys. 7 i 8). Wymusiło to montaż doraźnej konstrukcji oporowej (rys. 9).



Rys. 7. Przesunięcia na wiadukcie: a) gzymsu; b) krawężnika



Rys. 8. a) zniszczenie łożyska jednokierunkowo przesuwne; b) przemieszczenie na łożysku dowolnie przesuwne



Rys. 9. Tymczasowa konstrukcja oporowa

Innym przykładem jest długi, wieloprzęsłowy most autostradowy nad jeziorem (rys. 10), który ze względu na spodziewane deformacje górnicze został nad każdą podporą podzielony przerwami dylatacyjnymi. Najprawdopodobniej w trosce o spokój wędkarzy wiadukt zaopatrzone w ekrany akustyczne, na szczęście przezroczyste.



Rys. 10. Przerwy dylatacyjne w moście autostradowym źródłem hałasu

Trudno jednak mówić o spokoju dla wędkarzy i ptactwa. Jadąc autostradą po tym moście ma się wrażenie jazdy starym pociągiem po torze stykowym. Łomot licznych urządzeń dylatacyjnych, niczym nie osłoniętych i usytuowanych tuż nad wodą jest dodatkowo rezonowany stalową, skrzynkową konstrukcją przęsła. Hałas ten jest dla środowiska bardziej dokuczliwy, niż byłby nawet bez ekranów akustycznych lecz przy jeździe po gładkiej, nieprzerywanej nawierzchni.

## 7. Wnioski

Projektowanie szczególnych obiektów, jakimi są mosty, na terenach górniczych wymaga umiejętności, wyczucia konstrukcji i ostrożnego podejścia do standardowych wskazówek. Tutaj przedstawiono drobną część pojawiających się błędów, ale tak powszechną, że wymaga szczególnego wyartykułowania.

Tak więc:

Na terenach górniczych nie należy zbyt ufać tak zwanej „statycznej wyznaczalności” ustrojów. Obiekty rzeczywiste tylko w przybliżeniu dają się przedstawić tym teoretycznym modelem, a przyjęcie go usypia czujność tak projektanta, jak i zarządcy obiektu. W rzeczywistej konstrukcji, odległej od tego modelu, mogą pojawić się niekontrolowane siły wewnętrzne. Jeśli zaś jest ona bliska takiemu modelowi, przemieszczenia są zwykle dokuczliwsze dla użytkowników.

Zamiast tej ufności w abstrakcyjne pojęcie, należy w każdym wypadku, niezależnie od schematu statycznego konstrukcji, przeprowadzić analizę przemieszczeń i określić ich wpływ w zakresie obu stanów granicznych, tak użyteczności jak i nośności.

Na terenach górniczych nie należy utożsamiać szczególnej swobody termicznych odkształceń równomiernych ze swobodą przemieszczeń od deformacji terenu. Klasyczna teoria pozwalająca na rozdzielenie poziomych odkształceń podłoża od jego wygięcia nie jest adekwatna w wypadku liniowej i wielobryłowej konstrukcji mostowej [4].

Zamiast tego rozdzielnego traktowania pożądane jest odstąpienie od klasycznych metod prognozowania deformacji terenu i odejście od kategoryzacji terenu za pomocą tak zwanych wskaźników deformacji. W nowoczesnych metodach geodezyjnych trójwymiarowe wektory przemieszczeń punktów terenowych są podstawowymi wielkościami mierzonymi. Ich bezpośrednie wykorzystanie nie wymaga operacji różniczkowania (źródło błędów w trakcie pomiarów), a wpływy na most, jako ustrój liniowy, wyniesiony ponad teren, za ich pomocą dają się opisać bardziej jednoznacznie i w sposób bliższy rzeczywistości [5].

Na terenach górniczych nie należy przesadzać z instalacją ekranów akustycznych, szczególnie na otwartej przestrzeni. Dynamiczne, silne parcie na wielkie powierzchnie ekranów może wpłynąć na zanik pożytecznego tarcia i aktywację przemieszczeń mających źródło w procesie deformacji terenu.

Zamiast tego należy ograniczać występowanie hałaśliwych elementów konstrukcji, jakimi są przede wszystkim niektóre przekrycia szczylin dylatacyjnych.

Na terenach górniczych nie należy pozostawiać obiektów bez szczególnej pieczy w czasie eksploatacji. Most jako układ wielobryłowy musi być obserwowany i co jakiś czas podlegać działaniom korygującym (monitoring i rektyfikacja). Wymaganie to jest niezależne od tego, czy ustrój ma większą czy mniejszą swobodę wzajemnego przemieszczania się brył składowych. W warunkach rzeczywistych oznacza to wystąpienie zawsze sił wewnętrznych lub niebezpiecznych dla ruchu deformacji jezdni.

Zamiast tego należy już w fazie projektowania wyznaczyć obserwowalne wielkości w konstrukcji i ich graniczne wartości, po których winna nastąpić rektyfikacja. Należy domagać się wypełniania prawem przewidzianych obowiązków właściciela obiektu. Utrzymanie obiektów

na terenach górniczych jest bardziej wymagające niż utrzymanie typowe i winno być bardziej rygorystyczne.

Bez tego mosty na terenie górniczym są z góry skazane na awarie.

### **Literatura**

1. Weseli J.: Systemy ułożyskowania obiektów mostowych, *Magazyn Autostrady*, nr 5/2006..
2. Weseli J., Radziecki A., Salamak M.: Monitoring mostów autostradowych na terenach eksploatacji górniczej, *Magazyn Autostrady*, nr 5/2007.
3. Weseli J.: O zasadach ustawiania łożysk mostowych w celu zapewnienia swobody dylatacji, *Inżynieria i Budownictwo*, nr 10/2004.
4. Salamak M., Weseli J.: Kinematyka brył mostu na deformującym się podłożu, *Drogi*, nr 2/2009.
5. Weseli J., Salamak M.: Nowe spojrzenie na prognozowanie i obserwacje terenów górniczych na potrzeby budownictwa mostowego, *Inżynieria i Budownictwo*, nr 5-6/2010.
6. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. *Dz.U.* Nr 63 z dnia 3 sierpnia 2000, poz. 735.