

Doświadczenia z użytkowania systemu monitorowania konstrukcji mostu kolejowego poddanego oddziaływaniu eksploatacji górniczej

Experiences from making use of structural health monitoring of a rail bridge structure impacted by mining deformations



Dr inż. Piotr Bętkowski*)



Dr inż. Łukasz Bednarski**)



Dr inż. Rafał Sienko***)

Treść: W wyniku prowadzonej eksploatacji górniczej dochodzi do deformacji powierzchni terenu. W przypadku obiektów liniowych, takich jak obiekty mostowe, ważne jest wzajemne położenie względem siebie poszczególnych elementów mostu: przęseł, filarów, podpór. Na przemieszczanie się tych elementów ma wpływ zarówno charakter górniczych deformacji terenu, jak i układ ułożyskowania. Wrażliwa na deformacje terenu konstrukcja mostu wymaga stałej kontroli jego geometrii. Zastosowanie automatycznego systemu monitorowania pozwala na zwiększenie jakości i dokładności informacji o zmianach zachodzących w obiekcie przy jednoczesnym obniżeniu nakładu pracy na pozyskiwanie danych i ich analizę, co przekłada się w istotny sposób na wzrost bezpieczeństwa analizowanej konstrukcji. W artykule opisano doświadczenia z użytkowania systemu monitorowania konstrukcji mostu kolejowego poddanego oddziaływaniu eksploatacji górniczej. Dokonano analizy potrzeb związanych z ciągłą kontrolą stanu technicznego, podano zasady budowy systemu oraz przedstawiono pierwsze wyniki pracy automatycznego systemu monitorowania zainstalowanego na obiekcie.

Abstract: Mining area deformations occur as a result of mining exploitation. In the case of linear objects such as bridge objects, it is important to mutual putting towards the elements of a bridge such as: spans, pillars, supports. The displacements of these elements depend on the nature of mining deformation and also on the system of bearings. Bridge structure susceptible to area deformation requires constant monitoring of its geometry. The use of automatic SHM system allows to increase the quality and accuracy of information relating to the changes occurring within the structure, while reducing the amount of work for data acquisition and analysis, resulting in a significant increase of the structure safety. This paper presents the experiences from making use of the monitoring system for structures of a railway bridge subjected to the influence of mining exploitation. The paper also presents an analysis of requirements for the continuous control of the structural health of a bridge structure, the rules of building of the automatic SHM and the first results of the automatic SHM system installed on the structure.

Słowa kluczowe:

system monitorowania konstrukcji, wiadukt kolejowy, teren górniczy, deformacje terenu

Key words:

SHM, railway bridge, mining area, area deformation

1. Wprowadzenie

Działalność górnicza może być powodem uszkodzeń obiektów budowlanych. W wyniku prowadzonej eksploatacji górniczej dochodzi do deformacji powierzchni terenu.

*) Politechnika Śląska w Gliwicach, **) AGH w Krakowie, ***) Politechnika Krakowska

W przypadku obiektów liniowych, takich jak obiekty mostowe, ważne jest wzajemne położenie względem siebie poszczególnych elementów mostu: przęseł, filarów, podpór. Elementy te to bryły sztywne, które w przypadku popularnego na terenach górniczych schematu statycznego belki swobodnie podpartej, mogą się względem siebie przemieszczać [2, 8, 9]. Na przemieszczanie się tych brył ma wpływ zarówno charakter

deformacji terenu, jak i układ ułożyskowania. Łożyska stabilizują i regulują pracę układu przeszło-podpora. W wyniku górniczych deformacji terenu dochodzi do obrotu podpór względem przęsła. Łożyska jednokierunkowe, typowe dla mostów kolejowych, mogą ulec zablokowaniu. Może dojść wtedy do ścięcia łożysk i niekontrolowanego ruchu przęsła, nawet do zsunęcia się przęsła z podpór i katastrofy budowlanej. Duże siły poziome generowane przez tabor kolejowy stanowią w takich przypadkach dodatkowe zagrożenie dla uszkodzonej konstrukcji.

Podstawą kontroli stanu technicznego obiektu jest informacja o zachodzących w nim zmianach. Pozyskiwanie takich informacji jest możliwe na drodze regularnych przeglądów, pomiarów geodezyjnych oraz poprzez instalację automatycznego systemu monitorowania [4, 5, 7]. Wrażliwa na deformacje terenu konstrukcja mostu wymaga stałej kontroli jego geometrii. Zastosowanie automatycznego systemu monitorowania pozwala na zwiększenie jakości i dokładności informacji o zmianach zachodzących w obiekcie przy jednoczesnym obniżeniu nakładu pracy na pozyskiwanie i analizę tych danych, co przekłada się w istotny sposób na wzrost bezpieczeństwa analizowanej konstrukcji [1, 10]. W niniejszej pracy przeprowadzono analizę potrzeb związanych z ciągłą kontrolą stanu technicznego obiektu mostowego oraz przedstawiono pierwsze wyniki pracy automatycznego systemu monitorowania zainstalowanego na obiekcie, w obrębie której prowadzona jest eksploatacja górnicza.

2. Lokalizacja i opis obiektu

Przedmiotowy most kolejowy położony jest w miejscowości Pawłowice nad ul. Wyzwolenia i potokiem Pawłówka. Ulica Wyzwolenia i potok krzyżują się z osią obiektu pod kątem zbliżonym do kąta prostego. Potok to niewielki ciek wodny w korycie umocnionym przez częściowe obrukowanie.

Most zlokalizowany jest w km 23.449 linii PKP NR 159 Orzesze-Wodzisław Śląski, szlak Warszowice – posterunek odgałęźny Studzionka. Na moście, a właściwie na dwóch równoległych mostach, ułożone są dwa tory kolejowe – jeden tor na każdym z obiektów. Linia kolejowa PKP NR 159 jest mocno obciążona. Intensywny ruch towarowy i osobowy powoduje, że prowadzenie remontów na obiektach mostowych jest utrudnione.

Most składa się z dwóch części będących odrębnymi konstrukcjami. Konstrukcje te są przyporządkowane do poszczególnych torów:

- pod torem nr 1 znajduje się obiekt stalowy nitowany,
- pod torem nr 2 znajduje się obiekt stalowy spawany.

Każdy z obiektów wykonany jest jako dwuprzęsłowy, o dwóch swobodnych stalowych przęsłach. W każdym z przęsła można wyróżnić dwa dźwigary blachownicowe. Pomost wykonany został jako otwarty. Podporę pośrednią (filar)



Rys. 1. Widok od strony wschodniej na most [6]
Fig. 1. View of the east side of the bridge [6]

i skrajne wykonano jako żelbetowe, przyczółki posadowiono na nasypie, a skrzydła wykonano równoległe do osi toru (rys. 1).

Pod torem nr 1 znajduje się most stalowy nitowany (most zachodni). Jest to starszy obiekt, wzniesiony w 1946 roku. Elementy konstrukcyjne stalowe są łączone na nity. Konstrukcja mostu składa się z dwóch dłuższych przęsła głównych (23,7 m każde) i dwóch krótkich, o znacznie mniejszym przekroju poprzecznym, przęsła skrajnych o długości całkowitej 2,0 m, wysuniętych poza blachownicę główną o 1,6 m (rys. 2). Przęsła te, ze względu na swoją małą długość i niewielką sztywność, nie wpływają w sposób istotny na pracę dźwigarów głównych. Łożyska na zewnętrznych końcach przęsła skrajnych przede wszystkim ograniczają ich ugięcia.

Geometria obiektu:

- światło poziome: 2 x 20,7 m (w dwóch przęsłach głównych),
- długość każdego z przęsła: 26,9 m (wraz z przęsłem skrajnym),
- światło pionowe: 8,15 m (nad jezdnią),
- długość eksploatacyjna: ok. 60,00 m (z przyczółkami).



Rys. 2. Widok na przyczółek i przęsło skrajne [6]
Fig. 2. View of the abutment and span [6]

Pod torem nr 2 znajduje się most stalowy spawany (most wschodni). Jest to nowszy z dwóch równoległych obiektów wzniesiony w 1973 roku jako stalowy, spawany most belkowy. Przyczółki mostu po torem nr 2 oddylatowano od przyczółków obiektu pod torem nr 1. Filar (podpora pośrednia) dobudowano do istniejącego filara mostu pod torem nr 1 w taki sposób, że tworzą one jedną konstrukcję.

Geometria obiektu:

- światło poziome: 2 x 22,5 m,
- długość każdego z przęsła: 27,50 m,
- światło pionowe: 8,20 m (nad jezdnią),
- długość eksploatacyjna: ok. 60,00 m (z przyczółkami).

3. Eksploatacja górnicza

Pomiary geodezyjne były wykonywane praktycznie od początku eksploatacji złóż węgla w rejonie mostu, tj. od maja 1973 roku. Przed tą datą nie było na tych terenach żadnej eksploatacji górnicznej. Zmierzone osiadania od maja 1973 do kwietnia 2014 roku wynosiły:

- przyczółek północny około 2,09 m,
- przyczółek południowy około 1,89 m.

Przemieszczenia poziome od marca 1994 do kwietnia 2014 roku (przed 1994 rokiem brak jest regularnych pomiarów odległości przyczółków):

- odległość przyczółków obiektu pod torem nr 1 zmalała o 83 mm (w osi toru),
- odległość przyczółków obiektu pod torem nr 2 zmalała o 80 mm (w osi toru).

Zaobserwowano skręcanie przyczółków względem osi mostu (toru) skutkujące zmianą odległości krawędzi przyczółków. Przykładowo pod torem nr 2 odległość ta zmalała o 88 mm po stronie wschodniej i o 72 mm po stronie zachodniej.

Nie prowadzono pomiarów szerokości szczelin dylatacyjnych i przemieszczeń łożysk (pomimo tego, że na łożyskach są zamontowane wskaźniki przemieszczeń).

Obecnie w rejonie wiaduktu prowadzona jest eksploatacja w ścianie W4, pokład 361 na głębokości około 900 m p.p.t. Miąższość wybieranego pokładu to 2,6 m. Wpływy poprzedniej eksploatacji prowadzonej w rejonie obiektu na początku 2012 roku już ujawniły się na powierzchni – stąd mierzone obecnie deformacje terenu należy odnosić przede wszystkim do ściany W4, pokład 361.

Ściana ta zbliżała się jesienią 2013 roku do obiektu od północy (mierzone rozpełzania terenu). Wiosną (kwiecień) 2014 roku eksploatacja przeszła pod obiektem (oś ściany znajdowała się na wschód od obiektu). Zakończenie eksploatacji w ścianie W4 powinno nastąpić jesienią 2014 roku. Wówczas środek niecki osiadań związanej z tą ścianą zlokalizowany będzie na południowy wschód od obiektu, a wiadukt znajdzie się na zboczu niecki osiadań.

Czas ujawniania się wpływów eksploatacji na powierzchni to od około 2 miesięcy do nawet 1,5 roku. Czasookres ten zależy od budowy geologicznej zalegającego nad pokładem górotworu – im większa wytrzymałość skał, tym później ujawniają się wpływy górnicze na powierzchni i na ogół przyrost deformacji jest szybszy.

Obecnie (początek lipca 2014 roku) teren spełza, przyczółki zbliżają się do siebie. Docelowo, w związku z eksploatacją ściany W4 (pokład 361) oszacowano, że możliwe jest zbliżenie przyczółków o ok. 60 mm.

Prognozowane wartości wskaźników deformacji terenu (na koniec 2014 roku):

$w = -0,40$ m (osiadania terenu),

$T_{//} = 1,0$ mm/m (wychylenie w płaszczyźnie równoległej do osi toru w kierunku południowym),

$T_{\perp} = -1,7$ mm/m (wychylenie w płaszczyźnie prostopadłej do osi toru w kierunku wschodnim),

$\varepsilon_{//} = -1,2$ mm/m (spełzania w płaszczyźnie osi mostu/toru),

$\varepsilon_{\perp} = -0,6$ mm/m (spełzania w płaszczyźnie prostopadłej do osi mostu).

W 2011 roku wykonano pełną inwentaryzację łożysk z określeniem aktualnej swobody przemieszczeń pomostu względem podpór, dokonano pomiarów szerokości szczelin dylatacyjnych, niwelety oraz pochylenia bocznego toru. Wykorzystując prognozy górnicze przeprowadzono ocenę aktualnych i wymaganych możliwości kinematycznych przęsła. Konieczna okazała się przebudowa łożysk i korekta szerokości niektórych szczelin dylatacyjnych. Obliczono, że do 2020 roku każdy z przyczółków może zbliżyć się do filara środkowego o 150 mm. Obiekt dostosowano do przejścia prognozowanych do 2020 roku wpływów górniczych pod koniec 2012 roku.

4. Potrzeba monitorowania konstrukcji mostu

Realne zagrożenia związane z planowaną eksploatacją górniczą:

- prognozowane są spełzania (ściskanie) terenu, co powodować będzie zbliżanie przyczółków,
- wysoki spękany filar żelbetowy jest podatny na wychylenia i siły poziome,

- może dojść do zablokowania łożysk jednokierunkowo-przesuwnych wskutek skręcania przyczółków – w przedmiotowym obiekcie są to łożyska ślizgowe i wałkowe.

Łożyska prowadzące ślizgowe (most pod torem nr 1) i wałkowe (tor nr 2) tylko wtedy pracują prawidłowo, gdy przemieszczenia pojawiają się wzdłuż jednej osi (na którą należy je ustawić). W analizowanym przypadku charakter deformacji jest skośny do obiektu, przyczółki i filar mogą być zatem skręcane względem osi obiektu. W przypadku blokady łożysk pojawiają się nowe zarysowania na filarze i przyczółkach. Możliwe jest również uszkodzenie lub nawet zniszczenie podpór stałych oraz łożysk.

Obiekt jest wrażliwy na prognozowane skręcanie przyczółków, gdyż łożyska jednokierunkowo-przesuwne ulegają szybkiemu zaklinowaniu w przypadku jednoczesnego obrotu i przemieszczenia liniowego skrajnych podpór. Na skutek tego zjawiska przęsło traci możliwość niezależnego przemieszczania się względem przyczółka, co powoduje powstanie pary sił poziomych w płaszczyźnie poziomej. Zagrożone są przęsła nieprzygotowane do przenoszenia takich momentów zginających oraz spękany filar nieodporny na siły ścinające powstające w płaszczyźnie płyt dolnych łożysk. W celu zapewnienia bezpieczeństwa obiektu ważne jest zatem częste wykonywanie rektyfikacji płyt dolnych łożysk, aby wyeliminować wpływ skręcenia przyczółków na przęsło.

Ze względu na złożone warunki geotechniczne w rejonie obiektu (obecność potoku) charakter deformacji jest trudny do prognozowania. Filar posadowiony jest na gruntach rodzimych (w podłożu przeważają piaski gliniaste, piaski pylaste, gliny). Z filara na grunt przenoszone jest znaczne obciążenie (duży ciężar własny, połowa ciężaru obu przęsła, tabor). Przyczółki natomiast posadowione są na nasypie, mają duże wymiary płyt fundamentowych, są niskie i przenoszą obciążenie tylko z połowy przęsła każdy.

W rejonie mostu prowadzona jest eksploatacja wielokrotna na różnych kierunkach w stosunku do obiektu, co powoduje, że wpływy poszczególnych eksploatacji nakładają się w czasie.

Powyższe czynniki sprawiają, że prognozowane wartości przemieszczeń poziomych w przeszłości w sposób istotny różniły się od wartości mierzonych, stąd konieczne jest prowadzenie regularnych pomiarów geodezyjnych i ewentualna ponowna korekta położenia łożysk i szerokości szczelin dylatacyjnych przed 2020 rokiem.

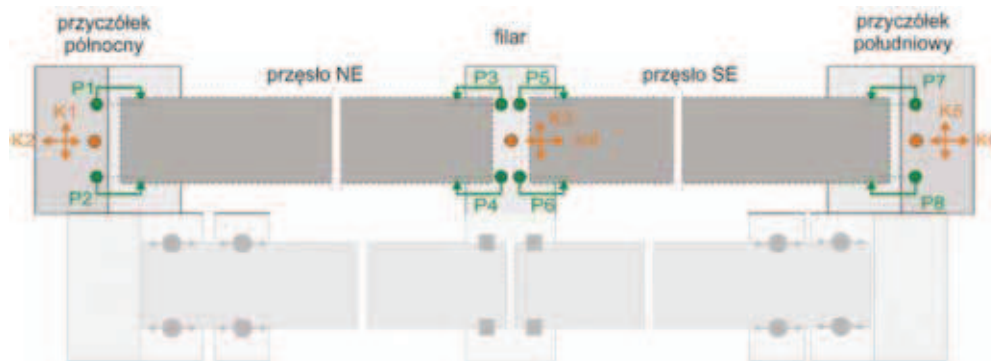
5. System monitorowania konstrukcji (SHM)

W październiku 2013 roku na wschodniej części obiektu został zainstalowany automatyczny system monitorowania konstrukcji. System składa się z podsystemu obserwacyjnego odpowiedzialnego za zbieranie informacji i przesyłanie danych oraz podsystemu ostrzegawczego odpowiedzialnego za analizę pozyskiwanych wyników pomiarów i informowanie użytkownika o nadchodzących zagrożeniach. Zgodnie z Instrukcją ITB 443/2009 [3] urządzenie to można zakwalifikować do grupy systemów monitorowania konstrukcji.

Jako wielkości fizyczne, których zmiana ma istotny wpływ na zmianę stanu technicznego obiektu, zostały wybrane przemieszczenia przęsła względem podpór wzdłuż osi obiektu oraz przemieszczenia kątowe podpór (przechyły) w dwóch prostopadłych płaszczyznach pionowych.

Rozmieszczenie punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 3.

Z uwagi na planowany, 10-letni okres monitorowania, do budowy systemu wykorzystano strunowe czujniki (przetworniki) przemieszczeń o zakresie pomiarowym 200 mm oraz



Rys. 3. Rozmieszczenie punktów pomiarowych: P – pomiary przemieszczeń, K – pomiary kątów [6]
 Fig. 3. Distribution of measurement points: P - measurements of displacement, K – measurements of angles [6]

strunowe czujniki kąta (rys. 4). System zasilany jest z akumulatorów, wymienianych w czasie okresowych przeglądów obiektu. Wskazania czujników odczytywane są co 15 minut, a następnie raz na dobę za pośrednictwem sieci GSM przesyłane są do serwera pomiarowego, gdzie następuje ich przetwarzanie i automatyczna analiza. System generuje codzienne raporty o pracy konstrukcji i wysyła je do osób odpowiedzialnych za jej bezpieczeństwo.



Rys. 4. Konstrukcje wsporcze do mocowania czujników kąta i czujników przemieszczeń na podporze środkowej [6]
 Fig. 4. Support structures for mounting angle sensors and displacement sensors at intermediate support [6]

6. Wyniki ciągłych pomiarów

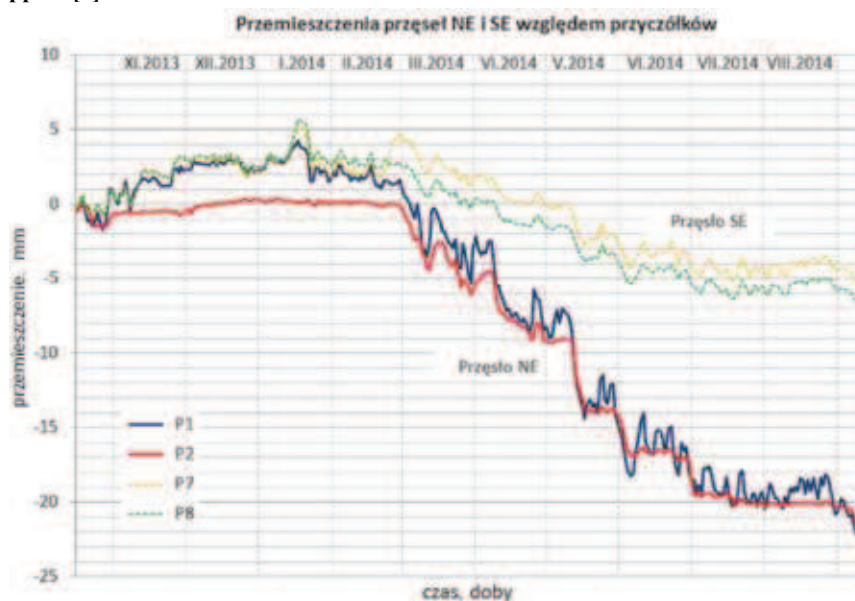
Instalacja systemu oraz rozpoczęcie zbierania danych jesienią 2013 roku pozwoliło zaobserwować początek ujawniającego się wpływu eksploatacji górniczej na monitorowany obiekt. Zmiana odległości przęseł względem przyczółków zaobserwowana została na początku kwietnia 2014 roku. W tym czasie pod obiektem przechodził front eksploatacji górniczej.

Ujemny znak pomiarów na poniższych wykresach oznacza zamykanie się szczeliny dylatacyjnej. Przyrost przemieszczeń jest szczególnie widoczny na przyczółku północnym (czujniki P1 i P2 na rys. 5, rys. 6).

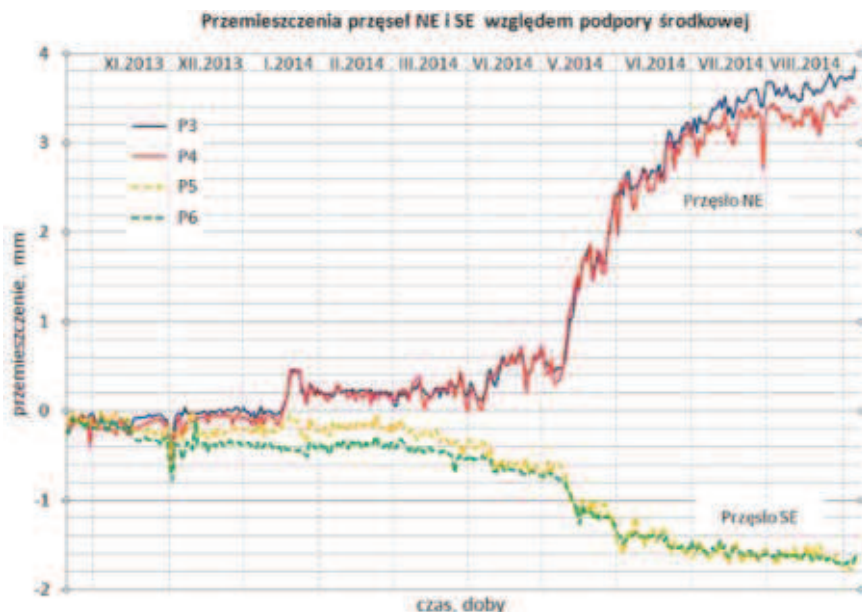
Brak wyraźnego powiązania przemieszczeń rejestrowanych przez czujnik P2 ze zmianami temperatury świadczy o zaklinowaniu się lub trwałym uszkodzeniu łożyska przesuwnego na podporze.

Zaobserwowano również przemieszczenia przęseł względem nieprzesuwnej podpory środkowej (filara). Wartości dodatnie dla przęsła NE świadczą o jego przemieszczeniu się w kierunku przyczółka. Część zmierzzonego przemieszczenia związana jest z wyczerpywaniem luzów w połączeniach między blachownicą mostu, podporą stalową a filarem żelbetowym. Niestety z pewnością dochodzi również do deformacji podpór stalowych oraz skręcania filara względem jego osi.

Zaobserwowane przemieszczenia liniowe potwierdzone zostały pomiarami przemieszczeń kątowych przyczółków i filara. W pomiarach tych, elementy mostu traktowane były jako bryły sztywne.



Rys. 5. Wykres przemieszczeń wzdłuż osi obiektu przęseł NE i SE względem przyczółków [6]
 Fig. 5. Graph of displacements (along the axis of the structure) NE and SE spans relative to abutments [6]



Rys. 6. Wykres przemieszczeń wzdłuż osi obiektu przęseł NE i SE względem podpory środkowej [6]

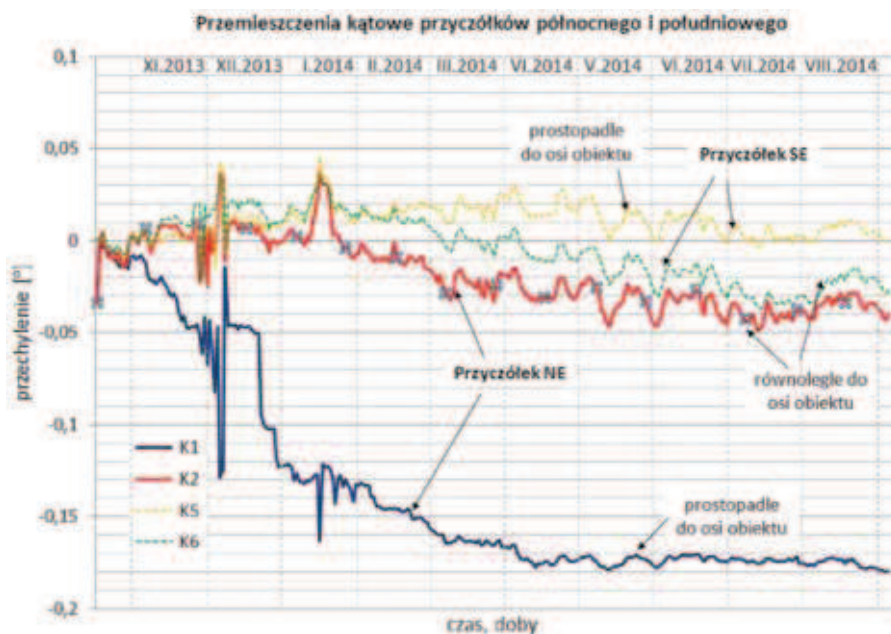
Fig. 6. Graph of displacements (along the axis of the structure) NE and SE spans relative to the center pillar [6]

Na rysunku 7 pokazano wykresy zmian przechyłów przyczółka północno-wschodniego i południowo-wschodniego w okresie od listopada 2013 do początku września 2014 roku. Analiza w płaszczyźnie pionowej równoległej do osi obiektu wartości przemieszczeń kątowych (czujniki K2 i K6) łącznie z wartościami przemieszczeń przęseł względem przyczółków pomierzonymi czujnikami P1 i P2 oraz P7 i P8 pozwala stwierdzić, że przyczółki uległy zbliżeniu. Wartość tego zbliżenia w poziomie fundamentu jest większa niż w poziomie oparcia pomostu. Przechył przyczółków północnego i południowego, przy założeniu ich teoretycznej wysokości $H=8$ m (dla celów szacunku spełzania), osiągnął największą wartość w połowie lipca 2014r. i wynosił odpowiednio $x_N = 7,0$ mm (w kierunku N) i $x_S = 4,9$ mm (w kierunku S). Jeśli będziemy posługiwać się wartościami średnimi przemieszczeń P dla każdego z przyczółków (max $P_{NE} \approx 21$ mm, max. $P_{SE} \approx 6$ mm), to uwzględniając przechyły obliczymy wartość spełzania na poziomie gruntu wynoszącą ≈ 39 mm. Prognozowane odkształcenie terenu wynosi ok. $-1,2$ mm/m, co przy odległości między przyczółkami około

45 m pozwala oszacować prognozowane ich zbliżenie na poziomie około 54 mm. Oznacza to, że spełzanie w chwili obecnej stanowi już ok. 72 % spełzania prognozowanego.

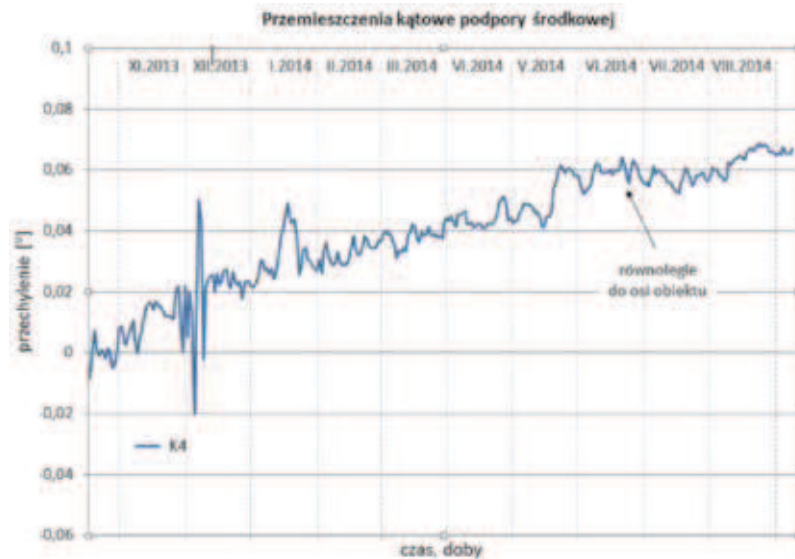
Ciekawą obserwacją stanowi pomiar przechyłu przyczółka północno-wschodniego w płaszczyźnie prostopadłej do osi toru. Wartość zmierzonego kąta wynosi obecnie $K1 \approx -0,18^\circ$. Oznacza to, że przyczółek (przy założeniu jego teoretycznej wysokości $H=8$ m) przechylił się w taki sposób, że górna część konstrukcji przemieściła się około 25 mm w kierunku zachodnim. Takie zachowanie się północno-wschodniej podpory może skutkować obserwowanym kleszczeniem się (klinowaniem) łożyska przesuwne (czujnik P2). Nie jest ono zgodne z prognozowanym wskaźnikiem deformacji, który w tej płaszczyźnie wynosi $T_{\perp} = -1,7$ mm/m (wychylenie w płaszczyźnie prostopadłej do osi mostu w kierunku wschodnim), co dla wysokości przyczółka równej 8 m oznaczać powinno przemieszczenie górnej powierzchni podpory na poziomie 14 mm w przeciwnym kierunku do pomierzonego.

Znamienny jest fakt, że przyczółek południowo-wschodni nie podlega przechyłom w płaszczyźnie prostopadłej do osi mostu.



Rys. 7. Przechylenie przyczółka północnego i południowego w płaszczyznach równoległej i prostopadłej do osi mostu [6]

Fig. 7. Tilting of the northern and southern abutments in planes parallel and perpendicular to the axis of the bridge [6]



Rys. 8. Przechylenie podpory środkowej w płaszczyźnie równoległej do osi obiektu ("+" oznacza przechył na północ) [6]

Fig. 8. Chart of tilting support in plane parallel to the axis of the structure ("+" means a tilt towards the north) [6]

Pomiar przechyłu podpory środkowej w płaszczyźnie osi obiektu (rys. 8) wskazuje, że filar przechylił się w kierunku północnym tak, że przemieszczenie jego głowicy wynosi obecnie około 9,5 mm.

6. Wnioski

Obiekty posadowione na terenach podlegających wpływom deformacji górniczych ulegają przemieszczeniom i przechyłom. Przewidywanie tych wymuszeń umożliwia projektowanie konstrukcji dostosowujących się do zmiennej geometrii podłoża gruntowego. Bieżące monitorowanie odpowiedzi obiektu na wymuszenia pozwala kontrolować ich wpływ na stan techniczny konstrukcji. W przypadku obiektów kolejowych, pomiary mogą umożliwiać dodatkowo określanie wpływu zmiany geometrii konstrukcji na torowisko.

Obiekty na terenach, gdzie prowadzona jest eksploatacja górnicza, bardzo często podlegają nakładającym się na siebie w czasie deformacjom pochodzącym od wydobywania różnych pokładów węgla, wzdłuż różnych kierunków. Instalacja automatycznego systemu monitorowania konstrukcji pozwala na prowadzenie regularnych pomiarów bez angażowania zasobów ludzkich. Z uwagi na przewidywany długi czas ujawniania się wpływów eksploatacji, rozwiązanie to gwarantuje prawidłowe prowadzenie obserwacji.

Ciągły dostęp do pomiarów za pośrednictwem dedykowanej platformy pomiarowej oraz możliwość definiowania wartości progowych, przy których system monitorowania automatycznie podejmuje działania związane np. z rozsyłaniem informacji o zagrożeniu do osób odpowiedzialnych za obiekt powoduje istotny wzrost jego bezpieczeństwa oraz umożliwia aktywne zarządzanie np. ruchem taboru kolejowego.

Zainstalowany system monitorowania na obiekcie w Pawłowicach dostarczył już bardzo istotnych informacji. Została uchwycona chwila, w której deformacje terenu spowodowały modyfikację geometrii mostu. Bieżąco kontrolowane są przemieszczenia przęsła względem podpór, dzięki temu możliwe było wskazanie podpory, w której dochodzi do blokowania przesuwu i zalecenie zmiany kierunku pracy łożyska. Przesuwu w obrębie teoretycznie stałej podpory

środkowej pozwalają kontrolować stan techniczny stalowego wspornika podporowego, jak i samego filara żelbetowego. Wykorzystanie prostych zależności geometrycznych umożliwiło oszacowanie deformacji terenu i porównanie ich z wartościami prognozowanymi.

Biorąc pod uwagę liczbę informacji, których dostarczają systemy monitorowania konstrukcji oraz wielorakie możliwości ich wykorzystania w praktyce, wydaje się, że w niedługim czasie liczba obiektów mostowych zlokalizowanych na terenach eksploatacji górnicznej wyposażonych w tego typu urządzenia będzie w istotny sposób wzrastała.

Literatura

1. *Bednarski L., Sieńko R.*: Z monitoringiem bezpieczniej. Inżynier Budownictwa Nr 10/2013, s. 104÷108.
2. *Bętkowski P.*: Obserwacja i naprawa dwuprzęsłowego stalowego mostu kolejowego położonego na terenach górniczych. Ochrona obiektów na terenach górniczych. Praca zbiorowa (monografia) pod red. Andrzeja Kowalskiego. Katowice Główny Instytut Górnictwa 2012, s. 17÷25.
3. Instrukcja ITB 443/2009. System kompleksowego zarządzania jakością w budownictwie. Bezdotykowe metody obserwacji i pomiarów obiektów budowlanych. Warszawa ITB 2009.
4. *Kadela M., Bednarski L.*: Wytyczne obserwacji ciągłej obiektów zlokalizowanych na terenach górniczych. Przegląd górniczy nr 8/2014, s. 78÷84.
5. *Kadela M.*: Systemy monitorowania obiektów liniowych na terenach górniczych". Materiały z konferencji naukowo-technicznej zorganizowanej w ramach XII Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Brenna 2013, s. 163÷172.
6. Materiały własne autorów.
7. *Parkasiewicz B.*: Monitoring przemieszczeń elementów budowlanych w warunkach prowadzenia eksploatacji górnicznej na przykładzie obserwacji wiaduktu w Rudzie Śląskiej. Przegląd Górniczy, nr 8/2012, s. 83÷91.
8. *Rosikoń A.*: Budownictwo komunikacyjne na terenach objętych szkodami górnictwem. Wyd. 1. Warszawa WKŁ 1979.
9. *Salamak M.*: Obiekty mostowe na terenach z deformującym się podłożem w świetle kinematyki brył. Gliwice Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2013.
10. *Sieńko R.*: Monitorowanie konstrukcji budowlanych a wzrost ich bezpieczeństwa. Przegląd budowlany nr 4/2007.