

Bogusław Ładecki*
AGH w Krakowie, KPiEM

Badania diagnostyczne torowiska jazdy mostów przeładunkowych w systemie zasilania wielkiego pieca

Diagnostics tests of the track of transshipment bridges in the blast furnace power supply

STRESZCZENIE

Dążenie do neutralności klimatycznej, a co za tym idzie do ograniczenia emisji CO₂, jest przyczyną znacznego wzrostu kosztów produkcji stali. Wskutek ograniczonych nakładów finansowych na naprawy i modernizację następuje istotne zużycie infrastruktury przemysłu hutniczego w Polsce. W następstwie powyższego, utrzymanie w zadowalającym stanie technicznym niektórych obiektów technicznych związanych z produkcją stali rodzi szereg problemów eksploatacyjnych. W niniejszej publikacji przedstawiono kompleksowy program badań diagnostycznych, którym poddano torowisko jazdy mostów przeładunkowych w systemie zasilania Wielkiego Pieca zastosowany w jednej z polskich hut. W pracy omówiono wyniki przeprowadzonych kontroli i badań nieniszczących torowisk, belek, oraz podpór wraz z geodezyjnymi pomiarami geometrii torowiska. Uzyskane wyniki badań, w połączeniu z wynikami pomiarów trwałych deformacji torowiska, stanowiły podstawę do zaprojektowania odpowiednich wzmocnień, oraz przeprowadzenia rekonstrukcji rozważanego torowiska jazdy mostów przeładunkowych.

Słowa kluczowe: wielki piec; torowisko; badania diagnostyczne; badania nieniszczące.

ABSTRACT

Striving for climate neutrality, and thus for reducing CO₂ emissions, is the reason for a significant increase in the cost of steel production. As a result of limited financial outlays on repairs and modernisation, there is a significant wear and tear on the infrastructure of the metallurgical industry in Poland. As a consequence of the above, the maintenance in a satisfactory technical condition of certain technical facilities related to the production of steel raises a number of operational problems. This publication presents a comprehensive program of diagnostic tests, which was subjected to the track of transshipment bridges in the Blast Furnace power supply system used in one of the Polish steelworks. The paper discusses the results of inspections and non-destructive tests of tracks, beams, and supports along with geodetic measurements of track geometry. The obtained test results, combined with the results of measurements of permanent deformation of the track, were the basis for designing appropriate reinforcements and reconstructing the considered track of transshipment bridges.

Keywords: blast furnace; track; diagnostics tests; non-destructive testing

1. Wstęp

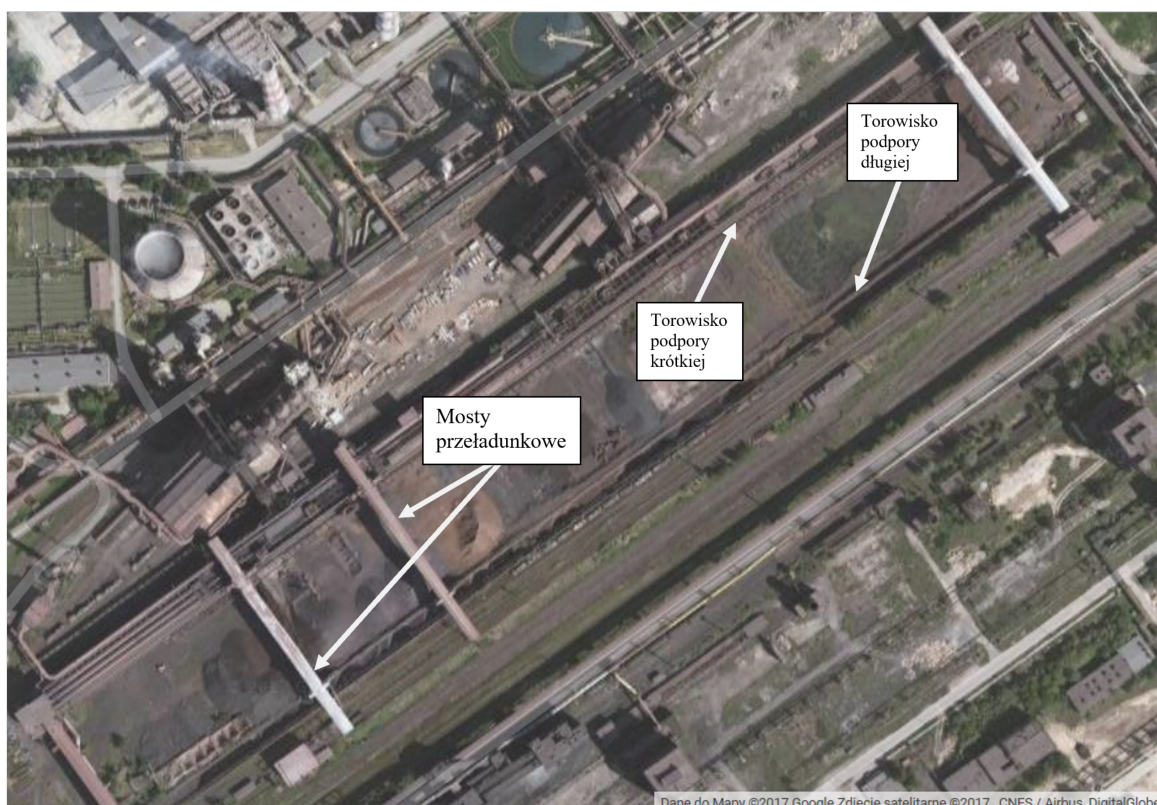
Wzdłuż składowiska surowców i topników Wielkiego Pieca (WP) eksploatowanego w jednej z polskich hut zlokalizowane są torowiska o rozstawie 76,5 m i długości 672 m, po których przemieszczają się mosty przeładunkowe. Aktualny schemat usytuowania torowisk jazdy mostów przeładunkowych, z przyjętym w dalszej części pracy nazewnictwem zilustrowano na rys. 1. Torowisko podpory długiej mostów umiejscowione jest na cokole żelbetonowym ściany oporowej kanału rozładowego – rys. 1, zlokalizowanej od strony południowej. Ściana oporowa ciągnie się na całej długości składowiska i kanału rozładowego (650 m). Torowisko składa się z dwóch szyn dźwigowych typu SD-100, które są rozstawione w osiach o 760 mm. Na początku dla osi 0-7 szyny ułożone są na podkładach drewnianych, oraz dalej (osi 7-146) stalowych

zabetonowanych w cokole żelbetonowej ściany oporowej. Rozkład podkładów wynosi 400 mm. Co drugi podkład mocowany jest śrubami do konstrukcji ściany oporowej. Szyny SD-100 mocowane są do podkładów za pomocą śrub, pośrednio poprzez podkładkę stalową, która zwykle przynitowana jest do stopy szyny (niekiedy zamiast nitowania stosowano proces spawania). Podkładka stalowa w postaci taśmy ma zwykle wymiary 15 x 270 mm, oraz długość odpowiadającą długościom odcinków szyn SD-100.

Torowisko podpory krótkiej mostów umiejscowione jest na estakadzie zasobników dozujących surowce i topniki do WP – rys. 1. Torowisko to posadowione jest na konstrukcji wsporczej, różniącej się na trzech odcinkach. Pierwsza część torowiska w osiach 0-46 jest posadowiona na estakadzie żelbetonowej, podkłady stalowe na których spoczywają szyny SD-100 zabetonowane są w estakadzie, a co drugi podkład mocowany jest do konstrukcji estakady śrubami kotwowymi. Dla drugiej części torowiska w osiach 46-132 szyny spoczywają na belkach stalowych o długości $L = 4570$ mm, które wsparte

*Autor korespondencyjny.

E-mail: boglad@agh.edu.pl



Rys. 1. Schemat usytuowania torowiska jazdy mostów przeładunkowych – na podstawie zdjęcia satelitarne Google [1].

Fig. 1. Diagram of the location of the track of transshipment bridges – based on Google satellite image [1].

są na konstrukcji żelbetowej zasobników. Trzecia część torowiska w osiach 132-148 spoczywa również na belkach stalowych, które z kolei wsparte są na słupach stalowych o konstrukcji kratowej rozstawionych co 4570 mm. Słupy stalowe na tym odcinku torowiska zastępują żelbetową konstrukcję wsporników estakady zasobników WP. Szyny typu SD-100 drugiej i trzeciej części torowiska mocowane są wraz z podkładką stalową wprost do belek stalowych przy pomocy śrub.

Torowisko wykonano prawdopodobnie w 1959 r., a w trakcie eksploatacji wykonywano wielokrotnie prace remontowe tj.: wykonanie wzmocnień belek jezdnych, wykonanie kompleksowego remontu torowisk i in., jednak długi okres eksploatacji, w połączeniu z dążeniem do neutralności klimatycznej, a co za tym idzie do ograniczenia emisji CO_2 jest przyczyną znacznego wzrostu kosztów produkcji stali, co przekłada się na ograniczanie nakładów finansowych na naprawy i modernizację urządzeń technicznych. Wskutek tego następuje istotne zużycie infrastruktury przemysłu hutniczego, którego przykładem jest zły stan techniczny rozważanego torowiska pozostającego w eksploatacji, dla którego konieczne było opracowanie niezbędnego zakresu badań diagnostycznych opisanych w dalszej części pracy, które stanowią mogą podstawę do wykonania niezbędnych prac remontowych odnośnie do możliwości dalszego bezpiecznego użytkowania mocno wyeksploatowanego obiektu.

2. Kontrola torowiska podpory długiej

W zakres kontroli torowiska podpory długiej mostów

przeładunkowych wchodziło wykonanie przeglądu obu szyn SD-100 wraz z pasem podszynowym, oraz mocowaniem śrubowym i nitowym, jak również wykonanie pomiarów szerokości główki szyn, wraz z tzw. „wypływką plastyczną” materiału główki w kierunku poziomym po obu stronach główki szyn – na tej podstawie obliczono efektywną wartość szerokości główki szyn, jako różnicę szerokości główki minus sumaryczna wartość wypływki plastycznej.

Na podstawie przeprowadzonych oględzin torowiska podpory długiej, stwierdzono jego zróżnicowany stan techniczny. Niezadowolający stan techniczny torowiska stwierdzono: w osiach 0-7 gdzie znacznej destrukcji uległa większość podkładów drewnianych, w osiach 144-146 gdzie stwierdzono znaczne nasilenie zjawisk korozyjnych z licznymi perforacjami podkładów stalowych – rys. 2,



Rys. 2. Liczne perforacje i znaczne pocienienie elementów torowiska podpory długiej w osiach 144-146 [1].

Fig. 2. Numerous perforations and significant thinning of the elements of the long support track in axes 144-146 [1].

w osiach 20-44 stwierdzono znaczny stopień skorodowania bocznych blach stalowych podkładów torowiska osiągający 50-80% grubości nominalnej, oraz dla osi 138-144 stwierdzono znaczny stopień skorodowania w górnej nie zabetonowanej części podkładów stalowych.

Jednocześnie na całej długości torowiska stwierdzono występowanie licznych uszkodzeń takich jak: brak śrub, nitów i wkrętów do drewna, luźne śruby, nity i wkręty, pęknięcia - rys. 3 i wykruszenia szyn - rys. 4, ścięte spoiny, wzajemne przesunięcia pionowe i poziome styku sąsiednich szyn znacznie przekraczające wartości dopuszczalne zgodnie z wymaganiami normy [2] - rys. 5, jak również występowanie kilku rozległych defektów główki szyn, będących prawdopodobnie wadami materiałowymi - rys. 6. Ogółem dla torowiska podpory długiej stwierdzono występowanie 1182 różnych uszkodzeń.

Pomiary stopnia zużycia główki szyn wykonane na podstawie efektywnej wartości szerokości główki wykazały ich zadowalający stan techniczny, przy czym maksymalne zużycie nie przekraczało: dla szyny zewnętrznej +3,0% (103,0 mm) i -4,2% (95,8 mm), natomiast dla szyny wewnętrznej +3,8% (103,8 mm) i -3,4% (96,6 mm).



Rys. 3. Pęknięcie o długości 370 mm główki szyny torowiska podpory długiej po stronie zewnętrznej torowiska pomiędzy osiami 74-75 [1].

Fig. 3. The 370 mm long crack of the long support track rail head on the outer side of the track between axles 74-75 [1].



Rys. 4. Wykruszenia o długości 75 mm z deformacjami trwałymi główki szyny torowiska stwierdzone po stronie wewnętrznej torowiska podpory długiej pomiędzy osiami 75-76 [1].

Fig. 4. The 75 mm long chipping with permanent deformations of the track rail head found on the inner side of the track of the long support between axles 75-76 [1].

3. Kontrola torowiska podpory krótkiej

W zakres kontroli torowiska podpory długiej mostów przeładunkowych wchodziło wykonanie przeglądu obu szyn SD-100 wraz z pasem podszynowym, oraz mocowaniem śrubowym i nitowym, po przeprowadzeniu demontażu blach osłonowych torowiska. Wykonano również pomiary szerokości główki szyny podobnie jak dla torowiska podpory długiej.

Na podstawie przeprowadzonych oględzin, na całej długości torowiska stwierdzono występowanie licznych uszkodzeń takich jak: braki śrub i nitów, luźne śruby i nity, pęknięcia i wykruszenia szyn, wzajemne przesunięcia pionowe i poziome styku sąsiednich szyn przekraczające wartości dopuszczalne zgodnie z wymaganiami normy [2], jak również występowanie innych uszkodzeń tj. deformacje i pęknięcia stopy szyny od nita - rys. 8 i in. Ogółem dla torowiska podpory krótkiej stwierdzono występowanie 1741 różnych uszkodzeń.

Pomiary stopnia zużycia główki szyn wykonane na podstawie efektywnej wartości szerokości główki wykazały, że maksymalne zużycie nie przekraczało: dla szyny zewnętrznej +3,9% (103,9 mm) i -6,5% (93,5 mm), natomiast



Rys. 5. Wzajemne przesunięcie pionowe o $\Delta V=6$ mm i poziome o $\Delta H=5$ mm styku szyn z deformacjami główki szyny stwierdzone po stronie wewnętrznej torowiska podpory długiej pomiędzy osiami 51-52 [1].

Fig. 5. Mutual vertical displacement by $\Delta V=6$ mm and horizontal by $\Delta H=5$ mm of rail contact with rail head deformations found on the inner side of the long support track between axes 51-52 [1].



Rys. 6. Rozległy defekt o długości 600 mm będący prawdopodobnie wadą materiałową ze znacznymi deformacjami trwałymi główki szyny stwierdzony dla torowiska podpory długiej po stronie wewnętrznej pomiędzy osiami 80-81 [1].

Fig. 6. Extensive defect with a length of 600 mm which is probably a material defect with significant permanent deformations of the rail head found for the long support track on the inner side between the 80-81 axes [1]



Rys. 7. Deformacja o strzałce $f=85$ mm oraz pęknięcie na ok. 40% przekroju płaskownika ustalającego szyny torowiska podpory krótkiej pomiędzy osiami 28-29 [1].

Fig. 7. Deformation with an arrow $f=85$ mm and cracking on approx. 40% of the cross section of the flat bar fixing the rails of the short support track between the axes 28-29 [1].



Rys. 9. Trwała deformacja o strzałce $f=38$ mm na długości 800 mm nadmiernie pocienionej górnej półki belki wewnętrznej od strony belki zewnętrznej w środku rozpiętości belki pomiędzy osiami 131-132 [1].

Fig. 9. Permanent deformation with an arrow $f=38$ mm on a length of 800 mm of excessively thinned upper shelf of the inner beam from the side of the outer beam in the middle of the beam span between the axes 131-132 [1].

dla szyny wewnętrznej +3,1% (103,1 mm) i -6,1% (93,9 mm)

4. Kontrola belek konstrukcji wsporczej torowiska podpory krótkiej

Jako konstrukcję wsporczą dla torowiska podpory krótkiej mostów przeładunkowych w osiach 46-146 zastosowano belki stalowe o konstrukcji blachownicowej. W zakres przeprowadzonej kontroli wchodziły oględziny, oraz pomiary ubytków korozyjnych z wykorzystaniem techniki ultradźwiękowej. Pomiary grubości wykonano dla wszystkich belek w środku ich rozpiętości, ogółem w ośmiu punktach pomiarowych dla każdej belki: po dwa pomiary dla górnych i dolnych półek od ich strony wewnętrznej w przekroju belki w środku połowy półki, oraz po dwa pomiary dla każdego środnika w odległości ok. 1/8 wysokości środników w przekroju belki od górnej i dolnej półki.

Analiza wyników pomiarów grubości półek belek wykazała, że wartości ubytków grubości są zróżnicowane i dla górnych półek w licznych obszarach umiejscowionych pomiędzy osiami 110-131 przekraczają wartość 25% osiągając wartości maksymalne: dla belki zewnętrznej 46,6% dla osi 121-122 i dla belki wewnętrznej 39,4% dla osi 131-132, przy czym w tym przypadku stwierdzono występowanie rozległych trwałych deformacji górnego pasa belki w środku jej rozpiętości o strzałce $f=38$ mm na długości ok. 700 mm - rys. 9, znacznie przekraczających wymagania normy [3], co



Rys. 8. Pęknięcie stopy szyny o długości 95 mm od otworu nitu stwierdzone dla wewnętrznej szyny torowiska podpory krótkiej pomiędzy osiami 45-46 [1].

Fig. 8. The 95 mm long rail foot break from the rivet bore found for the inner track rail of the short support track between axes 45-46 [1].



Rys. 10. Deformacje, perforacje i ubytki korozyjne dochodzące lokalnie do 90% stwierdzone dla wszystkich elementów stężających belki torowiska pomiędzy osiami 121-127,5 – obszar belki pomiędzy szynami zasypyany skamieniałym pyłem [1].

Fig. 10. Deformations, perforations and corrosion defects of up to 90% locally found for all elements concentrating the track beam between axes 121-127.5 – the area of the beam between the rails covered with petrified dust [1].

może wskazywać na wyczerpanie nośności wzmiankowanego elementu dla ubytków grubości bliskich 40% w środku rozpiętości belki. W przypadku dolnych półek belek nasilenie ubytków grubości jest znacząco niższe niż dla górnych półek i dla obu półek dolnych nie przekraczało 30%.

Analiza wyników pomiarów grubości środników belek nośnych wykazała, że w górnej części środników ubytki grubości zwykle nie są duże i osiągają lokalnie maksymalne wartości: dla belki zewnętrznej 31,2% dla osi 74-75 i dla belki wewnętrznej 59,3% dla osi 126-127. W dolnej części środników, blisko dolnej półki nasilenie ubytków grubości jest znacznie większe niż w górnej. Dla licznych obszarów pomiędzy osiami 76-119 i 145-146 ubytki przyjmują wartości przekraczające 30% i osiągają maksymalne wartości: dla belki zewnętrznej 48,6% dla osi 98-99, oraz dla belki wewnętrznej 61,3% dla osi 104-105. Przeprowadzone oględziny belek stanowiących konstrukcję wsporczą dla torowiska podpory krótkiej mostów wykazały, że dla większości belek, ich stan techniczny uznać należy jako niezadowalający lub zły. Wykonane oględziny belek, wykazały występowanie: poluzowania lub urwania śrub w połączeniach śrubowych belek, oraz śrub mocowania belek do estakady żelbetowej, skutkujące niekiedy przemieszczeniem poziomym lub opadaniem belek, występowanie licznych uszkodzeń elementów stężających belki tj. brak elementów, perforacje, deformacje i odspojenia – rys. 10, oraz innych uszkodzeń.



Rys. 11. Odspojenie dolnego końca i deformacja krzyżulca od strony wewnętrznej o strzałce $f=33\text{mm}$ pomiędzy słupami w osiach 135-136 [1].

Fig. 11. Detachment of the lower end and deformation of the cross from the inside with an arrow $f=33\text{ mm}$ between the columns in axes 135-136 [1].

Ogółem dla belek konstrukcji wsporczej torowiska podpory krótkiej stwierdzono występowanie 263 różnych uszkodzeń.

5. Kontrola belek konstrukcji wsporczej torowiska podpory krótkiej

Przeprowadzona kontrola 19 szt. słupów stalowych torowiska podpory krótkiej mostów, dla większości słupów wraz z elementami stężającymi wykazała ich niezadowalający stan techniczny. Dla większości słupów stwierdzono występowanie uszkodzeń tj. trwałe deformacje licznych prętów znacznie przekraczające wymagania normy [3] – rys. 11, odspojenia blach węzłowych – rys. 12, a w jednym przypadku znaczne trwałe deformacje dolnej półki belki słupa. W przypadku elementów stężających słupy, stwierdzono brak licznych poziomych prętów stężających, liczne zdeformowane i odspojone pręty, jak również występowanie perforacji prętów i blach węzłowych. Wykonane oględziny ujawniły również występowanie licznych usterek w obszarze zewnętrznej powierzchni belek stalowych podtorza, gdzie stwierdzono występowanie licznych rozległych perforacji żeberek usztywniających połączenia śrubowe belek, perforacje zewnętrznych żeberek usztywniających belki i inne. Ogółem w słupach torowiska podpory krótkiej stwierdzono występowanie 96 różnych uszkodzeń.



Rys. 12. Deformacje, perforacje i ubytki korozyjne dochodzące lokalnie do 90% stwierdzone dla wszystkich elementów stężających belki torowiska pomiędzy osiami 121-127,5 – obszar belki pomiędzy szynami zasypany skamieniałym pyłem [1].

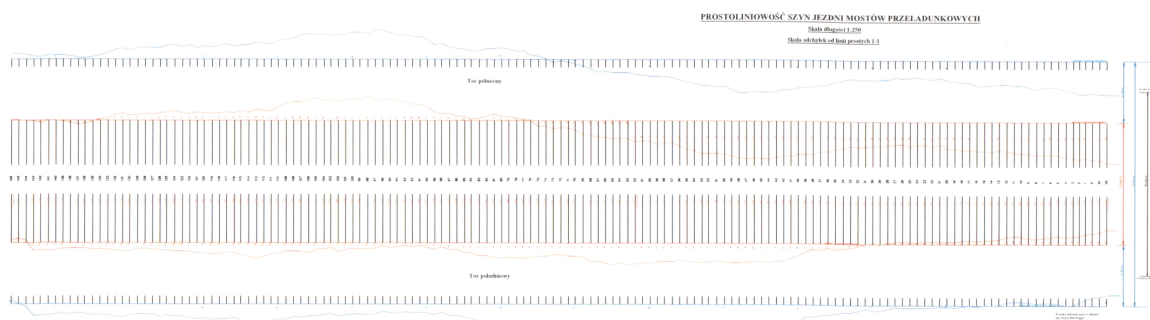
Fig. 12. Deformations, perforations and corrosion defects of up to 90% locally found for all elements concentrating the track beam between axes 121-127.5 – the area of the beam between the rails covered with petrified dust [1].

6. Pomiary geometrii torowiska

Pomiary geodezyjne kształtu torów jezdni jazdy mostów przeładunkowych wykonano zgodnie z wytycznymi [4].

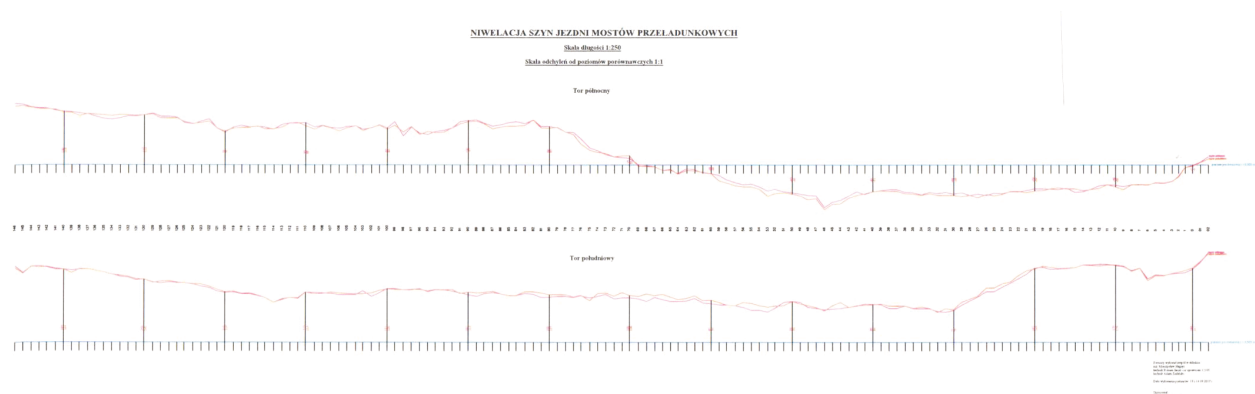
W trakcie prac przygotowawczych zmierzono rozstaw słupków osiowych (trolei) podpory krótkiej, a następnie rozmierzono torowisko podpory długiej realizując pomierzone rozstawy podpory krótkiej. Niwelację szyn torów podpór długiej i krótkiej dowiązano do reperu zakładowej sieci wysokościowej w układzie odniesienia Amsterdam.

Zmierzone odchyłki szyn toru podpory krótkiej zawierały się w granicach od -101 mm do $+138\text{ mm}$, natomiast podpory długiej od $+67\text{ mm}$ do 202 mm . Pomiar prostoliniowości szyn obu torów wykonano metodą tachimetryczną. Pomiar oparto na założonej bazie pomiarowej rozciągniętej wzdłuż podpory długiej torowiska, składającej się z sześciu punktów bazowych i wyznaczonych szesnastu sygnałów zaznaczonych na barierkach pomostu podpory krótkiej. Po wyrównaniu i obliczeniu współrzędnych sygnałów, posłużyły one do nawiązania pomiarów sytuacyjnych ustawienia szyn obu podpór. Na podstawie pomierzonych współrzędnych szyn torów obu podpór obliczono rozstaw szyn wewnętrznych torowiska i odchyłki od linii prostej tychże szyn.



Rys. 13. Prostoliniowość szyn jezdni mostów przeładunkowych [1].

Fig. 13. Straightness of road rails of transshipment bridges [1].



Rys. 14. Niwelacja szyn jezdni mostów przeładunkowych [1].

Fig. 14. Leveling of road rails of transshipment bridges [1].

Wyniki wykonanych pomiarów i obliczeń zestawiono na rysunkach [1]: prostoliniowość szyn jezdni mostów przeładunkowych – rys. 13, oraz niwelacja szyn jezdni mostów – rys. 14.

Zmierzone odchyłki od rozstawu projektowego szyn wewnętrznych zawierały się w granicach od -124 mm do $+73$ mm. Zmierzone odchyłki od linii prostej szyny wewnętrznej podpory krótkiej mieściły się w granicach od -100 mm do $+58$ mm, natomiast szyny wewnętrznej podpory długiej: od $+36$ mm do -54 mm.

7. Podsumowanie

W niniejszej pracy zaproponowano kompleksowy, realny z finansowego punktu widzenia program badań diagnostycznych torowiska jazdy mostów przeładunkowych w systemie zasilania Wielkiego Pieca zastosowany w jednej z polskich hut. W zakres badań diagnostycznych wchodziło wykonanie przeglądu konstrukcji torowiska, przy przeprowadzeniu demontażu blach osłonowych torowiska podpory krótkiej, wraz z pomiarami nieniszczącymi ubytków grubości oraz pomiarami efektywnej szerokości główki szyn. Wykonane zostały również geodezyjne pomiary geometrii torowiska. Na podstawie przeprowadzonych badań, stwierdzono zły stan konstrukcji torowiska.

Uzyskane wyniki przeglądu, pomiarów i badań, w połączeniu z wynikami pomiarów trwałych deformacji torowiska, stanowiły podstawę do zaprojektowania odpowiednich wzmocnień, oraz przeprowadzenia

rekonstrukcji rozważanego torowiska jazdy mostów przeładunkowych przy wykorzystaniu zaleceń konstrukcyjnych zawartych w pracach [5, 6, 7, 8 i 9].

Podziękowanie

Artykuł powstał w ramach realizacji pracy statutowej nr 16.16.130.942 w Katedrze Projektowania i Eksploatacji Maszyn WIMiR AGH w Krakowie.

8. Literatura

- [1] B. Ładecki, M. Nagieć, A. Burda, R. Janur i in.: Ocena stanu technicznego torowiska mostów przeładunkowych. PREH – praca nie publikowana, Kraków 2017.
- [2] PN-M-45495:1995: Dźwignice. Tory jezdne suwnic półbramowych i bramowych. Wymagania.
- [3] PN-EN 1090:2018 – Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych.
- [4] K. Juzwa: Wytyczne wykonania pomiarów geodezyjnych jezdni suwnicowych i suwnic. Ministerstwo Przemysłu Ciężkiego, Warszawa, 1973.
- [5] N. Dowling: Mechanical Behavior of Materials. Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue. Printice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, 1999.
- [6] K. Rykulak: Pęknięcia w konstrukcjach stalowych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2000.
- [7] E. Masłowski, D. Spiżewska: Wzmacnianie konstrukcji budowlanych. Arkady, Warszawa 1988.