

Maria Bałuch

Ewolucja potencjalnych skutków niepełnego wykonania zakresu robót torowych

Jakość robót torowych jest przedmiotem zainteresowania wielu zarządów kolejowych, które dostrzegają w niej możliwości zmniejszenia wydatków na utrzymanie dróg kolejowych, a więc tego składnika infrastruktury, który wymaga największych zasobów. Doskonaleniu jakości służą zarówno nowe rozwiązania konstrukcyjne, jak i różnego rodzaju opracowania techniczne bądź organizacyjne.

Przykładem takich rozwiązań konstrukcyjnych może być laserowe prowadzenie belki wybierakowej nowoczesnych oczyszczarek podsypki [5] z tolerancją ± 10 mm. Do rozwiązań technicznych można zaliczyć nowe wzorcowe zasady oceny podbijania toru opracowane na kolejach holenderskich [7], a do opracowań organizacyjnych – obszerny raport opracowany na kolejach indyjskich z badań kilkuset lokalizacji ciągłych wymian nawierzchni [8].

W raporcie tym zwraca się dużą uwagę na właściwe opracowywanie projektów robót oraz na ich jakość. Spośród 576 robót poddanych audytowi, 345 (tj. 60%) nie miało przygotowanych takich projektów. Wskazano również konkretne miejsca źle wykonanych wymian. Bezpośredni związek z jakością robót mają rów-

niez prace badawcze związane z odchyłkami dopuszczalnymi parametrami geometrycznymi toru [2, 3, 9].

Problem jakości robót torowych w Polsce zaczyna narastać ostatnio z dwóch powodów – zwiększenia zakresu tych robót dzięki funduszom unijnym i coraz bardziej dotkliwym brakiem odpowiednio wykwalifikowanych pracowników.

Pojęcie niepełnego wykonania zakresu robót i jego skutki

W monografii [1] sformułowano pojęcie niezawodnego procesu technologicznego przyjmując, że proces technologiczny określonych robót torowych T_i można zaliczyć do zbioru procesów niezawodnych T_n , gdy spełnia następujący warunek:

$$T_i \in T_n \Leftrightarrow \lfloor I_r \geq I_p \cap q_r \geq q_p \cap t_r \leq t_z \rfloor \quad (1)$$

gdzie:

- I_r – ilość wykonanych robót,
- I_p – planowana ilość robót,
- q_r – uzyskana jakość robót, określona liczbowo,
- q_p – wymagana jakość robót,
- t_r – rzeczywisty czas robót,
- t_z – czas zamknięcia toru.

➤ W pierwszym przypadku na lokomotywie znajduje się odbiornik/nadajnik radiowy nawiązujący połączenie z systemem przejazdowym w chwili zbliżania się do przejazdu. System znajdujący się na lokomotywie musi mieć urządzenie do dokładnej lokalizacji swojego położenia (GPS ma dokładność ± 50 m!), jak również znać dokładnie linię (odcinek linii), po której się porusza. Rodzaj transmisji danych między lokomotywą (pociągami), a systemem przejazdowym musi gwarantować pewne i bezpieczne załączenie SSP w odpowiednim czasie, gwarantującym wymagany czas zabezpieczenia przejazdu przed pojawieniem się czoła pociągu na przejeździe.

W drugim przypadku czujnik zbliżania ma łącze *on-line* z systemem przejazdowym, przez które w stanie oczekiwania na przejazd pociągu wymieniane są telegramy potwierdzające bezprzerwowość łącza. Rodzaj transmisji danych musi spełniać wymagania opisane dla przypadku drugiego. Dodatkowo czujnik ten wyposażony jest w niezależne o wysokiej dostępności zasilanie z paneli słonecznych, zabezpieczone dodatkowo w generator wiatrowy prądu. Badania nad sterowaniem radiowym urządzeń SSP w wymienionych konfiguracjach były przeprowadzone między innymi w Niemczech i Kanadzie. Zastosowanie radia i bezpiecznej transmisji radiowej może rozwiązać problem kabli, jeżeli zostanie równolegle rozwiązany problem zasilania zarówno czujników po-

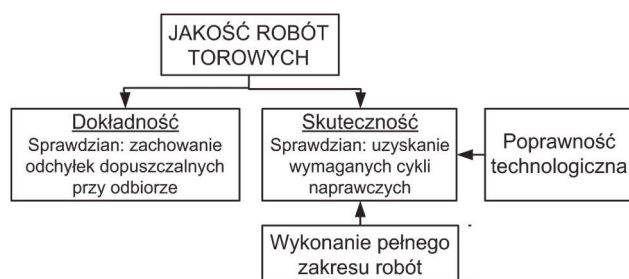
ciągu, jak i modemów radiowych oraz sygnalizatorów TOP. W przypadku implementacji transmisji radiowej należy wykorzystać obecnie stosowane w przemyśle modemy radiowe oraz zastosować kodowanie nadmiarowe z detekcją błędów. Problemem jest jednak wybór właściwego pasma, w dobie powszechnego wykorzystania WLAN oraz innych urządzeń w paśmie 2,4 GHz oraz 5 GHz, systemu nie można zastosować bez przeprowadzenia prób i badań eksploatacyjnych. Zakłócenia mogą być przyczyną małej dostępności technicznej SSP i blokowania ruchu zarówno kolejowego (ograniczenia prędkości pociągu), jak i drogowego (nieotwarcie przejazdu). Konieczne jest inteligentne sterowanie poborem mocy i prawidłowe techniczne rozwiązanie podsystemu zasilania staje się także problemem nie trywialnym. Szacunkowy koszt uzyskania prototypu systemu 10 mln zł, czas realizacji 2 lata, produkcja w Polsce.

□

prof. dr hab. inż. Janusz Dyduch
UTH Radom, Komitet Transportu PAN

dr inż. Andrzej Cholewa
Komitet Transportu PAN

Składnikami jakości robót torowych są jej dokładność i skuteczność (rys. 1). Dokładność robót ma istotny wpływ na ich skuteczność, ta zaś zależy od pełnego wykonania zakresu robót i poprawności technologicznej.



Rys. 1. Składniki jakości robót

Przez „niepełne wykonanie zakresu robót” rozumie się pominięcie pewnych robót, które powinny być składnikiem poprawnie opracowanego procesu technologicznego, niezależnie od przyjętych procedur prawnych. Fakt, że konieczne roboty nie zostały ujęte w programie funkcjonalno-użytkowym, projekcie lub w umowie, nie wpływa na ocenę niepełnego wykonania ich zakresu. Tak więc pojęcie niepełnego wykonania zakresu robót traktowane jest jako kategoria techniczna a nie prawno-ekonomiczna.

W skrajnych przypadkach brak wykonania określonych robót może stanowić zagrożenie bezpieczeństwa ruchu. W innych – pominięcie w procesie technologicznym robót niezbędnych do skutecznej naprawy toru prowadzi do szybszego narastania odkształceń nawierzchni, tzn. do skrócenia przewidywanych cykli naprawczych (cykle naprawcze znane są również pod skrótem MTBR – Mean Time Between Repair) [4], co wiąże się z koniecznością zwiększenia nakładów na utrzymanie torów, a wobec braku odpowiednich zasobów – postępująca degradacja toru może stać się przyczyną wykołnienia.

Przykłady

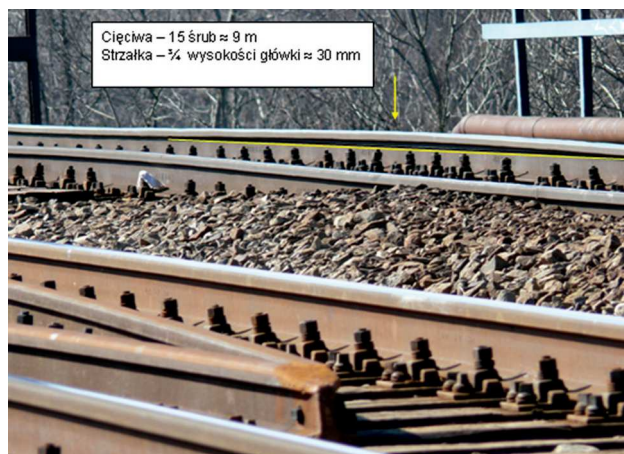
Brak wykonania strefy przejściowej przed wiaduktem

Przykładem ewolucyjnego przejścia od zagrożenia polegającego na zwiększonych wydatkach na utrzymanie nawierzchni do zagrożenia katastroficznego jest przypadek przedstawiony na rysunku 2. Wskutek braku wykonania strefy przejściowej przed wiaduktem nastąpiło tu wygięcie toru szynowego położonego od strony poręczy. Długość powstałej nierówności wynosi około 9 m przy strzałce 30 mm. W drugim toku szynowym (od strony międzytorza) nierówność nie występuje, co oznacza, że w miejscu tym występuje wichrowatość o wartości 30 mm/4,5 m, tj. 6,7 ‰, czyli – zgodnie z *Warunkami* [10] – wichrowatość przekraczająca wartość dopuszczalną przy prędkości 20 km/h.

Brak wykonania strefy przejściowej spowodował szybsze narastanie odkształceń, które doprowadziły do powstania wichrowatości toru o wartości mogącej stanowić zagrożenie bezpieczeństwa ruchu. Łańcuch tych zdarzeń przedstawiono na rysunku 3.

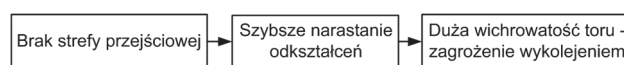
Brak pełnego zakresu robót przy oczyszczaniu podsypki maszyną AHM 800R

W opisywanym przypadku roboty zostały ograniczone do oczyszczenia podsypki oraz ułożenia geowłókniny, geosiatki i warstwy ochronnej z niesortu (rys. 4). Pominięto natomiast tak istotne prace jak:



Rys. 2. Wichrowatość toru na przejściu z nasypu na wiadukt

Fot. M. Bałuch



Rys. 3. Ewolucja skutków braku wykonania strefy przejściowej przed wiaduktem

- ścięcie ław torowiska przed pracą maszyny AHM 800R,
- uzupełnienie podsypki,
- podbicie toru po pracy maszyny,
- oczyszczenie rowów.



Rys. 4. Praca maszyny AHM 800R

Fot. G. Pływaczyk

Z powodu braku uzupełnienia podsypki i podbicia toru, po pracy maszyny AHM 800R w torze pozostały duże nierówności (rys. 5). Należy oczekiwać, że deformacje te będą szybko narastały, ponieważ brak wykonania odwodnienia przed rozpoczęciem pracy maszyny AHM 800R sprawił, że ułożona geowłóknina, geosiatka i duża część warstwy ochronnej znalazła się w korycie nie odprowadzającym wodę (rys. 6).

Łańcuch zdarzeń wynikających z pominięcia koniecznych robót przedstawiono na rysunku 7.

Pominięcie wyrównania naprężeń po przytwierdzeniu szyn poza zakresem temperatur neutralnych

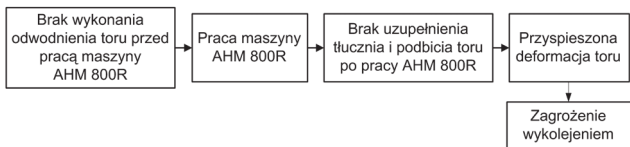
Wyboczenie toru przedstawione na rysunku 8 wystąpiło 3 lipca 2012 r. o godzinie 16.20 w łuku koszowym o promieniach 599 i 637 m. Szyny typu 60E1 były ułożone w 1999 r., a podkłady betonowe typu PS94 – w 2003 r. Na odcinkach przyległych do łuku z obu stron leżą podkłady sosnowe o dużym zużyciu. W miejscu wyboczenia występuje załom profilu podłużnego z 6,5 na 0 ‰.



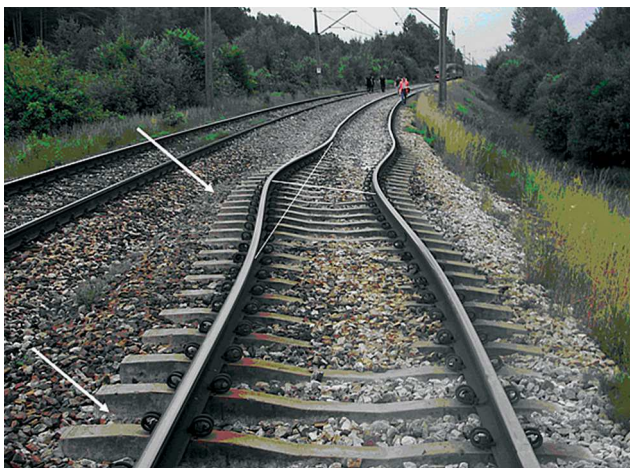
Rys. 5. Odształcenia toru pozostałe po pracy maszyny AHM 800R
Fot. G. Pływaczyk



Rys. 6. Widok toru po zakończeniu robót z użyciem maszyny AHM 800R – nieścięta trawa torowiska, zarośnięte rowy
Fot. G. Pływaczyk



Rys. 7. Łańcuch zdarzeń w przypadku pominięcia robót niezbędnych przy pracy maszyny AHM 800R



Rys. 8. Wycoczenie toru w łuku koszowym
Fot. J. Płusa

Z metryki toru bezстыkowego wynika, że szyny przytwierdzono do podkładów w temperaturze 9°C i od tego czasu nie wykonywano żadnej regulacji sił podłużnych ani też robót naruszających stateczność toru.

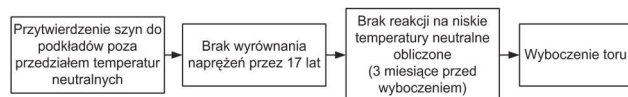
Obliczenia temperatury neutralnej na podstawie pomiarów pełzania szyn, wykonanych w końcu kwietnia 2012 r. wykazały, że wynosi ona -1°C w toku lewym i 6°C w toku prawym.

Jak wynika z załącznika 7 Warunków [10], nawet przy minimalnej nierówności poziomej, tj. ≤6 mm, dopuszczalny wzrost temperatury szyny ponad temperaturę neutralną $\Delta t_{max} = 33^\circ\text{C}$, a więc rzeczywista temperatura szyny nie powinna przekroczyć w tym przypadku temperatury eksploatacyjnej $t_{eksp} = -1 + 33 = 32^\circ\text{C}$, co o tej porze roku, w nastłonecznionym miejscu jest warunkiem trudnym do utrzymania. W związku z tym miejsce to należało objąć szczególnym nadzorem i – w zależności od rzeczywistej temperatury szyny – podejmować odpowiednie środki zaradcze.

Zgodnie z przytoczonym załącznikiem wartości dopuszczalnych wzrostów temperatury szyny, przy których konieczne jest wprowadzenie ograniczenia prędkości wynoszą odpowiednio $\Delta t_{60} = 40^\circ\text{C}$ i $\Delta t_{30} = 46^\circ\text{C}$. Tak więc, powyżej temperatury rzeczywistej $t_z = -1 + 46 = 45^\circ\text{C}$, tor należało zamknąć.

Z rysunku 8 wynika również, że istotny wpływ na wycoczenie – niezależnie od niskiej temperatury neutralnej – wywarły braki podsypki. Dolna strzałka wskazuje na braki podsypki w okienkach, górna zaś na brak spiętrzenia podsypki po wycoczeniu, które to spiętrzenie wystąpiłoby, gdyby pokrywała ona czoła podkładów i sięgała na wymaganą odległość 0,45 m od czół podkładów.

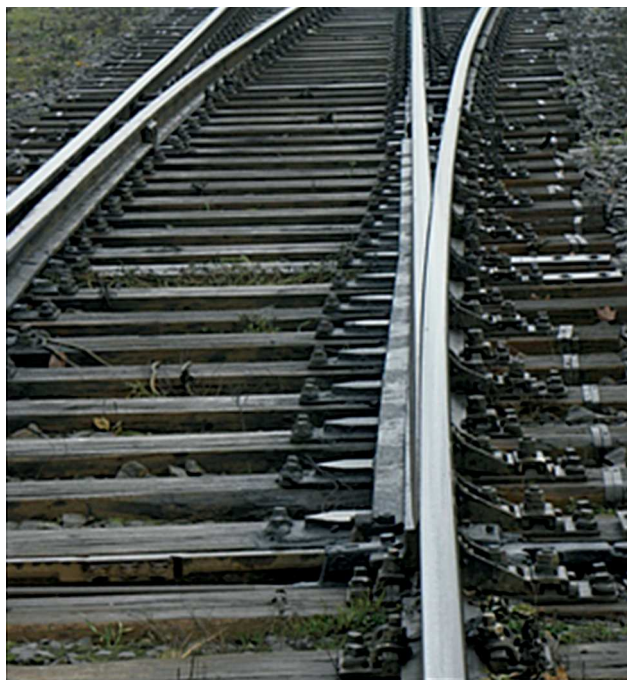
Łańcuch zdarzeń przedstawia rysunek 9.



Rys. 9. Łańcuch zdarzeń prowadzących do wycoczenia toru

Brak drugiego zamknięcia nastawczego w rozjeździe 60E1-500-1:12

W rozjeździe przedstawionym na rysunku 10 zamontowane jest tylko jedno zamknięcie nastawcze.



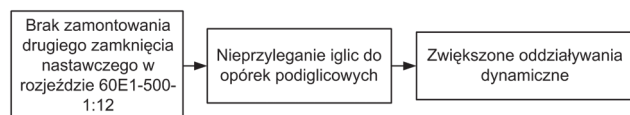
Rys. 10. Rozjazd 60E1-500-1:12 bez drugiego zamknięcia nastawczego
Fot. A. Dusza [11]

Wyniki pomiarów wykazały, że maksymalna wartość nieprzylegania iglic do opórek występuje w prostej iglicy na pierwszej opórce i wynosi 7 mm. Na pozostałych czterech opórkach war-

tość ta waha się od 3 do 6 mm. Nieprzyleganie do opornicy prostej wynosi 3–4 mm. Na odcinku, na którym zamontowane są opórki iglicowe odchyłki szerokości w torze zasadniczym i zwrotnym są ujemne i wynoszą od –3 do –5 mm. Rozstaw podrojazdnic jest prawidłowy i mieści się w granicach 590–600 mm. Nieprzyleganie iglic do opórek występuje do chwili przejazdu pociągu. Po przejeździe iglica przylegająca do opornicy jest dociśnięta również do opórek.

W wyniku nieprzylegania iglicy do opórek występują gwałtowne przemieszczenia poprzeczne iglicy, które mogą powodować zwiększone oddziaływania dynamiczne pojazdu szynowego.

Łańcuch zdarzeń przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Ewolucja skutków braku drugiego zamknięcia nastawczego w rozjeździe 60E1-500-1:12

Skutki spawania szyn w temperaturze 40°C

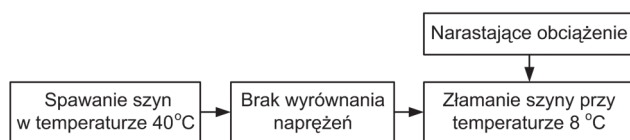
Spawanie termitowe szyn 60E1 wykonano w temperaturze 40°C. Przy temperaturze 8°C doszło do złamania szyny (rys 12).



Rys. 12. Złamanie szyny na spinie termitowej

Fot. J. Płusa [12]

Luz spowodowany różnicą temperatur wynosi 52 mm. Z dużym prawdopodobieństwem można sądzić, że w torze tym nie wykonywano wyrównania naprężeń. Brak ten i narastające obciążenie doprowadziło do złamania szyny (rys. 13).



Rys. 13. Łańcuch zdarzeń prowadzących do złamania szyny

Brak szlifowania szyn po ciągłej wymianie nawierzchni

Końcowym etapem procesu technologicznego ciągłej wymiany szyn powinno być profilowanie początkowe wykonywane w krótkim okresie po ułożeniu nowych szyn i przekazaniu toru do eksploatacji. Celem szczegółowym profilowania początkowego jest usunięcie wad hutniczych na powierzchni główki szyny, tj. możli-

wych mikronierówności oraz niepożądanych zmian strukturalnych stali i ewentualnych wgniecień powstających podczas układania nawierzchni. Cel ten osiąga się skrawając cienką (0,2–0,3 mm) warstwę materiału.

Zalecany czas od przekazania toru do eksploatacji do rozpoczęcia profilowania początkowego nie powinien przekraczać 6 tygodni, wyjątkowo zaś – z powodu złych warunków atmosferycznych lub innych przeszkód – 3 miesięcy. Profilowanie początkowe powinno mieć charakter ciągły, tzn. obejmować całą długość budowlaną toru na szlaku.

Można się spotkać z różnymi ocenami korzyści wynikających ze szlifowania początkowego szyn, np. w artykule [6] wymienia się następujące korzyści:

- 3-krotne zwiększenie trwałości przekładek,
- zwiększenie do 30% trwałości podkładów,
- wydłużenie do 30% cykli podbijania podkładów,
- wydłużenie do 15% cykli oczyszczania podsypki.

Doświadczenia wykazują również, że brak szlifowania początkowego szyn prowadzi do szybszego wystąpienia wad kontaktowo-zmęczeniowych – a tym samym skraca długość cykli do kolejnego profilowania zapobiegawczego lub naprawczego.

Przyczyny niepełnego wykonania zakresu robót

Zajmowanie się wadliwością pewnych procesów lub systemów ma sens wówczas, gdy uda się znaleźć związki przyczynowo-skutkowe, które do omawianych wad doprowadziły. Pomocne stają się w tym pewne schematy poszukiwania źródeł wadliwości, zwłaszcza zaś zasada, którą dawniej określano skrótem C+3M (człowiek, maszyna, metoda, materiał), a obecnie – 5M (*Men, Machine, Method, Material, Menagement*). W tym drugim schemacie, w którym pojawiło się zarządzanie, rolę człowieka rozumie się bardziej jako operatora lub wykonawcy, a nie kierującego procesem.

Każda grupa przyczyn może mieć różne nasilenie. Biorąc to pod uwagę opracowano schemat relatywnej zależności wpływu rozpatrywanych czynników sprawczych na zaistnienie konkretnej wady. Nasilenie przyczyny jest stopniowane w skali 5-punktowej:

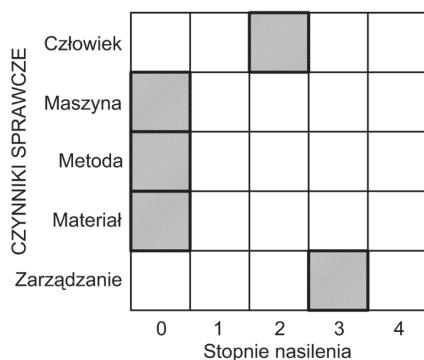
- 0 – całkowity brak wpływu,
- 1 – niewielki wpływ,
- 2 – znaczący wpływ,
- 3 – bardzo duży wpływ,
- 4 – jedyna przyczyna.

Wskazanie tylko jednej przyczyny oznacza automatyczne wyzerowanie wszystkich pozostałych.

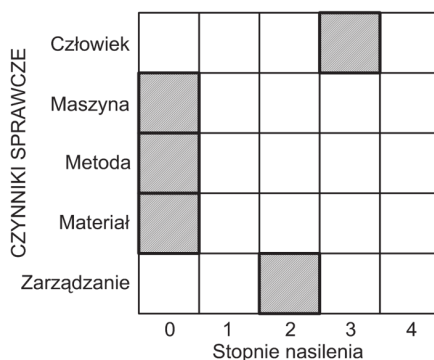
Zasada ta jest zilustrowana omówionymi już przykładami. Ocena przyczyn jest tu bardzo prawdopodobna, należy jednak zastrzec, że nie prowadzono rozmów z wykonawcami, które mogłyby ewentualnie rzucić dodatkowe światło na omawiane wady technologiczne. Przyczyny te są przedstawione na rysunkach 14–18.

Brak wykonania strefy przejściowej (rys. 14) obciąża w bardzo dużym stopniu system zarządzania. Roboty tej nie uwzględniono bowiem w projekcie. Znaczący wpływ człowieka odnosi się do stanu przedstawionego, tj. do istniejącej wichrowatości, która powinna być wcześniej usunięta.

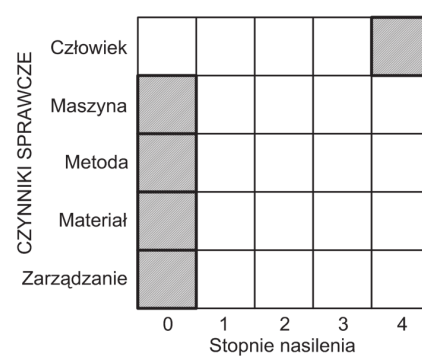
Stan przedstawiony po pracy maszyny AHM 800R jest wynikiem trzech przyczyn (rys. 15): systemu zarządzania, tj. braku wyszczególnienia robót odwodnieniowych w projekcie, niewłaściwym działaniem człowieka, który odebrał roboty w takim stanie



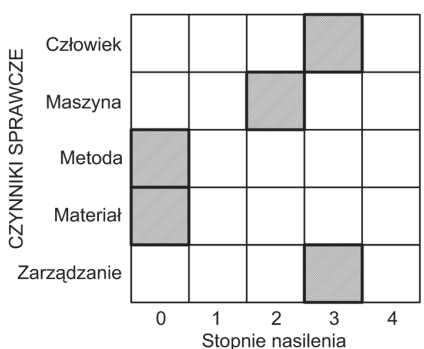
Rys. 14. Ocena przyczyn braku wykonania strefy przejściowej



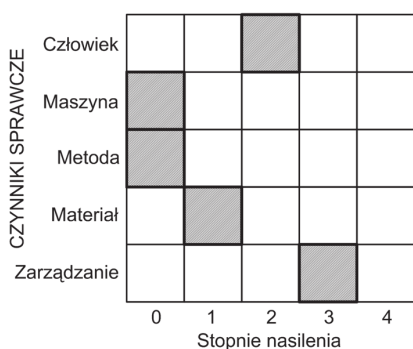
Rys. 16. Ocena przyczyn wybożenia toru



Rys. 18. Ocena przyczyn złamania szyny



Rys. 15. Ocena przyczyn braku wykonania niezbędnych robót przed pracą maszyny AHM 800R



Rys. 17. Ocena przyczyn braku drugiego zamknięcia nastawczego w rozjeździe 60E1-500-1:12

i pracy maszyny, po której nie powinny wystąpić aż tak duże nierówności.

Podstawową przyczyną, która doprowadziła do wybożenia toru były zaniechania i błędy człowieka (rys. 16). Niedostatki w zarządzaniu odnoszą się w tym przypadku do niewystarczającej kontroli.

Na brak drugiego zamknięcia w rozjeździe 60E1-500-1:12 składają się 3 przyczyny (rys. 17). Pierwsza – to zgoda decydentów na wbudowanie takiego rozjazdu, a więc niewłaściwe zarządzanie. Drugą przyczyną są braki w utrzymaniu (człowiek), a trzecią – nieco dyskusyjną – niekompletny rozjazd (materiał).

Za jedyną przyczynę złamania szyny można uznać błędy człowieka (rys. 18). Nie można bowiem wymagać sprawowania nadzoru nad każdym pojedynczym spawaniem. Nie ma też podstaw aby twierdzić, że przyczyną jest niewłaściwa jakość materiału.

Z krótkiego przeglądu tych przyczyn wynika, że w największym stopniu występują tu błędy człowieka i wadliwe zarządzanie. Do zarządzania zalicza się w tym przypadku nie tylko brak właściwego planowania i nadzoru, lecz również niewystarczająco skuteczną działalność w kształceniu i doskonaleniu pracowników.

Uwagi końcowe

Brak wykonania pełnego zakresu robót naprawy nawierzchni jest, niestety, na polskich kolejach przypadkiem występującym dość często. Stan ten nie prowadzi do żadnych korzyści ekonomicznych, a wprost przeciwnie – koszty robót wykonywanych po zakończeniu naprawy są z reguły większe niż w przypadku, gdy roboty te stanowią element naprawy kompleksowej. Natomiast gdy niezbędne roboty nie zostaną wykonane ani w trakcie, ani po zakończeniu naprawy, należy liczyć się ze zwiększonymi kosztami

utrzymania i eksploatacji nawierzchni, a nawet wystąpieniem zagrożeń bezpieczeństwa ruchu pociągów.

Literatura

- [1] Bałuch H., Bałuch M.: *Eksploatacyjne metody zwiększenia trwałości rozjazdów kolejowych*. CNTK, Warszawa 2009.
- [2] Bałuch H., Bałuch M.: *Odchylki dopuszczalne nawierzchni Metra Warszawskiego*. Praca CNTK 4167/11, Warszawa 2006.
- [3] Bałuch H., Bałuch M.: *Opracowanie wytycznych stosowania poszczególnych typów rozjazdów w torach PKP PLK S.A. oraz odchylek dopuszczalnych w rozjazdach i skrzyżowaniach torów w funkcji prędkości – etap 3*. Praca CNTK nr 3071/11, Warszawa 2005.
- [4] Bałuch M.: *Jakość robót jako wyznacznik cykli napraw nawierzchni*. Problemy Kolejnictwa 2011, z. 152.
- [5] Lichtberger R.W.: *Railway track optimization by efficient track maintenance and strategies*. Rail Engineering International 2007, No. 4.
- [6] Nath L., Kumar A.: *Rail grinding necessity on Indian Railways*. Strona www.wiki.incrisin.gov.in/.../rail-grinding (pозyskany 24.02.2013 r.).
- [7] *Template for track geometry quality check*. Strukton Rail, 28 June 2012.
- [8] *Track renewal works on Indian Railways*. Report No. 6 of 2007 (Railways). www.cag.gov.in/html/.../railways/...6/chap_3p. (pозyskany 27.3.2013 r.).
- [9] Qin Y. et al.: *Railway track quality assessment method based on mechanism modeling*. ICTIS Conference 2011.
- [10] *Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D-1)*. PKP PLK S.A., Warszawa 2005.
- [11] Dusza A.: *Przyczyny nieprzylegania iglic do opórek iglicowych i siodełek podiglicowych – studia przypadków*. Praca dyplomowa WAT wykonana pod kierunkiem H. Bałucha, Warszawa 2013.
- [12] Płusa J.: *Usprawnienia technologii i organizacji napraw nawierzchni kolejowej w krótkich zamknięciach toru*. Praca dyplomowa WAT wykonana pod kierunkiem H. Bałucha, Warszawa 2013.

Maria Bałuch
Instytut Kolejnictwa