

# Kształtowanie niezawodności nawierzchni w toku modernizacji linii kolejowych

Maria BAŁUCH<sup>1</sup>, Henryk BAŁUCH<sup>2</sup>

## Streszczenie

Niezawodność nawierzchni kolejowej na zmodernizowanych liniach kolejowych zależy w dużym stopniu od jakości robót. Jakość ta nie zawsze odpowiada wymaganiom. W artykule przedstawiono model niezawodności procesu technologicznego zmodernizowanej drogi kolejowej, przypadki wadliwego wykonawstwa robót i propozycje działań zmierzających do eliminacji tych przypadków. Szczególne znaczenie mogą mieć odpowiednio opracowane listy kontrolne, poprawa odbiorów zakończonych robót budowlanych oraz szkolenia pracowników.

**Słowa kluczowe:** niezawodność, nawierzchnia kolejowa, jakość robót

## 1. Wstęp

W najbliższych latach wzrośnie zakres modernizacji linii kolejowych. Jednym z celów modernizacji jest zmniejszenie nakładów na utrzymanie drogi kolejowej w porównaniu ze stanem, jaki istniał przed modernizacją. Cel ten można osiągnąć uzyskując wysoką jakość robót modernizacyjnych, a więc zapewniając dużą niezawodność procesów technologicznych.

Teoria niezawodności w swym początkowym okresie obejmowała głównie ocenę rozkładów i wyznaczanie wskaźników niezawodnościowych. W pracy [1] znaczną uwagę poświęcono zagadnieniom trwałości. Obecnie niezawodność obejmuje również gromadzenie informacji o wyrobach i systemach, o ich cechach, w tym o trwałości. W zakresie dróg kolejowych przedstawiono ostatnio model niezawodności w dużej mierze oparty na ocenie podłoża [5]. Nieco wcześniej przedmiotem oceny niezawodności był stan podkładów [7]. Przypomniano przy tym, że w pewnym okresie 21% wykolejeń w USA było spowodowanych poszerzeniem torów, będącym następstwem złego stanu podkładów betonowych. Badania nad niezawodnością nawierzchni pod kątem wyboczeń torów w Australii opisano w opracowaniu [4]. Krytyczny przegląd obliczeń nawierzchni zamieszczono w pracy [6].

<sup>1</sup> Prof. dr hab. inż., Instytut Kolejnictwa, e-mail: mbaluch@ikolej.pl.

<sup>2</sup> Prof. dr hab. inż., Instytut Kolejnictwa, e-mail: hbaluch@ikolej.pl.

Obserwacje licznych procesów technologicznych oraz gromadzone wyniki oceny jakości robót na pewnych odcinkach modernizowanych linii kolejowych wykazują, że jakość ta jest niezadowalająca [2]. Działania zmierzające do zmiany tego stanu powinny być zintensyfikowane. W artykule przedstawiono pojęcie niezawodności nawierzchni kolejowej po zmodernizowaniu linii kolejowych, przykłady pewnych robót zmniejszających tę niezawodność oraz propozycje prowadzące do zmniejszenia występujących wad.

## 2. Niezawodność procesu technologicznego i niezawodność eksploatacyjna nawierzchni

Warunki niezawodnego procesu technologicznego  $T_n$  sformułowano w monografii [2] w postaci

$$T_i \in T_n \Leftrightarrow [l_r \geq l_p \cap q_r \geq q_p \cap t_r \leq t_z], \quad (1)$$

gdzie:

- $l_r$  – ilość wykonanych robót,
- $l_p$  – 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.

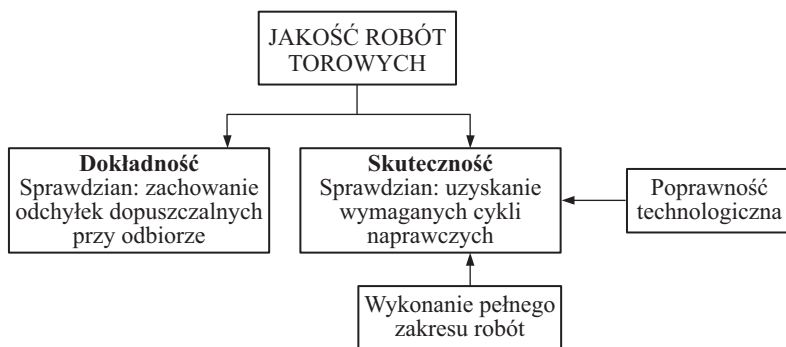
Miarą niezawodnego procesu technologicznego jest wektor kolumnowy

$$N = \begin{bmatrix} \frac{l_r}{l_p} \\ \frac{q_r}{q_p} \\ \frac{t_z}{t_r} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Niezawodność drogi kolejowej jest właściwością oznaczającą, że spełnia ona poprawnie wszystkie przypisane jej funkcje w określonych warunkach eksploatacji i w ustalonym czasie. W odniesieniu do nawierzchni kolejowej na zmodernizowanej linii, miarą niezawodności po całkowitym zakończeniu robót jest czas, który można zastąpić wymaganym obciążeniem  $Q$ , do pierwszej naprawy o charakterze ciągłym, tj. do pierwszego podbicia i regulacji toru w płaszczyźnie poziomej. Obciążenie to nie powinno być mniejsze niż  $Q_{min}$ . Warunek ten można zapisać następująco

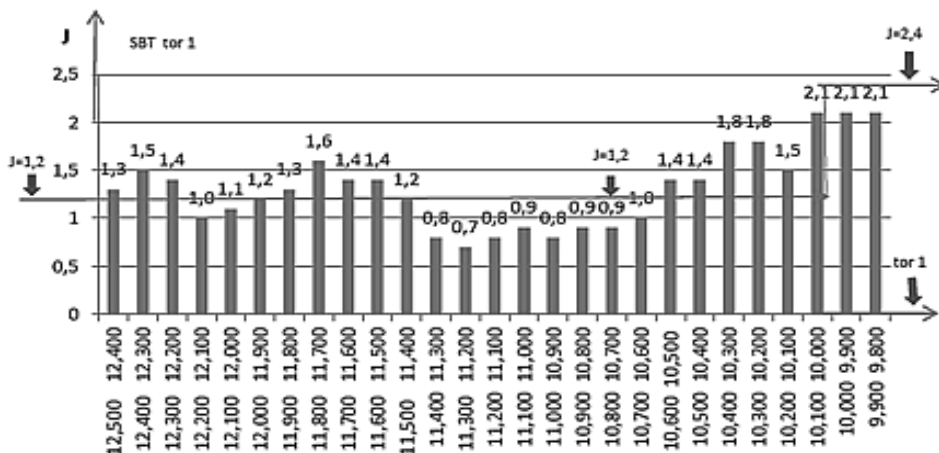
$$R(Q) = P\{Q, \Phi, \varepsilon | Q \geq Q_{\min}\}. \quad (3)$$

Funkcja  $\Phi$  oznacza zapewnienie przez nawierzchnię bezpiecznego, ciągłego i regularnego ruchu kolejowego w warunkach eksploatacyjnych  $\varepsilon$ . Wielkością zapewniającą spełnienie tego warunku, przy zastosowanej konstrukcji nawierzchni i znanym układzie geometrycznym toru, jest jakość robót  $q_r$ . Na jakość robót składają się dwa pojęcia: dokładność i skuteczność (rys. 1).



Rys. 1. Składniki jakości robót

O możliwości uzyskiwania wysokiej jakości robót torowych przy zastosowaniu urządzeń do wymian nawierzchni stosowanych na liniach kolejowych w Polsce, świadczą wyniki osiągnięte na krótkich odcinkach toru. Dowodem może być rysunek 2, przedstawiający syntetyczne wskaźniki stanu toru  $J$  na kolejnych hektometrach. Wartości wskaźników wynoszące  $0,7 \div 0,8$  mm oznaczają bardzo dobrą



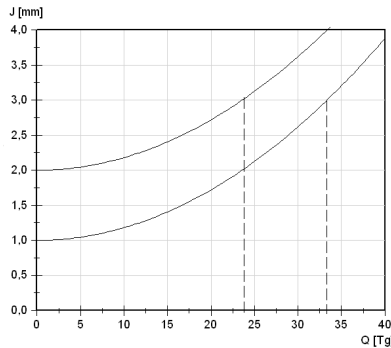
Rys. 2. Wykres syntetycznych wskaźników stanu toru [rys. K. Garbacz]

jakość robót. Z tego rysunku wynika jednak duża niejednorodność zbudowanej nawierzchni, a wartości  $J$  rzędu 2 mm, w torze w którym nie ma rozjazdów, oznaczają niską jakość robót.

Z obserwacji wynika, że na liniach kolejowych o przewadze ruchu pasażerskiego z prędkością 120 km/h, stan wymagający pierwszej naprawy ciągłej, przy dobrej jakości robót, osiąga się po przejściu obciążenia około 32÷35 Tg. Przy prędkości 120 km/h odchyłki dopuszczalne nierówności pionowych wynoszą 10 mm. Stosując regułę 3 *sigm* można przyjąć, że odchylenie standardowe tych nierówności wynosi około 3 mm. Między odchyleniem standardowym nierówności pionowych i syntetycznym wskaźnikiem stanu toru występuje duża zależność korelacyjna, a ich wartości są zbliżone. Można więc przyjąć, że granicą wyznaczającą obciążenie, po którym wystąpi potrzeba wykonania naprawy jest  $J_g = 3,0$  mm. Na rysunku 3 granicę tę, przy początkowej wartości  $J_p = 1$  mm, wyznacza krzywa empiryczna o równaniu

$$J_g = J_p + 1,8 \cdot 10^{-3} Q^2. \quad (4)$$

Zakładając w uproszczeniu<sup>3</sup>, że przy większych wartościach początkowych  $J_p$  narastanie odkształceń będzie analogiczne, można oszacować długość cyklu przy  $J_p = 2,0$  mm. Skrócenie cyklu przy takiej wartości początkowej – w porównaniu z  $J_p = 1$  mm – wynosi około 10 Tg.



Rys. 3. Długość cyklu do pierwszej naprawy po modernizacji linii w zależności od dokładności robót

### 3. Przykłady wadliwego wykonawstwa robót zmniejszającego niezawodność nawierzchni kolejowej

Ze względu na objętość artykułu, autorzy ograniczyli się tylko do kilku przykładów dobranych w ten sposób, aby pokazać ich różnorodne postacie, które jednak

<sup>3</sup> Uproszczenie to nie powinno jednak przekraczać  $J_p = 3,0$  mm.

– w ostatecznej ocenie – sprowadzają się do błędów ludzi. Rysunek 4 przedstawia fragment toru zgłoszonego do odbioru. W przekopie o głębokości około 1,5 m nie ma ukształtowanych ław torowiska, brak rowów odwadniających (nie ma też drenażu wgłębnego), skarpy mają zbyt duże pochylenie i nie są w ogóle zabezpieczone.



Rys. 4. Brak odpowiedniej szerokości ławy torowiska, brak rowu odwadniającego, nieodpowiednie nachylenie skarpy przekopu [fot. T. Kaźmierczak]

Szczegół nawierzchni pokazany na rysunku 5 uwidacznia skutki podbijania nowo ułożonego toru przy braku chociażby cienkiej warstwy podsypki. Łapy podbijarki naruszyły tu górną warstwę ochronną i nie spowodowały żadnego zagęszczenia tłuczni pod podkładami.



Rys. 5. Uszkodzenie warstwy ochronnej w czasie podbijania podkładów przy braku odpowiedniej grubości warstwy podsypki [fot. M. Karczewski]

Braki wystarczającej ilości podsypki w nowych torach są często występującą wadą (rys. 6). Powoduje to zmniejszenie oporów bocznych i przy niekorzystnym zbiegu okoliczności – szczególnie zaś przy niedostrzeżonej zmianie temperatury neutralnej w torze bezстыkowym – może doprowadzić do jego wybożenia.



Rys. 6. Niewystarczająca ilość podsypki w okienkach i od czół podkładów (0,25 m zamiast 0,45 m), brak odwodnienia od strony prawego toru [fot. T. Kaźmierczak]

Przy niewystarczającej ilości podsypki można też niekiedy zauważyć niewłaściwy rozstaw pokładów (rys. 7). Przykładem niekompletności zaprojektowanych robót jest rysunek 8, przedstawiający brak ścięcia ławy torowiska i odtworzenia rowów na szlaku po zakończeniu robót wykonanych przez maszynę AHM 800R. Ta niekompletność szybko wpłynie na pogorszenie stanu nawierzchni wskutek zastoju wody w korycie wykonanym przez maszynę.



Rys. 7. Niewłaściwy rozstaw podkładów i niepełne osłonięcie ich czół [fot. L. Szramka]



Rys. 8. Widok toru po zakończeniu robót z użyciem maszyny AHM 800R; nieścięta ława torowiska, zarośnięte rowy [fot. G. Pływaczyk]

Zdarzają się przypadki, że w trosce o zwiększenie niezawodności nawierzchni kolejowej wprowadza się zmiany, które w pewnych specyficznych warunkach tę niezawodność pogarszają. Przykładem może być wymiana rozjazdu o promieniu toru zwrotnego 190 m na rozjazd o promieniu 300 m. W normalnych warunkach taka zamiana jest korzystna z wielu powodów [1]. Decyzja ułożenia rozjazdu o promieniu 300-1:9 widocznego na rysunku 9, który zastąpił wcześniej znajdujący się tu rozjazd 190-1:9 była nietrafna z dwóch powodów:

- 1) styk przediglicowy nowego rozjazdu znalazł się w obrębie przejazdu kolejowego, co nie powinno mieć miejsca,
- 2) nowy układ został przy tej wymianie zdeformowany (rys. 10) i tę deformację wprowadzono celowo, gdyż w przypadku zachowania prawidłowej różnicy między wymiarami tych rozjazdów, licząc od ich początku do punktu matematycznego ( $16\ 615 - 10\ 523 = 6\ 092$  mm), w obrębie przejazdu musiałoby się znaleźć całe zamknięcie nastawcze.



Rys. 9. Rozjazd 300-1:9 mający styk przediglicowy na drodze kołowej [fot. S. Bucyk]



Rys. 10. Na wstawce za krzyżownicą rozjazdu widocznego na rysunku 9 powstał łuk o promieniu około 900 m [fot. S. Bucyk]

Niektóre spośród przedstawionych przykładów są trudne do wytłumaczenia. Czym kierował się wykonawca zgłaszając tor przedstawiony na rysunku 4 do odbioru przy takich rażących brakach? Kto zdecydował o podbijaniu toru, w którym nie było podsypki (rys. 5). Dlaczego odebrano tor z wadami pokazanymi na rysunkach 6 i 7? Dlaczego w projekcie nie przewidziano wykonania właściwego odwodnienia po zakończeniu robót z użyciem maszyny AHM 800R?

#### **4. Proponowane sposoby zmniejszenia wadliwego wykonawstwa robót modernizacyjnych**

Zdecydowana poprawa jakości robót modernizacyjnych wymaga działań wielokierunkowych. Znane są ogólnie postulaty zmian aktów normatywnych, które umożliwiałyby wybór wykonawców mających udokumentowane osiągnięcia, a nie tylko zdobywających zlecenia najniższą ceną. Odczuwalny jest niedobór wysokiej klasy techników i inżynierów zatrudnionych w wykonawstwie. Doświadczenie minionych lat każe uznać za błąd pozbawienie techników możliwości ubiegania się o uprawnienia budowlane. Sporo słabości można zauważyć w nadzorze, w projektowaniu i wśród odbierających roboty.

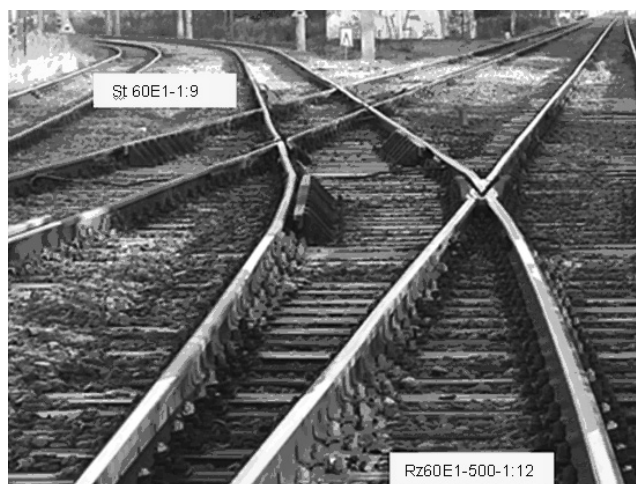
Przyjmując realne założenie, że zmiana tego stanu wymaga pewnego czasu, warto zastanowić się nad szybkim wprowadzeniem kilku rozwiązań, które powinny wpłynąć na zwiększenie niezawodności modernizowanych dróg kolejowych. Pierwszym z nich jest opracowanie i rozpowszechnienie list kontrolno-ostrzegawczych dotyczących najważniejszych robót w podtorzu i nawierzchni kolejowej. Listy kontrolno-ostrzegawcze w implementacji komputerowej mają następujące cechy:



- 1) zawierają wskazówki oparte na doświadczeniach wynikających z przypadków zaistniałych w rzeczywistości,
- 2) przedstawiają negatywne skutki pominięcia pewnych procedur,
- 3) pokazują – zależnie od opcji wybranej przez użytkownika – poprawne rozwiązanie.

Dobrze opracowana lista kontrolna nie powinna być zbiorem znanych zaleceń zamienionych na pytania. W takim przypadku nie wywrze ona większego wrażenia i nie spowoduje wzrostu czujności wobec zagrożeń. Umieszczenie na takiej liście zwartych opisów zdarzeń wzbogaconych rysunkami i fotografiami zwiększa percepcję osoby czytającej, a więc zrozumienie przez nią skutków nieprzestrzegania pewnych procedur i zapamiętanie wynikających z tego powodu zagrożeń.

W liście kontrolno-ostrzegawczej wymian rozjazdów, pokazano między innymi trzy przypadki zagrożeń. Pierwszy z nich przedstawia położenie dwóch rozjazdów nie przedzielonych wstawką prostą. Na tych rozjazdach dwukrotnie doszło do wykolejenia. Drugi przypadek charakteryzuje wymianę rozjazdu o promieniu toru zwrotnego 300 m na rozjazd o promieniu 500 m (rys. 11), w wyniku czego prędkość pociągów na posterunku odgałęźnym zmniejszono z 40 do 10 km/h.




Rys. 11. Układ torów na posterunku odgałęźnym [fot. A. Kaliściak]

Trzeci przypadek przedstawia rozjazd, przy wymianie którego popełniono błąd, skracając szyny o około 6 m za krzyżownicą, zamiast przed stykiem przediglicowym (rys. 12).

W liście kontrolno-ostrzegawczej, dotyczącej prowizorycznej naprawy i wymiany pękniętych szyn, umieszczono fotografię główki szyny ściętej palnikiem, będącej wstawką ułożoną w łuku, w którym szyny mają duże zużycie boczne.

Fotografia ta wskazuje więc, że przy powiadamianiu pogotowia szynowego należy informować o stanie szyn w miejscu pęknięcia i o konieczności dysponowania wstawkami o różnym zużyciu bocznym.

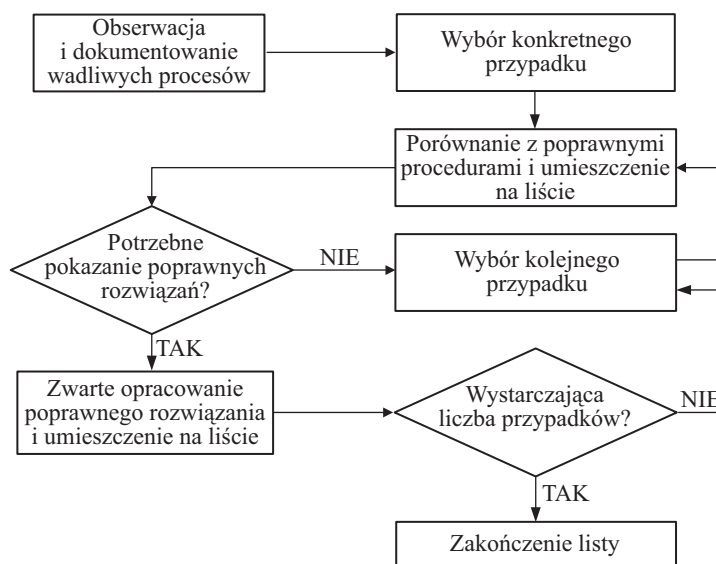
1. Czy przy wymianie rozjazdu został sprawdzony istniejący układ geometryczny i potwierdzono jego prawidłowość?	
<input type="button" value="Tak"/>	<input type="button" value="Nie"/>
<b>Proszę zawsze stosować tę zasadę.</b>	
2. Czy przy wymianie rozjazdu na rozjazd o innym promieniu toru zwrotnego lub innym skosie uwzględniono przesunięcie styku przediglicowego?	
<input type="button" value="Tak"/>	<input type="button" value="Nie"/>
	<p>Zachowanie niezmiennego położenia punktu matematycznego rozjazdu (środka rozjazdu) przy wymianie rozjazdu na rozjazd o innym promieniu i skosie wymaga przesunięcia styku przediglicowego, np. przy wymianie rozjazdu 190-1:9 na rozjazd 300-1:9 o 6092 mm. Bardzo często pociąga to za sobą konieczność przesunięcia napędu zwrotnicowego. Nieprzestrzeganie tej zasady powoduje powstanie dużych deformacji całego układu i wymaga ograniczenia prędkości pociągów. W przypadku przedstawionym na rysunku nowy rozjazd 300-1:9 ułożono na miejsce rozjazdu 190-1:9, nie zmieniając położenia styku przediglicowego. Po dostrzeżeniu tego rażącego błędu ograniczono prędkość do 15 km/h.</p>  <p style="text-align: right; font-size: small;">Duża deformacja spowodowana brakiem przesunięcia styku przediglicowego (fot. H. Bałuch)</p>
3. Czy w nowym układzie zmiana położenia styku przediglicowego jest możliwa?	

Rys. 12. Fragment listy kontrolno-ostrzegawczej

Opracowanie listy kontrolno-ostrzegawczej wymaga obserwacji i dokumentowania wadliwych procesów z zakresu objętego tą listą. Każdy wadliwy przypadek charakteryzujący się wartością poznawczą powinien być porównywany z procedurami poprawnymi, odpowiednio skomentowany pod względem stwarzanych zagrożeń i umieszczony na liście (rys. 13).

W pewnych przypadkach – oprócz pokazania ich negatywnych skutków, warto podać w zwięzły sposób poprawne rozwiązanie jako opcję do wyboru przez użytkowników. I tak, charakteryzując błędne ułożenie rozjazdów na posterunku odgałęźnym (rys. 11), zamieszczono jako opcję, algorytm rozwiązania poprawnego [3].

Tak opracowane listy mogą się przyczynić do zmniejszenia zagrożeń, do jakich prowadzą błędy w wykonawstwie, wpłynąć na podniesienie jakości wykonywanych zadań i wywrzeć korzystny wpływ na kulturę korporacyjną organizacji.



Rys. 13. Algorytm opracowywania listy kontrolno-ostrzegawczej

Poprawę jakości wykonywanych robót modernizacyjnych można osiągnąć przez doskonalenie ich odbiorów. W tym celu należałoby wprowadzać do kontraktów arkusz wymiarów i ich odchyłek dopuszczalnych, według którego będą wykonywane odbiory robót, w tym również odbiory robót zanikających. Ten sam arkusz, wzbogacony po wypełnieniu wykresami pomiarów, powinien się stać częścią dokumentacji odbioru robót. Przykłady takich komputerowo wypełnianych arkuszy, dotyczących odbiorów torów i rozjazdów, można znaleźć w pracach absolwentów Wojskowej Akademii Technicznej specjalności Drogi Kolejowe.

Istotne zadanie powinno być ukierunkowane na zapalenie luki, którą można dostrzec między wiedzą projektantów a realiami wykonawstwa. Temu celowi mogłyby służyć krótkie szkolenia projektantów, podczas których – na podstawie studiów przypadków – byłyby omawiane przyczyny i skutki anomalii spotykanych w wykonawstwie robót, w tym również wynikające z błędów w projektowaniu.

## 5. Wnioski

Prawidłowy przebieg modernizacji dróg kolejowych wywiera zasadniczy wpływ na ich niezawodność. Obecnie, przy ogólnej dobrej kontroli jakości materiałów, decydujące znaczenie ma jakość robót. Niska jakość znacząco wpływa na skrócenie cykli napraw nowej nawierzchni. Jakość ta zależy od wielu czynników formalnych, technicznych i osobowych. W każdym z tych zakresów tkwią znaczne

możliwości udoskonaleń, z których część, zwłaszcza dotyczących zmian formalnych, jest ogólnie znana. Propozycje poprawy obecnego stanu zawarte w artykule odnoszą się tylko do pewnej części problemu, są one jednak konkretne i stosunkowo łatwe do wdrożenia.

## Literatura

1. Bałuch H.: *Trwałość i niezawodność eksploatacyjna nawierzchni kolejowej*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1980.
2. Bałuch H. Bałuch M.: *Eksploatacyjne metody zwiększania trwałości rozjazdów kolejowych*, CNTK, Warszawa 2010.
3. Bałuch H., Bałuch M.: *Typologia błędów w kształtowaniu układów torowych*, Problemy Kolejnictwa, zeszyt 156, 2012.
4. Nguyen M.: *A reliability assessment of railway track performance in extreme heatwave events*, CSIRO Land and Water, 30 June 2010.
5. Rhayama N. et al.: *Reliability analysis of maintenance operations for railway track*, Reliability Engineering and System Safety, June 2013, Vol. 114.
6. Sadeghi J.: *New advances in analysis and design of railway track system*, Chapter 3 in the book: *Reliability and Safety in Railway*, ed. Xavier P. 2012.
7. Zhao J.: *Reliability analysis and maintenance decision for railway sleepers using track condition information*. Journal of Operational Research Society, Vol. 58, 2007.

## **Shaping the Reliability of the Permanent Way During the Modernization of Railway Lines**

### **Summary**

Railway track reliability on the upgraded lines depends to a large extent on the quality of works. This quality does not always meet the requirements. The paper presents a model of reliability of technological process of modernized railway track, cases of faulty performance of works and suggestion for action to eliminate these cases. Of particular importance may have properly developed checklists, improvement of the acceptance of completed construction works and employee training.

**Keywords:** reliability, railway track, quality of work

## **Формирование надёжности верхнего строения в ходе модернизации железнодорожных линий**

### **Резюме**

Надёжность верхнего строения пути на модернизированных железнодорожных линиях во многом зависит от качества работ. Качество не всегда соответствует требованиям. В разработке представлена модель надёжности технологического процесса модернизированной железной дороги, случаи неправильного выполнения работ и предложения действий по исключению этих случаев. Особенное значение могут иметь соответственно разработанные контрольные списки, улучшение приёмов выполненных строительных работ, а также повышение квалификации работников.

**Ключевые слова:** надёжность, верхнее строение пути, качество работ