

# Wpływ modernizacji linii kolejowych na poprawę wybranych parametrów techniczno – eksploatacyjnych

Franciszek Tomaszewski, Roksana Licow



prof. dr hab. inż. Franciszek Tomaszewski

Dziekan Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej

Franciszek.Tomaszewski@put.poznan.pl

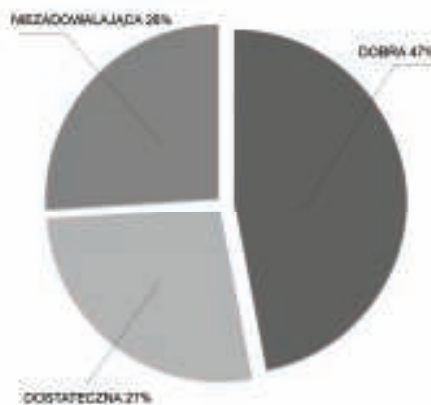


mgr inż. Roksana Licow

Politechnika Gdańska Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Transportu Szynowego i Mostów

roksana.licow@pg.gda.pl

W 2013 roku spółka PKP Polskie Linie Kolejowe zarządziła 18 533 km linii kolejowych [7] w Polsce, dzięki czemu Polska zajmuje trzecie miejsce zaraz po Francji i Niemczech pod względem długości linii kolejowych w Europie [5]. Taka pozycja pozwala na zwiększenie konkurencyjności w sektorze transportu szynowego w stosunku do innych państw europejskich. W ostatnich latach rozwój portów morskich w Gdyni i Gdańsku przyczynił się do zwiększenia przeładunków towarów przewożonych za pomocą transportu kolejowego i transportu morskiego. Długość linii kolejowych oraz centralne położenie Polski w Europie są czynnikami determinującymi do tego by modernizować i zwiększać parametry techniczno - eksploatacyjne linii kolejowych. W Raporcie Rocznym 2013 PKP PLK przedstawiono stan techniczny infrastruktury kolejowej w Polsce (rys. 1), gdzie 47 % infrastruktury uzyskało ogólną ocenę



1. Stan techniczny infrastruktury kolejowej w Polsce w roku 2013, Źródło: [7]

dobrą a niestety ponad połowa została oceniona dostatecznie bądź niezadowolająco. Świadczy to o tym, iż w Polsce dopiero rozpoczął się długoletni proces modernizacji istniejącej infrastruktury oraz budowy nowej infrastruktury kolejowej.

Modernizacja linii kolejowych zwiększy dodatkowo atrakcyjność transportu szynowego w Polsce z dwóch powodów – transport kolejowy jest najbezpieczniejszą gałęzią transportu oraz jest najbardziej ekologicznym środkiem transportu z istniejących na świecie.

## Istota modernizacji toru kolejowego

Istota inwestycji jaką jest modernizacja, budowa lub remont powinna się składać z trzech założeń jakimi są: założenia projektowe, założenia technologiczne i założenia eksploatacyjne (rys. 2). W artykule skupiono uwagę na założeniach technologicznych oraz założeniach eksploatacyjnych dla których autorzy zaproponowali model planowania napraw nawierzchni kolejowej.

Pierwszym etapem istoty budowy toru kolejowego są założenia projektowe, które polegają na osiągnięciu określonych wymagań kinematycznych oraz zwiększeniu dopuszczalnych nacisków osi zestawu kołowego.

Kolejnym etapem w procesie inwestycji są założenia technologiczne. Przyjęcie określonych założeń technologicznych pozwala na uzyskanie prawidłowego poziomu jakości początkowej. Pojęcie jakości jest definiowane według Normy ISO 9001, gdzie jakość określono jako stopień, w którym zbiór inhereentnych właściwości spełnia wymagania [6]. W kontekście robót modernizacyjnych linii kolejowych, należy zagłębić się w pojęciu jakości eksploatacyjnej, którą można określić jako jakość użytkową początkową produktu, która jest stopniem zgodności obsługi w sferze poprodukcyjnej wyrobu z wymaganiami projektu i norm obowiązujących [8]. Pojęcie jakości początkowej po robotach modernizacyjnych jest szerokim i rozmytym zagadnieniem.

Modernizacje linii kolejowych w odniesieniu do jakości początkowej to przede wszystkim procesy kontroli i odbioru. Poziom jakości zależy od każdego elementu w całym procesie inwestycyjnym. Decydującą rolę w spełnieniu wymagań jakościowych ma ścisła kontrola zasad technologicznych, która wpływa na stan techniczny na-

wierzchni kolejowej przez kolejne kilkadziesiąt lat. Obserwacje zmodernizowanych linii pozwalają na stwierdzenia, że dopiero długa eksploatacja toru kolejowego pozwala na wyciągnięcie wniosków na temat jakości początkowej obiektów.

W doświadczeniach związanych z odbiorami linii kolejowych po pracach modernizacyjnych określono jakość początkową w ocenie poszczególnych elementów nawierzchni, która została podzielona na:

- jakość parametryczną mierzalną;
- jakość niemierzalną.

Jakość parametryczna mierzalna obiektu zmodernizowanego jest oceniana na podstawie poszczególnych Instrukcji PKP Polskich Linii Kolejowych.

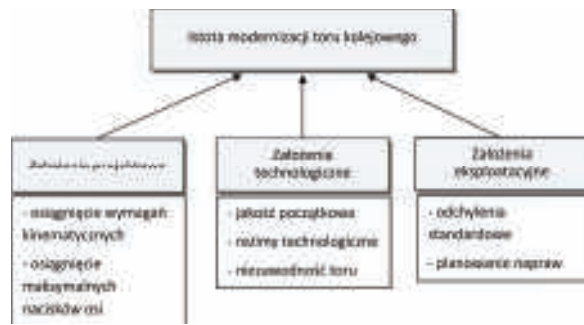
Jakość niemierzalna określona jest przez funkcję wielu zmiennych (1) [1].

$$\delta = F(\kappa, \zeta, \gamma, \rho, \xi) \quad (1)$$

gdzie:

- $\kappa$  – właściwości konstrukcji nawierzchni: typ szyn, rodzaj stali szynowej, rodzaj toru, rodzaj i typ podkładów, rodzaj przytwierdzeń, zwłaszcza ich cechy sprężysto-tłumiące, rodzaj oraz grubość warstwy podsypki, charakterystyki warstw ochronnych;
- $\zeta$  – cechy podtorza: rodzaj gruntu, moduł odkształcenia, odwodnienie, zabezpieczenie przed skutkami powodzi i erozji atmosferycznej;
- $\gamma$  – układ geometryczny toru: promień łuku, długość krzywej przejściowej oraz jej kształt, pochylenie ramp przechyłowych, wartość przechyłki, wielkości kinematyczne, długość w stawek prostych, pochylenia podłużne i promienie zaokrągłych łuków pionowych;
- $\rho$  – jakość robót przy budowie i utrzymaniu nawierzchni oraz podtorza: przystępowanie do napraw w odpowiednim czasie i ich wykonanie w niezbędnym zakresie;
- $\xi$  – warunki eksploatacyjne: prędkość pociągów i jej zróżnicowanie, natężenie przewozów, dostępność i długość zamknięć torów, cechy konstrukcyjne i stan pojazdów szynowych, naciski osi, masa niesprężynowana, sztywność zawieszenia, jakość utrzymania, masa pociągów, częstotliwość kursowania.

Pojęcie jakości początkowej dla procesów modernizacyjnych jest terminem bardzo rozmytym i niemożliwym do opisania wzorem matematycznym. Jednak główne



2. Wpływ założeń na istotę budowy toru kolejowego Źródło: Opracowanie własne



3. Obszar Zakładu Polskich Linii Kolejowych w Gdyni, Źródło: Opracowanie własne

fundamenty takie jak: odpowiednia technologia robót, ustalony zakres z terminem realizacji oraz doświadczenie i wiedza pracowników realizujących inwestycję mają wpływ na długoletnią, bezawaryjną eksploatację toru.

Kolejnym elementem założeń technologicznych są reżimy technologiczne. Nałożone zasady w trakcie trwania procesów technologicznych pozwalają na kompletne planowanie robót oraz terminowe zakończenie prac.

Odrębnym zagadnieniem, mającym ści-

słe powiązanie z procesem inwestycyjnym jest eksploatacja zmodernizowanych linii. Założenia eksploatacyjne skupiają się na funkcji użytkowej toru kolejowego w której wpisane są oceny diagnostyczne poszczególnych elementów nawierzchni, układów geometrycznych i wniosków z tego wynikających.

Autorzy założyli, że miarodajną oceną dla planowania długości cykli naprawczych będą odchylenia standardowe nierówności pionowych. Pozostałe parametry również mają wpływ na funkcjonalność eksploatacyjną lecz traktowane są jako pojedyncze usterek bądź odchylenia dla których dużo trudniej określić stałe trendy degradacji nawierzchni. Odchylenie standardowe wybranego parametru obliczane jest za pomocą wzoru dostępnego w Instrukcji Id – 14 Polskich Linii Kolejowych. Znając odchylenia standardowe po przeprowadzonej corocznej diagnostyce możemy planować czas i zakres napraw.

Głównymi postulatami do takiego stwierdzenia powinny być:

1. Ustalenie granicznego poziomu odchyleń standardowych nierówności pionowych w utrzymaniu linii kolejowych.
2. Analiza odchylenia standardowego

nierówności pionowych na badanym odcinku ze względu na pojedyncze usterek.

3. Likwidacja usterek.
4. Wpływ na ekologię podczas modernizacji, budowy i remontu nawierzchni kolejowej.

**Metody wyznaczania cykli naprawczych i planowania napraw polegających na ciągłym podbiciu toru kolejowego**

Na podstawie modelu określania długości cyklu do pierwszej naprawy przedstawiono tabelę 1 w której zawarto wartości określające cykl od modernizacji do pierwszej naprawy ciągłej na linii do prędkości 160 km/h w zależności od odchyleń standardowych nierówności pionowych dla toru na podkładach betonowych. W analizie posłużono się modelem (2) przy założeniu jednorodności toru oraz jednakowej jakości początkowej dla wszystkich elementów przy wszelkich czynnikach i odpowiedniej technologii. Wartość graniczną dla  $\sigma_z$  przyjęto 2,1 mm [2].

Analizę długości cyklu do pierwszej naprawy ciągłej nawierzchni przeprowadzono na podstawie wzoru:

$$\sigma_z = \sigma_{zp} + \frac{Q^\alpha}{2m} \tag{2}$$

gdzie:

$\sigma_{zp}$  – początkowe odchylenie standardowe nierówności pionowych w nowym torze lub po naprawie w kolejnym cyklu o numerze c. Wartość początkowego odchylenia standardowego przyjęto 0,3 mm.

$\alpha$  – wykładnik zależny od typu szyny i numeru kolejnego cyklu równy: szyny 60E1:  $\alpha = 1,70 + 0,05c$

Q – obciążenie [Tg]

m – masa szyn o długości 1 m przyjmowana w zaokrągleniu do 1 kg. Dla szyny 60E1 przyjęto:  $m = 60,21 \cdot 2 = 121,00$  kg/m

Na podstawie metody wyznaczania długości cyklu do pierwszej naprawy ciągłej dla toru modernizowanego do prędkości 160 km/h na podkładach betonowych i szynach 60E1 długość życia analizowanego toru wyniosłaby przeniesienie obciążania w postaci 74,5 Tg.

Założono, że przypadkiem, dla którego zostaną oszacowane długości cykli naprawczych będzie odcinek linii nr 131 na terenie Zakładu Polskich Linii Kolejowych w Gdyni (rys. 3). Po rewitalizacji linii nr 131 prędkość eksploatacyjna na szlakach wynosi 160 km/h. Nawierzchnia składa się z podkładów żelbetonowych PS – 94 i szyn surowych (klasa stali 260) 60E1.

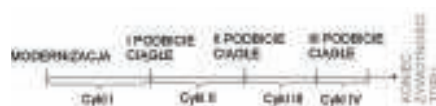
Przeniesienie takiego obciążenia na linii najbardziej obciążonej w Polsce, jaką jest linia kolejowa nr 131 Chorzów Batory – Tczew (rys. 4), sprawiłoby, konieczność ponownej

Tab. 1. Długość cyklu do pierwszej naprawy

$\sigma_{zp}$ [mm]	$\alpha$	Q [Tg]	m [kg/m]	$\sigma_z$ [mm]	Numer cyklu
0,30	1,75	3,00	121,00	0,356517	Cykl 1
0,30	1,75	<b>21,50</b>	121,00	2,074116	
Pierwsza naprawa nawierzchni					
0,35	1,80	3,00	121,00	0,409708	Cykl 2
0,35	1,80	<b>19,50</b>	121,00	2,08491	
Druga naprawa nawierzchni					
0,40	1,85	3,00	121,00	0,46308	Cykl 3
0,40	1,85	<b>17,50</b>	121,00	2,047536	
Trzecia naprawa nawierzchni					
0,45	1,90	3,00	121,00	0,516642	Cykl 4
0,45	1,90	<b>16,00</b>	121,00	2,053403	
		<b><math>\Sigma</math> 74,5 Tg</b>			



**4. Linia kolejowa nr 131 Chorzów Batory – Tczew**  
Źródło: Opracowanie własne



**5. Ilość założonych napraw i cykli w zaproponowanym modelu**  
Źródło: Opracowanie własne

modernizacji po 2,5 roku od wybudowania. Linia kolejowa nr 131 Chorzów Batory – Tczew przenosi obciążenie około 30 Tg/rok. Rewitalizacja z częściową modernizacją tej linii odbyła się w 2013 roku czyli 2 lata temu i przez te dwa lata na linii 131 nie wykonano żadnej naprawy nawierzchni kolejowej ponieważ wynika to z przyjętej metody utrzymania.

Zaproponowano model określania żywotności toru na podstawie wpływu wielu zmiennych przy określonej dokładności i skuteczności działań polegających na likwidacji pojedynczych usterek. Dokładność będą określały odchyłki dopuszczalne zawarte w instrukcji Id – 1 Polskich Linii Kolejowych a skuteczność w założeniu będzie stałą opisującą ilość napraw i ilość cykli (rys. 5). W modelu posłużono się wzorem (1), gdzie przyjęto, że wartości  $\kappa$ ,  $\zeta$ ,  $\gamma$ ,  $\varepsilon$  są stałe poprzez świadectwa dopuszczenia do eksploatacji. Zmienna  $\rho$  określona jako jakość robót przy budowie i utrzymaniu nawierzchni oraz podtorza została opisana jako zmienna  $P_j$  zwana poziomem jakości podczas podbicia miejscowego oraz  $\delta\rho$  jako jakość odchyłek standardowych nierówności pionowych po modernizacji bądź podbiciu ciągłym.

Model opiera się na głównym założeniu jakim jest możliwość podbicia ciągłego toru trzykrotnie w całej jego żywotności. Związane jest to z parametrami technicznymi maszyn podbijających DTR, gdzie po każdym podbiciu ciągłym tor kolejowy zostaje podniesiony o co najmniej 25 mm od niwelety toru.

Ważna jest świadomość, że praca podbijaki torowej poniżej zakresu powoduje wprowadzenie nierówności pionowych oraz wchrowatości. Z obserwacji wynika, że przy zadanym zerowym podnoszeniu,

**Tab. 2. Odchylenia standardowe nierówności pionowych po modernizacji**

$\delta_{pM}$ [mm]	Dopuszczalna wartość nierówności pionowych po modernizacji [mm]	Poziom jakości odchyłek po modernizacji
0,1	1,0	Bardzo dobry
0,5	2,0	Dobry
0,9	3,0	Dostateczny

**Tab. 3. Odchylenia standardowe nierówności pionowych po naprawie ciągłej**

$\delta_{pN}$ [mm]	Dopuszczalna wartość nierówności pionowych po modernizacji [mm]	Poziom jakości odchyłek po modernizacji
0,3	1,5	Bardzo dobry
0,9	3,0	Dobry
1,3	4,0	Dostateczny

podbijaka torowa podnosi tor nawet o 15 mm. W takim przypadku tracimy kontrolę nad wysokościowym położeniem toru oraz skracamy żywotność toru [9].

Na podstawie niemożliwości bezgranicznego podbijania toru przyjęto założenie stałej ilości podbic ciągłych.

W modelu założono że cykl żywotności toru liczono od odbioru eksploatacyjnego, gdzie obciążenie początkowe wynosi  $Q = 0$ .

W celu obliczenia długości I-ego cyklu od modernizacji do pierwszej naprawy ciągłej zaproponowano wzór (3).

$$\delta_{gr} = \delta_{pM} \cdot P_{j1} + (1,8 \cdot 10^{-3} \cdot Q) \quad (3)$$

gdzie:

$Q$  – obciążenie [Tg];

$P_{j1}$  – poziom jakości podbic miejscowych:

$$P_{j1} = X_{DM} \cdot 35\% \quad (4)$$

gdzie:

$X_{DM}$  – ilość miejsc dyskretnych na 100 m;

35% – błąd wykonania poprawności podbic miejscowych - założenie modelowe;

$\delta_{pM}$  – odchylenia standardowe nierówności pionowych po modernizacji przyjmowane na podstawie tabeli 2;

W zaproponowanym modelu cykle II, III i IV, czyli długości od naprawy ciągłej do kolejnej naprawy ciągłej nawierzchni kolejowej, obliczono na podstawie jednakowych

zmiennych (5).

$$\delta_{gr} = \delta_{pN} \cdot P_{j1} + (1,8 \cdot 10^{-3} \cdot Q) \quad (5)$$

gdzie:

$Q$  – obciążenie [Tg];

$P_{j1}$  – poziom jakości podbic miejscowych:

$$P_{j1} = X_{DM} \cdot 35\% \quad (6)$$

gdzie:

$X_{DM}$  – ilość miejsc dyskretnych na 100 m;

35% – błąd wykonania poprawności podbic miejscowych - założenie modelowe;

$\delta_{pM}$  – odchylenia standardowe nierówności pionowych po naprawie ciągłej przyjmowane na podstawie tabeli 3;

Analizując dwa warianty po modernizacji i po naprawie ciągłej przyjęto liniowy wzrost nierówności pionowych przy liniowym wzroście obciążenia.

W tabeli 4 przedstawiono wyniki analizy dla stanu nawierzchni po modernizacji odpowiednio dla poziomu jakości: bardzo dobry, dobry i dostateczny. Graniczne odchylenie standardowe nierówności pionowych przyjęto  $\sigma_{gr} = 2,1$  mm.

W analizowanym modelu wykazano, że tor kolejowy przy bardzo dobrym poziomie jakości początkowej odchyłek nierówności poziomych wynoszących 0,1 mm oraz poprawnym przeprowadzaniem procesu podbic miejscowych może przenieść obciążenie do pierwszej naprawy ciągłej w wymiarze 383 Tg.

W tabeli 5 przedstawiono wyniki analizy dla stanu nawierzchni od naprawy ciągłej do kolejnej naprawy ciągłej. Wykazano, że przy bardzo dobrym poziomie jakości po naprawie ciągłej tor kolejowy może przenieść obciążenie w wymiarze 155 Tg do kolejnej naprawy nawierzchni.

## Błędy i problemy w trakcie trwania robót i ich konsekwencje

Prowadzenie prawidłowego procesu budowy jest głównie uzależnione od wybranej technologii robót. Tylko właściwa technologia dla określonego toru pozwoli na wyeliminowanie części czynników, które w późniejszych etapach eksploatacji destruk-

**Tab. 4. Obliczenia modelowe dla toru po modernizacji**

$\sigma_{gr}$ [mm]	$\delta_{pM}$ [mm]	$Q$ [Tg]	$P_{j1}$	$X_{DM}$ [szt.]	Numer cyklu
0,0718	0,1	1,00	0,7	2	Bardzo dobry
2,0964	0,1	383	14,07	40,2	Dobry
0,3518	0,5	1,00	0,7	2	
					Dostateczny
2,0888	0,5	91	3,85	11	
0,6318	0,9	1,00	0,7	2	Dostateczny
2,097	0,9	45	2,24	6,4	



Tab. 5. Obliczenia modelowe dla toru po naprawie ciągłej

$\sigma_{gr}$ [mm]	$\delta_{pN}$ [mm]	Q [Tg]	$P_{j2}$	$X_{DM}$ [szt.]	Numer cyklu
0,2118	0,3	1	0,7	2	Bardzo dobry
2,0937	0,3	155	6,055	17,3	
0,6318	0,9	1	0,7	2	Dobry
2,097	0,9	46	2,24	6,4	
0,9118	1,3	1	0,7	2	Dostateczny
2,0943	1,3	27	1,575	4,5	

cyjnie wpływają na pracę toru. Zagadnienie to może zostać zrealizowane jedynie przy dobrej znajomości technologii oraz właściwej jej realizacji.

W artykule przedstawiono niektóre z rażących błędów prac modernizacyjnych oraz przedstawiono ich konsekwencje w stosunku do jakości początkowej.

Klasyfikację problemów w kontekście jakości prac modernizacyjnych podzielono na:

- wady w podtorzu;
- wady w przytwierdzeniach;
- wady w dokumentacji;
- wady w oznakowaniu modernizowanej linii.

Do najczęściej występujących wad w podtorzu zaliczamy:

- brak prawidłowych wymiarów krawędzi nasypów, krawędzi dna rowów i górnych krawędzi przekopów;
- nieumocnione skarpy przekopów i nasypów, które w następstwie erodują i wykazują tendencję do spływów i wzeźrów;
- pozostawione czynne lub nieczynne rury z przecieków o nieokreślonym przebiegu;
- odkryte na powierzchni terenu przewody w osłonach;
- brak nominalnych wymiarów ławy torowiska.

Wady przytwierdzeń typu SB objawiają się często złym ich zamocowaniem w torze. Poza tym przytwierdzenie SB jest przytwierdzeniem sprężystym, często niewspółpracującym w układzie podkład – przytwierdzenie - szyna. Oprócz nieprawidłowego montażu, zauważalne są wady ze strony

producenta. Często wkładki są uszkodzone (rys. 6) i mimo to zostają wbudowane w tor, licząc na brak spostrzegawczości ze strony inwestora podczas odbiorów.

Częstym problemem a nawet oszustwem ze strony wykonawcy są błędy występujące w dokumentacji powykonawczej. Do takich błędów nagminnie popełnianych należą:

- brak części dokumentów wymaganych w kontrakcie;
- brak odbioru niektórych robót wymaganych w kontrakcie (brak dokumentacji i wpisów w dzienniku budowy);
- brak zatwierdzenia wszystkich zmian w projekcie, które nastąpiły podczas budowy;
- brak zachowanej skrajni do nowych słupów trakcyjnych i semaforów zgodnie z warunkami kontraktu;
- przekroczenia dopuszczalnych parametrów położenia torów – przechyłka, szerokość toru, gradient szerokości, wichrowatość, nierówności pionowe i poziome;
- przekroczenia dopuszczalnych parametrów punktów charakterystycznych rozjazdów.

Prawidłowe oznakowanie modernizowanej linii jest ogromną trudnością dla wielu wykonawców. Zmienione przepisy w Instrukcji le -1 (Instrukcja sygnalizacji) w roku 2015 na temat oznakowania linii kolejowych wykazały, że większość wykonawców nie śledzi zmian prawnych i umieszcza znaki w położeniach uniemożliwiających odczyt znaku przez maszynistę. Dodatkowo w inwestycjach zgłoszonych do odbioru

w sierpniu 2015 r., zauważono oznakowanie linii znakami już nieobowiązującymi w związku ze zmianą wskaźnika W27a. Co więcej, nagminnie występują braki wszystkich wymaganych znaków drogowych i wskaźników takich jak: wskaźnik pochylenia, W - 13 (wskaźnik torowy), W - 16 (wskaźnik przystanku osobowego), W - 32 (wskaźnik czoła pociągu) (rys. 7).

Wymienione w artykule rodzaje wad to tylko niewielki zbiór elementów, które znacznie pogarszają jakość początkową wbudowanych elementów. Większość z tych wad stanowi podstawę do braku odbioru końcowego.

Konsekwencjami tych wad i błędów są m.in. wybożenia torów powstają głównie na skutek naprężeń występujących w tokach szynowych. Ogromny wpływ na uniknięcie tej wady ma jakość początkowa szyn i naprężeń w niej występujących. Jest to dość złożony problem, gdzie swój początek rozpoczyna na etapie wiedzy osób budujących tor kolejowy w określonych temperaturach. Następnym etapem jest znajomość zjawiska i jego konsekwencji przez osoby przeprowadzające odbiór. Rozwiązaniem ostatecznie stosowanym przez osoby przeprowadzające odbiory jest przecinanie toków szynowych a następnie obserwacja położenia przeciętych toków. Jest to jedyna możliwość sprawdzenia naprężeń w nowo wybudowanych torach. Konsekwencje wybożenia mogą być tragiczne dla ludzi, taboru jak również infrastruktury kolejowej.

Deformacje torów mogą polegać na nagłych odkształceniach podłoża takich jak osuwiska, podmycia czy wysadziny. Wiele z tych problemów wynika z jakości gruntu na którym położony jest tor jednak dość często po robotach modernizacyjnych pojawia się ten problem w związku z jakością początkową. Deformacje torów mogą mieć przebieg łagodny bądź też nagły. W przebiegu łagodnym do zaobserwowania możemy wyróżnić deformacje powstałe na skutek odkształceń geometrii toru. Deformacje mające przebieg nagły powstają najczęściej w postaci osuwisk nasypów kolejowych, które są bardzo niebezpieczne przy prowadzeniu ruchu pociągów [9].

Poszczególne etapy odbiorów linii kolejowych powinny być przeprowadzane



6. Uszkodzona wkładka WKW [9] Rys. 7. Brak przytwierdzenia SB [9]



7. Wskaźniki kolejowe: a) W - 32 b) W - 16, c) W - 13, Źródło: Opracowanie własne

przez wykwalifikowanych pracowników z dużym doświadczeniem zawodowym. Doświadczenie i obiektywne przeprowadzenie odbioru końcowego są jedną ze składowych dobrej jakości początkowej. Błędy powstałe na skutek niedopatrzeń bądź niewiedzy ze strony osób przeprowadzających odbiory linii kolejowych mogą być zabójcze dla jakości początkowej jak również prowadzić do zdarzeń takich jak wypadki kolejowe.

## Wnioski

W związku z istniejącą pozycją polskiego transportu kolejowego w Europie następuje konieczność modernizacji największych szlaków kolejowych. Modernizacja powinna przebiegać na podstawie określonego poziomu jakości na każdym etapie prac projektowych i budowlanych. W związku z istniejącym problemem planowania robót inwestycyjnych zaproponowano model obliczeniowy długości żywotności toru. W artykule przeprowadzono analizę toru kolejowego po modernizacji i po naprawie ciągłej przy określonym poziomie jakości. W modelu do celu określenia poziomu jakości posłużono się odchyleniami standardowymi nierówności pionowych.

W przeprowadzonej analizie wykazano,

że przy bardzo dobrym poziomie jakości po modernizacji tor do pierwszej naprawy ciągłej może przenieść obciążenie w postaci 383 Tg. Zmniejszenie tej jakości do poziomu dobrego powoduje wyznaczenie pierwszej naprawy ciągłej po przeniesieniu 91 Tg. Na podstawie przeprowadzonej analizy wykazano, że jakość w kontekście nierówności pionowych ma kluczowe znaczenie dla długoletniej i bezawaryjnej eksploatacji toru kolejowego.

Zaproponowany model może posłużyć jako znajomość długości cyklu do następnej naprawy co umożliwi racjonalne zarządzanie czasem i finansami przedsiębiorstwa kolejowego. ◀

## Materiały źródłowe

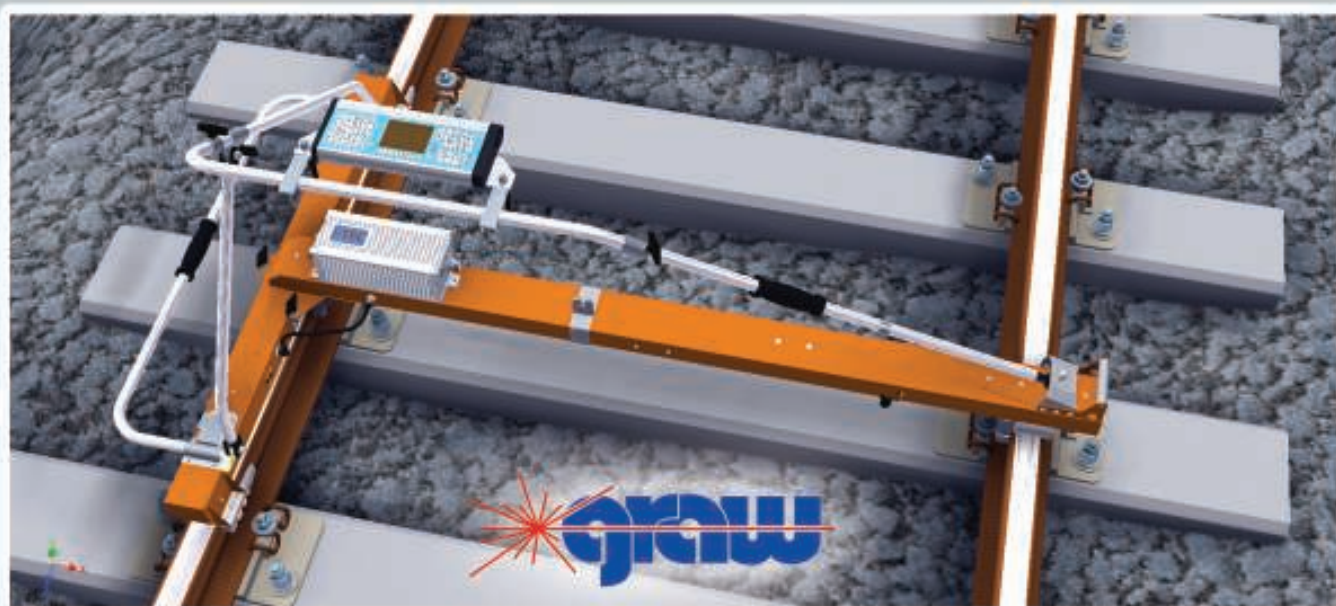
- [1] Bałuch H., Bałuch M.: Determinanty prędkości pociągów - układ geometryczny i wady toru. Wydawnictwo Instytutu Kolejnictwa, Warszawa 2010.
- [2] Bałuch M.: Jakość robót jako wyznacznik cykli napraw nawierzchni. Problemy Kolejnictwa – Zeszyt 152, Warszawa 2013.
- [3] Bałuch M., Bałuch H.: Kształtowanie niezawodności nawierzchni w toku modernizacji linii kolejowych. Proble-

my Kolejnictwa – Zeszyt 162, Warszawa 2014.

- [4] Czechya B., Firlik B., Tomaszewski F.: Technical state monitoring method of light rail track wear. W: Proceedings of the Fourth European Workshop on Structural Health Monitoring 2008. Edited by: UHL, OSTROWSKI, HOLNICKI-SZULC. DESTrech Publications, Inc., 439 North Duke Street Lancaster, Pennsylvania 17602 USA. ISBN 978-1-932078-94-7, pp 167-174.
- [5] Eurostat, dane statystyczne 2015. (<http://ec.europa.eu/eurostat>, online: 3.09.2015).
- [6] Frąś J., Gołębiowski M., Bielawa A.: Podstawy zarządzania jakością w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2006.
- [7] PKP Polskie Linie Kolejowe, Raport roczny 2013. (<http://www.plk-sa.pl/>, online: 3.09.2015).
- [8] Prozorowicz M., Ekonomiczne determinanty kształtowania jakości wyrobu w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2001.
- [9] Rink W., Jakość robót inwestycyjnych. Polskie Linie Kolejowe, Gdynia 2015.

## REKLAMA

# INERCYJNY TOROMIERZ DO ODBIORU PRAC INWESTYCYJNYCH - iTEC



[www.graw.com](http://www.graw.com)