

Jerzy PAWLICKI

KOSZTY UTRZYMANIA DROGI KOLEJOWEJ W ZALEŻNOŚCI OD JEJ PARAMETRÓW TECHNICZNO-EKSPLOATACYJNYCH

Streszczenie. Jednym z elementów poprawienia konkurencyjności przewozów kolejowych na rynku transportowym jest obniżenie kosztów utrzymania drogi kolejowej. Koszty te rosną wraz ze wzrostem nacisków pojazdów na tor i zwiększeniem prędkości pociągów. Szybkie pociągi pasażerskie i ciężkie pociągi towarowe powodują gwałtowne narastanie odkształceń i uszkodzeń konstrukcji toru.

W artykule zarysowano, na podstawie osiągnięć specjalistów polskich, problematykę zwiększania trwałości wybranych elementów nawierzchni kolejowej.

COSTS OF THE RAILWAY LINE PRESERVATION DEPENDING ON ITS TECHNIC AND EXPLOITATION PARAMETERS

Summary. Characteristics of arising deformations and damages of rail construction are presented in the article. There are also described methods of the railway surface persistence prolongation.

1. WPROWADZENIE

Wśród 17 priorytetowych tematów badawczych ramowego programu UIC [25] jeden bezpośrednio dotyczył problematyki obniżenia kosztów okresu życia infrastruktury kolejowej (LCC). Okres ten obejmuje wiele faz czasowych obiektu, od projektowania, do wytworzenia, użytkowania i eliminacji ze względu na jego zużycie lub uszkodzenie. Szczególnie istotny jest tu okres użytkowania (eksploatacji i utrzymania), podczas trwania którego koszty powinny być wyraźnie obniżone. Koleje europejskie, przede wszystkim DB AG, za najważniejsze zadanie w zakresie obniżania kosztów utrzymania uznały wdrożenie rozwiązań umożliwiających ograniczenie prac utrzymaniowych toru. Jednym ze sposobów byłoby przeniesienie niektórych funkcji urządzeń znajdujących się w skrajni toru na pojazd. Badania dotyczą między innymi określenia wpływu sił oddziaływania dynamicznego taboru na warstwy konstrukcyjne toru.

Również koleje polskie prowadzą systematycznie badania mające na celu wydłużenie trwałości elementów toru, poprzez zapewnienie wysokiego poziomu utrzymania i jakości wykonanych robót.

2. KOSZTY UTRZYMANIA JAKO SYSTEMOWY EFEKT ODDZIAŁYWANIA ZBIORU OBCIĄŻEŃ

2.1. System pojazd – szyna

Na wielkość kosztów utrzymania drogi kolejowej w całym cyklu życia (LCC) ma wpływ wiele czynników. Do najistotniejszych należą:

- obciążenia eksploatacyjne i dynamiczne,
- rozwiązania konstrukcyjne, układ geometryczny i jakość elementów składowych toru,
- jakość wykonania robót i poziom utrzymania.

Powstanie uszkodzeń w szynie i w kole pojazdu warunkują [14]:

- twardość, wytrzymałość, ciągliwość, stan struktury, naprężenia własne, skład chemiczny i inne właściwości materiałowe koła i szyny,
- profil koła i szyny oraz chropowatość powierzchni,
- warunki powierzchni kontaktu, np. temperatura, wilgotność, użycie środków smarnych,
- promienie łuku, prześwit toru, wartości przechyłki, sztywności i własności tłumiące, masa pojazdu, rozstaw i średnica kół, cechy konstrukcyjne zestawów kołowych i układu jezdnego (sztywny zestaw kołowy z możliwością nastawiania radialnego i osiowego albo bez takich możliwości), przenoszenie sił, sterowanie napędem i hamulcami oraz wiele innych,
- prędkość, nie zrównoważone przyspieszenie poprzeczne na łukach, opóźnienie hamowania albo przyspieszenie rozruchu.

Zastosowanie w szerokim zakresie szyn UIC w Polsce i krajach europejskich pozwoliło zmniejszyć nakłady na utrzymanie nawierzchni torowej. Wady materiału szynowego nie mają obecnie znaczącego wpływu na powstawanie uszkodzeń powierzchni tocznej. W 1985 roku wprowadzono w Polsce na liniach magistralnych szyny ze stali St90PAT, wskrośnie obrabiane cieplnie, o strukturze perlitu, o wyższych własnościach wytrzymałościowych ($R_m > 1100$ MPa) i dużej odporności na pękanie, mające twardość 340-360 HB [10]. Zużycie erozyjne zostało ograniczone, ale wraz ze wzrostem prędkości pojawiły się w torach o podwyższonej twardości trzy rodzaje pęknięć kontaktowo-zmęczeniowych, określane jako [29]:

- 1) *shelling* - powstają kilka milimetrów pod powierzchnią toczną i rozwijają się równoległe do niej,
- 2) *head-checking* - są to drobne, równoległe rysy, położone na krawędzi tocznej i bocznej główki szyny,
- 3) *squat* - pojawiają się w cienkiej warstwie przypowierzchniowej, o grubości około jednej piątej milimetra i rozwijają się w głąb pod bardzo małym kątem do powierzchni tocznej.

Pęknięcia typu *squat* powstają nagle w szynach twardych, które nie wykazują widocznych wad, po czasie użytkowania od 8 do 15 lat. Nieoczekiwane pojawienie się pęknięć w przypowierzchniowej warstwie główki szyny tłumaczy się długotrwałą kumulacją odkształceń plastycznych, powstających pod wpływem miejscowych przeciążeń, które ulegają zwiększeniu wraz ze wzrostem prędkości pociągu. Pęknięć tego typu w szynach nie utwardzonych nie obserwuje się, ponieważ są ścierane przez koła, jak również z powodu większej ciągliwości materiału. Z tego względu nie zaleca się układania szyn obrabianych cieplnie na prostych odcinkach linii, na których, przy małym obciążeniu, występuje nieznaczne zużycie powierzchni tocznej szyny. Liczba pęknięć na 1 km odcinka toru o podobnych parametrach eksploatacyjno-konstrukcyjnych określa (w systemie diagnostycznym) trwałość eksploatacyjną szyn [11].

Jednym z rodzajów nierówności powstających na powierzchni tocznej szyny jest jej zużycie faliste o następujących długościach fal [10]:

- Od 3 do 8 cm i głębokości kilkudziesięciu mikrometrów (tzw. korugacja). Ten rodzaj falistego zużycia występuje na prostych odcinkach toru i na łuku o dużym promieniu ($R > 1000$ m).
- Od 8 do 30 cm i głębokości do 0,1 cm (fale poślizgowe). Są to fale o średniej długości, powstają na łukach o promieniu $R < 500$ m, przeważnie na szynie wewnętrznej i są związane z poślizgami odciążonego koła zestawu, toczącego się po mniejszym łuku. Powstawaniu tych fal zapobiega smarowanie powierzchni tocznej szyny w łuku.
- Od 60 do 200 cm i głębokości do 500 μ m (fale długie). Powstają w efekcie niewłaściwego prostowania szyn przez producenta. Amplituda nierówności powierzchni tocznej szyn przeznaczonych do wbudowania na liniach dużych prędkości jest ograniczona do 0,3 mm na długości 3 m.

Parametry korugacji zależą od dynamiki pojazdów, właściwości elementów toru i od mechaniki kontaktu koła z szyną. Zużycie faliste występuje zwykle na szynach, na których prowadzony jest ruch jednorodny (ruch pociągów pasażerskich przy nieznacznym ruchu towarowym). Odporność toru na ten rodzaj zużycia można zwiększyć poprzez zapewnienie: równego profilu podłużnego szyny, sprężystości podparcia szyny i zwiększonych nacisków osi. Do innych czynników zmniejszających podatność na zużycie faliste należą: zastosowanie podkładów o mniejszej masie i szyn o małym przekroju poprzecznym, zmniejszenie i zróżnicowanie rozstawu podkładów, polepszenie własności tłumiących podsypki (zmniejszenie średnicy kół pojazdów) oraz zmniejszenie prędkości pociągów [19].

Kolejnym rodzajem zużycia szyn jest zużycie boczne, rozwój którego zależy od dużej liczby czynników. Do najistotniejszych wśród nich należą [1, 7, 9]:

- promień łuku, prędkość pociągów, nierówność i sztywność toru, konstrukcja i stan techniczny pojazdu, ekwiwalentna stożkowatość i kąt nabiegania koła na szynę,
- cechy współpracujących materiałów i współczynnik tarcia między kołem a szyną,
- charakterystyki trakcyjne lokomotyw.

Decydujący wpływ na przebieg zużycia ma jednak promień łuku. Na przykład średnie zużycie szyn w łukach o promieniu 180 m wynosi 0,7 mm/Tg, szyn smarowanych – od 0,07 do 0,5 mm/Tg, natomiast w łuku o promieniu 780 m zużycie wyniosło 0,07 mm/Tg bez smarowania. Skuteczność smarowania jest szczególnie widoczna w szynach o małym zużyciu. W przypadku dobrego stanu podkładów i przytwierdzeń, które utrudniają poprzeczne przesunięcie szyn, zużycie boczne może spowodować przekroczenie maksymalnej szerokości toru. M. Bałuch wykazała [8], że przyczyną lokalnych znacznych zużyć bocznych szyn są miejscowe nierówności toru. W przeciętnych warunkach eksploatacyjnych zużycie boczne może przekroczyć wartość graniczną (przy zużyciu pionowym równym 0,1) z zachowaniem warunku dotrzymania granicznej szerokości toru w łuku. Potrzebne jest jednak zapewnienie w łukach odpowiedniego stosunku siły poprzecznej Y do siły pionowej Q (współczynnik wykolejenia) oraz dostosowywanie przechyłki do zmieniających się warunków eksploatacyjnych. Proponowane w [8] zwiększenie dopuszczalnego zużycia bocznego szyn pozwoli wydłużyć okres ich życia o kilkadziesiąt procent. Używane obecnie szyny osiągają trwałość 60 lat na prostych i do 20 lat na łukach.

Wpływ łuku na zmniejszenie trwałości szyn nie smarowanych przedstawia wzór (1) [6]:

$$\lambda_s = 1 - \frac{600}{R^{1,3}} \quad (1)$$

2.2. Podkłady i podsypka

Istotny wpływ na trwałość podkładów drewnianych ma rodzaj drewna, typ szyn, rodzaj i stan utrzymania podsypki, podtorze oraz warunki dynamiczne. Najczęstszymi uszkodzeniami podkładów strunobetonowych są uszkodzenia w obrębie przytwierdzenia szyny, rysy, pęknięcia, odpryski, łuszczenie betonu [1]. W torze bezстыkowym typowymi podkładami są podkłady drewniane o masie 80-100 kg, długości 2,5-2,6 m i współczynnikach tarcia w granicach 0,5-0,52. Podkłady betonowe (monoblokowe lub dwublokowe) mają masę 200-350 kg, współczynniki tarcia są większe niż dla podkładów drewnianych (np. dla typu B70W przyjmuje się współczynnik 0,87) [12, 21].

Stan podkładów wbudowanych w tor można określić za pomocą współczynnika zużycia β zgodnie z zależnością [20]:

$$\beta = 1 - \exp \{ a (t/t_1 - 1) \}, \quad (2)$$

gdzie: a – wskaźnik zależny od rodzaju konstrukcji i warunków eksploatacyjnych (obciążenia nawierzchni) i wynoszący 5,2,

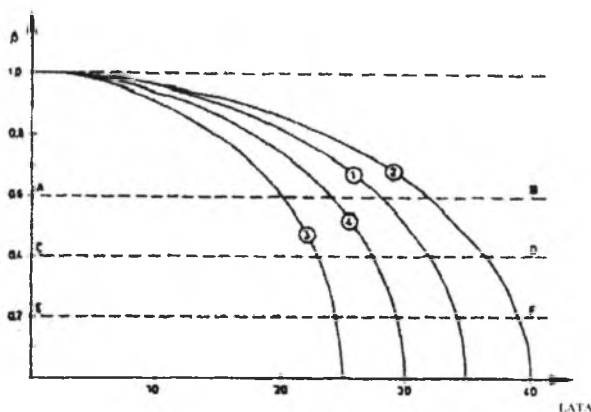
t – czas eksploatacji w latach,

t_1 – żywotność podkładu w latach.

Na rysunku 1 pokazano zależność współczynnika β od obciążenia drogi i trwałości. Zaznaczone przedziały wartości β można interpretować:

- pomiędzy $\beta=1$ a linią AB – wymagane bieżące utrzymanie,
- pomiędzy AB a CD – wymiana pojedynczych podkładów i przytwierdzeń,
- pomiędzy CD a EF – wymagane planowanie wymiany ciągłej,
- pomiędzy EF a $\beta=0$ – wymiana jest konieczna.

Zużycie i uszkodzenia podkładów są w początkowym okresie niewielkie, intensyfikują się w miarę upływu czasu użytkowania. Funkcje 1 i 2 na rysunku dotyczą podkładów betonowych wbudowanych w nawierzchnię o obciążeniu odpowiednio większym od 15 Tg/rok i mniejszym lub równym od 15 Tg/rok. Funkcje 3 i 4 dotyczą współczynników zużycia podkładów drewnianych na liniach obciążonych odpowiednio powyżej i poniżej 15Tg/rok.



Rys. 1. Współczynnik zużycia β w zależności od czasu eksploatacji podkładów
Fig. 1. Wear factor β depending on sleepers exploitation time

Wpływ łuków na zmniejszenie trwałości podkładów drewnianych przedstawia wzór przyjęty przez Komitet ERRI D187 [6]:

$$\lambda_p = \frac{1}{\left(1 + \frac{4,5 \cdot 10^4}{R^2}\right)} \quad (3)$$

Podsypka jest ośrodkiem, którego niewłaściwe utrzymanie zmniejsza opór przeciwdziałający przemieszczeniom ramy toru. Wielkość oporu uzależniona jest od wielu czynników, ale przede wszystkim od rodzaju, stopnia zagęszczenia i rozmiarów warstwy podsypki, jej stanu i temperatury otoczenia (zanieczyszczenia, działania mrozu) [12, 15]. Zmiany przebiegające w podsypce, jak na przykład: odkształcenia jej profilu, zmniejszenie się objętości i zanieczyszczenia, mogą powodować powstawanie odkształceń elementów nawierzchni i warstw podtorza. Intensywność procesu odkształceń zwiększa się wraz ze wzrostem prędkości jazdy pociągów. Znacznie większą stabilność i sztywność toru zapewniają ustroje płytowe o zróżnicowanych wymiarach oraz płytowe ustroje monolityczne (bez podsypki).

Doświadczenia związane z utrzymaniem nawierzchni bezpodsypkowych pozwalają na wyciągnięcie następujących ważniejszych wniosków [30]:

- Wymiana szyn może być wykonywana z zastosowaniem dotychczasowych technologii.
- Naprawa pękniętej szyny - w przypadku konstrukcji monolitycznych - nie może być wykonywana poprzez prowizoryczne połączenie łubkami, lecz wymaga natychmiastowej wymiany szyny albo nawiercania otworów na śruby łubkowe.
- Naprawę podkładu betonowego, stanowiącego element nawierzchni niekonwencjonalnej, wykonuje się przez zalewanie masą z tworzywa sztucznego. Naprawy w określonych miejscach toru mogą być przeprowadzone z boku toru, natomiast naprawa na dłuższym odcinku wymaga usunięcia całej konstrukcji.
- Trwałość nośnych warstw wykonanych z betonu lub masy bitumicznej ocenia się na 60 lat. Elementami, które zużywają się szybciej, są: szyny, elementy przytwierdzeń i podkłady.
- W przypadku bezpodsypkowych konstrukcji monolitycznych podczas wymiany nawierzchni trzeba usunąć całą nawierzchnię; w pozostałych przypadkach jest możliwa naprawa na miejscu warstwy betonowej lub bitumicznej, po usunięciu szyn i podkładów.

Zastosowanie utwardzonego podłoża wiąże się z mniejszym kosztem utrzymania – około 10% obecnych kosztów utrzymania nawierzchni z podsypką.

2.3. Rozjazdy

Uszkodzenia rozjazdów zachodzą szybciej niż uszkodzenia w torze z następujących powodów [1,17]:

- w miejscach nieciągłości toków (krzyżownica, zwrotnica) występują większe oddziaływania dynamiczne pojazdów,
- do produkcji rozjazdów stosuje się stal o niższej twardości.

Rozjazdy są ważnym elementem kosztów toru. Koszt utrzymania 1 rozjazdu przy założeniu gęstości ułożenia rozjazdów 1 rozjazd/1 euro/torokilometr toru głównego odpowiada kosztom utrzymania 330 m toru. Obecnie koszt wymiany rozjazdu wynosi między 50 a 150 tys. euro dla rozjazdów umożliwiających jazdę po torze zwrotnym z prędkością 30 do 70 km/h, natomiast koszt wymiany podwójnego rozjazdu krzyżowego – 200 tys. euro [27].

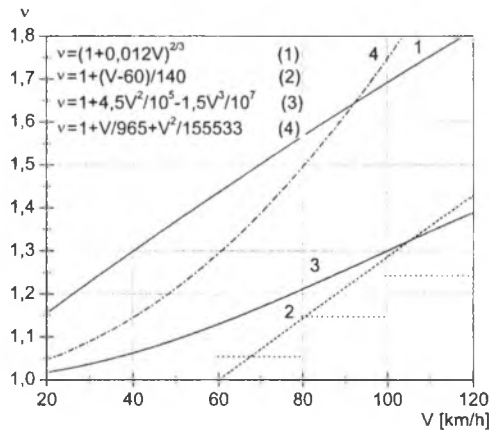
3. WPŁYW PRĘDKOŚCI I NACISKU OSI NA DEGRADACJĘ NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ

Decydujący wpływ prędkości pociągów i nacisku osi na degradację nawierzchni jest oczywisty dla specjalistów, np.: [5, 6, 8, 10, 12, 13, 16, 18, 22, 23, 24, 27, 28], jednak opracowanie metody i wybór modelu, który uwzględniłby wszystkie czynniki w obliczeniach trwałości, nie jest przy obecnym stanie wiedzy możliwe. Nie są poznane zależności między warunkami utrzymania nawierzchni a jej trwałością. Bezpośredni wpływ na degradację drogi mają współczynniki dynamiczne ν , które H. Bałuch [4, 6] przyjął do obliczeń tzw. trwałości skorygowanej (krzywa 1 na rysunku 2). Podobieństwo ze wzorem określającym wpływ prędkości na gęstość podbijania toru skłoniły autora do przyjęcia współczynnika ν wyrażonego wzorem:

$$\nu = (1 + 0,012V)^{2/3} \quad (4)$$

Określając wpływ nacisku można przyjąć, że o częstotliwości i zakresie robót decydują naprężenia wywierane przez podkłady na podsypkę, które są proporcjonalne do nacisku osi [6]. Współczynnik wpływu nacisków osi ma postać:

$$\eta = 0,005P_{sr} \quad (5)$$



Rys. 2. Wpływ prędkości pociągów na degradację nawierzchni [4]
Fig. 2. Train speed influence on the track structure degradation [4]

4. POZIOM UTRZYMANIA I JAKOŚCI WYKONANIA ROBÓT

Jakość nawierzchni wywiera znaczny wpływ na koszty utrzymania dróg kolejowych. Dlatego istotną rolę w tworzeniu warunków dla ograniczania tych kosztów spełniają standardy jakości, metody jej oceny i narzędzia, które pozwolą na kontrolę stanu nawierzchni i wykrycie pojawiających się w niej wad. PKP dysponuje liczną grupą systemów doradczych dotyczących utrzymania i diagnostyki dróg kolejowych. Do systemów tych należą między

innymi [3, 9]: System oceny nierówności toru (SONIT) oraz System wspomaganie oceny jakości robót nawierzchniowych (JAKON). Wielkościami ocenianymi w torach są [2]:

- odchyłki szerokości i nierówności toru oraz wadliwości parametryczne,
- syntetyczny wskaźnik stanu toru J oraz wskaźniki jakości parametrycznej.

Wadliwością parametryczną W_j wielkości j (wzór (6)) jest procentowy udział sumy długości odcinków toru z przekroczonymi odchyłkami nominalnymi w całkowitej długości ocenianego odcinka:

$$W_j = \frac{\sum_{m=1}^n p_m}{l_c} \cdot 100\%, \quad (6)$$

gdzie:

- p_m – długość odcinka m ($m=1, 2, \dots$), na którym są przekroczone odchyłki dopuszczalne wielkości j ,
- l_c – całkowita długość ocenianego odcinka.

Wskaźnik syntetyczny J oblicza się ze wzoru [2]:

$$J = \frac{S_z + S_y + S_w + 0,5S_e}{3,5} [mm], \quad (7)$$

gdzie: S_z , S_y , S_w , S_e - odchylenia standardowe odpowiednio: nierówności pionowych, poziomych, wichrowatości i szerokości toru.

W przypadku występowania rozjazdu na badanym odcinku toru wskaźnik syntetyczny J_r oblicza się według zależności [2]:

$$J_r = \frac{J}{(1 + 0,1p)}, \quad (8)$$

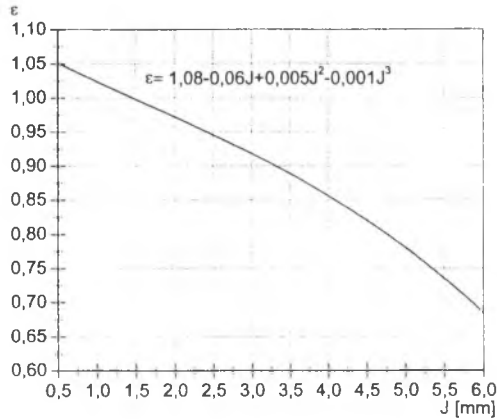
gdzie: p - liczba rozjazdów na danym kilometrze toru.

Wskaźnikiem jakości parametrycznej q_j wielkości j (szerokości toru, wichrowatości, nierówności pionowych i poziomych) jest stosunek odchylenia standardowego tej wielkości S_j do odchylenia standardowego S_{jw} przyjętego za wzorcowe [2]:

$$q_j = \frac{S_j}{S_{jw}} \quad (9)$$

Przy ocenianiu robót w rozjazdach wprowadza się dodatkowo trzy kryteria względnej oceny stanu nawierzchni (odniesionej do odchyłek dopuszczalnych) [9].

Rysunek 3 przedstawia przebieg współczynnika ϵ charakteryzującego wpływ jakości na degradację. Przy wartościach $J > 3,5$ mm, tj. przy ulegającym pogorszeniu stanie toru, wartości ϵ maleją szybciej niż w górnej części wykresu [6].



Rys. 3. Wpływ jakości elementów nawierzchni i jakości jej utrzymania na degradację [6]
 Fig. 3. Influence of the quality of track elements and of maintenance on degradation processes [6]

5. PODSUMOWANIE

Przedstawione przykłady czynników mających wpływ na ocenę kosztów utrzymania drogi kolejowej stanowią niewielką część problemów oczekujących na rozwiązanie. Istotnymi zagadnieniami, które wymagają dokładnego zbadania, są między innymi: zależność pomiędzy poziomem utrzymania a obciążeniem linii kolejowej przewozami, udział kosztów w poszczególnych fazach życia projektu inwestycyjnego, ale również problemów, wydawałoby się, już dawno rozstrzygniętych, jak np. określenie trwałości użytkowania nawierzchni tłuczniowej lub określenie wpływu złego stanu technicznego pojazdów szynowych na uszkodzenia toru.

Literatura

1. Bałuch H.: Trwałość i niezawodność eksploatacyjna nawierzchni kolejowej. WKŁ, Warszawa 1980.
2. Bałuch H.: Jakość robót nawierzchniowych i metody ich oceny. Problemy Kolejnictwa, z. 128, CNTK, Warszawa 1998, s.3-39.
3. Bałuch H.: Zarządzanie jakością robót nawierzchniowych. Problemy Kolejnictwa, z. 130, CNTK, Warszawa 1999, s. 5-24.
4. Bałuch H.: Techniczne podstawy określania wpływu ruchu pasażerskiego i towarowego na koszty utrzymania nawierzchni kolejowej. Problemy kolejnictwa, z. 134, CNTK, Warszawa 2002, s. 3-14.
5. Bałuch H.: System geometryczno-kinematycznej oceny stanu toru kolejowego. Problemy Kolejnictwa, z. 136, CNTK, Warszawa 2002, s.88-110.
6. Bałuch H.: Metoda określania kosztów eksploatacji dróg kolejowych. Zeszyt Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 47, I Konferencja Naukowo – Techniczne nt. „Systemy transportowe – teoria i praktyka”, Gliwice 2003, s. 125-138.

7. Bałuch M.: Wpływ koincydencji nierówności toru na wartość stosunku sił Y/Q . Problemy Kolejnictwa, z. 129, CNTK, Warszawa 1999, s. 18-36.
8. Bałuch M.: Eksploatacyjne możliwości wydłużenia cyklu wymiany szyn w lukach o małych promieniach. Problemy Kolejnictwa, z. 132, CNTK, Warszawa 2000, s.20-37.
9. Bałuch M.: Podstawy dróg kolejowych. Politechnika Radomska, Wydawnictwo, Radom 2001.
10. Bogacz R., Świdzki Z.: Uszkodzenia eksploatacyjne szyn kolejowych wywołane dynamicznym wzajemnym oddziaływaniem pojazdów szynowych z torem. Problemy Kolejnictwa, z. 136, CNTK, Warszawa 2002, s. 45-63.
11. Bogdaniuk B.: System diagnostyczny w utrzymaniu dróg kolejowych. Problemy Kolejnictwa, z. 128, CNTK, Warszawa 1998, s. 38-61.
12. Czyczyła W., Towpik K.: Problemy modelowania oraz identyfikacji modeli toru bezстыkowego. Problemy Kolejnictwa, z. 128, CNTK, Warszawa 1998, s. 67-92.
13. Danzer P.: Metody analizy kosztu cyklu życia w odniesieniu do trasy kolejowej. Technika Transportu Szynowego, nr 5, EMI-PRESS, Łódź 2001, s. 35-38.
14. Felsing A., Widmayer H.: Zużycie i uszkodzenia powstające podczas kontaktu między kołem a szyną. Problemy Kolejnictwa, z. 119, CNTK, Warszawa 1995, s. 100-102.
15. Frączek R.: Kształtowanie przyny podsypki z uwzględnieniem trwałości eksploatacyjnej nawierzchni i mechanizacji prac w torach bezстыkowych. Problemy Kolejnictwa, z. 136, CNTK, Warszawa 2002, s. 64-87.
16. Janecki R., Pawlicki J.: Wykorzystanie infrastruktury transportowej województwa śląskiego – obserwowane tendencje. Zeszyt Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 47, I Konferencja Naukowo – Techniczne nt. „Systemy transportowe – teoria i praktyka”, Gliwice 2003, s. 73-93.
17. Korab D.: Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjno-technologiczne w dziedzinie rozjazdów kolejowych. Problemy Kolejnictwa, z. 131, CNTK, Warszawa 2000, s. 83-107.
18. Koriath H.: Wykorzystanie metody kosztów cyklu życia (LCC) dla tras kolejowych DB. Technika Transportu Szynowego, nr 6, EMI-PRESS, Łódź 2001, s. 40-42.
19. Massel A.: Faliste zużycie szyn a warunki eksploatacyjne. Problemy Kolejnictwa, z. 127, CNTK, Warszawa 1998, s. 73-95.
20. Moravčík M.: Hodnotenie použiteľnosti zabudovaných podvalov v tratiach ŽSR. Zborník prednášok 3. seminára traťového hospodárstva, Žilinská Univerzita v Žiline, Zvolen 1998, s. 33-39.
21. Olędzki E.: Podkłady kolejowe z fibrobetonu. Problemy Kolejnictwa, z. 136, CNTK, Warszawa 2002, s.5-21.
22. Pawlicki J., Osadnik W.: Szacowanie kosztów utrzymania odcinków linii kolejowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport, z. 40, Gliwice 2000, s. 85-98.
23. Pawlicki J., Osadnik W.: Utrzymanie dróg kolejowych w strukturze kosztów PKP. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport, z. 40, Gliwice 2000, s. 99-110.
24. Ripke B.: Cele wyliczania kosztów cyklu życia torów kolejowych DB AG. Technika Transportu Szynowego, nr 4, EMI-PRESS, Łódź 2001, s. 42-45.
25. Roman Z.: Europejskie programy badawczo-rozwojowe w zakresie transportu kolejowego. Problemy Kolejnictwa, z. 136, CNTK, Warszawa 2002, s. 22-44.
26. Skrzyński E.: Diagnostyka podtorza. Problemy Kolejnictwa, z. 129, CNTK, Warszawa 1999, s. 99-124.
27. Stalder O.: Porównanie kosztów drogi kolejowej w skali międzynarodowej – projekt UIC. Technika Transportu Szynowego, nr 11-12, EMI-PRESS, Łódź 2002, s. 38-50.
28. Sysak J., red.: Drogi kolejowe. PWN, Warszawa 1982.

29. Świdorski Z., Gambin W.: Powstawanie przypowierzchniowych pęknięć kontaktowo-zmęczeniowych w szynach kolejowych. Problemy Kolejnictwa, z. 130, CNTK, Warszawa 1999, s. 60-79.
30. Towpik K.: Kolejowe nawierzchnie bezpodsypkowe. Problemy Kolejnictwa, z. 129, CNTK, Warszawa 1999, s. 35-56.

Recenzent: Doc. dr inż. Zbigniew Ginalski

Abstract

One of elements of improving the railway carriage competitiveness on transportation market is decreasing the costs of the railway lines preservation. The rise of these costs is connected with rise of vehicles pressure on rail and trains velocity increase. High-speed passenger trains and heavy goods trains cause big growth of deformations and damages of rail. Characteristics of these rail deformations are presented in the article. There are also described methods of the railway surface persistence prolongation.