

Dr hab. inż. Maria Bałuch, prof. IK
Instytut Kolejnictwa

JAKOŚĆ ROBÓT JAKO WYZNACZNIK CYKLI NAPRAW NAWIERZCHNI

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Obecnie uzyskiwana dokładność robót nawierzchniowych
3. Modele narastania odkształceń toru
4. Zadania ukierunkowane na poprawę jakości robót nawierzchniowych
5. Zakończenie

STRESZCZENIE

Jakość robót uzyskiwana przy budowie i naprawach nawierzchni kolejowej wywiera decydujący wpływ na szybkość procesu jej degradacji. W przypadku nawierzchni podsypkowej na liniach dużych prędkości konieczność napraw wynika najczęściej z osiągnięcia granicznych wartości nierówności pionowych. W artykule scharakteryzowano modele narastania tych nierówności stosowane na kolejach japońskich oraz przedstawiono model opracowany przez autorkę dla toru na podkładach betonowych dla linii o prędkości 160 km/h. Omówiono również uzyskiwaną obecnie na polskich kolejach dokładność robót nawierzchniowych i wymieniono najpilniejsze zadania ukierunkowane na poprawę tej jakości.

1. WSTĘP

Nagromadzone doświadczenia z eksploatacji kolei dużych prędkości wykazały, że zagadnienia związane z utrzymaniem dróg kolejowych należy rozpatrywać przed ich zbudowaniem [9]. Zagadnieniem takim są m.in. cykle napraw nawierzchni kolejowej zależne od wielu czynników jak naciski osi, prędkość pociągów, charakterystyki dynamiczne pojazdów szynowych, konstrukcja i stan nawierzchni oraz podtorza itp. [1, 3].

W tym artykule jest rozpatrywana zależność między określonym stanem nawierzchni, jaki występuje po jej zbudowaniu lub naprawie a okresem, w którym ze względu na osiągnięcie granicznych odchyłek dopuszczalnych powinna zostać wykonana jej następna

naprawa. Okres ten może być wyrażony w latach lub w jednostkach przeniesionego przez nawierzchnię obciążenia, tj. w Tg.

Stan nawierzchni po jej zbudowaniu można utożsamiać z jakością wykonanych robót. Składnikami jakości są:

- dokładność określona w pomiarach przeprowadzonych po zakończeniu wszystkich robót,
- skuteczność wyrażająca zmianę początkowej dokładności w funkcji obciążenia.

W przeciwieństwie do dokładności, którą jednoznacznie określają wyniki pomiarów, skuteczność robót w nowej nawierzchni znana jest dopiero po osiągnięciu odchyłek granicznych w eksploatacji.

W nawierzchni podsypkowej na kolejach dużych prędkości, cykle napraw w postaci ciągłego podbijania podkładów z regulacją położenia toru w płaszczyźnie pionowej i poziomej wyznaczają najczęściej graniczne wartości nierówności pionowych z_g . Przy dużych prędkościach pociągów i mniejszych naciskach osi narastanie odkształceń toków szynowych w dokładnie wykonanej nawierzchni będzie mniejsze niż przy dużych naciskach osi pociągów towarowych, częściej natomiast będą się pojawiały wady kontaktowo-zmęczeniowe szyn.

2. OBECNIE UZYSKIWANA DOKŁADNOŚĆ ROBÓT NAWIERZCHNIOWYCH

Na podstawie pomiarów licznych odcinków toru po ułożeniu nowej nawierzchni można przyjąć, że obecnie osiąganą dokładność robót charakteryzują wartości podane w tablicy 1.

Tablica 1

Najczęściej spotykane wartości odchyłek charakteryzujące nową nawierzchnię

Wielkość	Wartość [mm]	
	Maksymalna	Odchylenie standardowe
Szerokość toru	2,6	0,6
Gradient szerokości toru	1,8	0,3
Nierówności pionowe	4,0	1,3
Nierówności poziome	3,5	1,1
Wichrowatość	4,0	1,4
Różnice wysokości toków szynowych	3,9	1,2

Syntetyczny wskaźnik stanu toru wyniósłby w tym przypadku 1,17 mm. Stosunkowo rzadko spotyka się dokładność większą. Zdarzają się jednak przypadki uzyskiwania dokładności gorszej.

Zestawiając te wartości z odchyłkami wymaganymi przy prędkościach 200 km/h [14] można stwierdzić, że polskie wymagania obowiązujące w eksploatacji spełnia szerokość toru (+4, -3 mm), nierówności poziome (± 4 mm) i wichrowatość (± 5 mm/5m). Nie spełniają natomiast tych wymagań gradienty szerokości toru (1 mm/m) i nierówności pionowe (± 3 mm). Przekroczenia gradientów szerokości toru w regularnych odstępach równych długościom szyn świadczą o niedokładności ich zgrzewania.

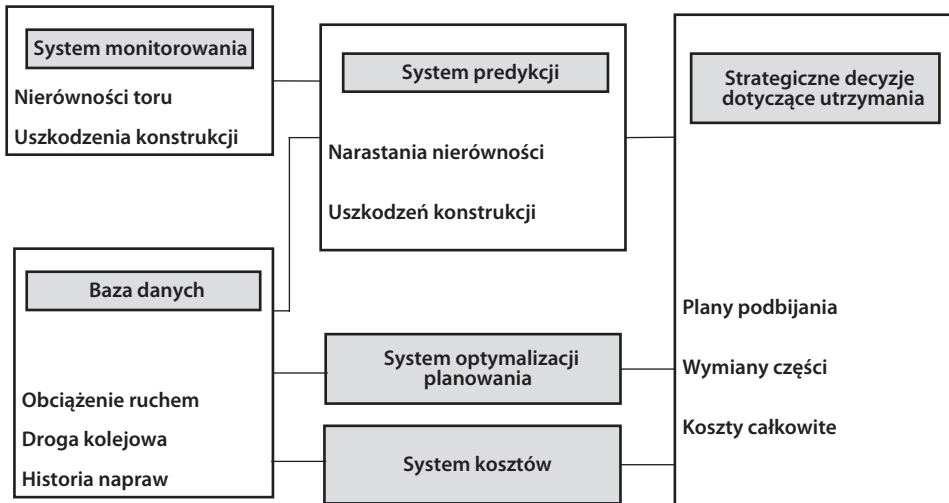
O możliwości osiągnięcia znacznie większej dokładności robót świadczą doświadczenia francuskie. I tak w torze, na którym 3 kwietnia 2007 roku osiągnięto rekord prędkości 574,8 km/h, odchylenia standardowe nierówności pionowych wynosiły $0,3 \div 0,4$ mm i jedynie w nielicznych punktach osiągnęły 0,6 mm [6]. Uzyskiwana obecnie dokładność robót przedstawia się bardziej niekorzystnie niżby to wynikało z dotychczasowego porównania. Pełniejszą ocenę uzyskuje się uwzględniając narastanie odkształceń toru w okresie od ukończenia robót do osiągnięcia odchyłek dopuszczalnych w eksploatacji.

3. MODELE NARASTANIA ODKSZTAŁCEŃ TORU

W starszych modelach narastania odkształceń pionowych toru wyróżniano dwie fazy [10]: początkową – odpowiadającą zagęszczaniu podsypki pod obciążeniem i drugą – liniowego przyrostu odkształceń. Obszerny przegląd takich modeli zawiera praca [7].

W modelowaniu podbijania torów na kolejach japońskich operuje się pojęciami dwóch modeli – degradacji i odtwarzania [12]. Modele degradacji różnią się na poszczególnych 500 m odcinkach, na które dzieli się tor i dlatego też są oparte na danych historycznych, natomiast modele odtwarzania profilu toru wynikają z funkcji regresji, w której przyjmuje się za podstawę modele degradacji. Krzywe opisujące modele degradacji mają wypukłość zwróconą ku dołowi. Odchylenia standardowe nierówności pionowych przed naprawą nie przekraczają 1,8 mm.

Modele te są wykorzystywane w systemie wspomaganie decyzji ułatwiającym planowanie podbijania torów (rys. 1). Jest on oceniany jako bliski optymalnemu. Na jego podstawie planuje się zadania na 10 dni. Dane konieczne do obliczeń w postaci odchyłek standardowych pionowych nierówności toru pochodzą z pomiarów wykonywanych na poszczególnych odcinkach toru i różnią się między nimi, natomiast stopnie poprawy oblicza się na podstawie równań regresji między stanem przed i po naprawie. Plany napraw obejmują terminy, miejsca (tzn. numery poszczególnych odcinków) oraz wskazanie bazy z jakiej wyznacza się podbijkę.



Rys. 1. Schemat systemu wspomagania decyzji [12]

W pracy [11] modelowano narastanie nierówności poziomych w łukach torów klasycznych. Odchylenia standardowe tych nierówności dochodziły nawet do 6 mm. Operowano tu pojęciem średniego czasu między naprawami (*MTBM – Mean Time Between Maintenance*), stosowanym również na innych kolejach. W celu określenia tego czasu prowadzono obserwacje eksploatacyjne i badania laboratoryjne. Potwierdzono w nich m.in. możliwość szacowania skrajnych wartości pomiarów nierówności toru przy zastosowaniu reguły 3σ . Na kolejach japońskich stosowana jest zasada potwierdzona wieloma doświadczeniami orzekająca, że dobry stan toru zapewnia jego długotrwałość [13].

Znane dotychczas modele opisywały osiadanie toru, nie zaś zróżnicowanie tego osiadania, które przejawia się w zmianach odchylenia standardowego nierówności pionowych. W jednym i drugim przypadku istotną rolę odgrywa podsypka, inny natomiast jest przebieg zmian. Na pewnych odcinkach nowego toru ułożonego na podkładach betonowych odnotowuje się po kilku miesiącach eksploatacji zmniejszenie odchylenia standardowego nierówności pionowych, co oznacza wyrównanie pewnych różnic w podparciu podkładów.

Obserwacje te prowadzą do wniosku, że początkowy okres zmian w modelach degradacji powinien być przedstawiany w postaci krzywej wolno rosnącej i dopiero w okresie późniejszym charakteryzującej się szybszym wzrostem. Byłyby to więc krzywe o wypukłości skierowanej do dołu, a więc o kształtach zbliżonych do modeli japońskich.

Model opracowany przez autorkę dla toru na podkładach betonowych dla linii o prędkości 160 km/h ma postać

$$\sigma_z = \sigma_{zp} + \frac{Q^\alpha}{2m}, \quad (1)$$

gdzie:

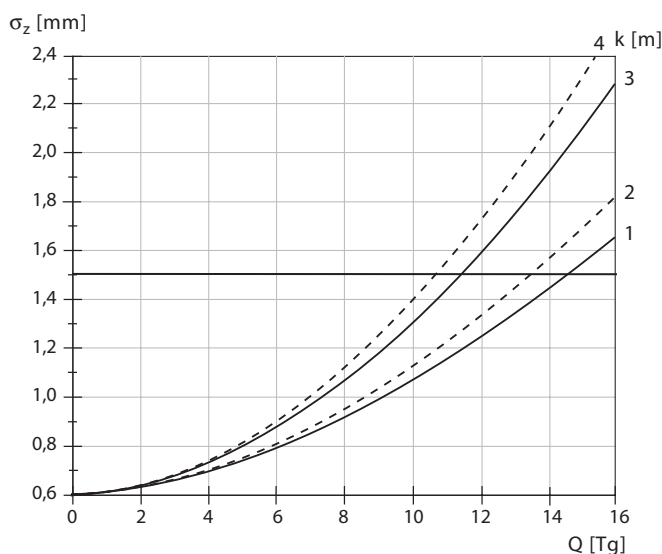
σ_{zp} – początkowe odchylenie standardowe nierówności pionowych w nowym torze, lub po naprawie w kolejnym cyklu o numerze c ,

α – wykładnik zależny od typu szyn i numeru kolejnego cyklu c , równy
szyny 60E1: $\alpha = 1,70 + 0,05c$
szyny 49E1: $\alpha = 1,80 + 0,05c$

Q – obciążenie [Tg],

m – masa szyn o długości 1m przyjmowana w zaokrągleniu do 1 kg.

Przebieg narastania odchyłeń standardowych wg modelu (1) przedstawia rysunek 2.

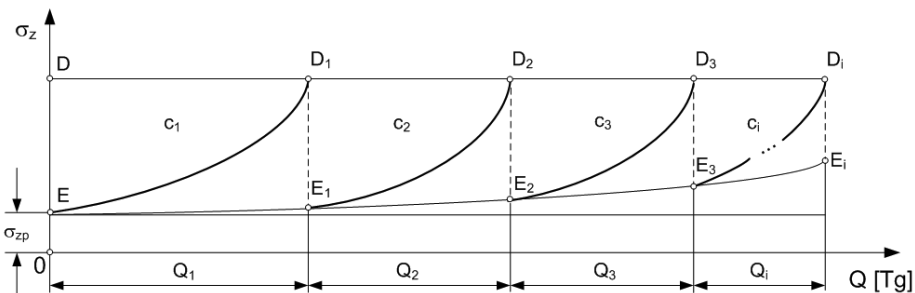


Rys. 2. Przyrosty odchyłeń standardowych: 1) szyny 60E1, tor nowy ($c = 1$), 2) szyny 60E1 po pierwszej naprawie ($c = 2$), 3 i 4 – odpowiednio dla szyn 49E1

Wartość początkowego odchylenia standardowego 0,6 mm była osiągnięta w sporadycznych przypadkach na Centralnej Magistrali Kolejowej. Przy uzyskaniu takiej dokładności robót pierwsza naprawa nawierzchni z szynami 60E1 byłaby potrzebna po przeniesieniu obciążenia ok. 14,6 Tg, po drugiej naprawie zaś – gdyby nawet powtórnie uzyskano analogiczną wartość odchylenia standardowego, jak po ułożeniu nowego toru – po około 13,4 Tg. Graniczną wartość σ_z równą 1,5 mm przyjęto jako odpowiadającą w przybliżeniu nierówności pionowej 4,5 mm.

Odchyłki dopuszczalne nierówności pionowych na poszczególnych kolejach są różnicowane. We Francji przyjmuje się, że przy prędkości 200 km/h odchylenia standardowe nie powinny przekraczać $0,6 \div 0,8$ mm. Na kolejach brytyjskich przy prędkościach większych od 160 km/h zadowalający stan toru określa odchylenie standardowe nie większe niż 1,6 mm a stan zły 2,2 mm. Na liniach Shinkansen w Japonii jako odchyłkę wyznaczającą granicę spokojności jazdy przyjmuje się 7 mm a maksymalną dopuszczalną 10 mm, co przy zastosowaniu znanej reguły 3σ oznacza odchylenia standardowe odpowiednio 2,3 i 3,3 mm. Według normy [8] odchylenia standardowe nierówności pionowych przy prędkościach $160 < V \leq 230$ km/h i granicy czujności AL wynoszą $1,2 \div 1,9$ mm.

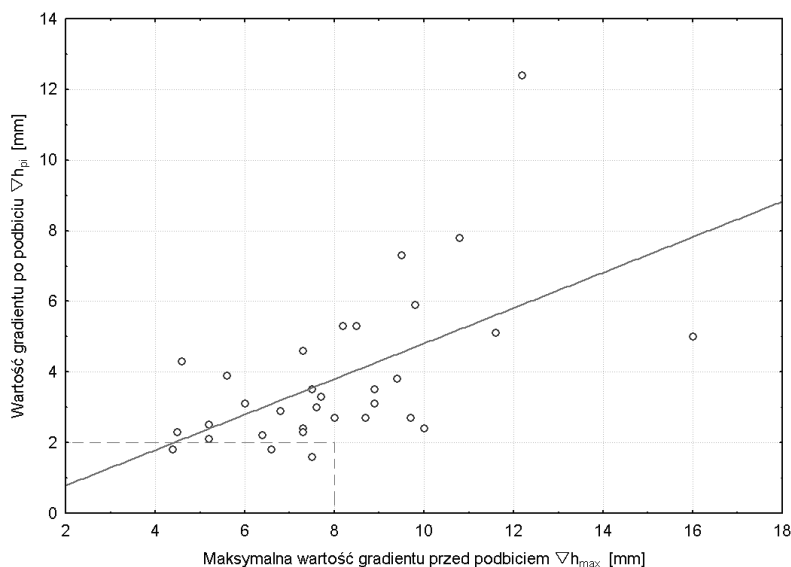
Dokładne określenie wartości parametrów wchodzących do modelu (1) będzie możliwe na podstawie obserwacji eksploatacyjnych obejmujących kilka cykli podbić podkładów na odcinkach toru o różnych warunkach eksploatacyjnych. Obserwacje te bowiem powinny doprowadzić nie tylko do wyznaczenia krzywej degradacji, lecz również do ustalenia parametrów odtwarzania oraz długości cykli $Q_1, Q_2 \dots Q_i$ (rys. 3).



Rys. 3. Model narastania odchyłeń standardowych nierówności pionowych: DD_i – linia wartości granicznych, EE_i – krzywa narastania odchyłeń początkowych po kolejnych naprawach, DE_i – zmniejszenie odchyłeń w wyniku naprawy w cyklu i

Zadania te są zadaniami badawczymi, wymagającymi wieloletnich obserwacji na licznych odcinkach. Obecnie natomiast pilnym zadaniem technicznym staje się konieczność zdecydowanej poprawy jakości robót przy budowie i naprawach nawierzchni. Nie oczekując jednak na wyniki tych obserwacji można już obecnie stwierdzić, że przy dokładności robót charakteryzującej się początkowym odchyleniem standardowym około 1,3 mm, na kolejach dużych prędkości, przy natężeniu przewozów 9 Tg/rok, cykle podbicia musiałyby być krótsze niż rok, co prowadziłoby do szybkiego zużycia podsypki.

W porównaniu z torami gorzej przedstawia się dokładność podbijania rozjazdów, gdzie przy prędkości 200 km/h gradient nierówności pionowych przy kroku pomiaru 4 m nie powinien przekraczać 2 mm. Z badań [5] wynika, że dokładność ta jest osiągnięta w zasadzie w tych przypadkach, w których gradient przed podbiciem nie przekraczał 8 mm (rys. 4).



Rys. 4. Wykres rozrzutu gradientów wysokości przed i po podbiciu rozjazdów

4. ZADANIA UKIERUNKOWANE NA POPRAWĘ JAKOŚCI ROBÓT NAWIERZCHNIOWYCH

Dochodzenie do wymaganej jakości robót wymaga przemyślanych i systematycznie prowadzonych działań, obejmujących wykonawców i podwykonawców robót, jednostki uczestniczące w ich nadzorach i odbiorach, organa kontrolne i zaplecze badawcze. Pilnymi zadaniami stają się zwłaszcza:

1. Przyjęcie zasady dokumentowania wszystkich napraw na liniach magistralnych pomiarami wykonywanymi toromierzami elektronicznymi i odwzorowywanie wyników tych pomiarów w systemie SOHRON. Posługiwanie się wykresami, w których tolerancje są dostosowywane do występujących odchyłeń od stanu nominalnego nie odzwierciedla rzeczywistej dokładności.
2. Prowadzenie szkoleń diagnostów i operatorów podbijarek ukierunkowanych na uzyskiwanie wysokiej jakości robót.
3. Rozpoczęcie systematycznych badań dokładności i skuteczności napraw nawierzchni po jej ułożeniu i naprawach o charakterze ciągłym.
4. Zaostrenie odbiorów szyn w zgrzewalniach.
5. Podjęcie przygotowań do wprowadzenia pomiarów torów na bazie 40 lub 50 m.
6. Wprowadzenie mechanizmów sprzyjających wyborowi oferentów legitymujących się dowodami uzyskiwania wysokiej jakości robót i zerwanie z praktyką wyboru wykonawców przedstawiających oferty najtańsze, nie poparte renomą wysokiej jakości swych prac.

5. ZAKOŃCZENIE

W ostatnich latach na zlecenie PLK S.A. prowadzono w Instytucie Kolejnictwa wiele prac dotyczących utrzymania nawierzchni przy zwiększonych prędkościach pociągów. Szczególną uwagę w tym zakresie poświęcono rozjazdom kolejowym, dla których zostały opracowane nowe – uzależnione od prędkości – odchyłki dopuszczalne [2, 4]. Wyniki pomiarów wykonywanych zarówno w torach jak i na rozjazdach wskazują jednak, że postęp w osiągnięciu jakości robót wymaganej przy zwiększonych prędkościach pociągów nie jest zadowalający.

Mając na uwadze planowaną w bliskiej przyszłości budowę w Polsce linii dużej prędkości należałoby niezwłocznie podjąć zadania wyszczególnione w punkcie 4, a także opracować nowy efektywny system odbioru robót.

BIBLIOGRAFIA

1. Bałuch H., Bałuch M.: *Procesy degradacji nawierzchni kolejowej i eksploatacyjne metody zwiększenia jej trwałości*. V Seminarium Diagnostyki Nawierzchni Szynowych, Gdańsk, 2003.
2. Bałuch H., Bałuch M.: *Opracowanie wytycznych stosowania poszczególnych typów rozjazdów w torach PKP PLK S.A. oraz odchyłek dopuszczalnych w rozjazdach i skrzyżowania torów w funkcji prędkości – etap III (wydanie rozszerzone)*. Praca CNTK nr 3071/11, Warszawa, 2005.
3. Bałuch M.: *Variable cycle diagnosis of railway track*. The Archives of Transport 2003, No. 2.
4. Bałuch M.: *Ocena stanu rozjazdów na podstawie niwelacji i jej zastosowanie przy odbiorach robot po podbiciu podbijarkami rozjazdowymi*. Praca IK nr 4428/11, Warszawa, 2010.
5. Bałuch M.: *Odchyłki dopuszczalne w pomiarach niwelacyjnych rozjazdów*. Instytut Kolejnictwa, Warszawa, 2011.
6. Cuccaroni A.: *The TGV-East high-speed line: main infrastructure characteristics and behaviour of the ballasted track during high-speed test runs*. Rail Engineering International, Edition 2008, No. 4.
7. Dahlberg T.: *Some railroad settlement models – a critical review*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Vol. 215.
8. *European Standard EN-13848-5. Railway applications – Track- Track geometry quality – part 5: Geometric quality levels*, March, 2008.
9. Goossen H.: *Maintenance of high speed lines*. Report UIC, Paris, 2010.
10. Iwnicki S., Grassie S., Kik W.: *Track settlement prediction using computer simulation tools*. Rail Technology Unit, Manchester Metropolitan University, Department of Engineering and Technology, 2000 www.rtu.mmu.ac.uk.

11. Kawaguchi A., Miwa M., Terada K.: Actual data analysis of alignment irregularity growth and its prediction model. Quarterly Reports Vol. 46, No. 4, 2005.
12. Miwa M.: *Mathematical programming model analysis for the optimal track maintenance schedule*. Quarterly Reports Vol. 43, No. 3, 2002.
13. Takai H.: *Trend of research and development of track technology*. Quarterly Report of RTRI Vol. 43, No 3, 2002.
14. *Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D-1)*. PKP PLK S.A., Warszawa, 2005.