

Syntetyczne metody oceny nawierzchni kolejowej

Henryk BAŁUCH¹

Streszczenie

W ostatnich latach oceny jakości nawierzchni kolejowej stały się ważnym narzędziem obniżania kosztów cyklu życia. Stosowane są różne metody określania wskaźników jakości. Wśród licznych procedur wyznaczania tych wskaźników metoda oparta na odchyleniach standardowych jest stosowana najczęściej. Artykuł przedstawia cztery metody syntetycznej oceny nawierzchni kolejowej oraz ich cele. Najprostsza metoda wykorzystuje syntetyczny wskaźnik stanu toru oparty na odchyleniach standardowych nierówności pionowych, poziomych, wchrowatości i szerokości toru. W drugiej metodzie ten wskaźnik jest uzupełniony „obciążeniem ruchem” – ważnym parametrem wpływającym na stan geometryczny nawierzchni. Kolejna metoda obejmuje między innymi ocenę wykorzystania trwałości szyn i wiek podkładów. Czwarta metoda polega na badaniu przekroczeń odchyłek dopuszczalnych. Pierwsze trzy metody odnoszą się do 1 km toru, czwarta do 1 hektometra.

Słowa kluczowe: jakość nawierzchni, syntetyczny wskaźnik stanu toru, klasyfikacja torów

1. Wstęp

Znormalizowanie składników konstrukcji nawierzchni kolejowej przesuwają coraz bardziej tematykę badawczą na zagadnienia materiałowe, technologiczne i organizacyjne. Możliwość zmniejszenia kosztów cyklu życia drogi kolejowej dostrzega się w uzyskiwaniu wysokiej jakości robót, nowych gatunkach stali szynowej, modyfikacji podkładów betonowych poprzez łączenie ich z matami u podstawy (*USP – Under Sleeper Pads*), zastosowaniu podsypki trwalszej na ścieranie i wprowadzaniu nowych procesów technologicznych. Coraz ważniejsze stają się studia dotyczące jakości nawierzchni kolejowej jako całego obiektu inżynierskiego i metod jej utrzymania [17]. Poszukuje się optymalizacji utrzymania nawierzchni przy wykorzystaniu danych historycznych dotyczących głównie jakości robót [2].

Dzięki szeroko zakrojonym badaniom można wykazać znaczenie wprowadzanych innowacji. Bardzo obszerne badania laboratoryjne i terenowe, przeprowadzone w Australii na liniach kolejowych o dużym obciążeniu wykazały, że dzięki

¹ Prof. dr hab. inż.; Instytut Kolejnictwa; e-mail: hbaluch@ikolej.pl.

zastosowaniu odpowiednich geosiatek w warstwach ochronnych można zmniejszyć deformacje nawierzchni nawet o 35% i znacznie ograniczyć podbijanie toru [16]. Zmniejszenie kosztów utrzymania nawierzchni, które w tym kraju wynoszą 25÷35% całości kosztów przewozów towarowych, można osiągnąć przez odpowiednie planowanie napraw. Uzyskane oszczędności z tego powodu szacuje się na 5÷10% [15]. Podejmowane są próby optymalizacji planowania napraw i wymian nawierzchni, ukierunkowane m.in. na linie o dużych prędkościach, na których koszty tych robót stanowią 55% kosztów utrzymania całej infrastruktury [1]. Analizowane są różne modele degradacji nawierzchni [22].

Dysponując odpowiednimi metodami, można łatwiej ustalić kolejność napraw nawierzchni kolejowej, np. profilowania (szlifowania) szyn [7]. Stosując odpowiednie wskaźniki syntetyczne, można wykazać jak różni się jakość robót na poszczególnych odcinkach toru i tym samym wpływać na ich poprawę, co powoduje wydłużenie cykli naprawczych [6]. Zmniejszenie zakresu napraw nawierzchni kolejowej znajduje podwójne odbicie w kosztach cyklu życia – po pierwsze obniża koszty robocizny, sprzętu oraz czasu zamknięć toru i po drugie – zmniejsza zużycie materiałów, głównie ścieranie podsypki podczas podbijania toru. Dążenie do ograniczenia napraw bez należytej analizy potrzeb, może jednak przynieść skutki odwrotne.

Artykuł przedstawia cztery metody syntetycznej oceny stanu nawierzchni kolejowej, stopniując je od najprostszych do bardziej złożonych. Założono przy tym, że wszystkie potrzebne dane do obliczeń są lub mogą być łatwo dostępne.

2. Wskaźniki syntetyczne i przykłady ich zastosowań

W ocenie jakości toru dużą rolę odgrywają wskaźniki syntetyczne. Z reguły wiążą one kilka parametrów geometrycznych, do wyjątków zaś należą wskaźniki odnoszące się do poszczególnych wielkości geometrycznych, które najłatwiej ocenić przy zastosowaniu odchyłeń standardowych. Takim wyjątkiem są wskaźniki kolei USA. Nowa wersja tych wskaźników została oparta na pomiarach kilkunastu tysięcy km toru podzielonego na odcinki o długości 528 stóp (161 m). Wskaźniki te są obliczane ze wzoru (1) podanego w [23]

$$TQI = \left(\frac{L_s}{L_0} - 1 \right) \cdot 10^6, \quad (1)$$

gdzie:

TQI – wskaźnik syntetyczny (*Total Quality Index*),

L_s – długość obwiedni wykresu przedstawiającego nierówności toru,

L_0 – stała długość odcinka toru.

Wskaźniki te są obliczane oddzielnie dla nierówności pionowych, poziomych, różnic wysokości toków szynowych i szerokości toru. Nie ma natomiast współ-

nej miary wszystkich nierówności. W istocie rzeczą są one zamiennikiem odchyłeń standardowych, stosowanych na licznych kolejach europejskich do oceny oddzielnych parametrów geometrycznych toru. Stosowane w USA Wartości TQI są wykorzystywane m.in. do porównań stanu toru na liniach kolejowych różnych klas. Wahają się one od $2 \div 4$ w klasie 6. do $10 \div 15$ w klasie 2.

Oprócz tych wskaźników w planowaniu napraw nawierzchni, w USA uwzględnia się 14 parametrów statystycznych, poczynając od średniej szerokości toru i jej odchylenia standardowego [24].

Na kolejach australijskich wskaźniki syntetyczne są obliczane ze wzoru empirycznego na podstawie pomiarów wykonywanych wagonem pomiarowym (przy próbkowaniu 0,5 m). Wskaźniki te są sumą odchyłeń standardowych nierówności pionowych mierzonych inercyjnie w odniesieniu do 20 m (średnia z obu toków), nierówności poziomych na bazie 10 m (średnia z obu toków), wchrowatości toru na bazie 2 m i szerokości toru. Są one drukowane co kwartał na poszczególnych liniach [19].

W Szwecji syntetyczny wskaźnik stanu toru oznaczany literą Q , jest wyrażany w punktach i jest obliczany ze wzoru empirycznego (2) według [14, 18, 2]

$$Q = 150 - 100 \cdot \left[\frac{\sigma_H}{\sigma_{H\lim}} + 2 \frac{\sigma_S}{\sigma_{S\lim}} \right] / 3 \quad (2)$$

gdzie:

σ_S – średnie odchylenie standardowe nierówności pionowych obu toków szynowych,

σ_H – odchylenie standardowe będące kombinacją przechyłki i średniego odchylenia poziomego toku zewnętrznego,

$\sigma_{S\lim}$ i $\sigma_{H\lim}$ – odchylenia standardowe zapewniające spokojność jazdy na określonej klasie torów.

Klasy są oznaczone literami:

A – tor ostatnio zbudowany lub podbity (wyregulowany),

B – tor o gorszej jakości, który powinien być wyregulowany przed osiągnięciem granicy tej klasy,

C – granica tej klasy nie powinna być przekroczona, tor powinien być jak najszybciej wyregulowany. Tą granicą są 82 punkty, gdy jest mniej – wzrasta zagrożenie wykolejeniem.

Wynik poniżej 82 punktów oznacza konieczność przystąpienia do napraw i w przypadku ich braku jest traktowany jako zagrożenie. Bezpieczeństwo toru w Szwecji określa się stosunkiem liczby wykolejeń spowodowanych wadami nawierzchni do 1 mln km przewozów. Odchylenia standardowe są uzyskiwane z pomiarów wagonem pomiarowym, wykonywanych w stałych odstępach odpowiadających obciążeniu 24 Tg. Tablica 1 przedstawia okresy pomiaru toru, odpowiadające im wskaźniki syntetyczne Q oraz okresy podbić.

Tablica 1

Fragment danych kolei szwedzkich

Pomiar [Tg]	Wskaźnik Q	Pomiar [Tg]	Wskaźnik Q
24	95	144	79
48	88	168	92
72	81	192	83
96	94	216	78
120	86	–	–

Uwaga: podbicia torów przeprowadzono po przewiezieniu obciążeniem 72, 144 i 216 Tg.

Niezależnie od wskaźnika syntetycznego Q , w Szwecji wykorzystuje się często odchylenie standardowe nierówności pionowych do oceny ogólnego stanu i skuteczności podbijania [2]. Jako doskonały stan toru w całym przedziale prędkości od 0 do 300 km/h uznaje się tor mający odchylenie standardowe 0,5 mm. Przy 100 km/h stan dobry wyznacza odchylenie 1,5 mm, akceptowalny 2,0 mm i zły 3,1 mm. Przy prędkości 200 km/h odpowiednie granice wynoszą 1,0, 1,2 i 2,0 mm.

W Szwecji prewencyjne podbijanie torów wykonuje się najczęściej przy narastających nierównościach $0,01 \div 0,02$ mm/Tg. Skuteczność podbijania ocenia się również stosując odchylenia standardowe nierówności pionowych. Granice tych ocen przedstawia tablica 2.

Tablica 2

Ocena skuteczności podbijania w zależności od stanu przed podbiciem toru

Przed podbiciem	Po podbiciu		
	Stan doskonały	Stan dobry	Stan zły
0,5	0,3	0,34	> 0,5
1,0	< 0,35	0,35÷0,37	> 0,7
1,5	< 0,4	0,4÷1,0	> 1,0
2,0	< 0,5	0,5÷1,3	> 1,3
3,0	< 0,8	0,8÷1,9	> 1,9

Syntetycznym wskaźnikiem stanu toru oznaczonym TQI w planowaniu napraw nawierzchni, posługują się koleje hinduskie [14]. Jest on obliczany w dość skomplikowany sposób na podstawie odchyleń standardowych nierówności pionowych, wichrowatości, szerokości toru i nierówności poziomych. Największą wagę przypisuje się w tym wskaźniku do nierówności poziomych, najmniejszą – do szerokości i wichrowatości toru.

Na kolejach angielskich rolę wskaźnika syntetycznego spełnia w pewnym stopniu odchylenie standardowe nierówności pionowych odniesione do długości fali 35 m. Przy prędkościach 115÷125 mil/h (185÷201 km/h) graniczną wartością tego odchylenia jest 4,7 mm. Jej przekroczenie wymaga ograniczenia prędkości [20].

W Polsce najprostszą i obiektywną oceną stanu nawierzchni jest syntetyczny wskaźnik stanu toru J , zaproponowany w pracy [11] i przyjęty na całej sieci jako podstawowy parametr geometrycznego stanu toru. Wieloletnie doświadczenie w jego stosowaniu pozwala też uzmysłwić sobie, jaki jest stan konstrukcji nawierzchni na odcinku, na którym wykonano pomiary. Wskaźnik ten jest oparty na obiektywnych miarach rozrzutu mierzonych sygnałów, tj. na odchyleniach standardowych czterech wielkości geometrycznych. Nie zależy więc od prędkości pociągów, ani tym samym od odchyłek dopuszczalnych. Wyraża go wzór

$$J = \frac{S_z + S_y + S_w + 0,5 \cdot S_e}{3,5}, \quad (3)$$

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

Wskaźnik J jest obliczany i drukowany na każdym kilometrze toru mierzonego drezyną pomiarową EM-120 oraz na dowolnie wybranej długości toru pomierzonego toromierzem elektronicznym i odwzorowanego w znanym systemie SOHRON (System Określania Hierarchii Robót Nawierzchniowych).

Zastosowanie wskaźników J powinno znaleźć szersze niż dotychczas zastosowanie do oceny jakości robót, zwłaszcza zaś robót na liniach modernizowanych [3, 4, 6]. Ocena jakości robót K wyrażana syntetycznie, polega na zdefiniowaniu ich dokładności wyrażanej wskaźnikiem J i skuteczności, tj. zmianą tej dokładności w miarę narastania całkowitego obciążenia Q [Tg] lub upływu czasu t [lat], co można przedstawić w postaci

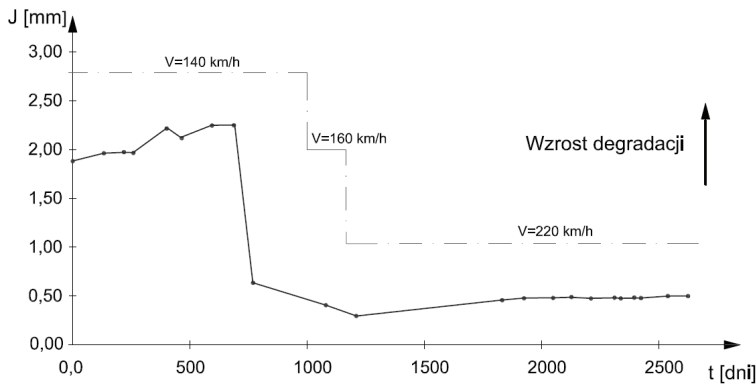
$$K_Q = \left\langle J, \frac{dJ}{dQ} \right\rangle, \quad (4)$$

lub

$$K_t = \left\langle J, \frac{dJ}{dt} \right\rangle, \quad (5)$$

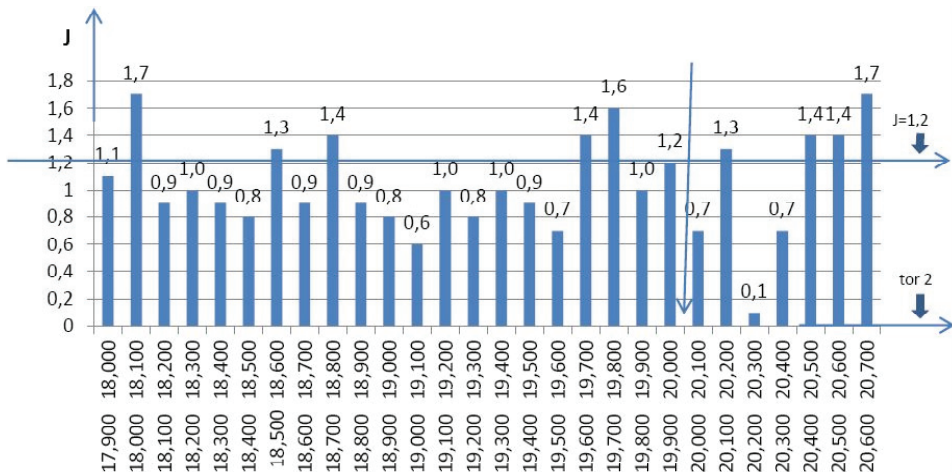
gdzie: K_Q i K_t skuteczność wyrażona odpowiednio w jednostkach obciążenia (Tg) i czasu (lata).

Wskaźniki J są stosowane również poza granicami Polski (Holandia, Węgry, Portugalia). Przykładem mogą być badania prowadzone w Portugalii [14] na linii kolejowej o prędkości 220 km/h, w których narastanie odkształceń toru wyrażano m.in. na podstawie obliczeń wskaźnika J (rys. 1).



Rys. 1. Wyniki badań portugalskich przy zastosowaniu wskaźnika J [14]

Celem tych badań było, oprócz wykazania roli wskaźnika J , określenie jak zmienia się stan toru w czasie. Wyniki tych badań wykazują bardzo dobry stan analizowanego odcinka toru, który charakteryzuje się wskaźnikiem J rzędu 0,5 mm, a więc wartością jeszcze nie osiągalną w Polsce nawet po zakończeniu robót modernizacyjnych (rys. 2). Wskaźniki przedstawione na rysunku 2 świadczą o dużej niejednorodności toru [9] i są w przybliżeniu dwa razy większe niż na badanej linii w Portugalii.



Rys. 2. Wartości wskaźników J po zakończeniu robót modernizacyjnych na jednej z linii magistralnych w Polsce

Z rysunku 1 wynika, że w okresie od około 1200 do około 2650 dni, tj. w ciągu 3,97 lat, wskaźnik J wzrósł od 0,4 do 0,6 mm, co oznacza bardzo dużą skutecz-

ność robót, równą 0,05 mm/rok. Stanowi to jeszcze jeden dowód, że uzyskiwanie wysokiej jakości robót przy budowie drogi kolejowej wydłuża zdecydowanie jej cykle naprawcze [4, 6, 14].

Skuteczność robót na polskiej sieci kolejowej jest zróżnicowana. Oprócz dobrych przykładów, pojawiają się przypadki wręcz niepokojące. Takim przypadkiem są zjawiska lasowania się podsypki (rys. 3) nienadającej się w ogóle do robót torowych, zastosowanej w niektórych torach zmodernizowanych przed dwoma laty. W miejscach, w których pojawiają się produkty lasowania, występują nierówności pionowe. Naprawa takich odcinków toru jest bardzo uciążliwa. Przykład ten powinien spowodować zdecydowanie ostrzejszą kontrolę przy ocenie przydatności podsypki do robót torowych.



Rys. 3. Podsypka zanieczyszczona produktami lasowania [fot. G. Gawroński]

Posługiwanie się wskaźnikami J ułatwia również ocenę pożądanego kolejności robót. Oceniając konieczność wykonania napraw tylko na podstawie wskaźników J należy zwracać szczególną uwagę na te odcinki toru, na których są one większe niż 5 mm, bowiem przy tej wartości można się już spotkać z zagrożeniem naprawialności [13].

Naprawialność (*maintainability*) jest cechą charakteryzującą możliwość przywrócenia nawierzchni ze stanu odbiegającego od wymagań do stanu, który te wymagania będzie spełniał w określonych warunkach eksploatacyjnych, głównie przy wymaganej prędkości pociągów i obciążeniu. Naprawialność można odnosić do różnych operacji i zakresów robót, np. podbijania torów, poprawiania szerokości torów, oczyszczania podsypki itp. Nienaprawialnym stanem nawierzchni jest taki stan, w którym przy zastosowaniu typowych technologii robót nie daje się już usunąć istniejących deformacji.

3. Indeksowane wskaźniki J z charakterystyką obciążenia

Wartości wskaźników J są nie tylko odpowiednim narzędziem do oceny jakości robót, lecz mogą być również pomocne w porównaniach potrzeb naprawczych nawierzchni na odcinkach o jednakowej prędkości i stałym natężeniu przewozów. Trudniej zaś porównywać te potrzeby na liniach o różnym obciążeniu. Wartość informacyjna wskaźników J w ocenie potrzeb naprawczych znacznie wzrośnie, gdy oprócz syntetycznej oceny stanu toru, będą one zawierały również syntetyczną informację o obciążeniu tego toru. Uwzględniając tę potrzebę, proponuje się wprowadzenie nowego pojęcia, tj. intensywności obciążenia I definiowanej w postaci

$$I = \frac{V_{\max} \cdot q}{10}, \quad (6)$$

gdzie:

V_{\max} – maksymalna prędkość pociągów na danej linii [km/h],
 q – natężenie przewozów [Tg/rok].

Ważne znaczenie prędkości maksymalnej (a nie na przykład handlowej) wynika stąd, że określa ona jednoznacznie odchyłki dopuszczalne w nawierzchni, co wiąże się bezpośrednio z zakresem koniecznych robót, natomiast natężenie przewozów jest obiektywną miarą obciążenia w danym czasie.

Prostym sposobem połączenia informacji o obu wielkościach, tj. o stanie geometrycznym, wyrażanym syntetycznym wskaźnikiem stanu toru J oraz intensywności przewozów, jest wyrażenie indeksowane J_c . Na przykład wskaźnik J równy 0,9 mm na linii o maksymalnej prędkości 160 km/h i natężeniu przewozów 12,5 Tg/rok zostanie zapisany jako $J = 0,9_{200}$. Łatwo więc na tej podstawie stwierdzić, że scharakteryzowany przez niego tor, mimo dość dużego obciążenia znajduje się w dobrym stanie.

Porównując zbliżone do siebie wartości J pierwszeństwo w naprawach, przy niewielkich różnicach prędkości pociągów, należy przypisać do toru o większym indeksie, np. tor scharakteryzowany wskaźnikiem $J = 3,8_{99}$ ($V_{\max} = 70$ km/h, $q = 14,2$ Tg/rok) powinien znaleźć się na wyższej pozycji w liście rankingowej niż tor mający $J = 4,1_{30}$ ($V_{\max} = 80$ km/h, $q = 3,7$ Tg/rok).

Drugą, jeszcze dokładniejszą notacją wskaźników J charakteryzującą obciążenie, może być rozdzielcze określenie prędkości, którą przedstawia pierwszy człon indeksu dolnego równy $V_{\max}/10$ oraz znajdujący się za nim i oddzielony przecinkiem człon drugi informujący o natężeniu przewozów z dokładnością 1 Tg/rok. Przytoczone już wskaźniki w tej notacji miałyby postać $J = 3,8_{7,14}$ oraz $J = 4,1_{8,4}$.

4. Rozszerzenie metody wskaźnikowej o charakterystyki trwałości

Nową metodą opracowaną w Instytucie Kolejnictwa [12], jest metoda oceny degradacji nawierzchni kolejowej, również w ujęciu kilometrowym, w której oprócz wskaźnika J , uwzględnia się podstawowe parametry konstrukcyjne, tj. wiek podkładów drewnianych i betonowych oraz wskaźnik zdatności eksploatacyjnej szyn C obliczany według wzoru

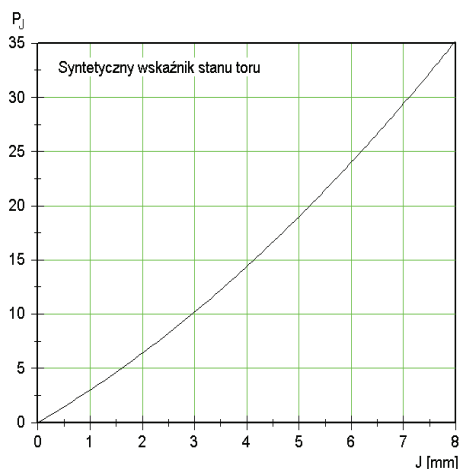
$$C = \frac{T_{tr} - T}{T_{tr}}, \quad (7)$$

gdzie T_{tr} – skorygowana trwałość szyn z uwzględnieniem promieni łuków, obliczana corocznie na całej sieci PLK S.A. przy zastosowaniu programu SOKON (System Oceny Konstrukcji Nawierzchni) [5],
 T – przeniesione obciążenie.

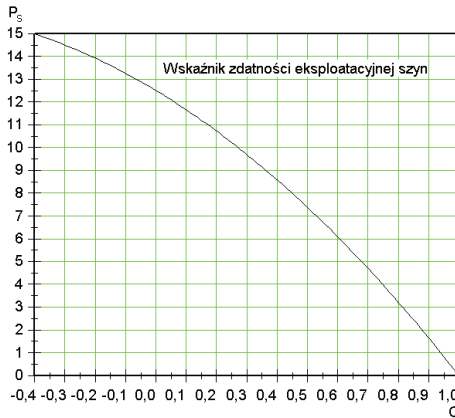
Wszystkie wielkości do tych obliczeń są więc dostępne.

Ocena ta wyrażana liczbowo w punktach od 0 (idealny stan nowej nawierzchni) do 150 (bardzo wysoki stopień degradacji) może się okazać przydatna w rankingowym szacowaniu potrzeb naprawczych i w ewentualnej klasyfikacji zadań diagnostycznych.

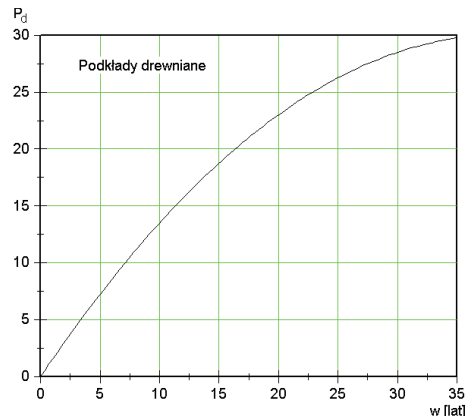
Uwzględniane w tej ocenie wielkości mają różną wagę. Najwięcej punktów 35, z łącznej ich liczby 80 odnosi się do oceny geometrycznej, tj. do syntetycznego wskaźnika stanu toru J (rys. 4). Na drugim miejscu jest wiek podkładów (rys. 5 i 6), a na trzecim – wskaźnik zdatności eksploatacyjnej szyn (rys. 7).



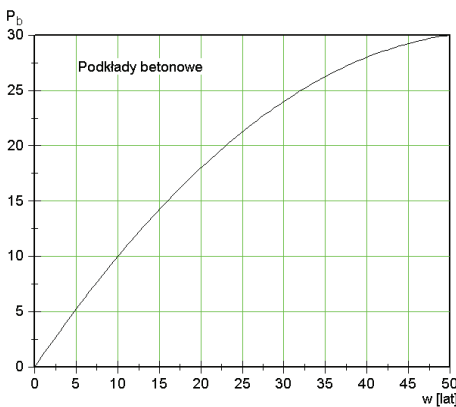
Rys. 4. Ocena syntetycznego wskaźnika stanu toru



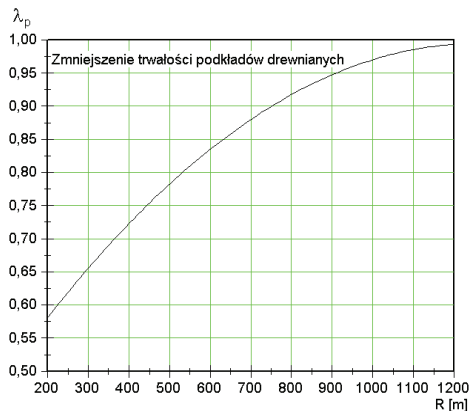
Rys. 5. Ocena wykorzystania trwałości szyn



Rys. 6. Ocena podkładów drewnianych



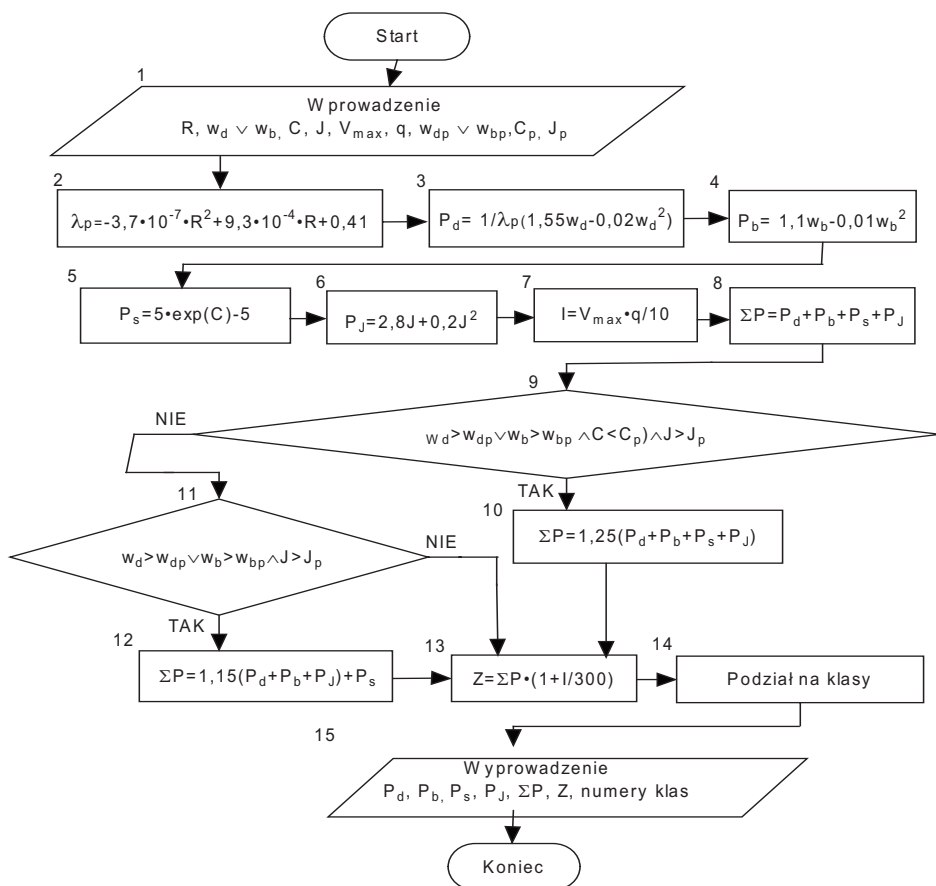
Rys. 7. Ocena podkładów betonowych



Rys. 8. Zmniejszenie trwałości podkładów drewnianych w funkcji promieni łuków

Wpływ łuków na trwałość szyn jest uwzględniony w obliczeniach wykonywanych w programie SOKON. W pewnym stopniu wpływ ten odzwierciedlają też syntetyczne wskaźniki stanu toru. Podkłady betonowe są układane w łukach najczęściej o promieniach 300 m i więcej, a ich stan przy tych promieniach nie odbiega zasadniczo od stanu na prostych. Wpływ łuków uwzględniono natomiast w odniesieniu do podkładów drewnianych, korzystając z zależności podanej w monografii [8]. Liczbę punktów w funkcji wieku (rys. 6) zwiększa się w przypadku promieni mniejszych niż 1200 m, mnożąc je przez odwrotność λ_p (rys. 8).

Równania empiryczne opisujące wszystkie zależności są podane na schemacie blokowym (rys. 9).



Rys. 9. Schemat blokowy obliczeń degradacji i jej intensywności

Suma punktów wieku podkładów drewnianych w_d lub betonowych w_b , wskaźnika zdatości eksploatacyjnej szyn C i syntetycznego wskaźnika stanu toru J wynosi 80. W każdej wielkości są ustalone wartości progowe, tj. takie, których przekroczenie oznacza zwykle zaawansowaną degradację. Wartości te są podane w tablicy 3.

Tablica 3

Wielkości progowe

Wielkość	Wartość progowa
Syntetyczny wskaźnik stanu toru [mm]	6,0
Wskaźnik zdatości eksploatacyjnej szyn C	0,1
Wiek podkładów drewnianych [lat]	20
Wiek podkładów betonowych [lat]	40

Dopełnieniem do 100 punktów może być koincydencja, tj. jednoczesne przekroczenie trzech wartości progowych (blok 9). W przypadku jednoczesnego przekroczenia dwóch wartości progowych, tj. wieku podkładów w_d lub w_b i wskaźnika J , suma punktów ulega również zwiększeniu (blok 12).

Scharakteryzowana metoda oceny degradacji jest wzbogacona syntetyczną charakterystyką obciążenia linii w postaci intensywności obciążenia I (wzór 6 i blok 7). Połączenie wyniku obliczeń degradacji w postaci sumy punktów z trzech wielkości (ΣP) z intensywnością obciążenia I można traktować jako intensywność rozwoju degradacji Z , gdyż im większe są obie wielkości, tym szybszy stanie się rozwój degradacji. Intensywność ta jest wyrażana iloczynem w postaci podanej w 13 bloku.

Dysponując liczbową oceną intensywności degradacji, można podjąć próbę klasyfikacji poszczególnych odcinków linii kolejowych opartej na łatwo dostępnych danych, którymi dysponują wszystkie zakłady linii kolejowych. Obliczenia będące podstawą tej klasyfikacji są łatwe i bardzo szybkie. Jednostkowym odcinkiem toru jest w tym przypadku 1 km. Podział na klasy jest czterostopniowy. Kilkadziesiąt przeanalizowanych odcinków toru pozwoliło wysunąć propozycję granic klas podanych w tablicy 4.

Tablica 4

Granice klas

Klasa	Liczba punktów	Intensywność obciążenia
1	< 24	0÷160
2	25÷46	161÷240
3	47÷70	241÷360
4	< 71	361÷800

Wyższy stopień degradacji lokuje określony odcinek toru wyżej na liście rankingowej niż stopień niższy. Do obliczeń służy program opracowany w Excelu (rys. 10).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	Oblicz	Wartości progowe		Klasy	Instrukcja																			
2																								
3	Linia	Tor	Kilometr od do		R	w_d	w_b	C	J	V_{max}	q	P_d	P_b	P_s	P_l	ΣP	Z	Klasa ΣP	I	Klasa I				
4	Kraków-Medyka	1	234,500	235,900	1000	12,0		0,50	0,9	180	14,0	16,3	0,0	1,7	2,7	20,6	38,0	1	252,0	3				
5	Kraków-Medyka	2	234,500	235,900		12,0		0,50	0,9	180	14,0	15,7	0,0	1,7	2,7	20,1	36,9	1	252,0	3				
6	A-B	2	12,763	13,987	600	4,0		0,35	0,6	160	8,7	7,2	0,0	9,1	1,8	19,1	26,6	1	139,2	1				
7	Warszawa-Otwock	1	6,000	7,000		16,0		0,50	5,0	120	6,5	19,7	0,0	1,7	19,0	40,3	50,9	2	78,0	1				
8	Warszawa-Otwock	1	6,000	7,000		40,0		0,50	7,0	120	6,5	30,0	0,0	1,7	29,4	75,9	96,2	4	78,0	1				
9	CD	2	34,000	35,000			27,0	0,70	4,0	140	17,0	0,0	22,4	4,7	14,4	41,5	74,4	2	238,0	2				

Rys. 10. Fragment obliczeń

5. Metoda koincydencji geometrycznych i stanu składników nawierzchni

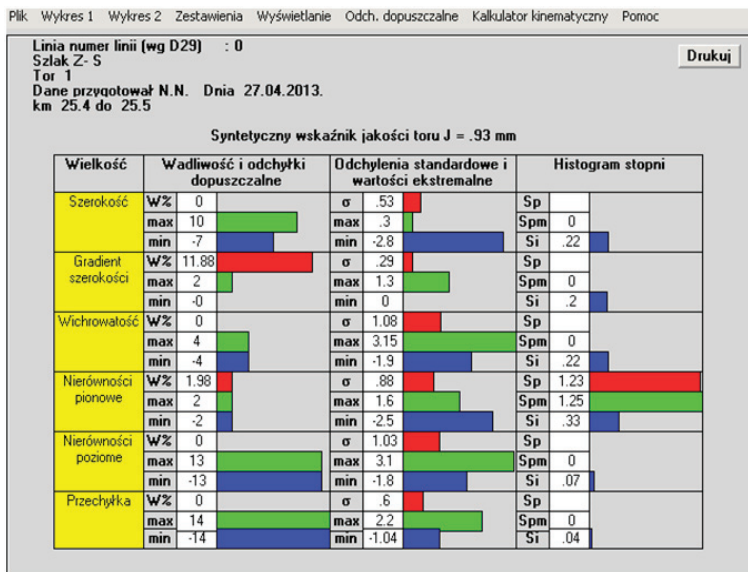
Geometryczna ocena stanu toru polega w tej metodzie na obliczaniu wskaźnika maksymalnych przekroczeń odchyłek dopuszczalnych Spm oraz znajdowaniu koincydencji, czyli nakładania się przekroczeń odchyłek dwu lub więcej wielkości geometrycznych na poszczególnych mikrosegmentach toru, zwykle o długości 20 m. Wskaźnik Spm jest obliczany ze wzoru

$$Spm = \frac{|x_{i\max}|}{a_i}, \tag{8}$$

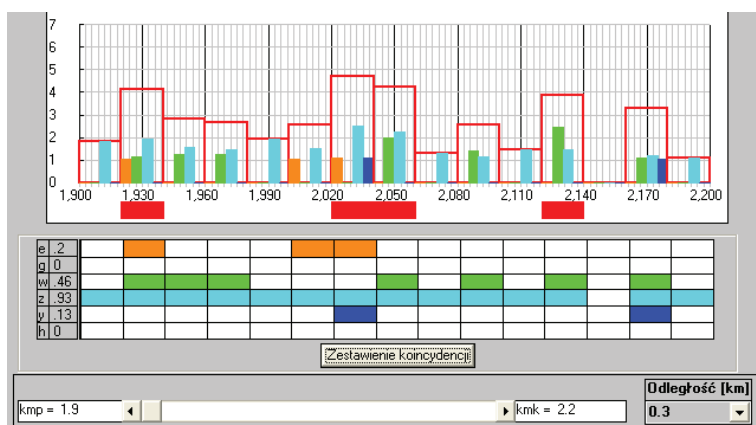
gdzie:

- $x_{i\max}$ – maksymalna wartość pomierzona (dodatnia lub ujemna),
- a_i – górna lub dolna odchyłka dopuszczalna zależna od znaku wartości pomierzonej.

Do wyznaczania klasy toru przyjmuje się największy wskaźnik Spm na danym hektometrze toru oraz największą wartość koincydencji ΣSpm . Wartości te są obliczane w systemie SOHRON na podstawie pomiarów wykonywanych toromierzami elektronicznymi (rys. 11 i 12). W obliczeniach pomija się gradient szerokości toru.



Rys. 11. Syntetyczny wskaźnik stanu toru J oraz wskaźniki Spm na długości 1 hektometra toru



Rys. 12. Koincydencja na długości 300 m toru

Wyznaczenie wskaźników Spm i ΣSpm na podstawie pomiarów wykonywanych drzyną pomiarową EM-120, przy jej obecnym oprogramowaniu, jest możliwe, lecz pracochłonne. Między innymi z tego powodu warto zmienić oprogramowanie drzyny EM-120, zastępując przestarzały system oparty na podziale usterek na klasy A, B i C nowymi parametrami w ujęciu hektometrowym.

Ocenę geometryczną uzupełnia w tej i w poprzedniej metodzie klasyfikacja stanu konstrukcji². Stan ten ocenia się w wyniku obserwacji i zapisów na każdym hektometrze. W wyniku uzyskuje się również 4 klasy toru. Jako ostateczną wybiera się klasę najniższą.

6. Zakończenie

W ocenie stanu nawierzchni kolejowej nie da się zastąpić wiedzy osób odpowiedzialnych za jej utrzymanie nawet najlepszymi metodami klasyfikacji lub rankingowania. Takie metody odpowiednio dobrane do celu jakimi mają służyć, mogą jednak w dużym stopniu zobiektywizować ocenę opartą jedynie na intuicji oraz doświadczeniu i z wielu szczegółowych pomiarów ułatwić wyprowadzenie obiektywnych uogólnień.

Mogą one również znaleźć zastosowanie w odbiorach robót [12]. Każdy odbiór robót modernizacyjnych powinien być scharakteryzowany, m.in. zestawieniem wskaźników J na poszczególnych hektometrach toru, a firmy ubiegające się o zlecenia, jako swoistą legitymację powinny pokazywać uzyskiwaną przez siebie jakość w postaci tych wskaźników. Przytoczony przykład badań portugalskich

² Obszerny opis tej klasyfikacji pominięto ze względu na objętość artykułu.

(rys. 1) jest dowodem, jakie wyniki przynosi bardzo dobra jakość robót. Płynące korzyści z uzyskiwania jakości robót modernizacyjnych, wyrażonej wskaźnikiem $J = 0,5 \pm 0,6$ mm można szacować w skali sieci PLK S.A. jako zmniejszenie rocznych napraw o kilkaset km toru.

Literatura

1. Andrade A.R., Terexieira P. F.: *A bi-objective optimization model for maintenance and renewal decision related to rail track geometry*, Instituto Superior Tecnica, MIT Portugal, January 2011.
2. Arosteh-khoug I. et al.: *Track geometry degradation in Swedish heavy haul railroad*. Lulea Teknisko Universitet.
3. Bałuch H.: *Zarządzanie jakością robót nawierzchniowych*, Problemy Kolejnictwa, zeszyt 130, 1999.
4. Bałuch H.: *Jakość robót nawierzchniowych i metody jej oceny*. Problemy Kolejnictwa, zeszyt 128, 1998.
5. Bałuch H.: *Metoda oceny zdolności eksploatacyjnej nawierzchni kolejowej*, Praca CNTK, nr 3072/11, Warszawa 2002.
6. Bałuch H.: *Wpływ jakości robót na trwałość nawierzchni kolejowej*, Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Technologie modernizacji i utrzymania linii kolejowych – 50 lat doświadczeń”, Wrocław 3-4 czerwca 2004.
7. Bałuch H.: *Rankingowa kwalifikacja torów do profilowania szyn*, Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP Oddział Kraków, nr 96 (158), 2011.
8. Bałuch H, Bałuch M: *Zwiększanie trwałości rozjazdów metodami eksploatacyjnymi*. Monografia CNTK, Warszawa 2010.
9. Bałuch H., Bałuch M.: *Metody określania niejednorodności nawierzchni kolejowej*. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP Oddział Kraków, nr 2 (101), 2013.
10. Bałuch H., Bałuch M., Nowosińska I.: *Ocena degradacji nawierzchni kolejowej i jej spodziewanej intensywności*, Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Kolejnictwie”, Zakopane, grudzień 2014.
11. Bałuch M.: *Estymacja nierówności toru kolejowego*, Archiwum Inżynierii Lądowej, nr 3-4, 1989.
12. Bałuch M.: *Propozycja oceny jakości robót o charakterze ciągłym*. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP Oddział Kraków, nr 82(136), 2007.
13. Bałuch M.: *Granice naprawialności rozjazdów kolejowych*, IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym” INFRASZYN, Zakopane 2011.

14. Berawi A.R.B. et al.: *Evaluating track geometrical quality through different methodologies*, Journal of Technology, 2010, 38–47.
15. Ferreira S.S., Murray M.: *Rail track maintenance planning: an assessment model*, Journal of the Transportation Research Board, Washington D.C., 2000.
16. Indraratna B., Nimbalkar S., Rujikiatkamjorn C.: *From theory to practice in track geomechanics – Australian perspective for synthetic inclusions*, Transportation Geotechnics, Elsevier, July 2014.
17. Jimenez N. et al.: *Report on the state of practices of railway infrastructure maintenance*. Seventh Framework Programme. Theme SST. 20.10.5.2.1. 2011.
18. Patra A.P., Kumar U., Larsson-Kralik P.O.: *Assessment and improvement of railway track safety*, 9th International Heavy Haul Conference, 2009.
19. *Performance Indicators Track Condition*, Australian Rail Track Corporation, 2014.
20. Prescott D., Andrews J.: *A track ballast maintenance and inspection model for a rail network*, Journal Risk and Reliability 2013, 227 (3), 251–266.
21. Veit P.: *Track quality – luxury or necessity* RTR Special ed. 2007.
22. Yosefikia M. et al.: *Modeling degradation of tracks for maintenance planning on a tram Line*. Journal of Traffic and Logistic Engineering, Vol. 2, No. 2, June 2014.
23. Zang Y.J., El Sibale M., Lee S.: *FRA track quality indices and distribution characteristics*, AREMA Annual Conference, 2004, Nashville TN.
24. Zarembski A.M.: *Comprehensive rail and track research*, Tie Association, 2012.

Synthetic Methods for the Evaluation of the Railway Track

Summary

In recent years the quality assessment of railway track have become an important tool in reducing live-cycle costs. Various methodologies for evaluating Total Quality Index (TQI) are used. Among many procedures for the calculation TQI a methods based on standard deviations of track irregularities are the most widely used ones. The paper presents 4 synthetic methods of estimates of railway track and their purposes. Simplest method relies on estimate of synthetic index of track quality based on standard deviations of vertical irregularities, horizontal irregularities, twist and gauge. In the second method traffic load as major parameter influencing track geometry condition is added. Next method includes, between other, estimate of rail durability and age of sleepers. Fourth method relies on research of outreaching of track tolerances. Three first methods concern for 1 km of track, the fourth one – for 1 hectometer.

Keywords: track quality, quality indicator, track classification

Синтетические методы оценки железнодорожного верхнего строения пути

Резюме

В последнее время оценки качества верхнего строения пути стали важным инструментом снижения затрат в жизненном цикле. Употребляются разные методы определения факторов качества. Среди многочисленных процедур определения тех факторов чаще всего употребляется метод основан на стандартном отклонении. В статье представлены четыре синтетических метода оценки железнодорожного верхнего строения пути и их цели. Самый простой метод заключается в синтетическом факторе состояния пути основанным на стандартных отклонениях горизонтальных и вертикальных неровностей пути, перекоса пути и ширины колеи.

К второму методу добавлена работа, выполняемая при перемещении подвижного состава, которая является важным параметром влияющим на геометрическое состояние верхнего строения пути. Следующий метод охватывает в частности оценку использования прочности рельсов и возраст шпал. Четвертый метод заключается в исследовании превышений допустимых отклонений. Первые три метода касаются 1 километра пути, четвертый метод – 1 гектометра.

Ключевые слова: качество верхнего строения пути, синтетический фактор состояния рельса, классификация рельсов