

Syntetyczny wskaźnik oceny wichrowatości toru

Michał MIGDAL¹

Streszczenie

W artykule scharakteryzowano ocenę wichrowatości toru za pomocą wskaźnika syntetycznego oraz przedstawiono wady i zalety wynikające z jego wdrożenia na sieci kolejowej zarządzanej przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Opis wskaźnika poprzedzono analizą aktualnych wymagań w zakresie oceny wichrowatości toru, będącej jednym z podstawowych czynników wpływających na kryterium bezpieczeństwa przed wykolejeniem.

Słowa kluczowe: wichrowatość, diagnostyka, jakość geometryczna toru, pojazdy pomiarowe

1. Wstęp

Jednym z warunków koniecznych, pozwalających dopuścić do eksploatacji nowy lub modernizowany pojazd kolejowy, jest zapewnienie bezpieczeństwa przed wykolejeniem. Kryterium to sprowadza się do określenia podczas badań homologacyjnych pojazdu, maksymalnego ilorazu siły prowadzącej Y oraz siły pionowej Q . Stosunek Y/Q nazywany jest współczynnikiem wykolejenia i określa się go zależnością (1), gdzie: γ – oznacza kąt pochylenia obrzeża do teoretycznej osi poziomej, a μ – współczynnik tarcia pomiędzy kołem i szyną [2].

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\operatorname{tg}\gamma - \mu}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg}\gamma} \Rightarrow \left(\frac{Y}{Q}\right)_{\substack{\gamma=70^\circ \\ \mu=0,36}} \leq 1,2 \quad (1)$$

Ponieważ podczas jazdy siły Q oraz Y ulegają ciągłym zmianom, istnieje ryzyko, że w pewnych sytuacjach współczynnik wykolejenia osiągnie wartość większą od dopuszczalnej. Na wzrost jego wartości wpływa wiele czynników określonych w tablicy 1, opracowanej na podstawie [1, 3, 5].

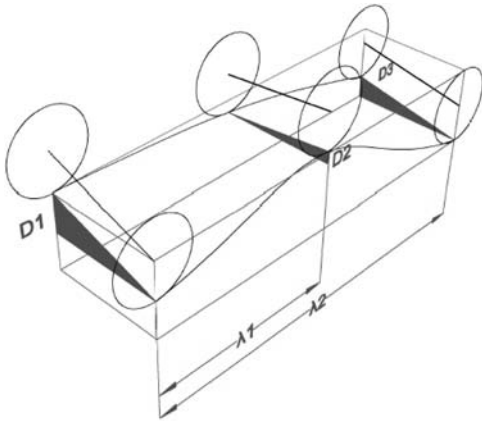
Wśród wymienionych czynników jest m.in. wichrowatość toru, stanowiąca jeden z podstawowych parametrów wykorzystywanych przy ocenie prawidłowego położenia toków szynowych. I właśnie wpływ wichrowatości na wartość stosunku Y/Q powoduje, że jej wartości graniczne ustala się z uwagi na kryterium bezpieczeństwa jazdy, co wyróżnia ją spośród pozostałych parametrów, dla których decydującym warunkiem jest spokojność jazdy [1].

Tablica 1
Czynniki wpływające na stosunek Y/Q

Odciążenie koła (ΔQ)	cechy pojazdu	<ul style="list-style-type: none"> całkowita sztywność skrętna pojazdu małe naciski kół (wagony próżne) mimośrodowość środka masy pojazdu
	cechy toru	<ul style="list-style-type: none"> wichrowatość toru nadmiar lub niedomiar przechyłki
Zwiększenie sił prowadzących (Y)	cechy pojazdu	<ul style="list-style-type: none"> rozstaw zestawów kołowych wózka (baza wózka) rozstaw zestawów kołowych wagonów dwuosioowych moment obrotowy wózka względem nadwozia sztywność wzdłużna oraz poprzeczna prowadzenia zestawu kołowego w usprężynowaniu pierwszego stopnia
	cechy toru	<ul style="list-style-type: none"> promień łuku poziomego nierówności toru suche szyny (niekorzystne warunki cierne) mała prędkość (wzrost współczynnika tarcia w warunkach quasistatycznych)

Wichrowatość toru W definiuje się jako stosunek różnicy przechyłek D , zmierzonych w dwóch przekrojach oddalonych od siebie o długość przyjętej bazy pomiarowej λ , do odległości między tymi przekrojami. Obliczona wartość wichrowatości toru jest zależna od wielkości zmierzonych przechyłek oraz od przyjętej bazy pomiarowej, co wynika bezpośrednio z jej definicji. Graficzną interpretację wichrowatości toru przedstawiono na rysunku 1.

¹ Mgr inż.; PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. – Biuro Dróg Kolejowych; e-mail: michal.migdal@plk-sa.pl.



Rys. 1. Graficzna interpretacja wichrowości toru [rys. autor]

2. Graniczna wichrowość toru kolejowego

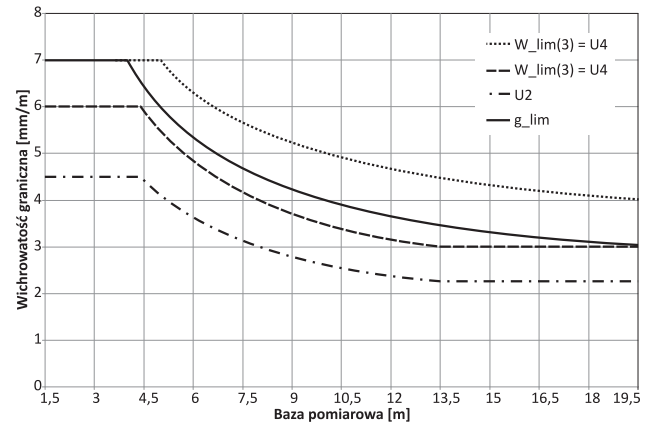
Zgodnie z technicznymi specyfikacjami interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” [10], zarządca infrastruktury zobowiązany jest, dla progu działań interwencyjnych (ang. *Immediate Action Limit*), określić odchyłki dopuszczalne wichrowości toru, mierzonej na bazie pomiarowej o dowolnej długości z zakresu $\lambda \in \langle 2; 5 \rangle$ m. Wartości dopuszczalne zawarto w normie [8], w której graniczną wartość wichrowości toru określono w funkcji długości bazy pomiarowej λ , zgodnie z (2) i (3). Wzory te obowiązują dla odcinków linii o prędkości mniejszej lub równej 200 km/godz., a wybór odpowiedniego z nich jest uzależniony od relacji zachodzących pomiędzy promieniem łuku poziomego R i wielkością występującej w nim przechyłki D .

$$W_{\text{lim}(2)} = \min\left(7; \frac{20}{B} + 3\right), \text{ jeżeli } D \leq \frac{R-100}{2} \quad (2)$$

$$W_{\text{lim}(3)} = \left(\frac{20}{B} + 1,5\right) \wedge W_{\text{lim}(3)} \in \langle 3,0; 6,0 \rangle$$

$$\text{jeżeli } \frac{R-100}{2} < D < \frac{R-50}{1,5} \quad (3)$$

Wartości dopuszczalne określone przez (2) i (3) maleją wraz ze wzrostem długości bazy pomiarowej, co przedstawiono na rysunku 2 oraz w tabelicy 2.



Rys. 2. Wartości graniczne wichrowości toru [rys. autor]

Ogólne wymagania dla pojazdów kolejowych dotyczące dopuszczalnej wichrowości toru ujęto w technicznych specyfikacjach interoperacyjności [6, 11]. Dokumentem uściślającym akty prawne jest norma [9], według której przed dopuszczeniem do ruchu pojazd kolejowy wymaga sprawdzenia w zakresie wichrowości wózka g^+ oraz wichrowości pojazdu g^* . Określono w niej wartości graniczne wichrowości pojazdu g_{lim}^* oraz wichrowości wózka g_{lim}^+ , które dla wózków o rozstawie skrajnych osi dochodzącym aż do 20 m (w praktyce wymiar ten rzadko przekracza 4 m), pokrywają się z wartościami granicznymi ustalonymi dla wichrowości pojazdu. Wartość graniczną wichrowości pojazdu przedstawiono na rysunku 2. Dodatkowo dla pojazdów, w których odległość pomiędzy czopami skrzytu lub w przypadku pojazdów bezwózkowych rozstaw osi, mieszczą się w zakresie $a \in \langle 20; 30 \rangle$ m, wartość graniczna wichrowości przyjmuje stałą wartość wynoszącą 3‰.

Wichrowość graniczna toru określona równaniem (2) dla bazy pomiarowej $\lambda \leq 4$ m, wynosi 7‰ i pokrywa się z wymaganiami jakie powinny spełnić pojazdy kolejowe. Dla bazy pomiarowej $\lambda \in \langle 4; 5 \rangle$ m,

Tabela 2

Graniczna wichrowość toru [‰]

B_i	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
λ_i [m]	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0	16,5	18,0	19,5
U2	4,50	4,50	4,43	3,60	3,15	2,78	2,55	2,40	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
U4	6,00	6,00	5,90	4,80	4,20	3,70	3,40	3,20	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
$W_{\text{lim}2}$	7,00	7,00	7,00	6,30	5,70	5,20	4,90	4,70	4,50	4,30	4,20	4,10	4,00

wartość graniczna wichrowatości dla pojazdów ulega zmniejszeniu w stosunku do wartości granicznej ustalonej równaniem (2). W zakresie $\lambda \in \langle 5; 20 \rangle$ m różnica pomiędzy wartościami granicznymi jest stała i wynosi 1%. Norma [8] nie rozpatruje wartości granicznych dla bazy pomiarowej większej od 20 m.

Wartości graniczne wichrowatości toru zaproponowane w [8] są dla bazy pomiarowej $\lambda > 4$ m większe od dopuszczalnej wichrowatości, dla której są przeprowadzane badania pojazdów kolejowych. Dlatego, w opinii autora, zasadne jest przyjęcie przez zarządcę infrastruktury wartości odchyłek dopuszczalnych wichrowatości toru, wynikających z równania (3). Z tym przemawia również fakt, że wymienione wartości graniczne można stosować bez względu na występujący układ geometryczny toru – równania (2) i (3).

Od pewnego czasu Polskie Linie Kolejowe S.A., największy zarządca infrastruktury kolejowej w Polsce, wprowadza wieloproęgowe podejście w ocenie nierówności toru [4] wyróżniając progi oceny przedstawione w tablicy 3. Uwzględniając wnioski płynące z [3], wartość graniczną wichrowatości toru opisaną równaniem (3) należałoby przypisać do progu U4. Ponieważ w standardowej diagnostyce nawierzchni nie można dopuścić do osiągnięcia tak dużych wartości, m.in. z uwagi na częstotliwość wykonywania pomiarów oraz czas potrzebny na usunięcie występujących usterek, zasadne jest wprowadzenie dodatkowego progu U2, który zapewniłby odpowiedni margines bezpieczeństwa. Wartości graniczne dla progu U2 ustalono jako 75% wartości granicznych progu U4, tego wyboru dokonano uwzględniając fakt [7], że nie wszystkie obecnie eksploatowane wagony spełniają wymagania przedstawione w [9].

3. Baza pomiarowa wichrowatości toru

Istotnym czynnikiem, mającym wpływ na ocenę wichrowatości toru jest wybór bazy pomiarowej, której długość teoretycznie powinna uwzględniać charakterystykę geometryczną pojazdów o największej sztywności skrętnej, poruszających się po sieci. Dodatkowo wybór bazy ograniczony jest przez wymagania normy [8]. W PLK S.A. przyjęto długość bazy pomiarowej wynoszącą $\lambda = 5$ m, co spełnia wymagania wymienionej normy. W pracy [4] przedstawiono bazy pomiarowe wykorzystywane do oceny wichrowatości toru przez kilkunastu zarządców infrastruktury, wyniki analizy przedstawiono w tablicy 4. Spośród 11 europejskich zarządców infrastruktury, wszyscy z wyjątkiem PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. oraz Jernbaneverket (Norwegia), stosują bazy pomiarowe mieszczące się w przedziale $\lambda \in \langle 2,50; 3,75 \rangle$ m, przy czym należy zaznaczyć, że norma [8] zaleca stosowanie bazy o długości $\lambda = 3,00$ m. Dodatkowo ośmiu z nich stosuje w ocenie co najmniej dwie długości bazy pomiarowej.

W celu określenia dla jakiej długości bazy pomiarowej występuje najmniejszy margines bezpieczeństwa, wykonano analizę wichrowatości toru na odcinku jednej z linii kolejowych o długości 2538 m. Do analizy wykorzystano pomiar przechyłki D wykonany drewnianą pomiarową, z krokiem pomiaru co 0,25 m. Na podstawie otrzymanych danych zgodnie ze wzorem (4) obliczono wartości wichrowatości toru dla 13 różnych baz pomiarowych o długości $\lambda_i \in \langle 1,0; 19,5 \rangle$ m oraz dodatkowo obliczono wichrowatość dla bazy równej 5 m.

Tablica 3

Progi oceny nierówności toru

Próg	Opis progu	Odniesienie do [8]
U1	Próg działań planowanych – po przekroczeniu progu U1 należy wykonać analizę stanu toru oraz w uzasadnionych przypadkach zaplanować środki na przeprowadzenie prac utrzymaniowych.	AL. (ang. <i>Alert Llimit</i>)
U2	Próg działań prewencyjnych – usterki przekraczające próg U2 zaleca się usunąć do czasu kolejnego pomiaru oraz przed osiągnięciem progu U3. Ostateczny termin usunięcia usterki wyznacza inspektor diagnosta i zależy jest on od wielkości przekroczenia odchyłek dopuszczalnych oraz stopnia rozwoju usterki.	IL (ang. <i>Interventional Limit</i>)
U3	Próg działań interwencyjnych – po przekroczeniu progu U3 należy usunąć usterki w najkrótszym możliwym terminie.	IAL-1 (ang. <i>Immediate Action Limit</i>)
U4	Wartość graniczna – przekroczenie progu U4 powinno skutkować wstrzymaniem ruchu do czasu usunięcia usterki.	IAL-2 (ang. <i>Immediate Action Limit</i>)

Tablica 4

Bazy pomiarowe wykorzystywane do oceny wichrowatości toru

Długość bazy pomiarowej [m]	Zarządca Infrastruktury												Suma
	PN-EN 13848	ADIF (Hiszpania)	DB Netz AG (Niemcy)	Jernbanverket (Norwegia)	MAV (Węgry)	NR (Wielka Brytania)	PLK (Polska)	REFER (Portugalia)	RFI (Włochy)	SZDC (Czechy)	Trafikverket (Szwecja)	ZSR (Słowacja)	
1,50			X							X			2
2,00				X									1
2,50					X								1
3,00	X	X	X			X		X		X	X	X	8
3,75									X				1
4,50			X							X			2
5,00		X					X						2
6,00			X		X					X	X	X	5
7,50			X							X			2
8,00					X								1
9,00		X	X	X					X	X			5
10,50			X							X			2
12,00			X							X		X	3
13,50			X							X			2
15,00			X							X			2
16,50			X							X			2
18,00			X							X			2
19,50			X							X			2
Suma	1	3	13	2	3	1	1	1	2	13	2	3	

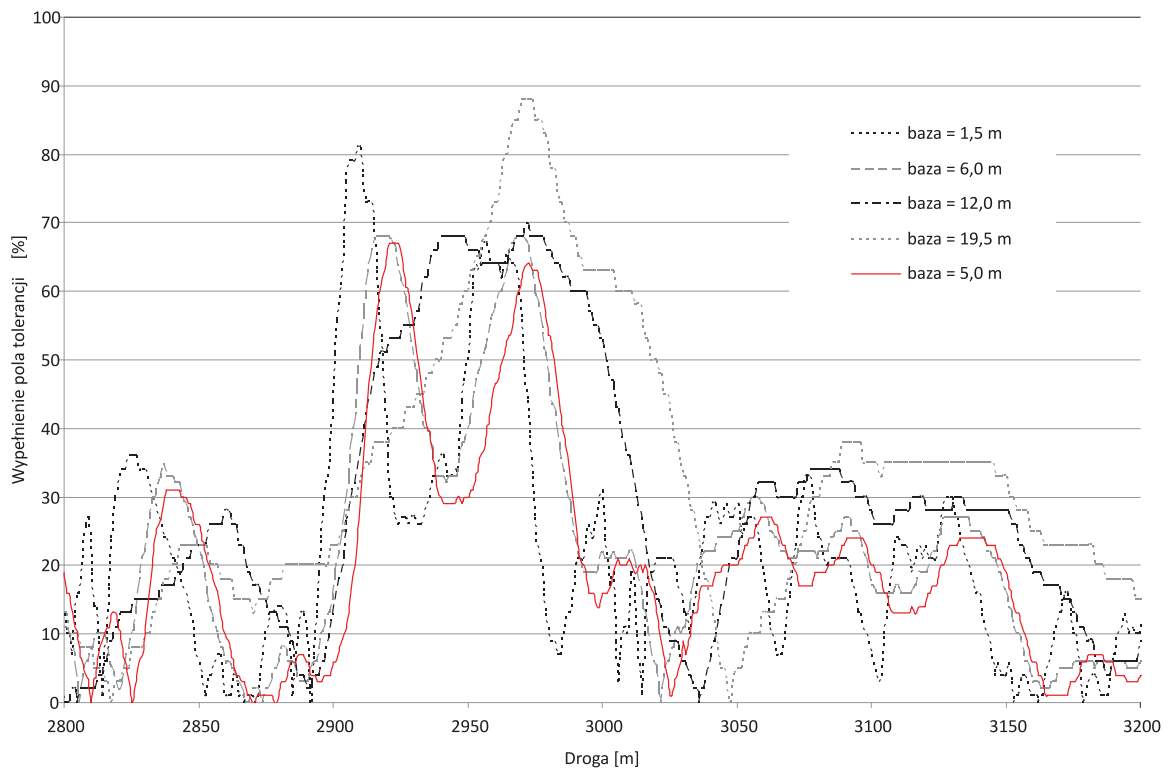
$$W_{ik} = \left| \frac{D_{k+0,5\lambda_i} - D_{k-0,5\lambda_i}}{\lambda_i} \right| \quad (4)$$

gdzie: W_{ik} – wartość wichrowatości w punkcie k dla i -tej bazy pomiarowej.

Następnie, w celu wzajemnego porównania wartości W_{ik} , określono stosunek wartości obliczonej wichrowatości do wartości granicznej zdefiniowanej zgodnie ze wzorem (2), który w dalszej części artykułu będzie nazywany jako wypełnienie pola tolerancji. Na podstawie otrzymanych wyników należy stwierdzić, że tylko w 13% przypadków maksymalna wartość wichrowatości wystąpiła dla bazy równej 5 m,

natomiast w pozostałych przypadkach odnosiła się do innej bazy pomiarowej. Rezultat taki nie jest zaskoczeniem, biorąc pod uwagę losowy charakter występowania nierówności toru. Przykładowy fragment analizy przedstawiono na rysunku 3.

Dodatkowo należy zauważyć, że korzystając na potrzeby diagnostyki tylko z jednej długości bazy, teoretycznie przy występowaniu okresowych nierówności toru o długości będącej wielokrotnością przyjętej bazy pomiarowej, wichrowatość toru może nie zostać wykryta. Ponieważ długość bazy pomiarowej wpływa na obliczone wartości wichrowatości toru oraz z uwagi na fakt, że wraz z jej wydłużeniem ulegają zmniejszeniu wartości dopuszczalne, zdaniem autora, zasadne jest uwzględnić w diagnostyce



Rys. 3. Wypełnienie pola tolerancji wichrowatości toru dla różnych baz pomiarowych [rys. autor]

ocenę wichrowatości obliczanych dla baz pomiarowych o różnej długości.

Ocena wichrowatości toru dla kilku, bądź kilkunastu baz pomiarowych wiązałaby się z trudnościami, do których przede wszystkim należy zaliczyć:

- znaczny wzrost czasu potrzebnego na analizę pomiaru,
- brak miejsca na dodatkowe wykresy na taśmach pomiarowych, co wynika z przyjętego systemu dystrybucji pomiarów w formie papierowej.

4. Syntetyczny wskaźnik wichrowatości toru

Syntetyczny wskaźnik wichrowatości toru W^S pozwala uniknąć trudności opisanych w punkcie 3, ponieważ umożliwia ocenę odchyłek wichrowatości toru, mierzonych na wielu bazach pomiarowych w sposób skompensowany, tj. za pomocą jednego wykresu. W dalszej części wskaźnik W^S będzie przedstawiony na przykładzie liczbowym.

Obecnie eksploatowane na sieci kolejowej pojazdy pomiarowe wykonują pomiar przechyłki z krokiem $k = 0,25$ m. Tak duży zbiór pomiarów pozwala obliczyć wichrowatość dla dowolnej bazy pomiarowej, będącej wielokrotnością kroku pomiarowego. Dodatkowo, mając na uwadze zaawansowanie technologii komputerowych, nie występują żadne ograniczenia natury technicznej.

Uwzględniając rozważania przedstawione w punktach 2 i 3 założono, że syntetyczny wskaźnik wichrowatości toru W^S będzie obliczany dla 13 różnych baz pomiarowych B_i . Wartości graniczne wichrowatości przyjęto zgodnie z programami oceny U2 i U4, przedstawionymi w tabelicy 1. Obliczone wartości wichrowatości toru W_i dla wszystkich 13 baz pomiarowych przedstawiono w tabelicy 5.

W celu umożliwienia wzajemnego porównania wartości dla różnych baz pomiarowych oraz dalszych analiz, wykonano normalizację danych, zgodnie ze wzorem (5).

$$W_i^N = W_i \frac{U2_{B1}}{U2_{Bi}} \quad (5)$$

gdzie:

- W_i – wichrowatość toru obliczona dla bazy B_i o długości λ_p ,
- $U2_{B1}$ – wartość graniczna wichrowatości dla progu U2 i bazy pomiarowej B1,
- $U2_{Bi}$ – wartość graniczna wichrowatości dla progu U2 i bazy pomiarowej B_i .

Przekształcenie opisane równaniem (5) pozwoliło wszystkie wielkości przedstawione w tabelicy 5 przyrównać do jednego poziomu odniesienia przyjętego jako wartość graniczną U2 wichrowatości toru obliczanej na bazie pomiarowej o długości $\lambda_1 = 1,5$ m. Wartości po normalizacji przedstawiono w tabelicy 6.

Tablica 5

Wichrowatość toru (W_i) [%o]

B_i	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	
λ_i [m]	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0	16,5	18,0	19,5	
Droga [m]	25,00	2,3	2,3	2,3	2,3	2	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,6	1,5
	25,25	2,1	2,2	2,3	2,2	2,1	1,8	1,6	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,5
	25,50	1,9	2,1	2,2	2,2	2,1	1,8	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5
	25,75	1,5	2	2,1	2,1	2,1	1,8	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5
	26,00	1,3	1,8	2	2,1	2	1,8	1,6	1,4	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5
	26,25	1	1,7	1,9	2	2	1,8	1,6	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5
	26,50	0,7	1,5	1,8	1,9	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5
	26,75	0,4	1,3	1,6	1,8	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5
	27,00	0,1	1	1,4	1,7	1,8	1,8	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4
	27,25	0	0,8	1,3	1,6	1,7	1,7	1,5	1,4	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4
	27,50	0,1	0,6	1,2	1,5	1,6	1,7	1,5	1,4	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4
	27,75	0,3	0,4	1	1,4	1,5	1,6	1,5	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3
	28,00	0,3	0,2	0,9	1,2	1,4	1,6	1,5	1,4	1,2	1,1	1,2	1,2	1,3

Tablica 6

Wichrowatość toru po normalizacji (W_i^N) [%o]

B_i	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	
λ_i [m]	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0	16,5	18,0	19,5	
Droga [m]	25,00	2,3	2,3	2,34	2,88	2,86	2,75	2,65	2,63	2,8	2,8	3	3,2	3
	25,25	2,1	2,2	2,34	2,75	3	2,91	2,82	2,63	2,8	3	3	3,2	3
	25,50	1,9	2,1	2,23	2,75	3	2,91	2,82	2,63	2,8	2,8	2,8	3	3
	25,75	1,5	2	2,13	2,63	3	2,91	2,82	2,63	2,8	2,8	2,8	3	3
	26,00	1,3	1,8	2,03	2,63	2,86	2,91	2,82	2,63	2,6	2,8	2,8	3	3
	26,25	1	1,7	1,93	2,5	2,86	2,91	2,82	2,63	2,6	2,8	2,8	2,8	3
	26,50	0,7	1,5	1,83	2,38	2,71	2,91	2,82	2,63	2,6	2,6	2,8	2,8	3
	26,75	0,4	1,3	1,63	2,25	2,71	2,91	2,82	2,63	2,6	2,6	2,8	2,8	3
	27,00	0,1	1	1,42	2,13	2,57	2,91	2,65	2,63	2,6	2,6	2,6	2,6	2,8
	27,25	0	0,8	1,32	2	2,43	2,75	2,65	2,63	2,4	2,4	2,6	2,6	2,8
	27,50	0,1	0,6	1,22	1,88	2,29	2,75	2,65	2,63	2,4	2,4	2,6	2,6	2,8
	27,75	0,3	0,4	1,02	1,75	2,14	2,59	2,65	2,63	2,4	2,4	2,4	2,6	2,6
	28,00	0,3	0,2	0,91	1,5	2	2,59	2,65	2,63	2,4	2,2	2,4	2,4	2,6

W następnym kroku, w każdym wierszu należy wskazać długość bazy pomiarowej λ_i , dla której wartość wichrowatości toru po normalizacji przyjmuje wartość maksymalną, co można zapisać zależnością (6).

$$\max(W_i^N) \Rightarrow B_i \quad (6)$$

Wartości maksymalne oraz odpowiadające im bazy pomiarowe wskazano w kolumnach 2 i 3 tablicy 7.

Tablica 7

Droga [m]	$\max(W_i^N)$ [%o]	B_i [m]	W'_i	$U4_{Bi}$ [%o]	W^s [%]
25,00	3,2	18	1,64	3	55
25,25	3,2	18	1,64	3	55
25,50	3	18	1,53	3	51
25,75	3	18	1,53	3	51
26,00	3	18	1,53	3	51
26,25	3	19,5	1,53	3	51
26,50	3	19,5	1,53	3	51
26,75	3	19,5	1,53	3	51
27,00	2,91	9	1,81	3,7	49
27,25	2,8	19,5	1,43	3	48
27,50	2,8	19,5	1,43	3	48
27,75	2,65	10,5	1,53	3,4	45
28,00	2,65	10,5	1,53	3,4	45

W kolejnym etapie dla wskazanych wartości wichrowatości należy przeprowadzić operację odwrotną do normalizacji, według zależności (7). Wyniki działania (7) przedstawiono w kolumnie 4 tablicy 7.

$$W'_i \max(W_i^N) \frac{U2_{Bi}}{U2_{B1}} \quad (7)$$

Ostatecznie wartość syntetycznego wskaźnika wichrowatości toru W^s , wyrażona w procentach, jako stosunek wartości W'_i do wartości granicznej $U4$, przedstawiono w kolumnie 5 tablicy 7, co można zapisać wzorem (8).

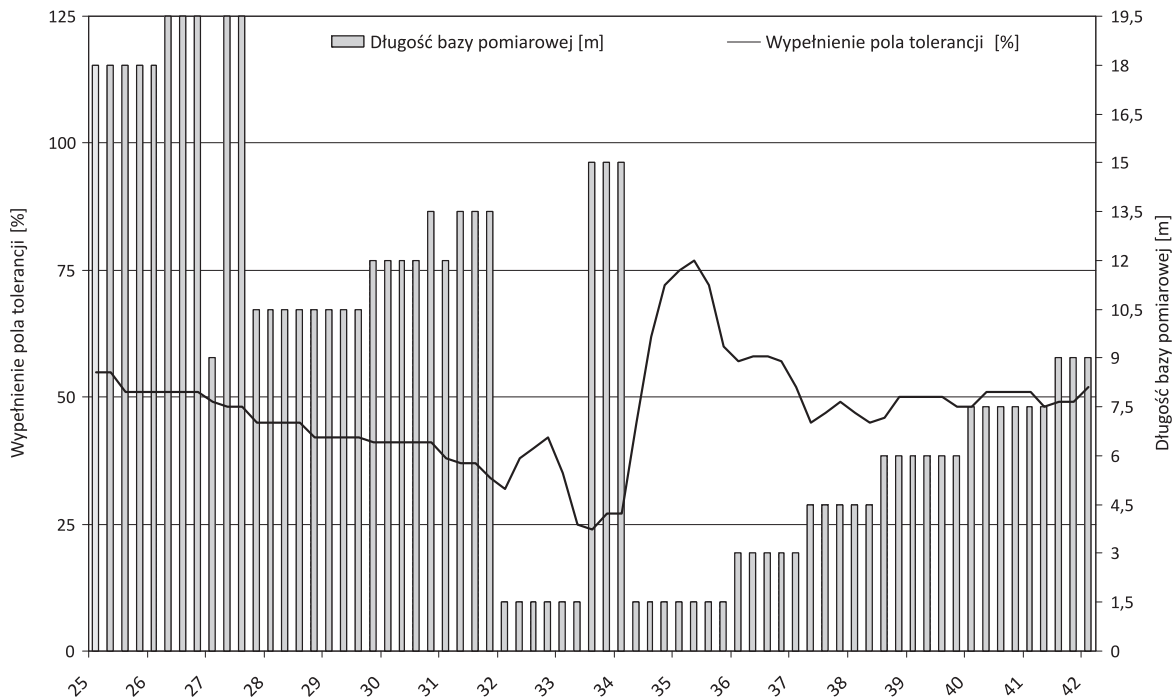
$$W^s = \frac{W'_i}{U4_{Bi}} 100\% \quad (8)$$

gdzie: $U4_{Bi}$ – wartość graniczna wichrowatości dla progu $U4$ i bazy pomiarowej B_i .

Obliczone wartości wskaźnika W^s przedstawiono w kolumnie 6 tablicy 7. Bezpośrednio z równania (8) wynika, że w przypadku, kiedy wartość wichrowatości toru, dla dowolnej bazy pomiarowej, osiągnie wartość graniczną progu $U4$, wówczas wypełnienie pola tolerancji równe jest 100%. Analogicznie przy przekroczeniu progu $U2$, wypełnienie pola tolerancji przyjmie wartość większą od 75%.

Do analiz diagnostycznych, syntetyczny wskaźnik oceny wichrowatości toru, jest najwygodniej przedstawić w formie wykresu, rysunek 4. Na wykresie wskaźnika, dodatkowo umieszczono informację o długości bazy pomiarowej λ_p , dla której wystąpiła największa wartość odchyłki wichrowatości w stosunku do wartości granicznej.

Zarządcy infrastruktury w Niemczech (DB Netz AG) oraz Czechach (SZDC) dokonują oceny wichrowatości toru dla 13 różnych baz pomiarowych, tablica 4. Należy założyć, że stosując oceny podobne do syntetycznego wskaźnika oceny wichrowatości toru.



Rys. 4. Graficzne przedstawienie syntetycznego wskaźnika wichrowatości toru [rys. autor]

7. Podsumowanie

Ocena wchrowatości toru tylko dla jednej bazy pomiarowej wymusza zastosowanie bardzo restrykcyjnych wartości granicznych, za jakie niewątpliwie należy uznać odchyłki obowiązujące w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., w szczególności dla prędkości jazdy większej od 100 km/h [13]. Takie podejście powoduje znaczne zwiększenie nakładów na utrzymanie infrastruktury, co pośrednio przyczynia się do obniżenia konkurencyjności kolei w stosunku do innych gałęzi transportu, w szczególności transportu samochodowego. Wprowadzenie do stosowania syntetycznego wskaźnika oceny wchrowatości toru, obliczanego dla baz pomiarowych z zakresu $\lambda \in \langle 1,5; 19,5 \rangle$ m, pozwoliłoby na ocenę wchrowatości uwzględniającą najczęściej występujące rozstawy wózków oraz rozstawy czopów skretu pojazdów kolejowych [12]. Zdaniem autora, tak szerokie spektrum oceny pozwala zwiększyć wartości odchyłek dopuszczalnych wchrowatości toru stosowanych w diagnostyce nawierzchni, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiego poziomu bezpieczeństwa.

Syntetyczny wskaźnik wchrowatości toru jest łatwy do oceny, przede wszystkim ze względu na konieczność analizy tylko jednego wykresu oraz zastosowanie stałych wartości granicznych, wyrażonych w procentach. Natomiast od wad tego rozwiązania należy zaliczyć konieczność przystosowania oprogramowania drezyn pomiarowych oraz toromierzy samorejestrujących do analizy nowego parametru oraz brak możliwości implementacji wskaźnika w urządzeniach ręcznych. Obecnie spółka PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. prowadzi szeroki program doposażenia oraz modernizacji posiadanej floty pojazdów pomiarowych, a więc jest to najlepszy moment na wprowadzenie takich zmian.

Literatura

1. Bałuch H.: *Diagnostyka nawierzchni kolejowej*, WKiŁ, Warszawa 1978.
2. Kalinowski D.: *Aktualny stan wiedzy dotyczący zagadnienia bezpieczeństwa przed wykolejeniem*, Pojazdy Szynowe Nr 4/2013.
3. Kędra Z.: *Graniczna wchrowatość toru kolejowego*, Przegląd Komunikacyjny Nr 9/2015.
4. Migdal M.: *Wdrożenie normy PN-EN 13848 w przepisach utrzymania – Etap I*, Warszawa 2015 (Niepublikowane materiały PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.).
5. Sobaś M.: *Stan i doskonalenie kryteriów bezpieczeństwa przed wykolejeniem pojazdów szynowych (1)*, Pojazdy Szynowe Nr 4/2005.
6. Decyzja komisji z dnia 28 lipca 2006 r. dotycząca technicznej specyfikacji dla interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „tabor kolejowy – wagony towarowe” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnej (2006/861/WE).
7. ORE B55 DT78: *Investigations using probability theory for two-axled goods wagons, as the basis for safety against derailment in track twist*, Utrecht 1981.
8. PN-EN 13848-5+A1:2010: Kolejnictwo – Tor – Jakość geometryczna toru – Część 5: Poziomy jakości geometrycznej – Szlak.
9. PN-EN 14363:2007: Kolejnictwo – Badania właściwości dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu – Badania właściwości biegowych i próby stacjonarne.
10. Rozporządzenie komisji (UE) Nr 1299/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. dotyczące technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” systemu kolei w Unii Europejskiej.
11. Rozporządzenie komisji (UE) Nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej.
12. UIC 530-2 Wagony towarowe – bezpieczeństwo jazdy.
13. Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D-1), PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.

Synthetic Track Twist Index

Summary

The article outlines the assessment of track twist by using the synthetic track twist index and possible pros and cons its applications by infrastructure manager. Description of index was preceded by analysis current requirements for the track twist evaluation, which is one of the most important factors affecting the safety against derailment.

Keywords: twist, diagnostics of the track, track geometry quality, measurement vehicles

Синтетический показатель оценки перекоса пути

Резюме

В статье охарактеризована оценка перекоса пути при помощи синтетического показателя и представлены преимущества и недостатки его внедрения на железнодорожной сети управляемой РКР Polskie Linie Kolejowe S.A. Описанию показателя предшествует анализ текущих требований в области оценки перекоса пути, являющейся одним из основных факторов влияющих на критерий защиты от схода с рельсов.

Ключевые слова: перекос пути, диагностика, геометрическое качество пути, измерительный поезд