

# Graniczna wichrowatość toru kolejowego

Zbigniew Kędra



dr inż. Kędra Zbigniew

Politechnika Gdańska  
Katedra Transportu Szynowego  
i Mostów

kedra@pg.gda.pl

Jednym z istotnych problemów w procesie utrzymania torów kolejowych (szczególnie przy ograniczonych środkach finansowych) jest zapewnienie bezpieczeństwa przed wykojeniem pojazdów szynowych poruszających się po torze z dużymi nierównościami. Na bezpieczeństwo to wpływa wiele czynników, które są związane z torem, pojazdem i warunkami środowiskowymi.

Czynniki mające wpływ na bezpieczeństwo przed wykojeniem, które są związane bezpośrednio z torem, to między innymi: wichrowatość toru, nadmiar lub niedobór przechyłki, mały promień łuku poziomego, duże nierówności poziome, duży współczynnik tarcia [2,7]. Natomiast czynniki związane bezpośrednio z pojazdem to: sztywność skrętna pudła pojazdu i wózka, tarcie podczas wichrowania, mimośrodowość środka masy pojazdu w płaszczyźnie poziomej, rozstaw osi wózka i pojazdu, moment obrotowy wózka względem nadwozia, sztywność wzdłużna i poprzeczna prowadzenia zestawu kołowego w usprężynowaniu pierwszego stopnia [3,7,11].

Uwzględniając powyższe czynniki w raporcie ORE B55 Rp8 [3,11] przedstawiono przypadki, które zwiększają prawdopodobieństwo wykojenia pojazdu:

- przejazd przez łuki o bardzo małych promieniach (większa siła prowadząca),
- małe naciski kół podczas jazdy (wagony w stanie próżnym lub częściowo załadowane),

- duża sztywność skrętna pojazdu (sprzyja odciążeniu kół podczas jazdy po torze z dużą wichrowatością),
- mała prędkość jazdy (większe wartości sił  $Q$  i  $Y$  w warunkach quasistatycznych),
- suche szyny (większy współczynnik tarcia i mniejszy współczynnik bezpieczeństwa  $Y/Q$ ).

Szczególnie niebezpieczna jest koincydencja tych czynników, do której dochodzi podczas jazdy z małą prędkością po łukach o małych promieniach oraz dużą wartością przechyłki i wichrowatości, a konstrukcja pojazdu charakteryzuje się dużą sztywnością skrętną. Przy czym czynnikami zwiększającymi prawdopodobieństwo wykojenia będą: duży współczynnik tarcia i mała masa pojazdów szynowych.

## Definicja i analiza wichrowatości

Wichrowatość toru zdefiniowana jest jako algebraiczna różnica między dwiema przechyłkami pomierzonymi w określonej odległości od siebie. Wichrowatość powinna być obliczona z pomierzonych jednocześnie przechyłek w stałej wzajemnej odległości (np. równej rozstawowi zestawów kołowych) lub z wykonanych kolejno po sobie pomiarów przechyłki [5].

Pojedyncze wady (Rys. 1) określane są przez amplitudę od wartości zerowej do wartości szczytowej ( $w_1$ ) lub przez amplitudę od wartości średniej do wartości szczytowej ( $w_2$ ). W praktyce najczęściej jest to wartość obliczona wichrowatości toru na określonej długości bazy pomiarowej. Przy czym do obliczenia odchylenia standardowego (zwykle na 200 m) wykorzystuje się wartości wyrażone jako amplitudy od dolnego pasma filtrowania do wartości szczytowej.

Zgodnie z technicznymi specyfikacjami interoperacyjności [8,9,10] każdy pojazd

kolejowy jest skonstruowany w sposób zapewniający bezpieczną jazdę po torze z określoną wichrowatością. Wartość graniczna uwzględnia zarówno wichrowatość projektowaną, która występuje na rampie przechyłkowej oraz wichrowatość wynikającą z jakości utrzymania toru kolejowego. Na europejskiej sieci kolejowej graniczna wichrowatość toru (z pewnymi ograniczeniami) wynosi [6,7]:

$$g_{lim} = \min\left(7,0; \frac{20}{2a} + 3\right) [\text{‰}]$$

gdzie:

$2a$  – długość bazy pomiarowej ( $1,8 \text{ m} \leq 2a \leq 19,8 \text{ m}$ ).

Na rysunku 2 przedstawiono wykres granicznej wichrowatości toru w funkcji bazy pomiarowej  $l$ , w zakresie długości  $1,3 \text{ m} \leq l \leq 20 \text{ m}$  i przy maksymalnej wartości  $w = 7 \text{ mm/m}$  (‰). Obliczona wichrowatość toru musi obejmować przynajmniej bazę pomiarową mieszczącą się w zakresie od 2 do 5 m (w Polsce stosuje się bazę pomiarową 5 m i wartość graniczną wichrowatości 35 mm, tj. 7 ‰).

## Wymagania w stosunku do pojazdu szynowego

Każdy pojazd szynowy przed dopuszczeniem do ruchu musi spełnić określone w przepisach [7,9,10] wymagania, a w szczególności umożliwiać bezpieczną jazdę po torze z dopuszczalną wichrowatością. Podczas badań pojazdu szynowego przed jego dopuszczeniem do ruchu sprawdza się, czy spełnia on wymagania w zakresie [7]:

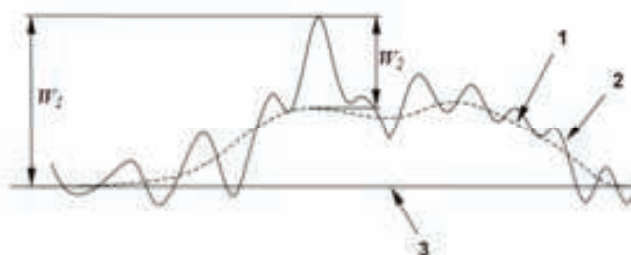
- wichrowatości wózka [‰]:

$$g_{lim}^+ = 7 \quad \text{jeżeli } 2a^+ \leq 4 \text{ m}$$

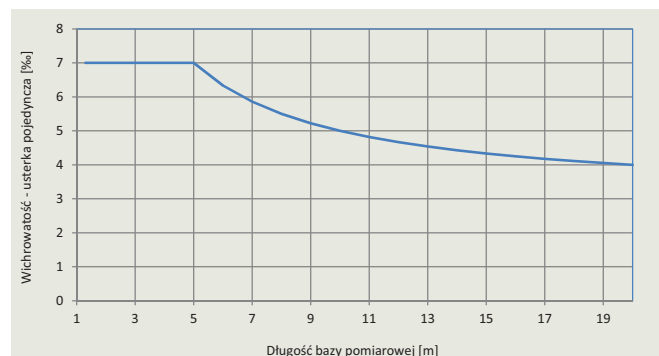
$$g_{lim}^+ = \frac{20}{2a^+} + 2 \quad \text{jeżeli } 2a^+ > 4 \text{ m}$$

gdzie:

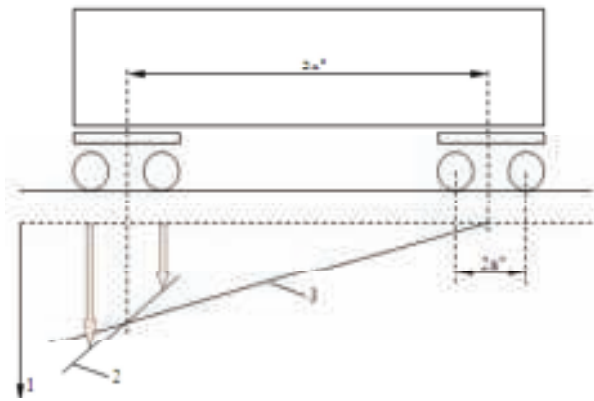
$2a^+$  – rozstaw skrajnych osi w wózku [m]



1. Metoda analizy wichrowatości toru [5]: 1 – wartość filtrowana filtrem dolnoprzepustowym (np. średnia ruchoma na długości 40 m); 2 – pomierzona lub obliczona wichrowatość; 3 – wartość zerowa



2. Graniczna wichrowatość toru w funkcji długości bazy pomiarowej



3. Kombinacja badanej wichrowatości wózka i nadwozia pojazdu [7]:  
1 – przemieszczenie pionowe; 2 – wichrowatość wózka; 3 – wichrowatość nadwozia pojazdu

- wichrowatości pojazdu [‰];

$$g_{lim}^* = 7 \quad \text{jeżeli } 2a^* \leq 4 \text{ m}$$

$$g_{lim}^* = \frac{20}{2a^*} + 2 \quad \text{jeżeli } 4 < 2a^* \leq 20 \text{ m}$$

gdzie:

$2a^*$  - odległość między czopami skreću lub rozstaw osi dla pojazdów bezwózkowych.

Należy zauważyć, że dla pojazdów dwuosiowych o rozstawie osi równym 5 m badania przeprowadza się na stanowisku przy wichrowatości 6 ‰, a zatem graniczna wichrowatość toru przy bazie pomiarowej 5 m powinna być również ograniczona do 6 ‰. Ograniczenie takie zapisane było wcześniej w „Przepisach technicznych utrzymania i eksploatacji nawierzchni na liniach kolejowych normalnotorowych użytku publicznego – D1” [13], gdzie graniczna wichrowatość toru wynosiła 6 ‰.

Podczas badań pojazdów wózkowych wichrowatość na bazie kół w wózku i rozstawu czopów skreću łączy się w sposób pokazany na rysunku 3.

W rzeczywistości uniesienie koła do 5 mm jest dozwolone, a w następstwie efektywna wichrowatość pojazdu jest zredukowana i na stanowisku badawczym do wichrowania przyjmuje się następujące wartości:

- w przypadku badania wichrowania wózka:

$$g_{lim}^+ = 7 - \frac{5}{2a^+} \quad \text{jeżeli } 2a^+ < 4 \text{ m}$$

$$g_{lim}^+ = \frac{15}{2a^+} + 2 \quad \text{jeżeli } 2a^+ \geq 4 \text{ m}$$

- w przypadku badania wichrowatości nadwozia pojazdu:

$$g_{lim}^+ = 7 - \frac{5}{2a^+} \quad \text{jeżeli } 2a^+ < 4 \text{ m}$$

$$g_{lim}^+ = \frac{15}{2a^+} + 2 \quad \text{jeżeli } 4 \text{ m} \leq 2a^+ \leq 20 \text{ m}$$

## Wymagania w stosunku do toru

Zgodnie z techniczną specyfikacją interoperacyjności podsystemu infrastruktura [8] na nowych liniach o ruchu mieszanym i towarowym – jeżeli wartość poziomego promienia łuku  $R$  jest mniejsza niż 305 m a pochylenie rampy przechyłkowej większe od 1 mm/m – wartość przechyłki  $h$  należy ograniczyć do wartości określonej wzorem:

$$h \leq \frac{R - 50}{1,5}$$

a graniczna wichrowatość toru jest funkcją bazy pomiarowej i określona jest w normie PN-EN 13848-5 [6]. Baza pomiarowa musi obejmować przynajmniej jedną długość mieszczącą się w zakresie 2÷5 m, którą ustala zarządca infrastruktury i zapisuje w planie utrzymania.

W poprzedniej wersji TSI dla podsystemu infrastruktura [1] był natomiast zapis: jeżeli promień łuku poziomego jest mniejszy od 420 m i przechyłka  $h > (R-100)/2$ , to wichrowatość graniczną toru ogranicza się do wartości:

$$g_{lim} = \frac{20}{l} + 1,5 \text{ [‰]}$$

Przy czym graniczna wichrowatość toru zależy od długości bazy pomiarowej  $l$  i mieści się w przedziale:

$$3 \text{ ‰} \leq g_{lim} \leq 6 \text{ ‰}$$

W normie PN-EN 13848-5 [6] podane wartości granicznej wichrowatości toru uzależnione są od długości bazy pomiarowej  $l$  oraz wartości zaprojektowanej przechyłki  $h$  przy małych promieniach łuku  $R$  (Rys. 4):

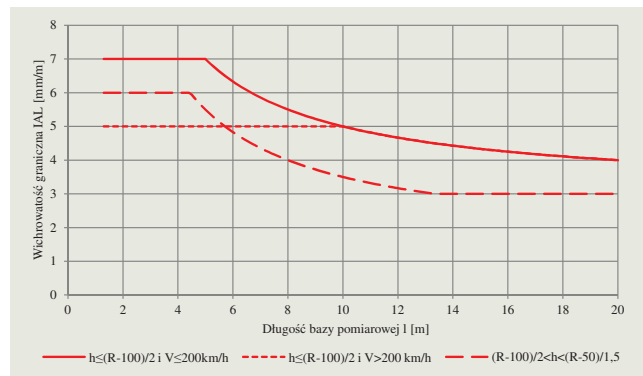
$$g_{lim} = \frac{20}{l} + 3 \quad \text{jeżeli } h \leq \frac{R - 100}{2}$$

Przy czym maksymalna wartość nie może przekraczać:

7 ‰ – projektowana prędkość maksymalna  $V \leq 200$  km/h,

Tab. 1. Dopuszczalne wartości wichrowatości [6]

Prędkość [km/h]	Maksymalne odchylenie od wartości zerowej [‰]		
	Granica czujności AL	Granica działań planowanych IL	Granica działań bezpośrednich IAL
$V \leq 80$	4	5	7
$80 < V \leq 120$	4	5	7
$120 < V \leq 160$	4	5	7
$160 < V \leq 200$	4	5	7
$200 < V \leq 300$	3	4	5



4. Graniczna wichrowatości dla pojedynczych usterek wartości pomierzonych

5 ‰ – projektowana prędkość maksymalna  $V > 200$  km/h.

$$g_{lim} = \frac{20}{l} + 1,5 \quad \text{jeżeli } \frac{R - 100}{2} < h < \frac{R - 50}{1,5}$$

Przy wartości maksymalnej równej 6 ‰ i minimalnej 3 ‰.

W praktyce na większości linii kolejowych w Europie wichrowatość mierzona jest na bazie o długości 3 m. Dlatego też w normie PN-EN 13848-5 [6] wartości dla granicy AL i IL podane zostały tylko dla bazy równej 3 m (Tabela 1).

Jeżeli do oceny wichrowatości toru zarządca infrastruktury przyjął inną długość bazy pomiarowej, to wówczas należy obliczyć graniczną wichrowatość  $g_{lim}$ . Wartości dla pozostałych granic (AL i IL) i przyjętej długości bazy można obliczyć stosując następujące zależności:

$$g_{AL} = 0,6 \cdot g_{lim}$$

$$g_{IL} = 0,7 \cdot g_{lim}$$

W celu uwzględnienia dużego pochylenia ramp przechyłkowych wartości  $g_{AL}$  i  $g_{IL}$  mogą być zwiększone, ale nie mogą przekraczać wartości granicznej  $g_{lim}$ .

Jeżeli chcemy obliczyć wartości graniczne (IAL, IL i AL) wichrowatości toru dla długości bazy pomiarowej  $l = 15$  m przy założeniu, że spełniony jest warunek  $h \leq (R - 100)/2$  to wówczas otrzymamy:

$$g_{IAL} = \frac{20}{l} + 3 = \frac{20}{15} + 3 = 4,33 \rightarrow \text{przyjęto } g_{IAL} = 4,3 \text{ ‰}$$

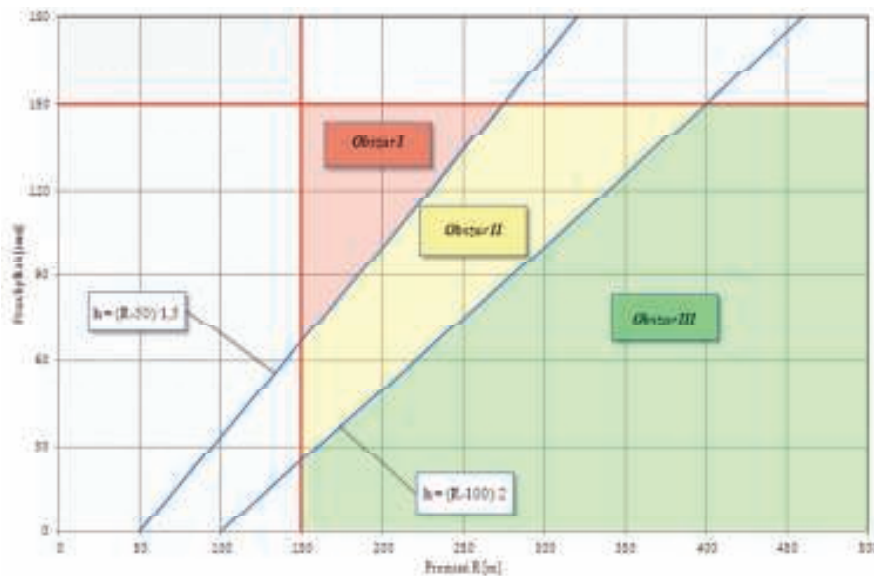
$$g_{IL} = 0,7 \cdot g_{lim} = 0,7 \cdot 4,33 = 3,03 \rightarrow \text{przyjęto } g_{IL} = 3,0 \text{ ‰}$$

$$g_{AL} = 0,6 \cdot g_{lim} = 0,6 \cdot 4,33 = 2,60 \rightarrow \text{przyjęto } g_{AL} = 2,6 \text{ ‰}$$

Jeżeli na linii kolejowej zaprojektowano rampy przechyłkowe z maksymalnym pochyleniem 2,5 ‰ to możemy to uwzględnić poprzez zwiększenie wartości granicy czujności i działań planowanych (np.  $g_{AL} = 3 \text{ ‰}$  i  $g_{IL} = 3,5 \text{ ‰}$ ). Wartości te będą zależały od kategorii linii i częstotliwości prowadzonych pomiarów.

## Ocena wartości granicznych

Analizując przytoczone przepisy i dotychczasowe badania w zakresie granicznej wi-



5. Schemat wyznaczania wartości granicznych wchrowatości [3]

wchrowatości toru [3] można wyróżnić trzy obszary (Rys. 5), które wymagają podjęcia różnych działań w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wykołowania pojazdu szynowego.

Obszar I – wymaga ograniczenia wchrowatości toru i przechyłki oraz wprowadzenia dodatkowych środków zabezpieczających przed wykołowaniem (prowadnice z szyn lub smarownice szyn).

$$g_{lim} = \frac{20}{l} + 1,5$$

$$3 \text{ ‰} \leq g_{lim} \leq 6 \text{ ‰}$$

$$h \geq \frac{R - 50}{1,5}$$

W warunkach technicznych [12] możemy przeczytać, że: „w uzasadnionych przypadkach, w torach głównych zasadniczych i szlakowych położonych w łukach o promieniach 300 m i mniejszych, przy szynie wewnętrznej powinno się układać prowadnice z szyn starych użytecznych lub kształtowników stalowych”.

Zapis ten dotyczy torów istniejących i wynika między innymi z konieczności zmniejszenia prawdopodobieństwa wykołowania pojazdów w łukach o bardzo małych promieniach, gdzie zaprojektowano dużą

wartość przechyłki. W takich przypadkach należy również ograniczyć wchrowatości toru do 5,5 ‰ przy bazie pomiarowej 5 m. Innym środkiem zabezpieczającym jest zabudowanie smarownic do szyn, które spowodują zmniejszenie współczynników tarcia i zwiększą współczynnik bezpieczeństwa. W tym przypadku należy również ograniczyć wchrowatość toru.

Obszar II – wymaga ograniczenia wchrowatości toru i przechyłki.

$$g_{lim} = \frac{20}{l} + 1,5$$

$$\frac{3 \text{ ‰} \leq g_{lim} \leq 6 \text{ ‰}}{\frac{R - 100}{2} < h < \frac{R - 50}{1,5}}$$

Ograniczenie to dotyczy torów istniejących i projektowanych, a wartość graniczna wchrowatości toru przy bazie pomiarowej 5 m nie powinna przekraczać 5,5 ‰.

Obszar III – przyjmuje się maksymalną wchrowatości toru i ogranicza wartość przechyłki.

$$g_{lim} = \frac{20}{l} + 3 \leq 7 \text{ ‰}$$

$$h \leq \frac{R - 100}{2}$$

Przy czym uwzględniając dopuszczalną wi-

chrowatość podczas badania właściwości dynamicznych pojazdu przed dopuszczeniem do ruchu [7] oraz w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa jego wykołowania należałoby ograniczyć wchrowatość do wartości:

$$g_{lim} = \frac{20}{l} + 2 \leq 7 \text{ ‰}$$

Zatem przy zastosowaniu bazy pomiarowej o długości 5 m wartość graniczna wchrowatości toru wyniesie 6 ‰.

Długość przyjętej przez zarządcę infrastruktury bazy pomiarowej ma istotne znaczenie na graniczną wchrowatość toru i powinna odzwierciedlać rozstaw osi wózków i pojazdach przynajmniej w zakresie 2÷5 m.

W celu sprawdzenia wpływu długości bazy pomiarowej na wchrowatość przeprowadzone zostały badania na 300 km torów o różnej jakości geometrycznej. Wchrowatość została obliczona z kolejnych pomiarów przechyłki na długościach całkowitych bazy w zakresie 2÷5 m (tj. 2, 3, 4 i 5 m).

Z uwagi na trudność porównania obliczonych wchrowatości na dłuższych odcinkach analizie poddane zostały odchylenia standardowe obliczone na długości 200 m. Z przeprowadzonych badań wynika, że wraz ze wzrostem długości bazy pomiarowej maleje wartość odchylenia standardowego wchrowatości toru i odwrotnie. Oznacza to, że jeżeli przyjmiemy bazę pomiarową o długości 3 m i wchrowatość graniczną 7 ‰, to przy bazie 5 m otrzymamy mniejszą wartość wchrowatości i odwrotnie.

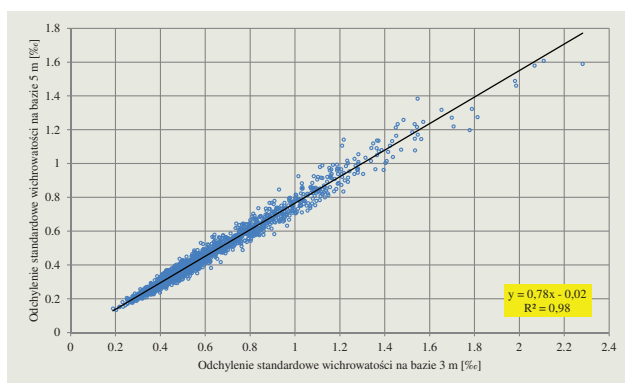
Na rysunku 6 przedstawiono zależność między odchyleniami standardowymi wchrowatości obliczonej na długości bazy pomiarowej 3 i 5 m. Należy zauważyć, że zależność ta charakteryzuje się wysoką korelacją, a odchylenia standardowe dla bazy 3 m są większe o około 20 % od obliczonego na bazie 5 m.

### Wnioski

Graniczna wchrowatości toru zależy od przyjętej bazy pomiarowej, która powinna uwzględniać rozstaw osi wózków i czopach skreću pojazdów poruszających się po torach zarządcy infrastruktury. Przy czym zgodnie z Technicznymi Specyfikacjami Interoperacyjności [8,9,10] i Polskimi Normami [6,7] maksymalna wartość wchrowatości nie może przekraczać 7 ‰.

W łukach o bardzo małych promieniach, gdzie zaprojektowano dużą wartość przechyłki należy uwzględnić konieczność zmniejszenia granicznej wchrowatości toru oraz wprowadzenia dodatkowych środków w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wykołowania pojazdu szynowego.

Jeżeli zarządca infrastruktury przyjął w



6. Zależność między odchyleniami standardowymi wchrowatości na bazie 3 i 5 m

planie utrzymania maksymalną długość bazy pomiarowej z przedziału 2÷5 m, to należy rozważyć zmniejszenie granicznej wchrowatości toru do 6 ‰. W przypadku pojazdów o mniejszym rozstawie osi w wózku (1,8÷3,0 m) obliczona wchrowatość będzie dużo większa i może przekroczyć dopuszczalną wartość graniczną. W takiej sytuacji zwiększa się prawdopodobieństwo wykolejenia pojazdu, szczególnie w łukach o małych promieniach z dużą wartością przechyłki i przy małej prędkości jazdy. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Decyzja komisji z dnia 26 kwietnia 2011 r. dotycząca technicznej specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych. 2011/275/UE.
- [2] Kędra Z.: Wpływ koincydencji nierówności toru kolejowego na bezpieczeństwo przy małych prędkościach jazdy. Logistyka 3/2012, s.
- [3] ORE – Question B 55, Report No. 8 (Final report). Conditions for negotiating track twists. Recommended values for the track twist and cant. Calculation and measurement of the relevant vehicle parameters. Vehicle testing. Utrecht, April 1983.
- [4] Piringer J., Stephanides J.: Beziehung - Rad und Schiene Entgleisungen - näher betrachtet [on-line]. Dostępne: [www.schienefahrzeugtagung.at/download/PDF2011/21-Stephanides.pdf](http://www.schienefahrzeugtagung.at/download/PDF2011/21-Stephanides.pdf).
- [5] PN-EN 13848-1: Kolejnictwo. Tor. Jakość geometryczna toru. Część 1: Charakterystyka geometrii toru.
- [6] PN-EN 13848-5: Kolejnictwo. Tor. Jakość geometryczna toru. Część 5: Poziom jakość geometrycznej. Szlak.
- [7] PN-EN 14363: Kolejnictwo. Badania właściwości dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu. Badanie właściwości biegowych i próby stacjonarne.
- [8] Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 1299/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. dotyczące technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” systemu kolei w Unii Europejskiej.
- [9] Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 321/2013 z dnia 13 marca 2013 r. dotyczące technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – wagony towarowe” systemu kolei w Unii Europejskiej.
- [10] 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.
- [11] Sobaś M.: Stan i doskonalenie kryteriów bezpieczeństwa przed wykolejeniem pojazdów szynowych (1). Pojazdy Szynowe, 4/2005, s.1-13.
- [12] Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D1). PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Zarządzenie Nr 14 Zarządu PKP PLK S.A. z dnia 18.05.2005r.
- [13] Zarządzenie Ministra Komunikacji nr 47 z dnia 1 czerwca 1982 r. w sprawie zatwierdzenia "Przepisów technicznych utrzymania i eksploatacji nawierzchni na liniach kolejowych normalnotorowych użytku publicznego" - D1.

## REKLAMA

**DOLKOM spółka z o. o.** we Wrocławiu od blisko 60 lat wykonuje modernizacje i naprawy infrastruktury kolejowej z wykorzystaniem maszyn do robót torowych o dużej wydajności oraz wykonuje naprawy maszyn do robót torowych i napraw sieci trakcyjnej.

Spółka jest przewoźnikiem kolejowym i posiada wydane przez Urząd Transportu Kolejowego licencje i certyfikaty bezpieczeństwa.



**DOLKOM**  
WROCLAW

Kontakt:

**50-502 Wrocław ul. Hubska 6; tel. (71) 717 5630; fax. (71) 717 5164  
e-mail: [dolkom@dolkom.pl](mailto:dolkom@dolkom.pl); [www.dolkom.pl](http://www.dolkom.pl)**

