

## **The track condition in the view of legal provisions vs. safety of freight car operating on standard Y25 bogies**

### **Stan toru w świetle obowiązujących przepisów, a bezpieczeństwo jazdy wagonów towarowych na wózkach standardowych Y25**

*The paper presents current regulations relating to track maintenance and their impact on running safety and dynamic properties of freight wagons. Selected issues related to the above mentioned problems are examined in national and foreign regulations (UIC cards and PN-EN European standards). The track parameters required by particular regulations are compared to each other. The problems of track maintenance become particularly significant in the case of the railway infrastructure separated in its organizational terms from the structure of individual railway management boards.*

*W artykule przedstawiono aktualnie obowiązujące przepisy dotyczące utrzymania toru i ich wpływ na bezpieczeństwo jazdy oraz własności dynamiczne wagonów towarowych. W przepisach krajowych oraz zagranicznych (karty UIC oraz normy europejskie PN-EN) przeanalizowano wybrane zagadnienia, które wiążą się z ww. problematyką. Zaprezentowano porównania wymaganych parametrów toru ww. przepisach. Zagadnienia związane z utrzymaniem toru nabierają szczególnego znaczenia w przypadku, kiedy infrastruktura kolejowa jest wyodrębniona pod względem organizacyjnym ze struktury poszczególnych zarządów kolejowych.*

#### **1. Introduction**

Operational safety of freight wagons has a long history and resolves itself to good interrelationship between the track and vehicle. In order to ensure it, the freight wagon must be distinguished by appropriate construction characteristics and properly maintained so as to prevent exceedance of the borderline dimensions in result of the wear processes. This might lead to dangerous change in the parameters affecting the running safety. The question is difficult since the parameters are of stochastic nature and affect the derailment risk.

The wear processes arise both in the vehicle and in the track structure.

According to the European Directives, that separate the railway infrastructure, the carriers and wagon owners, the operational safety becomes particularly important. These directives were aimed at increasing the mobility of rail freight transport in the EU Member States, thus increasing the competitiveness of this mode of transport on the transport market. Therefore, both the infrastructure owners and the carriers are responsible for competitiveness on the very demanding freight transport market.

Running safety of freight wagons is a complex problem, including many factors related to the design and maintenance of freight cars and track, with consideration of the track – vehicle interaction. It is presented in the following documents:

#### **1. Wstęp**

Bezpieczeństwo eksploatacyjne wagonów towarowych ma swoją długą historię i sprowadza się do ogólnie dobrej współpracy w układzie tor – pojazd. Aby je zapewnić, wagon towarowy musi posiadać odpowiednie cechy konstrukcyjne oraz stan utrzymania tak, aby procesy zużycia nie spowodowały przekroczenia wymiarów kresowych, a tym samym niebezpiecznej zmiany parametrów, które wpływają na bezpieczeństwo jazdy. Zagadnienie jest o tyle trudne, że występują parametry, które mają charakter stochastyczny, a które mają wpływ na bezpieczeństwo przed wykolejeniem.

Procesy zużycia, występują zarówno w pojeździe, jak również w nawierzchni kolejowej.

Bezpieczeństwo eksploatacyjne w świetle Dyrektyw Europejskich, oddzielających infrastrukturę kolejową od przewoźników oraz właścicieli wagonów nabiera szczególnego znaczenia. Dyrektywy te miały na celu zwiększenie mobilności transportu kolejowego towarowego na obszarze krajów członkowskich UE, a tym samym zwiększenie konkurencyjności tej gałęzi transportu na rynku przewozowym. Zarówno właściciele infrastruktury, jak i przewoźnicy są więc odpowiedzialni za konkurencyjność na bardzo wymagającym rynku przewozowym towarów.

Bezpieczeństwo jazdy wagonów towarowych jest zagadnieniem złożonym, na który składa się wiele

- UIC Leaflets: UIC 432 [2], UIC 505-1[3], UIC 505-5 [4], UIC 510-1[5], 510-2[6], UIC 530-2 [7], UIC 518 [8], UIC 519[9], UIC 700[10], UIC 710 [11]
- European standards: PN-EN 14363:2016 [14]
- ORE/ERRI Reports: ORE/ERRI B55 Rp.8 [1]
- in national regulations: the D1[17] provisions
- in foreign regulations: the EBO [18] (German) provisions.

The above documents include the reports on many trials and tests related to running properties of the vehicle, running safety and comfort.

## 2. The parameters evidencing the track – vehicle interrelationship

### 2.1. Derailment coefficient

The derailment coefficient is defined in the ORE/ERRI B55 Rp.8 Report [16] and in the PN-EN 14363:2016 European Standard [14], and is expressed by the formula:

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

where:

- Y – sliding force acting on the track span;
- Q – actual vertical wheel – track contact pressure;
- $\gamma$  – the tilt angle of outer wheel rim profile;
- $\mu$  – coefficient of wheel – rail friction.

The above formula is known in the literature as the Nadal criterion and is valid in the conditions of running on twisted track in quasi-static conditions (while low speed operation). Therefore, actual derailment coefficient varies over time, being of stochastic (random) nature, due to two reasons:

- the tilt angle of the rim changes during operation due to wear, that is presented in the literature [1];
- the coefficient of wheel – rail friction is of typically random nature, that is demonstrated in PN-EN 14363:2016 [14].

#### 2.1.1. The factors affecting the derailment coefficient value

The main factors affecting the value of the derailment coefficient are the changes in lateral force Y and vertical pressure force Q during operation. Among the parameters impacting the value of lateral force Y there are:

##### - due to the vehicle (freight car):

- the option of radial position of the wheelsets on track curves – in this case the longitudinal clearance of primary suspension is decisive, as conducting to quasi-radial adjustment of the wheelsets;

czynników związanych z budową i utrzymaniem wagonów towarowych oraz toru, z oddziaływaniem tor – pojazd i jest przedstawione w następujących dokumentach:

- kartach UIC: UIC 432 [2], UIC 505-1[3], UIC 505-5 [4], UIC 510-1[5], 510-2[6], UIC 530-2 [7], UIC 518 [8], UIC 519[9], UIC 700[10], UIC 710 [11]
- w normach europejskich: PN-EN 14363:2016 [14]
- raportach ORE/ERRI: Raport ORE/ERRI B55 Rp.8 [1]
- w przepisach krajowych: przepisy D1[17]
- w przepisach zagranicznych: przepisy EBO [18] (Niemcy).

Ww. dokumenty opisują wiele prób i badań, które dotyczą własności biegowych pojazdu, bezpieczeństwa jazdy i komfortu jazdy.

## 2. Parametry świadczące o współpracy tor – pojazd

### 2.1. Wskaźnik wykolejenia

Wskaźnik wykolejenia zdefiniowany jest w raporcie ORE/ERRI B55 Rp.8 [16] oraz w normie europejskiej PN-EN 14363:2016 [14] i wyrażony jest wzorem:

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

- Y – poprzeczna siła działająca na przęsło toru
- Q – rzeczywista siła pionowego nacisku zestawu kołowego na tor
- $\gamma$  – kąt pochylenia obrzeża zarysu zewnętrznego wieńca koła
- $\mu$  – współczynnik tarcia między kołem a szyną.

Powyższy wzór znany jest w literaturze jako kryterium Nadala i obowiązuje w warunkach przejazdu przez tor wchrowaty w warunkach quasi-statycznych (podczas jazdy z małą prędkością). Rzeczywisty wskaźnik wykolejenia jest więc wielkością zmienną w czasie, mającą charakter stochastyczny (losowy) z dwóch powodów:

- kąt pochylenia obrzeża zmienia się w trakcie eksploatacji wskutek zużycia, co zostało przedstawione literaturze [1]
- współczynnik tarcia w układzie koło – szyna jest typową wartością losową, co zostało wykazane w PN-EN 14363:2016 [14].

#### 2.1.1. Czynniki wpływające na wartość współczynnika wykolejenia

Głównymi czynnikami, wpływającymi na wartość współczynnika wykolejenia jest zmiana w trakcie eksploatacji jest zmiana siły poprzecznej Y oraz siły nacisku pionowego Q. Do parametrów, które mają wpływ na wielkość siły poprzecznej Y można zaliczyć:

##### - ze strony pojazdu (wagonu towarowego):

- możliwość radialnego ustawiania się zestawów kołowych w łukach; w tym przypadku

- value of the torque arising in the bogie – car body set – increase in the torque causes the growth of the Y force;
- lateral stiffness of the suspension;
- the value of lateral acceleration of the car on straight-line track and the value of imbalanced acceleration on the track curve, with or without track cant;
- the wheel-rail striking angle  $\alpha$ ;

**- due to the track:**

- the value and tolerance of the track cant;
- lateral track irregularity;
- lateral stiffness of the track superstructure;
- the method of rail-sleeper fastening;
- the rail profile.

Among the parameters impacting the value of actual vertical pressure force Q there are:

**- due to the vehicle:**

- base length of the bogie;
- base length of the wagon;
- eccentricity of centre of mass location with regard to the centre of symmetry, caused by the tolerances in the structure and maintenance of the car body and the bogies (running gears);
- suspension hysteresis caused by dry friction in the friction absorbers;
- vertical stiffness of the suspension under empty and loaded conditions;
- transverse distance between the springs;
- clearance on rigid and elastic lateral slide blocks;
- stiffness of the springs of elastic slide blocks;
- asymmetry of the load distribution;
- rate of the repair and maintenance operations.

**- due to the track:**

- the cant value on the track curves, gradient due to cant;
- vertical irregularities of the track;
- track twist;
- difference in the positions of both rail stretches;
- vertical stiffness of the track superstructure.

## 2.2 Equivalent conicity

A very important parameter that determines the wheel - rail interrelationship is the equivalent conicity. This concept is defined and discussed in details in the UIC 518 [8], UIC 519 [9] Leaflets, PN-EN 14363:2016 [14] and PN-EN 15302+A1:2011 [15].

## 2.3. Criterion of the vehicle – track interaction

As can be seen based on specification of the factors affecting the derailment coefficient, which is a measure of the running safety, the parameters of the track, apart from the vehicle parameters, also significantly impact the safety. Vehicle running safety is a broad concept that includes:

decydujący jest luz wzdłużny w uprężynowaniu pierwszego stopnia, który przyczynia się do quasi-radialnego ustawiania się zestawów kołowych

- wielkość momentu obrotowego w układzie wózek – nadwozie; wraz ze wzrostem momentu obrotowego wzrasta wartość siły Y
- sztywność usprężynowania w kierunku poprzecznym
- wielkość poprzecznego przyspieszenia wagonu na torze prostym oraz wielkość niezrównoważonego przyspieszenia na łuku toru z przechyłką lub bez przechyłki
- kąt nabiegania  $\alpha$  koła na szynę

**- ze strony toru:**

- wielkość i tolerancje przechyłki toru
- nierówności poprzeczne toru
- sztywność poprzeczna nawierzchni kolejowej
- sposób mocowania szyn kolejowych do szyn
- profil szyny.

Do parametrów, które mają wpływ na wielkość rzeczywistego nacisku siły pionowej  $Q_r$  nacisku na szynę można zaliczyć:

**- ze strony pojazdu:**

- bazę wózka
- bazę wagonu
- mimośrodowość środka ciężkości (środka masy) w stosunku do środka symetrii, wywołana tolerancjami budowy i utrzymania nadwozia oraz wózków (układów biegowych)
- histerezę usprężynowania, wywołaną tarciem suchym w tłumikach ciernych
- sztywność pionowa usprężynowania w stanie próżnym/ładownym
- odległość sprężyn w kierunku poprzecznym
- luz na ślizgach bocznych sztywnych oraz na ślizgach bocznych sprężystych
- sztywność sprężyn ślizgów sprężystych
- asymetrię położenia ładunków
- częstotliwość dokonywanych napraw i konserwacji

**- ze strony toru:**

- wielkość przechyłki na łukach toru, pochYLENIE rampy przechyłkowej
- nierówności pionowe toru
- wchrowatość toru
- różnica położenia obydwu toków szynowych
- sztywność pionowa nawierzchni kolejowej.

## 2.2. Stożkowatość ekwiwalentna

Bardzo istotnym parametrem, określającym współpracę koła i szyny jest stożkowatość ekwiwalentna. Pojęcie to jest określone i szczegółowo omówione w karcie UIC 518 [8], karcie UIC 519 [9], PN-EN 14363:2016 [14] oraz PN-EN 15302+A1:2011 [15].

- the vehicle – track interaction in vertical, lateral and longitudinal directions;
- dynamic properties of the freight car;
- comfort of travel (particularly in the case of passenger cars, multiple-unit sets and locomotives);
- safety of the load.

In the case of impact of the vehicle on the track the sum of transverse forces  $\Sigma Y$  acting on the track is a decisive parameter. The permissible limit value of these forces is defined as the Prud'homme criterion, according to the following formula:

$$\Sigma Y \leq k_1 \cdot \left( H_0 + \frac{Q_0}{3} \right) \quad (2)$$

where:

- $k_1$  – the coefficient equal to 1 in case of locomotives, multiple-unit sets and passenger cars, and 0.85 for the freight cars;
- $Q_0$  – vertical static contact force between the wheelset and the track [kN];
- $H_0$  – initial value of the lateral sleeper resistance in the ballast bed as a function of the load – equal to 10 kN (initial value of the resistance for  $Q_0=0$  kN).

The sum of lateral forces consists of the force  $Y_a$  acting on the external rail stretch and the force  $Y_i$  acting on the internal rail stretch. The criterion in this form is most useful in the designing and testing of rail vehicles, nevertheless, is not perfectly understandable without some comments. The criterion was confirmed by experimental tests carried out on the SNCF network with the use of a special three-axle wagon provided with sliding central axis enabling the measurement of the lateral force  $Y$ . The tests have been carried out on a railway superstructure of unit weight equal to 46 daN/m on a track with 1722 railway sleepers per 1 km.

### 2.4 The comfort criterion

The passenger's comfort or safety of the transported cargo are assessed based on the accelerations in vertical and lateral directions,  $\ddot{z}^*$  and  $\ddot{y}^*$ , respectively, measured on the vehicle's body. The values of permissible vertical and lateral accelerations for various types of vehicles are shown in Table 1.

### 3. The track parameters affecting the running properties and safety

The effect of geometric parameters on running and dynamic properties of the vehicle, its interaction with the track and running safety are shown in Table 2.

In order to discuss the effect of track geometry the following notions, specified in Table 3, have been introduced.

**The Alert Limit (AL)** of the track maintenance condition refers to the values, above which the quality of track geometry should be analyzed in regular scheduled maintenance and repair works carried out periodically.

### 2.3. Kryterium oddziaływania pojazdu na tor

Jak widać ze specyfikacji czynników mających wpływ na wskaźnik wykolejenia, będący miarą bezpieczeństwa jazdy, istotny wpływ oprócz parametrów pojazdu, mają również parametry toru. Bezpieczeństwo jazdy pojazdu jest szerokim pojęciem, które obejmuje:

- oddziaływanie pojazdu na tor w kierunku pionowym, poprzecznym i wzdłużnym
- własności dynamiczne wagonu towarowego
- komfort jazdy (zwłaszcza w przypadku wagonów osobowych, zespołów trakcyjnych oraz lokomotyw)
- bezpieczeństwo przewożonego ładunku.

W przypadku oddziaływania pojazdu na tor decydującym parametrem jest suma sił poprzecznych  $\Sigma Y$ , działających na tor, których dopuszczalna wartość graniczna jest określana jako kryterium Prud'homme wg następującego wzoru:

$$\Sigma Y \leq k_1 \cdot \left( H_0 + \frac{Q_0}{3} \right) \quad (2)$$

gdzie:

- $k_1$  – współczynnik wynoszący 1 dla lokomotyw, zespołów trakcyjnych oraz wagonów osobowych oraz 0,85 dla wagonów towarowych
- $Q_0$  – pionowy nacisk statyczny zestawu kołowego na tor (na szyny) [kN]
- $H_0$  - wartość początkowa oporu poprzecznego podkładu kolejowego w podsypce w funkcji obciążenia, wynosząca 10 kN (wartość początkowa oporu dla  $Q_0=0$  kN).

Na sumę sił poprzecznych składa się siła działająca na zewnętrzny tok szyn  $Y_a$  oraz siła działająca na wewnętrzny tok szyn  $Y_i$ . Kryterium to w takiej formie jest jak najbardziej przydatne dla zastosowania w projektowaniu i badaniach pojazdów szynowych, jednak nie jest w pełni zrozumiałe bez pewnych komentarzy. Kryterium to zostało potwierdzone badaniami doświadczalnymi, które zostały przeprowadzone na sieci SNCF z użyciem specjalnego wagonu trzyosiowego z przesuwną osią środkową, umożliwiającą realizacją pomiaru siły poprzecznej  $Y$ . Badania zostały przeprowadzone na nawierzchni kolejowej o masie jednostkowej 46 daN/m i na torze posiadającym 1722 podkłady kolejowe na 1 km toru.

### 2.4. Kryterium komfortu

Parametrem komfortu jazdy pasażera lub bezpieczeństwa przewożonego ładunku są przyspieszenia w kierunku pionowym  $\ddot{z}^*$  oraz w kierunku poprzecznym  $\ddot{y}^*$ , które są mierzone na pudle pojazdu. Wartości dopuszczalnych przyspieszeń w kierunku pionowym oraz poprzecznym dla różnych typów pojazdów przedstawiono w tabelicy 1.

### 3. Parametry toru mające wpływ na własności biegowe oraz bezpieczeństwo jazdy

Wpływ parametrów geometrycznych na parametry



**The values of permissible vertical and lateral accelerations Table 1**  
**Wartości dopuszczalnych przyspieszeń w kierunku pionowym i poprzecznym Tablica 1**

L.p. Item	Rodzaj pojazdu Vehicle type	Wartości dopuszczalnych przyspieszeń, mierzonych na pudle pojazdu w [m/s <sup>2</sup> ] The values of permissible accelerations measured on the vehicle's body in [m/s <sup>2</sup> ]	
		$\ddot{y}_{q,max}^*$	$\ddot{z}_{q,max}^*$
1.	Lokomotywy, pojazdy trakcyjne (za wyjątkiem lokomotyw manewrowych) Locomotives, motive power units (except for the shunting locomotives)	2,5	2,5
2.	Lokomotywy manewrowe Shunting locomotives	do zdefiniowania to be defined	do zdefiniowania to be defined
3.	Zespoły trakcyjne, wagony osobowe Multiple-unit sets, passenger cars	1,5	2,0
4.	Wagony towarowe wózkowe, w stanie próżnym Empty bogie freight cars	<3	<5
5.	Wagony towarowe wózkowe, w stanie ładownym Loaded bogie freight cars	3,5	5,0
6.	Wagony towarowe bezwózkowe w stanie próżnym Empty non-bogie freight cars	do zdefiniowania to be defined	do zdefiniowania to be defined
7.	Wagony towarowe bezwózkowe w stanie ładownym Loaded non-bogie freight cars	do zdefiniowania to be defined	do zdefiniowania to be defined

**The effect of track parameters on running safety (the forces and accelerations) in accordance with PN-EN 13848-5:2017 [13] Table 2**

**Wpływ parametrów toru na bezpieczeństwo jazdy (siły i przyspieszenia) zgodnie z PN-EN 13848-5:2017 [13] Tablica 2**

Własności pojazdu (siły i przyspieszenia) The vehicle properties (forces and accelerations)	Parametry toru			
	Szerokość toru Track gauge	nierówności pionowe Longitudinal leve	Wichrowatość/ przechyłka toru Twist/cross level	Nierówności poprzeczne Alignment
$\Sigma Y$	X		X	X
Q		X	X	X
Y	X		X	X
$\ddot{y}^*$			X	X
$\ddot{z}^*$		X		
Y/Q	X	X	X	X

**Symbols and abbreviations used to determine the track parameters in accordance with PN-EN 13848-5:2017 [13] Table 3**

**Symbole i skróty stosowane do określenia parametrów toru zgodnie z PN-EN 13848-5:2017 [13] Tablica 3**

L.p.	Symbol lub odchyłka	Określenie	Jednostka
1.	AL	Kryterium lub wartość graniczna określająca alert naprawczy	mm lub mm/m
2.	IL	Kryterium lub wartość graniczna określająca konieczność naprawy	mm lub mm/m
3.	IAL	Kryterium lub wartość naprawcza określająca konieczność podjęcia natychmiastowej naprawy	mm lub mm/m
4.	D1	Zakres długości fal D1: $3 \leq \lambda \leq 25$ m	m
5.	D2	Zakres długości fal D2: $25m \leq \lambda \leq 75$ m	m
6.	D3	Zakres długości fal D3: $70m \leq \lambda \leq 150$ m Zakres długości fal D3: $70m \leq \lambda \leq 200$ m	m
7.	l	Długość bazy wichrowania	m
8.	$\lambda$	Długość fali nierówności	m
9.	N/A	Nie stosowane	
10.	R	Promień łuku toru	m
11.	D	Przechyłka toru	mm
12.	v	Prędkość	km/h

**The Intervention Limit (IL)** refers to the values the excess of which imposes a repair ensuring that the criteria for immediate (IAL) maintenance and repair shall not be achieved before the next inspection.

**The Immediate Action Limit (IAL)** refers to the values the excess of which requires measurements with a view to reduce the derailment risk to an acceptable level. Such a track condition could result in closing of the track (line), reduction of the permissible speed or correction of track geometry.

The track gauge is an important parameter affecting the safety of freight car traffic. The track gauge is defined as the shortest distance measured between the rail heads at the point P, located 14 mm below the rail head ( $Z_p$  distance). The measurement principle of the track gauge is shown in Fig.1.

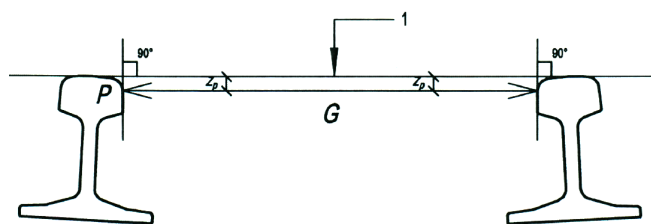


Fig.1. The method of track gauge measurement in case of a new track (in accordance with p.4.2.1 PN-EN 13848-1[12]), 1 – running surface

Rys.1. Sposób pomiaru szerokości toru (prześwit toru) na torze nowym (zgodnie z p.4.2.1 PN-EN 13848-1[12])  
1 – płaszczyzna toczna (ang. „running surface”, niem. „Laufebene”)

In case of a worn track the locations of the P points on the right-hand and left-hand rail heads may be different. The measurement principle is shown in Fig.2.

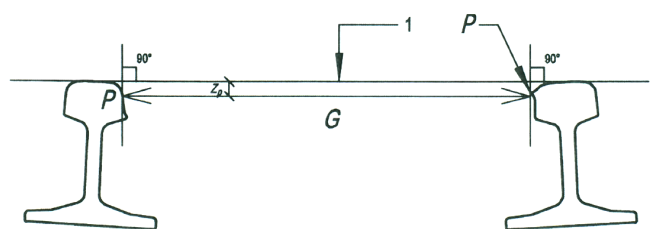


Fig.2. The method of track gauge measurement in case of a worn track (in accordance with p.4.2.1 PN-EN 13848-1[12]), 1 – running surface

Rys. 2. Sposób pomiaru szerokości toru (prześwit toru) na torze zużyтым (zgodnie z p.4.2.1 PN-EN 13848-1:2008 [12])  
1- płaszczyzna toczna (ang. „running surface”, niem. „Laufebene”)

Individual (single) track gauge faults are determined by the amplitude measured from the nominal to peak value (minimum and maximum peak value). Single defects are those that have occurred at a maximum track length of 0.25 m. Individual changes in track gauge (track defects) with regard to its nominal value that impose the need for immediate repair are set out in Table 4.

biegowe, własności dynamiczne pojazdu oraz oddziaływanie na tor i bezpieczeństwo jazdy są przedstawione w tabelicy 2.

Aby omówić wpływ geometrii toru wprowadzono następujące pojęcia, które są przedstawione w tabelicy 3.

**Poziom alertowy stanu utrzymania toru AL (ang. Alert Limit)** odnosi się do tych wartości, po przekroczeniu których należy analizować jakość geometrii toru w regularnych planowanych pracach konserwacyjno-naprawczych, przeprowadzonych w sposób okresowy.

**Poziom interwencyjny IL (ang. Intervention Limit)**, odnosi się do wartości, które w przypadku przekroczenia wymagają naprawy w taki sposób, że kryteria dla natychmiastowego (IAL) działania konserwacyjno-naprawczego, nie mogą być osiągnięte przed następną inspekcją.

**Poziom naprawy natychmiastowej (ang. Immediate Action Limit)** odnosi się do wartości, które jeśli zostaną przekroczone wymagają przeprowadzenia pomiarów, tak aby ograniczyć ryzyko wykołowania do akceptowalnego poziomu. Taki stan toru może prowadzić do zamknięcia toru (linii), zmniejszenia dopuszczalnej prędkości lub korekcy geometrii toru.

Istotnym parametrem mającym wpływ na bezpieczeństwo jazdy wagonów towarowych jest szerokość toru, zwana prześwitem toru. Szerokość toru jest definiowana jako najmniejsza odległość mierzona pomiędzy główkami szyn w punkcie P, znajdującym się 14 mm poniżej główki szyny (odległość  $Z_p$ ). Sposób pomiaru prześwitu toru jest przedstawiony na rys.1.

W przypadku toru zużytego prześwit toru, punkt P na główce szyny prawej może różnić się od punktu na lewej główce szyny. Sposób pomiaru jest przedstawiony na rys. 2.

Indywidualne (pojedyncze) wady prześwitu toru są określane przez amplitudę mierzoną od nominalnej wartości do wartości szczytowej (minimum i maksimum wartości szczytowej). Przez pojedyncze wady rozumie się te, które wystąpiły na maksymalnej długości toru, wynoszącej 0,25 m. Indywidualne (pojedyncze) zmiany szerokości toru (defekty toru) w odniesieniu do nominalnej szerokości toru, określające konieczność podjęcia natychmiastowej naprawy są określone w tabelicy 4.

Odchyłki szerokości toru w postaci pojedynczych błędów (lokalne zmiany) w **AL, IL oraz IAL** w stosunku do nominalnej szerokości zostały przedstawione w tabelicy 5.

Odstępstwa prześwitu toru w stosunku do nominalnej szerokości toru na długości 100 metrów są przedstawione w tabelicy 6.

Individual changes in track gauge (track defects) with regard to its nominal value imposing the need of immediate repair

Table 4

Pojedyncze zmiany szerokości toru (defekty toru) w odniesieniu do nominalnej szerokości toru, określające konieczność podjęcia natychmiastowej naprawy

Tablica 4

L.p. Item	Prędkość [km/h] Speed [km/h]	Odstępstwo szerokości toru w odniesieniu do wartości nominalnej [mm] Track gauge deviation with regard to its nominal value [mm]	
		Minimum [mm]	Maksimum Maximum [mm]
1.	$v \leq 80$	-11	+35
2.	$80 < v \leq 120$	-11	+35
3.	$120 < v \leq 160$	-10	+35
4.	$160 < v \leq 230$	-7	+28
5.	$230 < v \leq 300$	-5	+28
6.	$300 < v \leq 360$	-5	+28

Local change in the track gauge (in the form of single aberrations) with regard to its nominal value at the AL, IL and IAL levels

Table 5

Lokalna zmiana szerokości toru (w postaci pojedynczych błędów) w stosunku do nominalnej wartości prześwietu na poziomie AL, IL oraz IAL

Tablica 5

L.p. Item	Prędkość Speed [km/h]	Zmiana szerokości toru w stosunku do wartości nominalnej [mm] Change in track gauge with regard to its nominal value [mm]		Zmiana szerokości toru w stosunku do wartości nominalnej [mm] Change in track gauge with regard to its nominal value [mm]		Lokalna zmiana szerokości toru w stosunku do wartości nominalnej [mm] Local change in track gauge with regard to its nominal value [mm]	
		AL		IL		IAL	
		Minimum	Maksimum Maximum	Minimum	Maksimum Maximum	Minimum	Maksimum Maximum
1.	$v \leq 80$	-7	+25	-9	+30	-11	+35
2.	$80 < v \leq 120$	-7	+25	-9	+30	-11	+35
3.	$120 < v \leq 160$	-6	+25	-8	+30	-10	+35
4.	$160 < v \leq 230$	-4	+20	-5	+23	-7	+28
5.	$230 < v \leq 300$	-3	+20	-4	+23	-5	+28
6.	$300 < v \leq 360$	-3	+20	-4	+23	-5	+28

Track gauge deviations with regard to nominal track gauge on the length of 100 meters at the AL, IL and IAL levels

Table 6

Odstępstwa prześwietu toru w stosunku do nominalnej szerokości toru na długości 100 metrów na poziomie AL, IL oraz IAL

Tablica 6

L.p. Item	Prędkość Speed [km/h]	Zmiana szerokości toru na długości 100 metrów w stosunku do wartości nominalnej [mm] Track gauge change on the length of 100 meters with regard to its nominal value [mm]				Lokalna zmiana szerokości toru na długości 100 metrów w stosunku do wartości nominalnej [mm] Local change in track gauge on the length of 100 meters with regard to its nominal value [mm]	
		AL		IL		IAL	
		Minimum	Maksimum Maximum	Minimum	Maksimum Maximum	Minimum	Maksimum Maximum
1.	$v \leq 40$	nie stosuje się not applicable	+25	nie stosuje się not applicable	nie stosuje się not applicable	nie stosuje się not applicable	nie stosuje się not applicable
2.	$40 < v \leq 80$	-6	+25	-7	nie stosuje się	-8	nie stosuje się not applicable
3.	$80 < v \leq 120$	-5	+16	-6	+20	-7	nie stosuje się not applicable
3.	$120 < v \leq 160$	-3	+16	-4	+20	-5	nie stosuje się not applicable
4.	$160 < v \leq 230$	-3	+16	-4	+20	-5	nie stosuje się not applicable
5.	$230 < v \leq 300$	-1	+16	-2	+20	-3	nie stosuje się not applicable
6.	$300 < v \leq 360$	nie stosuje się not applicable	+16	-1	+20	-2	nie stosuje się not applicable

The track gauge deviations in the form of single aberrations (local deviations) in **AL**, **IL** and **IAL** with regard to nominal track gauge are presented in Table 5.

The track gauge deviations with regard to nominal track gauge on the length of 100 meters are shown in Table 6.

Another track parameter is the twist, the limit value of which depends on the length  $l$  of the measurement base, resulting from one of the formulas:

1. Twist limit =  $(20/l+3)$  for  $D \leq (R-100)/2$  (the curve A in Fig. 3) having maximum values:
  - 7 mm/m (7 ‰) for the railroads designed for  $v \leq 200$  km/h
  - 5 mm/m (5 ‰) for the railroads designed for  $v > 200$  km/h
2. Twist limit =  $20/l+3$  for  $(R-100)/2 < D < (R-50)/1.5$  (the curve B in Fig. 3) having maximum values:
  - 6 mm/m (6 ‰) maximum value for the railroads and
  - 3 mm/m (3 ‰) minimum value for the railroads,

where:

$l$  – twist base length of the vehicle  $1.3 \leq l \leq 20$  [m]

$D$  – track cant [mm]

$R$  – track curve radius [m].

#### 4. Measurement methods of the track geometric quality and single faults

In this case, the effect of track geometric quality and individual defects on running dynamics is used. Therefore, the following quantities should be measured:

- **C1** – vertical acceleration measured on the axle bearing – in order to detect particular faults of the rail running surface and separate track faults;
- **C2** – lateral acceleration measured on the bogie – in order to detect short lateral waves;
- **C3** – vertical and lateral accelerations measured on the vehicle body – in order to detect the track faults affecting the running comfort.

The ranges of the frequencies and accelerations corresponding to particular measurements are specified in Table 7.

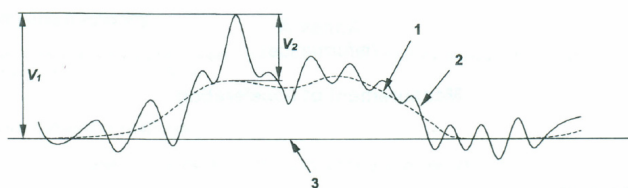


Fig. 4. The principle of the track twist measurement  
where: 1 – the values filtered with a low-pass filter;  
2 – track twist; 3 – reference (zero) line.

Rys. 4. Zasada pomiarów wchrowatości

gdzie: 1 – wartości filtrowane za pomocą filtru dolnoprzepustowego; 2 – wchrowatość toru; 3 – linia odniesienia (linia zerowa).

Kolejnym parametrem toru jest wchrowatość, której wartość graniczna zależy od długości  $l$  bazy pomiarowej, która wynika z jednego ze wzorów:

1. Granica wchrowatości (ang. *twist limit*) =  $(20/l+3)$  dla  $D \leq (R-100)/2$  (krzywa A na rys. 3) z maksymalnymi wartościami:
  - 7 mm/m (7 ‰) dla linii kolejowych, przeznaczonych dla  $v \leq 200$  km/h
  - 5 mm/m (5 ‰) dla linii kolejowych, przeznaczonych dla  $v > 200$  km/h
2. Granica wchrowatości =  $20/l+3$  dla  $(R-100)/2 < D < (R-50)/1.5$  (krzywa B na rys. 3) z maksymalnymi wartościami:
  - 6 mm/m (6 ‰) dla linii kolejowych, jako wartość maksymalna oraz
  - 3 mm/m (3 ‰) dla linii kolejowych, jako wartość minimalna.

gdzie:

$l$  – długość bazy wchrowania pojazdu  $1,3 \leq l \leq 20$  [m]

$D$  – przechyłka toru [mm]

$R$  – promień łuku toru [m].

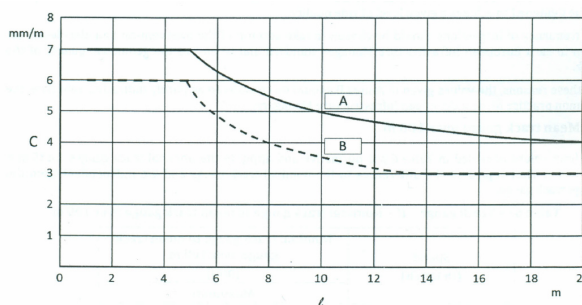


Fig. 3. Error levels of single twist values (from zero to peak value) for A and B curves

Rys. 3. Wartość błędów pojedynczych wchrowatości (od zera do wartości szczytowej) dla krzywych A oraz B

#### 4. Metody pomiarowe jakości geometrycznej toru oraz pojedynczych wad

W tym przypadku korzysta się z wpływu jakości geometrycznej toru oraz pojedynczych wad na dynamikę jazdy. W związku z tym wykorzystuje się pomiar następujących wielkości:

- **C1** – przyspieszenie pionowe mierzone na maźnicy- w celu wykrycia (detekcji) pojedynczych wad na powierzchni tocznej szyn oraz pojedynczych wad geometrii toru
- **C2** – przyspieszenie poprzeczne mierzone na wózku –w celu wykrycia krótkich fal poprzecznych)
- **C3** – przyspieszenie pudła pojazdu w kierunku pionowym oraz poprzecznych, w celu wykrycia tych wad toru, które mają wpływ na wielkość wad oraz komfortu jazdy.

Zakres częstotliwości oraz przyspieszeń pomiarowych dla poszczególnych przyspieszeń jest przedstawiony w tablicy 7.



The principle of the track twist measurement is shown in Fig. 4.

Zasadę pomiarów wchrowatości toru przedstawiono na rys. 4.

The ranges of measurement parameters for C1, C2 and C3 accelerations  
Zakres parametrów pomiarowych dla przyspieszeń C1, C2 i C3

Table 7  
Tablica 7

L.p. Item	Rodzaj przyspieszenia Acceleration category	Zakres częstotliwości Frequency range [Hz]	Zakres przyspieszeń Acceleration range [m/s <sup>2</sup> ]	Warunki pomiaru Measurement conditions
1.	C1	0÷250	±1000	Prędkość Speed >50 km/h
2.	C2	0÷250	±50	Prędkość na linii z tolerancją ±10 km/h Speed on the track with tolerance ±10 km/h

According to Figure 4, the analysis method is based on amplitude measuring from zero to the peak value (v1) or from the mean to peak value (v2).

Jak wynika z rys. 4 metoda analizy opiera się na pomiarze amplitudy od zera do wartości szczytowej (v1) lub amplitudzie, mierzonej od wartości średniej do wartości szczytowej (v2).

## 5. CONCLUSIONS

Based on the presented concepts or limit values, it can be found that availability level of the infrastructure is assessed by the new concepts of **AL**, **IL** and **IAL**. These concepts are strictly based on the experience achieved by various European Infrastructure Boards. So rigorous definition of the track geometric quality and particular defects is intended to increase the interoperability of the entire European network, and to improve its capacity and availability. The advantage of these regulations consists in unification of the approach to track geometry and definition of individual track faults for purposes of particular infrastructure boards.

## 5. WNIOSKI

Na podstawie przedstawionych pojęć lub wartości granicznych można stwierdzić, że dyspozycyjność infrastruktury jest określona przez nowe pojęcia **AL**, **IL** oraz **IAL**. Pojęcia te bazują ściśle na doświadczeniach zebranych z różnych europejskich zarządów infrastruktury (ang. *European Infrastructure Managers*). Tak ściśle sprecyzowanie jakości geometrycznej toru oraz pojedynczych wad ma za zadanie zwiększenie interoperacyjności całej sieci europejskiej, zwiększenie jej przepustowości oraz dyspozycyjności. Zaletą tych przepisów jest ujednoczenie podejścia do geometrii toru oraz zdefiniowanie pojedynczych błędów toru dla poszczególnych zarządów infrastruktury. Istotną zaletą norm europejskich, poświęconych jakości infrastruktury jest przede wszystkim powiązanie poszczególnych parametrów z bezpieczeństwem jazdy, własnościami biegowymi pojazdu oraz dynamiką jazdy. W tym zakresie PN-EN 13848-1:2008 [12] oraz PN-EN 13848-5:2010 [13] wywodzą się raportu ORE/ERRI B55 Rp.8 wydanie 8 [16] oraz PN-EN 14363:2016 [14].

An important advantage of European standards devoted to the infrastructure quality lies, first of all, in assignment of individual parameters to vehicle running properties, dynamics and safety. In this regard, the standards PN-EN 13848-1: 2008 [12] and PN-EN 13848-5: 2010 [13] stem from the ORE / ERRI B55 Rp.8 report 8 [16] and PN-EN 14363: 2016 [14] standard.

The interrelationship between the regulations related to the quality of infrastructure and running safety of the vehicle, the running comfort and the track-vehicle interaction is an important contribution to improving competitiveness of the rail transport on the transport market. This significant intellectual contribution, presented in both European standards, allows better understanding of the rail vehicles needs by the infrastructure management boards, and enables comprehension of infrastructure problems by vehicle manufacturers. These documents, however, impose an obligation to carry out infrastructure repairs, when the limit values are exceeded. The size of the deviations occurring on the considered railway line affects the speed limit. It should be noticed that in case of the lines adapted to high speed, these criteria are very tight, which requires significant expenditure on infrastructure maintenance. It is also very important that such a parameter as e.g.

Wzajemne powiązanie przepisów dotyczących jakości infrastruktury i bezpieczeństwa jazdy pojazdu, komfortu jazdy oraz oddziaływania tor-pojazd jest istotnym wkładem w poprawę konkurencyjności transportu szynowego na rynku przewozowym. Ten istotny wkład intelektualny, przedstawiony w obydwu normach europejskich, pozwala na lepsze zrozumienie potrzeb pojazdów szynowych przez zarządy infrastruktury, a także problemów infrastruktury przez producentów pojazdów. Dokumenty te nakładają jednak obowiązek przeprowadzenia napraw infrastruktury, przy przekroczeniu wartości granicznych. Wielkość błędów na danej linii wpływa na ograniczenia prędkości. Zwraca się uwagę na fakt, że w przypadku linii przystosowanych do wysokich prędkości, kryteria te są bardzo zastrzone, co wymaga już bardzo poważnych nakładów na utrzymanie infrastruktury. Bar-

the track twist depends on the track section length, the track cant and the track curve radius.

dużo ważnym elementem jest również fakt, że taki parametr jak np. wichrowatość toru jest zależny od długości mierzonego odcinka toru, wartości przechyłki oraz promienia łuku toru.

## 6. BIBLIOGRAPHY / BIBLIOGRAFIA

- [1] Sobaś M.: *Zawieszenia i układy biegowe wagonów towarowych*. Wydawca Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor”. Poznań 2014
- [2] Karta UIC 432. *Wagony towarowe. Prędkości jazdy. Warunki techniczne, które należy spełnić*. 12-te wydanie, 10.2008
- [3] Karta UIC 505-1. *Pojazdy kolejowe. Skrajnie pojazdów*. 10-te wydanie, 05.2006
- [4] Karta UIC 505-5. *Historia powstania, uzasadnienia i komentarze do opracowania i rozwoju kart UIC 505 i 506 z tematem skrajni kinematycznej*. 3-cie wydanie, 08.2010.
- [5] Karta UIC 510-1. *Wagony towarowe. Układ biegowy-Normalizacja*. 9-te wydanie, z dnia 1.01.1978.
- [6] Karta UIC 510-2. *Pojazdy doczepne. Warunki dla stosowania kół o różnych średnicach w układach biegowych różnego typu*. 4-te wydanie, październik 2002, kwiecień 2004.
- [7] Karta UIC 530-2. *Wagony towarowe. Bezpieczeństwo jazdy*. 7-dme wydanie, 11.2011
- [8] Karta UIC 518. *Badania ruchowe i dopuszczeniowe pojazdów szynowych. Bezpieczeństwo jazdy. Obciążenie toru i własności dynamiczne*.
- [9] Karta UIC 519. *Metoda określenia stożkowatości ekwiwalentnej*. 1-sze wydanie, 12.2004
- [10] Karta UIC 700. *Klasyfikacja linii kolejowych. Przynależne granice obciążenia wagonów towarowych*, 10-te wydanie 11.2004
- [11] Karta UIC 710. *Poszerzenie torów na łukach*. 3-cie wydanie, 10.2004
- [12] PN-EN 13848-1:2008. *Kolejnictwo. Tor-Jakość geometryczna toru. Część 1: Charakterystyka geometrii toru*
- [13] PN-EN 13848-5:2017. *Kolejnictwo. Tor. Jakość geometryczna toru. Część 5: Poziomy jakości geometrycznej. Szlaki, rozjazdy i skrzyżowania*.
- [14] PN-EN 14363:2016. *Kolejnictwo. Badania i symulacje modelowe właściwości dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu. Badania właściwości biegowych i próby stacjonarne*.
- [15] PN-EN 15302+A1:2011 *Kolejnictwo. Metoda określenia stożkowatości ekwiwalentnej*.
- [16] *Raport ORE/ERRI Frage B55 Rp.8. Sicherheit gegen Entgleisen von Güterwagen in Gleisverwindungen*. Utrecht, April 1983 (pol. „Bezpieczeństwo przed wykolejeniem wagonów towarowych podczas jazdy przez tory wichrowate.” Utrecht, kwiecień 1983.
- [17] *Przepisy D1. Warunki techniczne utrzymania nawierzchni kolejowych. Załącznik do uchwały nr 155 zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A z dnia 6 czerwca 2002.*
- [18] *Przepisy EBO. Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung (EBO) vom 8. Mai. Gültig vom 28 Mai 1967.*