

Zbigniew Kędra

Ocena poziomu jakości geometrii toru kolejowego

Jednym z istotnych problemów związanych z wprowadzeniem Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności (TSI) dla podsystemu „Infrastruktura” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych [4] jest dostosowanie wymagań związanych z oceną poziomu jakości geometrii toru kolejowego.

Zarządca infrastruktury kolejowej w ramach oceny jakości geometrii toru jest zobowiązany do zapisania w planie utrzymania wartości progów natychmiastowego działania IAL, interwencyjnego IL i ostrzegawczego AL dla następujących parametrów [4]:

- nierówności pionowych i poziomych – maksymalną wartość pojedynczej wady (nierówność izolowana) oraz odchylenie standardowe (tylko próg ostrzegawczy);
- wichrowatości – wady pojedyncze – maksymalna odchyłka od zera, zależna od progu natychmiastowego działania;
- szerokości toru – maksymalne odchylenie od wartości nominalnej i wartość średnia na odcinku 100 m, zależne od progów natychmiastowego działania;
- przechyłki – maksymalna odchyłka od wartości projektowanej, zależna od progu natychmiastowego działania.

Przy ustalaniu opisanych progów zarządca infrastruktury musi brać pod uwagę wartości graniczne w zakresie jakości toru, służące za podstawę do akceptacji pojazdu. Wymagania dotyczące odbioru pojazdu określono w TSI dla taboru kolei dużych prędkości i dla taboru kolei konwencjonalnych [5] oraz w normie [8].

Plan utrzymania w zakresie jakości geometrii toru zgodnie z TSI Infrastruktura powinien zawierać następujące elementy [4]:

- przed oddaniem do eksploatacji należy opracować dokumentację utrzymania, zawierającą dopuszczalne wartości odchyłek w odniesieniu do progów natychmiastowego działania oraz określić działania jakie należy podjąć na wypadek przekroczenia ustalonych wartości (ograniczenia prędkości, czas trwania naprawy); wymagania te dotyczą zarówno toru, jak i rozjazdów kolejowych oraz skrzyżowań;
- po oddaniu do eksploatacji zarządca infrastruktury musi mieć plan utrzymania zawierający wszystkie elementy planu przed oddaniem do eksploatacji oraz dodatkowo wartości odchyłek dopuszczalnych w odniesieniu do progu interwencji i progu ostrzegawczego.

Ocena planu utrzymania dla każdej linii kolejowej dla podsystemu Infrastruktura prowadzona jest przez jednostkę notyfikowaną i sprowadza się faktycznie do potwierdzenia, że dokumentacja utrzymania istnieje i zawiera pozycje wyszczególnione w TSI [4]. Jednostka notyfikowana nie jest natomiast odpowiedzialna za ocenę przydatności szczegółowych wymagań zapisanych w dokumentacji utrzymania.

Poziomy jakości geometrii toru

Wymienione w TSI dla podsystemu infrastruktura [4] progi natychmiastowego działania, interwencyjny i ostrzegawczy zdefiniowane są w normie [13]. Należy jednak zaznaczyć, że wierne przetłumaczenie nazw progów może być mylące i lepiej jest stosować nazewnictwo z pracy [1], tzn. granica działań bezpośrednich, granica działań planowanych oraz granica czułości.

Granica działań bezpośrednich (*Immediate Action Limit* – IAL) odnosi się do wartości odchyłek, których przekroczenie wymaga podjęcia działań bezpośrednich w celu zmniejszenia niebezpieczeństwa wykołowania do dopuszczalnego poziomu. Można to zrobić zamykając tor, zmniejszając prędkość lub wykonując naprawę.

Granica działań planowanych (*Intervention Limit* – IL) odnosi się do wartości odchyłek, których przekroczenie wymaga zaplanowania naprawy przed następnym przeglądem (badaniem), tak aby nie została do tego czasu osiągnięta granica działań bezpośrednich.

Granica czułości (*Alert Limit* – AL) odnosi się do wartości odchyłek, których przekroczenie wskazuje na konieczność oceny stanu geometrii toru i zaplanowanie naprawy w ramach normalnego utrzymania toru.

W normie [8] dotyczącej badania właściwości dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu, poziom jakości geometrii toru oparty jest na trzech kryteriach utrzymania QN1, QN2 i QN3. Odnoszą się one do rzeczywistego stanu toru (reprezentatywnych linii), z uwzględnieniem odchyłek nierówności toru, które zostały ustalone zgodnie z zasadami utrzymania wynikającymi z wiedzy i dobrej praktyki.

Poziom QN1 odnosi się do torów wymagających nadzoru lub prowadzenia napraw w ramach normalnego planu utrzymania, a QN2 wymaga prowadzenia krótkotrwałych robót konserwacyjnych. Poziom QN3 charakteryzuje natomiast odcinki toru, które nie odzwierciedlają zwykłego poziomu jakości toru, lecz nie odpowiada jeszcze najbardziej niekorzystnemu stanowi utrzymania (reprezentuje stan dopuszczalny) [8].

Norma [3] na kolejach szwedzkich wyróżnia cztery poziomy jakości geometrii toru. Pierwszy A odnosi się do granicy odchyłek dla torów nowych i po naprawie, dopuszczając wystąpienie kilku wartości maksymalnych przekraczających te odchyłki. Kolejny poziom B charakteryzuje poziom utrzymania, gdzie nierówności powinny być usunięte przed osiągnięciem dopuszczalnej granicy, a pojedyncze wartości przekraczające odchyłki dopuszczalne są do zaakceptowania, jeżeli prowadzona jest obserwacja do czasu wykonania naprawy. Trzeci poziom C odnosi się do odchyłek nierówności toru, które powinny być usunięte w jak naj szybszym możliwym terminie, a do czasu naprawy w celu zapewnienia odpowiedniego bezpieczeństwa należy podjąć odpowiednie działania, np. ograniczyć prędkość. Ostatni poziom określony został ryzykiem wykołowania i wówczas należy wstrzymać ruch lub

jeżeli jest to możliwe ograniczyć prędkość i jednocześnie nadzorować przejazd taboru.

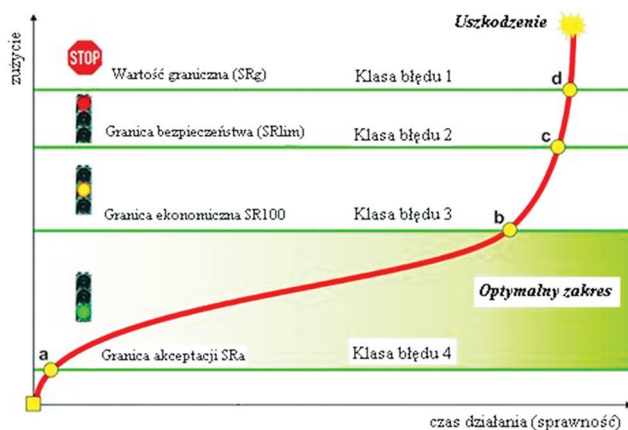
W pracy [16] zamieszczono propozycje nowych poziomów jakości geometrii dla kolei szwedzkich, które obejmują odchyłki dla czterech klas A, B, C i D. Poziom A odnosi się do torów nowych i po przeprowadzonej regulacji, a pozostałe zostały zdefiniowane podobnie jak w normie [13], tj. odpowiednio B oznacza poziom AL, C – IL i D –IAL.

Na kolejach duńskich norma [2] wyróżnia pięć poziomów jakości geometrii toru, gdzie dwa pierwsze 0 i 1 odnoszą się do torów nowych i po naprawie, a trzy kolejne 3, 4 i maks./min. do torów eksploatowanych. Poziom 0 reprezentuje odchyłki dopuszczalne po ostatecznej regulacji i roku eksploatacji dla torów nowych oraz po naprawie głównej i modernizacji, a granica 1 odnosi się do odchyłek dopuszczalnych po zaplanowanej regulacji awaryjnej i naprawie torów nowych. Poziom 3 jakości geometrii toru określa odchyłki, których przekroczenie powinno powodować zaplanowanie naprawy w normalnym terminie.

Przekroczenie odchyłki dla poziomu 4 oznacza konieczność przeprowadzenia pomiarów w ciągu 4 tygodni (2 tygodnie, gdy $V > 160$ km/h) po ostatnim pomiarze. Nierówności należy utrzymywać przez okres 6 miesięcy (3 miesiące, gdy $V > 160$ km/h), aby upewnić się, że nie zostaną przekroczone odchyłki dla granicy max/min przed następną naprawą. Przekroczenie odchyłek max/min dla nierówności toru musi spowodować działania, których celem jest zmniejszenia ryzyka wykolejenia, tj. zamknięcie toru, zmniejszenie prędkości lub natychmiastowa naprawa.

Na kolejach angielskich [14] określona została dla odchyłek dopuszczalnych nierówności toru tylko jedna wartość graniczna (IAL) zależna od prędkości maksymalnej, której przekroczenie powoduje wykonanie przeglądu i naprawy w terminie zależnym od stopnia zagrożenia wykolejeniem taboru.

Na kolejach niemieckich [7,15] do interpretacji i oceny wyników pomiarów i kontroli wizualnych w odniesieniu do ich wpływu na bezpieczeństwo stosuje się 4 klasy błędów, sprawdzonym schematem SR (rys. 1). Ocena jakościowa klasy błędu pozwala na określenie potrzebnych działań oraz czasu reakcji, które mogą być wyznaczone za pomocą reguł empirycznych lub analitycznie, np. metodą *Failure Mode and Analysis Efekty* (FMEA).



Rys. 1. Schemat przebiegu zużycia (rozwoju wad) uwzględniający granice (tolerancje) i klasy błędów [7]

Klasa błędu 4 odpowiada granicy akceptacji SRA, która określa odchyłki dopuszczalne przy odbiorze robót i służy do sprawdzenia jakości wykonanych napraw.

Klasa błędu 3 odpowiada granicy ekonomicznej wykonania robót SR_{100} , a wartość ta jest granicą, której przekroczenie oznacza konieczność wykonania naprawy przed kolejnym badaniem (pomiarom) geometrii toru kolejowego. W Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności dla podsystemu Infrastruktura [4] wartość ta jest równoznaczna z progiem interwencyjnym IL. Tolerancja ta jest wczesnym ostrzeżeniem, że należy przeprowadzić naprawy w ramach działań planowych, których koszty mogą być stosunkowo małe.

Klasa błędu 2 określa granicę bezpieczeństwa SR_{lim} , której przekroczenie związane jest z bezpieczeństwem i należy podjąć niezbędne środki w celu jego zwiększenia. Związane to jest z ograniczeniem prędkości (np. do $0,7V_{max}$), skróceniem cyklu diagnostycznego lub przeprowadzeniem dodatkowych badań.

Klasa błędu 1 określa wartość graniczną SR_G , po przekroczeniu której pozostaje niewielka, trudna do zdefiniowania rezerwa bezpieczeństwa. Przekroczenie tej granicy wymaga natychmiastowego zamknięcia toru lub przeprowadzenia naprawy, a koszt wykonania robót jest zazwyczaj bardzo duży.

W przepisach [17] obowiązujących w Polsce również można wyróżnić pewne klasy odchyłek dopuszczalnych. Stosowane są zatem dwie granice odchyłek przy odbiorze ostatecznym dla torów po naprawie głównej lub modernizacji oraz po naprawie bieżącej. Natomiast w czasie eksploatacji pomierzone nierówności toru nie powinny przekraczać dopuszczalnych wartości, które zostały określone na podstawie kryterium spokojności jazdy i nazwane usterkami klasy C. Dodatkowo obliczane są jeszcze 3 klasy odchyłek A, B i oznaczone symbolem „*”, które stanowią odpowiednio 50%, 75% i 125% wartości odchyłki C.

Analizując poziomy jakości geometrycznej toru kolejowego należy stwierdzić, że w przepisach kolei europejskich można wyróżnić cztery główne przedziały, które są najczęściej bezpośrednio powiązane z terminem wykonania następnego przeglądu (badań, pomiarów, oględzin) i są to granice:

- jakości nowego toru,
- decyzji utrzymaniowych w trakcie następnego przeglądu (granica czujności AL),
- decyzji utrzymaniowych przed następnym przeglądem (granica działań planowanych IL),
- decyzji natychmiastowych (granica działań bezpośrednich IAL).

Pomijając granice odchyłek dla torów nowych i po naprawie, które opisują jakość wykonywanych robót, pozostałe trzy granice opisują zakres podjętych działań AL, IL i IAL w czasie kolejnych przeglądów.

W tabelicy 1 przedstawiono porównanie stosowanych poziomów jakości geometrii toru według TSI [4], norm [8, 13] i w przepisach krajowych na wybranych kolejach [2, 7, 16, 17].

Tablica 1

Poziomy jakości geometrii toru według przepisów i norm kolei europejskich

	Według					
	[4,13]	[8]	[2]	[17]	[16]	[7]
Jakość nowych torów			0/1	+	A	SR_A
Granica czujności	AL	QN1	3		B	-
Granica działań planowanych	IL	QN2	4	B	C	SR_{100}
Granica działań bezpośrednich	IAL	QN3	max/min.	C	D	SR_{lim}

Należy zwrócić uwagę, że jednoznaczne przyporządkowanie odpowiednich poziomów jakości stosowanych zarówno w normie [8], jak i w dokumentach utrzymaniowych niektórych zarządców infrastruktury [7, 17] do granic opisanych w wytycznych TSI [4] oraz normie [13] może sprawiać pewne problemy. Wynika to z różnego podejścia do problemu zarządzania infrastrukturą szybną, zwłaszcza polityki jej utrzymania. Dlatego też przedstawio-

ne granice będą wymagały podjęcia różnych decyzji utrzymaniowych, które mogą obejmować wykonanie dodatkowych pomiarów, zmiana cyklu diagnostycznego, zmniejszenie prędkości, czy też zaplanowanie i przeprowadzenia naprawy w określonym terminie i zakresie.

Porównanie wybranych wartości odchyłek dopuszczalnych

Podstawą porównania odchyłek dopuszczalnych nierówności geometrycznych toru jest stosowanie jednolitego systemu pomiarowego zgodnie z normami [9, 10], a szczególnie dotyczy to nierówności pionowych i poziomych. W celu porównania wyników uzyskanych z różnych systemów pomiarowych, sygnały należy odpowiednio skorygować i przefiltrować. W tym celu zaleca się stosowanie filtra Butterworth'a czwartego rzędu [8, 10] z długością fali odcięcia dolnego 3 m i górnego 25 m, tj. w pełnym zakresie pomiaru nierówności dla cięciwy D1 [9].

W tabelicy 2 przedstawiono odchyłki dopuszczalne dla nierówności pionowych i poziomych oraz odchylenia standardowe dla poziomów jakości geometrycznej toru QN1 i QN2 [8]. Wartości te opracowane zostały dla systemu pomiarowego kolei holenderskich i zgodnie z TSI [4] powinny być uwzględnione przy określaniu poziomów jakości toru.

W celu otrzymania porównywalnych pomiarów z drezyny, gdzie zastosowano symetryczny układ cięciwowy, można wykorzystać współczynnik uproszczonej korelacji aktualnego stanu geometrii toru k . Dla systemu pomiarowego stosowanego w Polsce można przyjąć dla nierówności pionowych $k = 0,73$ i nierówności poziomych $k = 0,71$. W praktyce oznacza to pomnożenie wartości odchyłek dopuszczalnych z tabelicy 2 przez odpowiedni współczynnik k [8].

Aby otrzymać czyste wartości mierzonych parametrów geometrycznych toru, można również zastosować funkcję przejścia systemu pomiarowego i skorygować pomierzone sygnały, a następnie porównać z wartościami QN1, QN2 i QN3.

W tabelicy 3 porównane zostały w wybranym zakresie prędkości wartości nierówności poziomych opisane w normie [8] z usterekami klasy C stosowanymi w Polsce zgodnie z instrukcją [17]. W pierwszej kolejności obliczono wartości dla poziomu jakości QN3 (QN2 razy 1,3), a następnie pomnożono je przez współczynnik uproszczonej korelacji $k = 0,71$. Należy zwrócić

uwagę, że wartości dopuszczalne usterek klasy C dla prędkości do 100 km/h są większe w Polsce od wartości przedstawionych w normie [8] dla poziomu jakości QN3. W przedziale prędkości 120–160 km/h wartości te są identyczne, a dla prędkości większej od 180 km/h – mniejsze wartości są w przepisach polskich [17].

Podobną zależność można wyznaczyć między wartościami odchyłek dla poziomu jakości QN2 i klasą odchyłek B, która stanowi 75% wartości usterek klasy C.

W tabelicy 4 przedstawiono odchyłki nierówności poziomych dla kolei niemieckich [15], zaś w tabelicy 5 zamieszczone w normie [13]. Należy zauważyć, że wartości tych odchyłek są porównywalne w określonych zakresach prędkości.

W tabelicy 6 przedstawiono porównanie odchyłek dopuszczalnych dla granic jakości geometrycznej toru QN3 i IL określonych w normach [8, 15], wartości SR_{100} zapisanych w przepisach kolei niemieckich [15] i usterek kla-

Tabela 2

Wartości odchyłek nierówności pionowych i poziomych oraz odchylenia standardowe dla poziomów jakości QN1 i QN2 według normy [8] (QN3 = 1,3×QN2)

Prędkość [km/h]	Nierówności			
	poziome		pionowe	
	wartości dla poziomu jakości [mm]			
	QN1	QN2	QN1	QN2
Wartość maksymalna (średnia do wartości szczytowej)				
$V \leq 80$	12,0	14,0	12,0	16,0
$80 < V \leq 120$	8,0	10,0	8,0	12,0
$120 < V \leq 160$	6,0	8,0	6,0	10,0
$160 < V \leq 200$	5,0	7,0	5,0	9,0
$200 < V \leq 300$	4,0	6,0	4,0	8,0
Odchylenia standardowe				
$V \leq 80$	1,5	1,8	2,3	2,6
$80 < V \leq 120$	1,2	1,5	1,8	2,1
$120 < V \leq 160$	1,0	1,3	1,4	1,7
$160 < V \leq 200$	0,8	1,1	1,2	1,5
$200 < V \leq 300$	0,7	1,0	1,0	1,3

Tabela 3

Porównani nierówności poziomych według normy [8] i przepisów polskich [17]

Prędkość [km/h]	Nierówności poziome [mm]			
	QN2	QN3 = 1,3*QN2	QN3*0,71	C [17]
$V = 80$	14	18	13	17
$V = 100$	10	13	9	13
$V = 120$	10	13	9	9
$V = 140$	8	10	7	7
$V = 160$	8	10	7	6
$V = 180$	7	9	6	5
$V = 200$	7	9	6	4

Tabela 4

Odchyłki nierówności poziomych według przepisów niemieckich RIL 821.2001 [15]

Prędkość [km/h]	$V \leq 80$	$80 < V \leq 120$	$120 < V \leq 160$	$160 < V \leq 230$	$12 < V \leq 160$	$160 < V \leq 230$
	SR_{100}				SR_{lim}	
Nierówności [mm]	15	13	11	9	14	11

Tabela 5

Odchyłki nierówności poziomych [mm] – od średniej do wartości szczytowej [13]

Prędkość [km/h]	Granica		
	czujności AL	działań planowanych IL	działań bezpośrednich IAL
	zakres długości fal D1: 3 m < λ ≤ 25 m		
$V \leq 80$	12–15	15–17	22
$80 < V \leq 120$	8–11	11–13	17
$120 < V \leq 160$	6–9	8–10	14
$160 < V \leq 230$	5–8	7–9	12

sy C (C/k po korekcie), obowiązujących na kolejach polskich [17]. Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że w zakresie prędkości <120; 160> wartości tych odchyłek są porównywalne. Dla prędkości mniejszych niż 120 km/h odchyłki w Polsce są zwiększone, a powyżej prędkości 160 km/h wartości odchyłek są mniejsze od przedstawionych w opracowaniach [4, 8, 15]

Tablica 6

Porównanie odchyłek dopuszczalnych nierówności poziomych dla granicy IL

Granica działań planowanych IL	Prędkość V [km/h]				
	100	120	140	160	180
QN3 [8]	13	13	10	10	9
IL [4]	11–13	11–13	8–10	8–10	7–9
SP ₁₀₀ [15]	13	13	11	11	9
C [17]	13	9	7	6	5
C/k = 0,71	18	13	10	9	7

Podsumowanie

Zarządca infrastruktury kolejowej w zakresie dostosowanie wymagań związanych z oceną poziomu jakości geometrii toru kolejowego jest zobowiązany do zapisania w planie utrzymania wartości granic działań bezpośrednich, działań planowanych i czujności dla nierówności pionowych, poziomych, wchrowatości, szerokości toru oraz przechyłki zgodnie z TSI dla podsystemu infrastruktura.

Przy ustalaniu opisanych granic zarządca infrastruktury musi brać pod uwagę wartości graniczne w zakresie jakości toru, służące za podstawę do akceptacji pojazdu (QN1–QN3). Odnoszą się one do rzeczywistego stanu toru, z uwzględnieniem odchyłek nierówności toru, które zostały ustalone zgodnie z zasadami utrzymania, wynikającymi z wiedzy i dobrej praktyki.

Ocena planu utrzymania każdej linii kolejowej dla podsystemu Infrastruktura prowadzona jest przez jednostkę notyfikowaną i sprowadza się faktycznie do potwierdzenia, że dokumentacja utrzymania istnieje i zawiera pozycje wyszczególnione w TSI. Jednostka notyfikowana nie jest natomiast odpowiedzialna za ocenę przydatności szczegółowych wymagań zapisanych w dokumentacji utrzymania.

Na podstawie przeprowadzonej analizy nierówności poziomych należy stwierdzić, że po wprowadzeniu korekty uwzględniającej różne systemy pomiarowe, klasa usterek C stosowana w Polsce odpowiada granicy wartości odchyłek QN3 i IL. Podobna zależność występuje dla klasy odchyłek B (75% wartości usterek klasy C), której odpowiada poziom jakości geometrii toru dla granicy QN2 i AL.

Analizując odchyłki dopuszczalne nierówności toru zapisane w normie [13] należy zaznaczyć, że nie można ich wykorzystać bezpośrednio do oceny stanu toru, pomijając stosowany przez zarządcę infrastruktury system pomiarowy. Dotyczy to szczególnie nierówności pionowych i poziomych, które muszą być mierzone i oceniane zgodnie z normami serii PN-EN 13848 [6,9,10,11,12,13].

Literatura

- [1] Bałuch H., Bałuch M.: *Determinanty prędkości pociągów – układ geometryczny i wady toru*. Instytut Kolejnictwa, Warszawa 2010.
- [2] Banenorm BN1-38-3. *Sporbeliggenhedskontrol og sporkvalitetsnormer*. Banedanmark Copenhagen, Denmark 2008.
- [3] Banverket BVF 587.032. *Sparlageskontroll och kvalitetsnormer*. Central matvagn STRIX, Banverket, Borlange, Sweden, 1997.
- [4] Decyzja Komisji z 26 kwietnia 2011 r. dotycząca technicznej specyfikacji interoperacyjności podsystemu „infrastruktura” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych (2011/275/UE).
- [5] Decyzja Komisji z 26 kwietnia 2011 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” w transeuropejskim systemie kolei konwencjonalnych (2011/291/UE).
- [6] EN 13848-6 *Railway applications - Track - Track geometry quality Part 6: Characterization of track geometry quality*. (Draft 2012).
- [7] Kochs A., Marx A.: *Infrastruktur-Daten-Management für Verkehrsunternehmen*. Innovatives Instandhaltungsmanagement mit IDMVU. Detaillierte Beschreibung und Beispiele. Berlin 2009.
- [8] PN-EN 14363:2007: *Kolejnictwo. Badania właściwości dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu. Badanie właściwości biegowych i próby stacjonarne*.
- [9] PN-EN 13848-1+A1:2008. *Kolejnictwo. Tor. Jakość geometryczna toru. Część 1: Charakterystyka geometrii toru*.
- [10] PN-EN 13848-2:2006. *Kolejnictwo. Tor. Jakość geometryczna toru. Część 2: Systemy pomiarowe. Pojazdy do pomiarów toru*.
- [11] PN-EN 13848-3:2009. *Kolejnictwo. Tor. Jakość geometryczna toru. Część 3: Systemy pomiarowe. Maszyny do budowy i utrzymania toru*.
- [12] PN-EN 13848-4:2012. *Kolejnictwo. Tor. Jakość geometryczna toru. Część 4: Systemy pomiarowe. Urządzenia lekkie i ręczne*.
- [13] PN-EN 13848-5+A1:2010. *Kolejnictwo. Tor. Jakość geometryczna toru. Część 5: Poziomy jakości geometrycznej. Szlak*.
- [14] *Railway Group Standard GC/RT5021 Iss 5*. RSSB, Rail Safety and Standards Board Limited. London 2011.
- [15] RIL 820.2001. *Prüfung der Gleisgeometrie mit Gleismessfahrzeug*. DB AG.
- [16] Wrang M.: *Forstudie. Jarnvagsystem for 250 km/h och 320 km/h – del projekt samverkan Fordon-bana*. MiW Konsult AB, Alta, Sweden, 2008.
- [17] *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 18.05.2005 r. Biuletyn PKP PLK S.A. nr 02 z 10.06.2005 r. poz. 15.
- [18] UIC 518: *Testing and Approval of Railway Vehicles from the Point of View of their Dynamic Behaviour – Safety – Track Fatigue – Ride Quality*. International Union of Railways, 3rd ed., Paris, October 2005.

dr inż. Zbigniew Kędra
Politechnika Gdańska

