

# WPLYW ZMIAN W POLSKICH PRZEPISACH NA PROJEKTOWANIE UKŁADÓW GEOMETRYCZNYCH TORU<sup>1</sup>

---

---

**Dorota Błaszkiwicz**

mgr inż. Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24,  
31-155 Kraków, e-mail: dorotablaszkiewicz@gmail.com

**Paulina Szablowska**

mgr inż. Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24,  
31-155 Kraków, email: paulinaszablowskaa@gmail.com

---

---

***Streszczenie.** W artykule autorzy omówili zmiany w polskich przepisach dotyczących projektowania układów geometrycznych linii kolejowych na przestrzeni ostatnich lat. Przedstawiono również przykładowy schemat obliczania podstawowych parametrów układów geometrycznych przeprowadzany według dwóch wytycznych.*

***Słowa kluczowe:** parametry układu geometrycznego, projektowanie, promień łuku, krzywa przejściowa, przeżyłka*

## 1. Wprowadzenie, geneza pracy

Wraz z rozwojem polskiego rynku kolejowego, a co za tym idzie, systematycznym wdrażaniem wymagań zawartych w specyfikacjach TSI [3] oraz w Normach Europejskich [4], koniecznym stało się dostosowanie polskich przepisów do ww. wytycznych. Pierwszą istotną zmianą było wprowadzenie w 2014 roku nowelizacji przepisów techniczno – budowlanych kolei, tj. wejście w życie Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 5 czerwca 2014 r., zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle klejowe i ich usytuowanie [2] (dalej Dz.U. 151). Zmiana ta dotyczyła kluczowego dla infrastruktury kolei w Polsce aktu prawa kolejowego, tj. Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1988 r., w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle klejowe i ich usytuowanie [1]. Dokument ten, w sposób znaczący warunkował efektywność rozwiązań, jakie mogły być przyjmowane przez projektantów przy wyborze zarówno geometrii torowiska, skrajni, peronów, jak również rozwiązań samej konstrukcji torowiska. Wielokrotnie rozwiązania zgodne z [1] determinowały konieczność stosowania rozwiązań droższych i niekorzystnych, jak na przykład ograniczenie pochyłeń podłużnych do 6‰, czy też konieczności sprawdzania warunku dla „sumy/różnicy” sąsiednich pochyłeń. Dokument [2], nazwany również „małą nowelizacją”, dał możliwość częściowego wprowadzenia wymagań zawartych w [3] i [4].

---

<sup>1</sup> Wkład autorów w publikację: Błaszkiwicz D. 50%, Szablowska P. 50%

Zarówno w [1] jak i w [2] przy projektowaniu układów geometrycznych torów, przyjęto podejście wykorzystujące parametr przyspieszenia niezrównoważonego oraz zasadę wirtualnej krzywej przejściowej. Podejście to jednak w dalszym ciągu jest niezgodnie z wymaganiami określonymi w [4], gdzie przy projektowaniu układów geometrycznych projektant powinien opierać się na metodzie oceny nagłej zmiany niedoboru przechyłki. Dla dostosowania polskich wytycznych do wymagań europejskich, główny zarządca polskiej infrastruktury kolejowej, którym jest PKP Polskie Linie Kolejowej S.A. opracował dokument pn. „ST-T1-A6 Układy geometryczne toru” stanowiący załącznik do Standardów Technicznych – szczegółowych warunków technicznych dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} \leq 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem) TOM I, stanowiący kompleksowy zbiór wytycznych oraz zasad projektowania układów geometrycznych torów oraz połączeń torów [5]. Dokument ten wszedł w życie z dniem 1 stycznia 2018 r.

W kolejnych podrozdziałach artykułu autorzy omówili główne parametry związane z projektowaniem układów geometrycznych linii kolejowych, zasady ich doboru oraz obliczania. Na podstawie przykładu obliczeniowego pokazano różnice w projektowaniu zgodnie ze starymi wytycznymi [2] oraz nowymi [5].

## 2. Główne parametry projektowe

Parametry kinematyczne oraz geometryczne linii kolejowej dobierane są zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej. Poszczególne dokumenty normatywne określają wartości dopuszczalne tych parametrów oraz zasady ich doboru. W załączniku ST-T1-A6 Układy geometryczne torów - Standardów Technicznych [5] dodatkowo zostały określone progi (zakresy) stosowania dopuszczalnych wartości parametrów geometrycznych i kinematycznych. W tab. 1 przedstawiono progi ich stosowania.

*Tabela 1. Progi stosowania parametrów geometrycznych*

<b>Próg 0 – zalecane wartości dopuszczalne</b>	
Przekroczenie Progu 0:	Dopuszczone jest w przypadkach uzasadnionych względami technicznymi/lub ekonomicznymi - decyzję podejmuje projektant.
<b>Próg 1 – normalne wartości dopuszczalne</b>	
Przekroczenie Progu 1:	Wymaga zgody Zakładu Linii Kolejowych lub we wskazanych przypadkach Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.
<b>Próg 2 – rozszerzone wartości dopuszczalne</b>	
Przekroczenie Progu 2:	Wymaga uzyskania odstępstwa od zapisów niniejszych standardów udzielanego w formie uchwały Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.
<b>Próg 3 – graniczne wartości wynikające z przepisów powszechnie obowiązujących</b>	

*Źródło: [5]*

W Dz.U. 151 [2] nie uwzględniono takiego podziału. Uwzględniono natomiast podział linii kolejowych na cztery kategorie w zależności od jej parametrów

eksploatacyjnych, tj. obciążenia przewozami, prędkości maksymalnej pociągów pasażerskich oraz prędkości maksymalnej pociągów towarowych.

Do głównych paramentów projektowych zaliczamy:

- a) W płaszczyźnie poziomej:
  - minimalną długość łuków poziomych i odcinków prostych,
  - wartość promienia łuku poziomego,
  - wartość przechyłki,
  - przyspieszenie odśrodkowe\ niedomiar przechyłki,
  - przyspieszenie dośrodkowe\ nadmiar przechyłki,
  - rampę przechyłową,
  - krzywą przejściową;
- b) W płaszczyźnie pionowej:
  - pochylenie podłużne,
  - załomy niwelety,

W kolejnym podrozdziale opisano szczegółowo sposób obliczania - doboru poszczególnych parametrów - na konkretnym przykładzie projektowym.

### 3. Przykład projektowy

W celu porównania parametrów projektowych posłużono się podstawowym układem geometrycznym: odcinek prosty – krzywa przejściowa – łuk – krzywa przejściowa – odcinek prosty. Założono planowaną do uzyskania prędkość projektową dla pociągów pasażerskich wynoszącą 200 km/h, a dla pociągów towarowych 120 km/h oraz średnie obciążenie przewozami na poziomie 12 Tg/rok, na nowo budowanej linii kolejowej. Planowana do zabudowy nawierzchnia, to konstrukcja podsypkowa w klasie toru 0. Wobec powyższego przypisano linię kolejową do kategorii „magistralne” (wg. [1]) oraz typu M200 (wg. [6]). Ponadto dla elementów układu projektowanego wg [5] przyjęto wartości z progu P1 – normalne wartości dopuszczalne oraz normalne warunki terenowe (odcinki proste – teren nizinny). Założono, iż projektowany układ będzie zaprojektowany na możliwe jak najmniejszym promieniu łuku kołowego.

#### 3.1. Minimalna długość łuków poziomych i odcinkach prostych

##### a) Dz. U. 151 {2}

Najmniejsza długość odcinka prostego (bez przechyłki) uzależniona jest od warunków terenowych, rodzaju torów oraz przyjętej prędkości maksymalnej (tabela 3.15 [1]). Dla przyjętego przykładu obliczeniowego (normalne warunki terenowe, tory główne i szlakowe) wynosi ona:

$$l_{min} = \frac{v_{max}}{2,5} = \frac{200}{2,5} = 80 \text{ m} \quad (1)$$

Minimalna długość łuku poziomego uzależniona jest od przyjętej prędkości maksymalnej oraz kategorii linii kolejowej. Dla przyjętego przykładu jest ona tożsama z minimalną długością wstawki prostej.

*b) ST-T1-A6 Układy geometryczne torów {5}*

Minimalna długość odcinka prostego pomiędzy łukami powinna być taka sama jak minimalna długość łuku poziomego. Długość ta uzależniona jest od przyjętej prędkości maksymalnej i dla przedmiotowego przykładu wynosi:

$$L = 0,40 \cdot V_{max} = 80 \text{ m} \quad (2)$$

### *3.2 Przyspieszenie odśrodkowe \ Niedomiar przechyłki*

*a) Dz. U. 151 {2}*

Dopuszczalna wartość nie zrównoważonego przyspieszenia odśrodkowego zależy od rodzaju projektowanego układu torowego. Dla zakładanego przykładu wynosi ona  $0,85 \text{ m/s}^2$ , zgodnie z tab. 3.9 dla ruchu pasażerskiego.

*b) ST-T1-A6 Układy geometryczne torów {5}*

Niedomiar przechyłki wyznaczany jest indywidualnie, zależy od promienia łuku poziomego –  $R_{min}$ , przechyłki –  $D$  oraz prędkości maksymalnej  $V_{max}$ . Wartość ta obliczana jest ze wzoru:

$$I = 11,8 \frac{V_{max}^2}{R} - D = D_{eq} - D \text{ [mm]} \quad (3)$$

Ponadto dopuszczalne wartości niedomiaru przechyłki uzależnione są od przyjętego progu (zakresu) oraz uwarunkowań projektowych. W omawianym przykładzie przyjęto maksymalną dopuszczalną wartość parametru, pozwalającą na uzyskanie możliwie najmniejszego promienia łuku kołowego przy zakładanej prędkości pociągów. Wartość ta dla torów szlakowych oraz głównych zasadniczych i dodatkowych, w zakładanym progu P1 wynosi 130 mm.

### *3.3. Przyspieszenie dośrodkowe \ Nadmiar przechyłki*

*a) Dz. U. 151 {2}*

Dopuszczalna wartość nie zrównoważonego przyspieszenia dośrodkowego zależy od projektowanego obciążenia przewozami. W omawianym przykładzie założono obciążenie przewozami na poziomie 12 Tg/rok. W związku z tym wartość przyspieszenia odśrodkowego, na podstawie tabeli 3.10 przyjęto na poziomie  $0,52 \text{ m/s}^2$ .

*b) ST-T1-A6 Układy geometryczne torów {5}*

Nadmiar przechyłki wyznaczany jest indywidualnie, zależy od promienia łuku poziomego –  $R_{\min}$ , przechyłki –  $D$  oraz prędkości minimalnej  $V_{\min}$ . Wartość ta obliczana jest ze wzoru:

$$E = D - 11,8 \cdot \frac{V_{\min}^2}{R} = D - D_{eq, V_{\min}} \text{ [mm]} \quad (4)$$

Ponadto dopuszczalne wartości niedomiaru przechyłki uzależnione są od przyjętego progu (zakresu) oraz prognozowanego natężenia przewozów. W omawianym przykładzie przyjęto maksymalną dopuszczalną wartość parametru, pozwalającą na wyznaczenie maksymalnej możliwej przechyłki. Wartość ta dla progu P1 oraz obciążenia przewozami wynoszącego 12 Tg/rok wynosi 95 mm.

### 3.4. Promień łuku poziomego

*a) Dz. U. 151 {2}*

Minimalna wartość promienia łuku poziomego powinna być dobrana dwuetapowo. Po pierwsze, zależy ona od dopuszczalnego przyspieszenia odśrodkowego –  $a_{\text{dop}}$  ( $0,85 \text{ m/s}^2$ ), maksymalnej dopuszczalnej przechyłki –  $h_{\text{max}}$  ( $150 \text{ mm}$ ) oraz prędkości maksymalnej –  $V_{\text{max}}$  ( $200 \text{ km/h}$ ) i wylicza się ją ze wzoru:

$$R_{\min} = \frac{V_{\text{max}}^2}{a_{\text{dop}} + \frac{g}{s} \cdot h_{\text{max}}} = \frac{200 \frac{\text{km}^2}{\text{h}}}{0,85 \text{ m/s}^2 + \frac{9,81 \text{ m/s}^2}{1,5 \text{ m}} \cdot 150 \text{ mm}} = 1686 \text{ m} \quad (5)$$

W drugim kroku należy sprawdzić czy obliczona wartość promienia nie jest mniejsza niż dopuszczalna zgodnie z tab. 3.8 [1]. W rozważanym przypadku wartość dopuszczalna jest mniejsza niż obliczona i wynosi 1400 m (linia magistralna, teren nizinny).

*b) ST-T1-A6 Układy geometryczne torów {5}*

Minimalna wartość promienia łuku poziomego powinna być w tym przypadku również dobrana dwuetapowo. Po pierwsze, zależy ona od przyjętego progu oraz rodzaju projektowanych torów i opiera się na podstawie tabeli 9.2, dla przyjętego przykładu obliczeniowego wynosi ona 300 m (próg P1, tory szlakowe i główne zasadnicze).

W drugim kroku minimalną wartość promienia łuku należy wyliczyć, w zależności od prędkości maksymalnej –  $V_{\text{max}}$  ( $200 \text{ km/h}$ ), przechyłki –  $D$  (przyjęto maksymalną możliwą –  $150 \text{ mm}$ ) oraz niedomiaru przechyłki –  $I_{\text{dop}}$  ( $130 \text{ mm}$ ), przy uwzględnieniu ograniczeń terenowych i infrastrukturalnych. Wartość tę wylicza się ze wzoru:

$$R_{\min} = 11,8 \cdot \frac{V_{\text{max}}^2}{D + I_{\text{dop}}} = 11,8 \cdot \frac{(200 \text{ km/h})^2}{150 \text{ mm} + 130 \text{ mm}} = 1686 \text{ m} \quad (6)$$

Ponadto Zarządca Infrastruktury podaje zalecane wartości minimalnych promieni łuków w zależności od typu linii oraz warunków terenowych. Dla przytoczonego przykładu minimalna zalecana wartość to 2300 m. Wartość ta jest wstępną zalecaną do projektowania z uwagi na zmniejszenie oddziaływania taboru na nawierzchnię kolejową. Nie ma ona jednak charakteru wartości obligatoryjnej do zastosowania.

### 3.5. Przechyłka

#### a) Dz. U. 151 {2}

Wartość przechyłki „h” w torach na szlakach, w torach głównych zasadniczych na stacjach oraz w rozjazdach łukowych położonych w tych torach, powinna spełniać nierówność:

$$\frac{11,8 \cdot V_{\max}^2}{R} - \frac{s}{g} \cdot a_{dop} \leq h \leq \frac{11,8 \cdot V_t^2}{R} + \frac{s}{g} \cdot a_t \quad (7)$$

gdzie:

$V_{\max}$  – maksymalna prędkość pociągów pasażerskich [km/h]: 200 km/h,

$R$  – promień łuku [m]: 1686 m,

$s$  – rozstaw osi szyn w torze [mm]: 1500 mm,

$V_t$  – prędkość pociągów towarowych [km/h]: 120 km/h,

$g$  – przyspieszenie [ $m/s^2$ ]: 9,81  $m/s^2$ ,

$a_{dop}$  – dopuszczalna wartość niezrównoważonego przyspieszenia odśrodkowego [ $m/s^2$ ]: 0,85  $m/s^2$ ,

$a_t$  – dopuszczalna wartość niezrównoważonego przyspieszenia dośrodkowego [ $m/s^2$ ]: 0,32  $m/s^2$ ,

$h$  – wartość przechyłki [mm]

Dla przedstawionego przykładu obliczona wartość przechyłki powinna znajdować się w przedziale  $149,98 \text{ mm} \leq h \leq 180,29 \text{ mm}$ , a także w wartościach dopuszczalnych:

$$20 \text{ mm} \leq h \leq 150 \text{ mm}$$

Wobec powyższego przyjęto przechyłkę na poziomie 150 mm.

#### b) ST-T1-A6 Układy geometryczne torów {5}

W {2} wprowadzono nowy – dostosowany do wymagań {4} – skrót dla oznaczenia przechyłki jako D. Minimalną wartość przechyłki, określa się dla maksymalnej prędkości pojazdu szynowego, maksymalną wartość przechyłki określa się dla minimalnej prędkości pojazdu szynowego, zgodnie z wzorami:

$$D_{\min} = \frac{11,8 \cdot V_{\max}^2}{R} - I_{dop} = \frac{11,8 \cdot (200 \frac{km}{h})^2}{1686 \text{ m}} - 130 \text{ mm} = 149,95 \text{ mm} \quad (8)$$

$$D_{\max} = \frac{11,8 \cdot V_{\min}^2}{R} + E_{dop} = \frac{11,8 \cdot (120 \frac{km}{h})^2}{1686 \text{ m}} + 95 \text{ mm} = 195,78 \text{ mm} \quad (9)$$

gdzie:

$V_{\max}$  – maksymalna prędkość pociągów pasażerskich [km/h]: 200 km/h,

$R$  – promień łuku [m]: 1686 m,

$V_{\min}$  – prędkość pociągów towarowych [km/h]: 120 km/h,

$I_{\text{dop}}$  – niedomiar przechyłki [ $\text{m/s}^2$ ]: 130 mm,

$E_{\text{dop}}$  – nadmiar przechyłki [ $\text{m/s}^2$ ]: 95 mm,

$D$  – wartość przechyłki [mm]

Ponadto przechyłka powinna się mieścić w określonym przedziale wartości dopuszczalnych w zależności od przyjętego progu \ zakresu, w analizowanym przypadku jest to przedział 20 – 150 mm. W związku z powyższym, przyjęto maksymalną dopuszczalną wartość przechyłki, tj. 150 mm.

### 3.6. Krzywa przejściowa

a) Dz. U. 151 {2}

Najprostszą (i zalecaną) krzywizną dla krzywej przejściowej jest parabola trzeciego stopnia. Krzywą taką określa się następującym wzorem:

$$y = \frac{x^3}{6 \cdot R \cdot l} \quad (10)$$

gdzie:

$R$  – promień łuku kołowego [m],

$l$  – długość krzywej przejściowej [m],

$x$  – odległość od początku krzywej przejściowej [m].

Parametrem definiującym długość krzywej przejściowej jest przyrost nierównomiernego przyspieszenia bocznego. Jest on zależny od prędkości pociągu ( $V_{\max}$ ), wartości nierównomiernego przyspieszenia bocznego w łuku kołowym ( $a_{\text{dop}}$ ) oraz długości krzywej przejściowej. Długość krzywej powinna być tak dobrana, aby przyrost niezrównoważonego przyspieszenia bocznego nie był większy niż jego wartość dopuszczalna.

$$\psi = \frac{a \cdot V_{\max}}{3,6 \cdot l} \quad (11)$$

W omawianym przykładzie wartość dopuszczalna przyrostu niezrównoważonego przyspieszenia bocznego, dla torów głównych zasadniczych i szlakowych oraz dogodnych warunków terenowych wynosi  $0,3 \text{ m/s}^3$ . Na tej podstawie oraz na podstawie wzoru (11) obliczono wymaganą długość krzywej przejściowej:

$$l = \frac{a \cdot V_{\max}}{3,6 \cdot \psi_{\text{dop}}} = \frac{0,85 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 200 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{3,6 \cdot 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^3}} = 157,41 \text{ m} \quad (12)$$

b) *ST-T1-A6 Układy geometryczne torów {5}*

Zalecane jest stosowanie krzywej przejściowej w postaci klotoidy lub paraboli trzeciego stopnia (która jest przybliżeniem klotoidy). Dodatkowo wymagane jest sprawdzenie wskaźnika zmiany niedomiaru przechyłki w czasie ( $dI/dt$ ). Minimalna długość krzywej przejściowej powinna zostać obliczona z uwagi na maksymalną prędkość –  $V_{\max}$  dla danego typu linii lub odcinka linii. Z uwagi na fakt, iż zaleca się przyjmowanie równej długości krzywej przejściowej i rampy przechyłkowej, należy sprawdzić również pochylenie rampy ( $dD/ds$ ) oraz zmianę przechyłki w czasie ( $dD/dt$ ), a następnie wybrać wartość maksymalną ze wskazanych poniżej wzorami:

$$L_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} q_N \cdot \Delta D \cdot \left(\frac{dD}{ds}\right)_{dop}^{-1} = 1 \cdot 150 \text{ mm} \cdot \left(2 \frac{\text{mm}}{\text{m}}\right)^{-1} = 75 \text{ m} \\ q_N \cdot \frac{V_{\max}}{3,6} \cdot \Delta D \cdot \left(\frac{dD}{dt}\right)_{dop}^{-1} = 1 \cdot \frac{200 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{3,6} \cdot 150 \text{ mm} \cdot \left(50 \frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)^{-1} = 166,67 \text{ m} \\ q_N \cdot \frac{V_{\max}}{3,6} \cdot \Delta I \cdot \left(\frac{dI}{dt}\right)_{dop}^{-1} = 1 \cdot \frac{200 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{3,6} \cdot 130 \text{ mm} \cdot \left(70 \frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)^{-1} = 103,18 \text{ m} \\ 30 \text{ m} \\ \sqrt{q_R \cdot \Delta R} \text{ - nie dotyczy} \end{array} \right. \quad (13)$$

Z powyższego wynika, iż minimalna długość krzywej przejściowej wynosi 166,67 m i w analizowanym przypadku jej długość determinuje dopuszczalna wartość zmiany przechyłki w czasie.

### 3.7. *Rampa przechyłkowa*

a) *Dz. U. 151 {2}*

Długość ( $l$ ) rampy przechyłkowej zależna jest od przyjętej prędkości maksymalnej –  $V_{\max}$  oraz przechyłki –  $h$ . Powinna być tak dobrana, aby prędkość podnoszenia koła na rampie nie przekroczyła przyjętej wartości dopuszczalnej (zasadnicza wartość to 28 mm/s, dopuszczalna 50 mm/s). Długość rampy oblicza się ze wzoru:

$$f = \frac{V_{\max} \cdot h}{3,6 \cdot l} \quad (14)$$

W rozważanym przypadku zastosowano zasadniczą dopuszczalną wielkość prędkości podnoszenia koła na rampie przechyłkowej, tj. 28 mm/s. Na tej podstawie obliczono minimalną długość rampy przechyłkowej, która nie powinna być mniejsza niż:

$$l = \frac{V_{\max} \cdot h}{3,6 \cdot f_{dop}} = \frac{200 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 150 \text{ mm}}{3,6 \cdot 28 \frac{\text{mm}}{\text{s}}} = 297,62 \text{ m} \quad (15)$$

Należy jednak zauważyć, iż w przypadku przejścia prędkości podnoszenia koła na rampie przechyłkowej na poziomie dopuszczalnym tj. 50 mm/s, minimalna długość rampy przechyłkowej wynosić będzie 166,67 m – czyli jej długość będzie pokrywała się z długością obliczoną wg [5]. Zgodnie z wytycznymi [2] wartość dopuszczalną należy przyjmować w przypadku, gdy z powodu trudnych warunków terenowych nie można zastosować wartości zasadniczej.



*b) ST-T1-A6 Układy geometryczne torów {5}*

Rodzaj zastosowanej ramy przechyłkowej uzależniony od przyjętego progu (zakresu). W przypadku progu P0 oraz P1 należy stosować ramy prostoliniowe. Standardy zalecają stosowanie ramy przechyłkowej o długości zgodniej z długością krzywej przejściowej. Ostateczna długość ramy przechyłkowej i krzywej przejściowej zależy od maksymalnej wartości wynikającej ze wzoru (13) i zależnej od wartości dopuszczalnej pochylenia ramy przechyłkowej, zmiany przechyłki w czasie oraz zmiany niedomiaru przechyłki w czasie.

**3.8. Pochylenie podłużne***a) Dz. U. 151 {2}*

Maksymalna wartość pochylenia podłużnego linii kolejowej zależy od rodzaju przewidzianego ruchu na danym odcinku. W przytoczonym przykładzie mamy do czynienia z ruchem mieszanym, dla którego dopuszczalna wartość pochylenia wynosi 12,5‰.

*b) ST-T1-A6 Układy geometryczne torów {5}*

Maksymalna wartość pochylenia podłużnego linii kolejowej zależy od przyjętego progu (zakresu) oraz od przyjętych uwarunkowań dla danego typu torów. W przytoczonym przykładzie – ruch mieszany - wynosi ona 10‰ dla torów szlakowych i głównych zasadniczych (z wyłączeniem długości użytkowej torów stacyjnych, gdzie maksymalna wartość to 2‰). Ponadto dopuszczalne jest zastosowanie pochylenia podłużnego o wartości 17,5‰, z zastrzeżeniem, iż nie może znajdować się ono na odcinku dłuższym niż 500 m.

Warto również dodać, iż ST, w przeciwieństwie do Dz.U. poz. 151 definiują największą długość odcinka o maksymalnym pochyleniu (która w przypadku linii dla ruchu mieszanego wynosi 3 km), a także najmniejszą długość odcinka o stałym pochyleniu, zależną od maksymalnej długości pociągu. W rozważanym przypadku wynosi ona:

$$\frac{1}{3} \cdot 750 \text{ m} = 250 \text{ m} \quad (16)$$

Ponadto zdefiniowano maksymalną wartość średniego pochylenia na odcinku 10 km, która dla progu P1 i linii o charakterze ruchu mieszanym wynosi 6,25 mm/m.

**3.9. Zmiana pochylenia podłużnego (załomy niwelety) i min. promień łuku pionowego**

Aby porównać powyższy parametr założono odcinek toru o dwóch różnych pochyleniach: wzniesienie 5‰ ( $i_1$ ), a następnie wzniesienie 7‰ ( $i_2$ ).

a) Dz. U. 151 {2}

Zaokrąglenia załomów niwelety należy wykonywać w przypadku, gdy odległość teoretycznego punktu załomu niwelety od krzywizny łuku zaokrąglającego jest większa od 8 mm. Wartość tej odległości obliczamy ze wzoru:

$$z = \frac{R \cdot (i_1 - i_2)^2}{8000} = \frac{20\,000 \text{ m} (5\text{‰} - 7\text{‰})^2}{8000} = 10 \text{ mm} \quad (17)$$

Wartość promienia wyokrąglającego załom niwelety zależy od rodzaju projektowanych torów. W zakładanym przypadku minimalna wartość promienia łuku pionowego (R) na podstawie tabeli 3.16 wynosi 20 000 m (dla torów przeznaczonych do jazdy z prędkościami maksymalnymi ponad 160 km/h na liniach nowobudowanych).

b) ST-T1-A6 Układy geometryczne torów {5}

Zaokrąglenia załomów niwelety należy wykonywać w przypadku, gdy bezwzględna różnica sąsiednich pochyłeń podłużnych przekracza 2 mm/m. W analizowanym przypadku konieczne jest wyokrąglenie załomu, z uwagi na osiągnięcie tej wartości:

$$|5\text{‰} - 7\text{‰}| = 2\text{‰} = 2 \frac{\text{mm}}{\text{m}} \quad (18)$$

Wartość promienia wyokrąglającego załom niwelety zależy od przyjętego progu (zakresu) oraz maksymalnej prędkości na danym odcinku linii. Poniżej przedstawiono wartości, spośród których należy wybrać maksymalną:

$$\max \begin{cases} 0,35 \cdot V^2 = 0,35 \cdot \left(200 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2 = 14\,000 \text{ m} \\ 5\,000 \text{ m} \end{cases} \quad (19)$$

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone na powyższym przykładzie analizy prowadzą do wniosku, iż większość zmian zawartych w [5] dotyczy innego zapisu wzorów oraz zmiany nomenklatury na zgodną z [4]. W nielicznych przypadkach zauważono różnicę pomiędzy wartościami parametrów projektowych wg [2] i [5]. W poniższej tab. 2 zestawiono otrzymane wyniki.

Tabela 2. Zestawienie parametrów obliczonych zgodnie z wytycznymi {2} i {5}

Parametr	Dz. U. 151 [2]	ST-T1-A6 [5]
Minimalna długość łuków poziomych i odcinków prostych	80 m	80 m
Przyspieszenie odśrodkowe \ Nadmiar przechyłki	0,85 m/s <sup>2</sup>	130 mm
Przyspieszenie dośrodkowe \ Nadmiar przechyłki	0,52 m/s <sup>2</sup>	95 mm
Promień łuku poziomego	1686 m	1686 m
Minimalna obliczona wartość przechyłki	149,98 mm	149,95 mm
Przechyłka	150 mm	150 mm
Maksymalna obliczona wartość przechyłki	180,29 mm	195,78 mm
Rampa przechyłkowa	297,62 m	166,67 m
Krzywa przejściowa	157,41 m	166,67 m
Pochylenie podłużne	12,5‰	10‰ (17,5‰ na dł. ≤ 500m)
Zalomy niwelety	wyokrąglenie	wyokrąglenie
Promień łuku pionowego	20 000 m	14 000 m

Niewielką różnicę w wynikach zauważyć można w obliczonej maksymalnej wartości przechyłki. W wybranym przykładzie nie wpływa ona na przyjętą wartość, gdyż znajduje się powyżej maksymalnej dopuszczalnej wartości. W innym przypadku układu geometrycznego może mieć ona nieco większe znaczenie. Powstała różnica wynika z przyjętej wartości przyspieszenia dośrodkowego oraz nadmiaru przechyłki. Chcąc przeliczyć wartość przyspieszenia na nadmiar przechyłki otrzymujemy:

$$\frac{s}{g} \cdot a_t = \frac{1,5 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \cdot 0,52 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 79,51 \text{ mm} \sim 80 \text{ mm} \quad (20)$$

czyli wartość nadmiaru przechyłki dla tego samego obciążenia przewozami (12 Tg/rok), ale znajdującej się w zakresie P0. Postępując w podobny sposób z pozostałymi wartościami przyspieszeń ( $a$ ) otrzymujemy wyniki zestawione w tab. 3.

Tabela 3. Wartości przeliczonych przyspieszeń dośrodkowych na nadmiary przechyłki

Wartość $a$	Wartość obliczona E	Wartość E	
		Próg P0	Próg P1
0,72	110	90	110
0,62	95	95	95
0,52	80	80	95
0,42	64	65	80
0,32	49	50	80

W powyższym przykładzie zauważalna jest pewna kolizja, w której większość wyników pokrywa się z progiem P0 (wartości przyspieszenia dla obciążenia przewozami  $\geq 5$  Tg/rok), natomiast jeden (przyspieszenie dla obciążenia przewozami  $< 5$  Tg/rok) przyjmuje wartość z zakresu P1. Taka parametryzacja w przykładzie na obliczenia wartości przechyłki będzie zatem mieć duży wpływ na jej wartość.

Podobna różnica zauważalna jest przy obliczaniu długości krzywej przejściowej z uwagi na prędkość podnoszenia koła na rampie przechyłkowej (f) wg [2]

oraz odpowiadającej jej zmiany przechyłki w czasie ( $dD/ds$ ) wg [5]. W wyniku obliczeń zauważalna jest spora różnica w otrzymanej minimalnej długości krzywej przejściowej. Wynika to z faktu, iż wg [2] wartość zasadnicza  $f$  wynosi 28 mm/s, natomiast dla progu P1, wg [5] należy przyjąć wartość dopuszczalną na poziomie 50 mm/s (która wg [2] jest wartością dopuszczalną, którą należy stosować jedynie w przypadku trudnych warunków terenowych).

Największą zauważalną różnicą pomiędzy [2] a [5] jest podejście do układu geometrycznego toru w płaszczyźnie pionowej. Pierwszą kwestią są wartości pochyłeń niwelety oraz długości ograniczeń ich stosowania. ST [5] zezwala na stosowanie wartości zawartych w PN-EN 13803 [4], które nie są dopuszczalne z punktu widzenia Dz.U. poz. 151 [2]. Ponadto precyzują maksymalne i minimalne długości, na jakich dane pochylenie może występować. Ponadto zauważalna jest różnica w minimalnych wartościach łuków pionowych. Zostały one ograniczone w stosunku do wymagań Rozporządzenia.

Podsumowując, większość zmian zawartych w ST-T1-A6 [5] dotyczy jedynie przekształceń wzorów, zmiany nomenklatury, czy przyporządkowania wartości dopuszczalnych do różnych progów. Jedynie nieliczne przypadki wychodzą poza wartości dopuszczalne wg Dz. U. poz. 151 [2]. Warto zwrócić uwagę, iż w artykule skupiono się jedynie na prostym układzie geometrycznym, składającym się z odcinka prostego – krzywej przejściowej – łuku kołowego – krzywej przejściowej – odcinka prostego.

## Bibliografia

- [1] Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie.
- [2] Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 5 czerwca 2014 r., zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie.
- [3] Rozporządzenie Komisji (UE) NR 1299/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. dotyczące technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” systemu kolei w Unii Europejskiej;
- [4] PN-EN 13803 Kolejnictwo - Tor - Parametry projektowania toru w planie - Tor o szerokości 1435 mm i większej.
- [5] Standardy Techniczne; Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} \leq 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem); TOM I – ZAŁĄCZNIK ST-T1-A6; UKŁADY GEOMETRYCZNE TORÓW WERSJA 1.0.; Warszawa 2017.

- 
- {6} Standardy Techniczne; Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{\max} \leq 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem); TOM I – Droga Szynowa, wersja 1.1, Warszawa 2017.

