

PROJEKTOWANIE UKŁADU GEOMETRYCZNEGO LINII KOLEJOWYCH O NAGŁYCH ZMIANACH KRZYWIZN ZGODNIE Z NOWELIZACJĄ ROZPORZĄDZENIA¹

Wojciech STRASZEWSKI*

^{*)} Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej

W artykule przedstawiono oraz porównano dwie metody obliczania układów geometrycznych o nagłych zmianach krzywizn, zawarte w Rozporządzeniu [7] oraz Normie [6]. Przeanalizowano następujące układy geometryczne o nagłych zmianach krzywizn: połączenie łuku kołowego z prostą bez krzywej przejściowej, połączenia łuków koszowych oraz odwrotnych bez wstawki prostej oraz z wstawką prostą, połączenia rozjazdowe. Opisano parametry kinematyczne do obliczania układów geometrycznych o nagłych zmianach krzywizn, przedstawione w Rozporządzeniu [7] oraz Normie [6]. Podano wartości rekomendowane oraz wyjątkowe tych parametrów. Porównano dopuszczalne prędkości pociągów wynikające z obliczeń wg Rozporządzenia [7] oraz Normy [6]. Ustalono, że na istniejących liniach kolejowych, podlegających ocenie zgodności z wymaganiami zasadniczymi dla interoperacyjności systemu kolei dla prędkości powyżej 60 km/h, możliwe jest zwiększanie dopuszczalnej prędkości nawet o 50 km/h. Obliczenia połączeń rozjazdowych wg Normy [6] wykazały, że dla wybranych typów rozjazdów zwyczajnych, możliwe jest zwiększenie dopuszczalnej prędkości jazdy na tory zwrotne.

1. WSTĘP

W roku 2014 Minister Transportu i Gospodarki Morskiej wprowadził nowelizację rozporządzenia ws. warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie [7]. Znowelizowane rozporządzenie wprowadziło obowiązek projektowania układów torowych zgodnie z Normą PN-EN 13803 [5, 6] tych linii kolejowych, które podlegają ocenie zgodności z wymaganiami zasadniczymi dla interoperacyjności systemu kolei [2]. Wprowadzenie takich zapisów jest dużą zmianą w prawodawstwie polskim, dotyczącym projektowania i modernizowania linii kolejowych.

W przypadku pierwszej części Normy PN-EN 13803 [5], idea obliczeń układów geometrycznych wykorzystuje metody, które były stosowane dotychczas w przepisach polskich. Inną metodologię obliczeń kinematycznych, dotychczas

¹ DOI 10.21008/j.1897-4007.2016.22.03

rzadko stosową w Polsce, przedstawiono w części drugiej Normy PN-EN 13803 [6], dotyczącej obliczania układów geometrycznych torów z nagłymi zmianami krzywizn.

2. METODY OBLICZENIOWE UKŁADÓW TOROWYCH O NAGŁYCH ZMIANACH KRZYWIZN

W Normie PN-EN 13803 [5, 6] oddzielnie sformułowano zasady projektowania połączeń łuków z prostą przy użyciu krzywej przejściowej [5], oraz bez krzywej przejściowej, łuków kosztowych oraz odwrotnych [6].

W przypadku projektowania połączeń łuków z prostą przy użyciu krzywej przejściowej, parametry kinematyczne zawarte w [5, 7] bazują na tych samych metodach obliczeń. Parametry zawarte w przepisach europejskich takie jak: pochylenie rampy przechyłkowej dD/ds (iloraz przyrostu przechyłki oraz drogi) oraz przyrost przechyłki w czasie dD/dt (iloraz przyrostu przechyłki oraz czasu), mają swoje odzwierciedlenie w Rozporządzeniu [7]. Pierwszy z parametrów jest tak samo ujęty w Rozporządzeniu [7], natomiast drugi odpowiada parametrowi ujętemu w Rozporządzeniu [7] jako prędkość podnoszenia koła na rampie f . Kolejne parametry takie jak: niedomiar przechyłki I , nadmiar przechyłki E oraz prędkość zmiany niedomiaru przechyłki dI/dt (iloraz przyrostu niedomiaru przechyłki oraz czasu) ujęte w przepisach europejskich [5] są przedstawione w Rozporządzeniu [7] kolejno przez następujące parametry: niezrównoważone przyspieszenie odśrodkowe $adop$, niezrównoważone przyspieszenie dośrodkowe at oraz przyrost niezrównoważonego przyspieszenia odśrodkowego ψ . Różnice między tymi parametrami stanowi jedynie nazwa oraz sposób ich ujęcia. Możliwe jest bezpośrednie porównanie tych parametrów, co zostało przedstawione w [4].

W przeciwieństwie do pierwszej części Eurokodu [5], powiązanie z polskimi przepisami [7] parametrów kinematycznych, zawartych w drugiej części Eurokodu [6], jest utrudnione z uwagi na zastosowanie innej metodologii obliczeń. W Normie [6] przedstawiono parametr nagłej zmiany niedomiaru przechyłki (przyrost występujący punktowo) ΔI , dotychczas niestosowany w przepisach polskich. Parametr ten jest brany pod uwagę przy projektowaniu układów torowych o nagłych zmianach krzywizn. W przepisach krajowych analizując układy geometryczne o nagłych zmianach krzywizn stosuje się parametr zmiany niezrównoważonego przyspieszenia bocznego ψ , który zakłada występowanie wirtualnej krzywej przejściowej o długości równej odległości między czopami skreću wagonów pasażerskich, zwanych „bazą sztywną” [1,7].

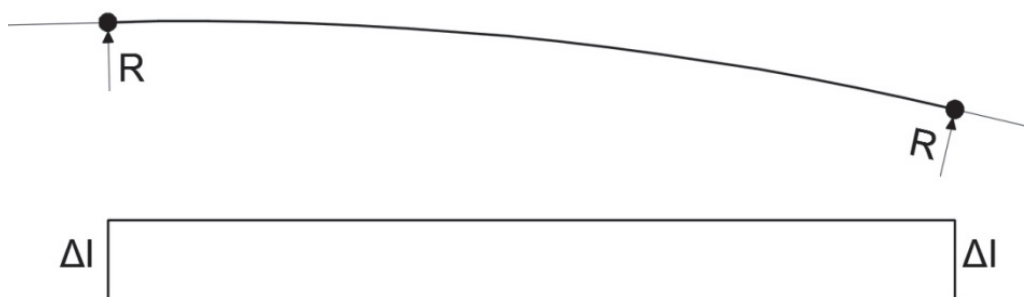
Z uwagi na różne metody obliczania układów geometrycznych o nagłych zmianach krzywizn, utrudnione jest bezpośrednie porównanie między sobą parametrów zawartych w [6] i [7].

Warto zaznaczyć, że w Normie [6] zawarto wytyczne dotyczące projektowania połączeń łuków z prostą bez krzywych przejściowych oraz łuków koszo-

wych z wykorzystaniem metody wirtualnej krzywej przejściowej, tak jak w przepisach krajowych [7]. Jednakże Rozporządzenie [7] nakłada na projektanta obowiązek stosowania metody nagłej zmiany niedomiaru przechyłki w przypadku projektowania linii kolejowych podlegających ocenie zgodności z wymaganiami zasadniczymi dla interoperacyjności systemu kolei.

3. POŁĄCZENIE ŁUKÓW Z PROSTĄ BEZ KRZYWEJ PRZEJŚCIOWEJ

W przypadku układów torowych, w których łuk kołowy jest połączony z prostą bez krzywej przejściowej, tak jak to przedstawiono na rysunku 1 na styku prostej z łukiem kołowym dochodzi do punktowej zmiany krzywizny toru, czego odzwierciedleniem jest punktowa zmiana niedomiaru przechyłki (niezrównoważonego przyspieszenia bocznego) od zera do wartości występującej w łuku. Zależnie od prędkości jazdy pociągów V oraz promienia łuku poziomego R w miejscach styku mogą występować znaczne siły poziome, które mogą przyczynić się do szybszej degradacji elementów nawierzchni oraz do pogorszenia komfortu jazdy.



Rys. 1. Połączenie łuku z prostą bez krzywej przejściowej

Przy projektowaniu łuków z prostą bez krzywej przejściowej wg Normy [6], należy posługiwać się parametrem nagłej zmiany niedomiaru przechyłki ΔI określony wzorem (3.1):

$$\Delta I = \frac{C \cdot V^2}{R} \text{ [mm]} \quad (3.1)$$

gdzie:

$C = 11,8 \text{ [mm} \cdot \text{m} \cdot \text{h}^2 / \text{km}^2 \text{]},$

V – prędkość [km/h],

R – promień łuku poziomego [m].

Wartość nagłej zmiany niedomiaru przechyłki ΔI nie powinna przekraczać wartości granicznych ΔI_{lim} , co opisano nierównością (3.2). Graniczne wartości ΔI_{lim} podano w tabeli 1.

$$\Delta I \leq \Delta I_{lim} \text{ [mm]} \quad (3.2)$$

Tab 1. Dopuszczalne wartości nagłej zmiany niedomiaru przechyłki w planie ΔI_{lim} dla połączeń toru prostego z łukiem kołowym bez krzywej przejściowej wg [6]

Prędkość [km/h]	$V \leq 70$	$70 < V \leq 100$	$100 < V \leq 170$	$170 < V \leq 220$	$220 < V \leq 230$
Wartość rekomendowana ΔI_{lim} [mm]	50	40		30	
Wartość graniczna ΔI_{lim} [mm]*	100		$133 - 0,33 \cdot V$	60	
*odpowiada wartościom rekomendowanym dla połączeń rozjazdowych, jeśli to możliwe, stosowanie tych wartości powinno być unikane					

W przypadku projektowania połączeń łuków z prostą bez krzywej przejściowej wg polskich przepisów [7], powinno się uwzględniać wartość przyrostu niezrównoważonego przyspieszenia bocznego ψ opisanego wzorem (3.3), bazującego na metodzie wirtualnej krzywej przejściowej.

$$\psi = \frac{0,0214 \cdot V^3}{b \cdot R} \text{ [m/s}^3\text{]} \quad (3.3)$$

gdzie:

V – prędkość pociągu [km/h];

b – baza sztywna pojazdu przyjmowana do obliczeń 20 [m];

R – promień łuku kołowego [m].

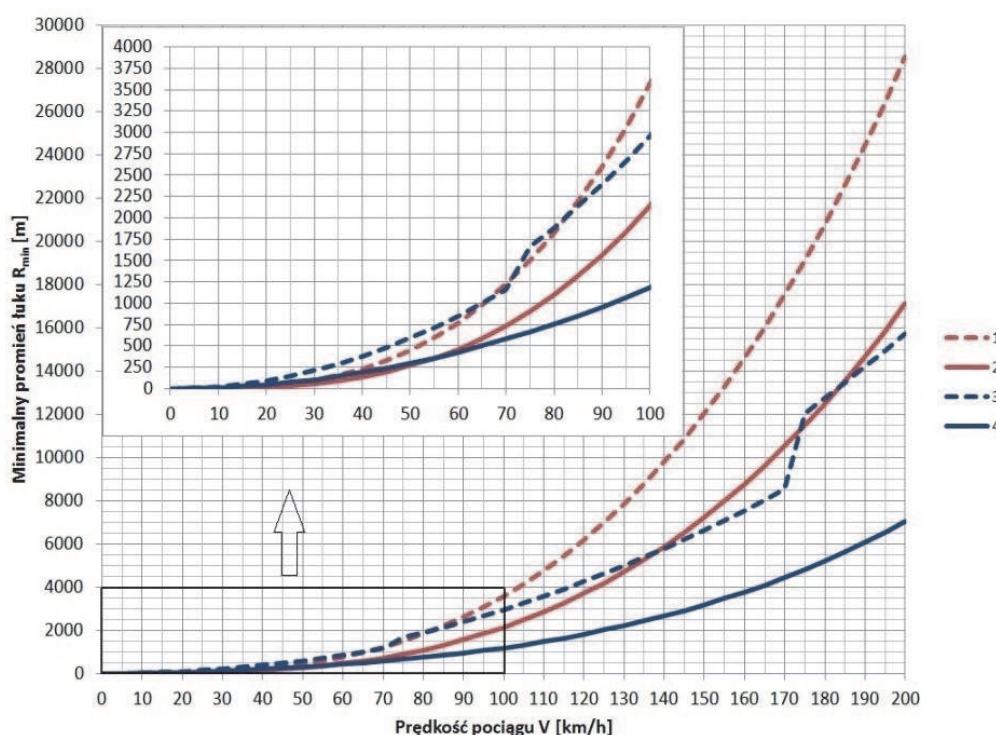
Wartość przyrostu niezrównoważonego przyspieszenia bocznego ψ nie powinna przekraczać wartości dopuszczalnych ψ_{dop} , co określa nierówność (3.4). Wartości dopuszczalne niezrównoważonego przyspieszenia bocznego przedstawiono w tabeli 2.

$$\psi \leq \psi_{dop} \text{ [m/s}^3\text{]} \quad (3.4)$$

Tab 2. Dopuszczalne wartości przyrostu przyspieszenia niezrównoważonego ψ_{dop} , w przypadku projektowania połączeń łuków z prostą bez krzywej przejściowej [7]

Rodzaj układu torowego	ψ_{dop} [m/s ³]
Tory główne zasadnicze i szlakowe – dogodne warunki terenowe	0,3
Tory główne zasadnicze i szlakowe – trudne warunki terenowe	0,5
Tory główne dodatkowe, boczne	1,0

W celu wykazania różnic wynikających z przepisów [6] i [7] pomiędzy minimalnymi wymaganymi promieniami łuków poziomych dla połączeń łuków z prostą bez krzywej przejściowej, sporządzono wykres zależności minimalnego promienia łuku poziomego R_{min} od prędkości pociągu V (rys. 3.2).



Rys. 3.2. Wykres zależności minimalnego promienia łuku poziomego R_{min} dla połączeń łuków z prostą bez krzywej przejściowej od prędkości pociągu V

Minimalną wartość promienia łuku obliczono dla:

- 1 – przyrostu niezrównoważonego przyspieszenia bocznego ψ w dogodnych warunkach terenowych,
- 2 – przyrostu niezrównoważonego przyspieszenia bocznego ψ w trudnych warunkach terenowych,
- 3 – rekomendowanych wartości nagłej zmiany niedomiaru przechyłki ΔI ,
- 4 – granicznej wartości nagłej zmiany niedomiaru przechyłki ΔI .

Z analizy prezentowanego na rysunku 3.2 wynikają następujące wnioski:

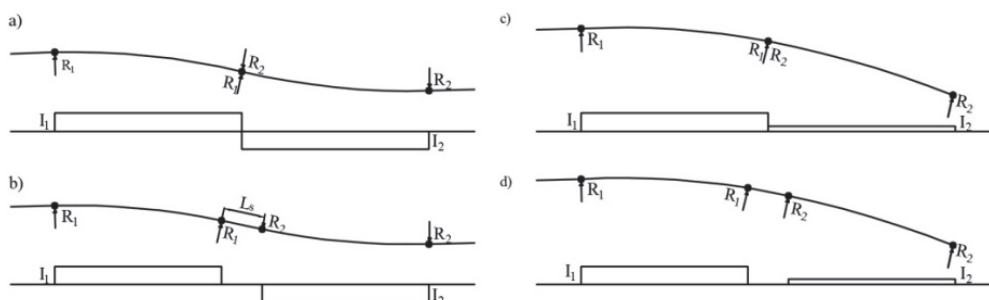
- w przypadku zastosowania granicznych wartości zmiany niedomiaru przechyłki (rekomendowane wartości dla połączeń rozjazdowych), prędkość drogowa na istniejących łukach poziomych mogłaby wzrosnąć nawet o 50 km/h (np. ze 130 do 180 km/h dla $R=5500$ m);
- w przedziale prędkości do 60 km/h największy promień łuku jest wymagany dla rekomendowanych wartości zmiany niedomiaru przechyłki wg Normy [6];
- dla prędkości większych niż 60 km/h najmniejsze promienie łuków poziomych są wymagane w przypadku stosowania granicznych wartości zmiany niedomiaru przechyłki wg Normy [6];
- dla prędkości od 60 do 85 km/h, wartości minimalnych promieni łuków poziomych, dla rekomendowanych wartości zmiany niedomiaru przechyłki (rys. 3.2, wykres 3) oraz niezrównoważonego przyspieszenia

bocznego w dogodnych warunkach terenowych (rys. 3.2, wykres 1) są zbliżone (nie przekraczają 10%);

- powyżej prędkości 85 km/h, największe promienie łuków są wymagane dla dopuszczalnego niezrównoważonego przyspieszenia bocznego w dogodnych warunkach terenowych (rys. 3.2, wykres 1);
- dla prędkości od 85 do 140 km/h minimalne promienie łuków poziomych wynikających z rekomendowanych wartości zmiany niedomiaru przechyłki zawierają się między dopuszczalnymi wartościami prędkości przyrostu przyspieszenia niezrównoważonego dla dogodnych oraz trudnych warunków terenowych (rys. 3.2, wykresy odpowiednio 1 i 2);
- do prędkości 140 km/h, na liniach kolejowych podlegających ocenie zgodności z wymaganiami zasadniczymi dla interoperacyjności kolei, w przypadku kiedy niedozwolone byłoby przekraczanie rekomendowanych wartości zmiany niedomiaru przechyłki (rys. 3.2, wykres 3), należałoby ograniczyć prędkość jazdy pociągów na danym odcinku lub przebudować układ geometryczny (wprowadzenie krzywych przejściowych lub zwiększenie promienia łuku poziomego);
- w przedziale prędkości od 140 do 170 km/h, dla rekomendowanych wartości zmiany niedomiaru przechyłki (rys. 3.2, wykres 3) możliwe jest podwyższenie prędkości drogowej o 10 km/h (np. ze 160 do 170 km/h dla $R = 9000$ m).

4. ŁUKI KOSZOWE ORAZ ŁUKI ODWROTNEGO KIERUNKU

Rodzaje połączeń łuków koszowych lub odwrotnych o promieniach R_1 oraz R_2 wraz z wykresami niedomiaru przechyłek I_1 oraz I_2 przedstawiono na rysunku 4.1.



Rys. 4.1. Układy geometryczne złożone z łuków odwrotnych i koszowych wraz z wykresami niedomiaru przechyłki. a) łuki odwrotne bez wstawki prostej, b) łuki odwrotne z wstawką prostą, c) łuk koszowy bez wstawki prostej, d) łuk koszowy z wstawką prostą

Zgodnie z zapisami Normy [6], podczas obliczeń kinematycznych łuków koszowych i odwrotnych, należy sprawdzić, czy spełnione są wymagania dotyczą-

ce minimalnej długości wstawki prostej między łukami $L_{s\lim}$. Minimalną długość wstawki między łukami kołowymi wyznacza się na podstawie wzoru 4.1

$$L_{s\lim} = q_{s\lim} \cdot V \text{ [m]} \quad (4.1)$$

gdzie:

$q_{s\lim}$ – współczynnik odczytywany z tablicy 3 [m·h/km],

V – prędkość pociągu [km/h].

Tab 3. Dopuszczalne wartości współczynnika definiującego minimalne długości wstawek prostych między łukami koszowymi oraz odwrotnymi [6]

Prędkość [km/h]	$V \leq 70$	$70 < V \leq 100$	$100 < V \leq 230$
Wartość rekomendowana $q_{s\lim}$ [m·h/km]	0,20	0,25*	0,30*
Wartość minimalna $q_{s\lim}$ [m·h/km]	0,10	0,15	0,20
* dla linii nowobudowanych oraz jeśli to możliwe dla modernizowanych			

W przypadku kiedy spełniony jest warunek 4.2, czyli długość wstawki L_s między łukami jest równa lub większa od wartości dopuszczalnej, obliczenia nagłej zmiany niedomiaru przechyłki ΔI dla połączeń torowych o nagłych zmianach krzywizn przedstawionych na rysunku 4.1 przeprowadzamy oddzielnie dla każdego z łuków.

$$L_s \geq L_{s\lim} \quad (4.2)$$

gdzie:

L_s – długość wstawki prostej,

$L_{s\lim}$ – minimalna długość wstawki wynikająca ze wzoru 4.1.

W przypadku gdy nie spełniona jest nierówność 4.2, tzn. długość wstawki L_s jest mniejsza od wartości dopuszczalnej lub równa się zero, wartość nagłej zmiany niedomiaru przechyłki ΔI dla połączeń torowych o nagłych zmianach krzywizn przedstawionych na rysunku 4.1 dla łuków o niedomiarach przechyłki I_1 oraz I_2 jest obliczana w następujący sposób:

- łuki odwrotne bez wstawki prostej $\Delta I = I_1 + I_2$;
- łuki odwrotne bez minimalnej długości wstawki prostej $\Delta I = I_1 + I_2$;
- łuki koszowe bez wstawki prostej $\Delta I = |I_1 - I_2|$;
- łuki koszowe bez minimalnej długości wstawki prostej $\Delta I = \max\{I_1; I_2\}$.

Obliczenia kinematyczne łuków koszowych oraz odwrotnych wg Rozporządzenia [7] polegają na obliczeniu wartości przyrostu niezrównoważonego przyspieszenia bocznego ψ wyrażonego wzorem 4.3 [7]. Wzór ten wykorzystuje metodę „bazy sztywnej pojazdu”. Wartości niezrównoważonych przyspieszeń a_1 oraz a_2 są sumowane w przypadku łuków odwrotnych oraz odejmowane w przypadku łuków zgodnych (w łuku koszowym). Minimalne długości wstawek prostych między łukami przedstawiono w tabeli 4.

$$\psi = \frac{V \cdot |a_1 \pm a_2|}{3,6 \cdot (b + w)} \quad [\text{m/s}^3] \quad (4.3)$$

gdzie:

V – prędkość pociągu [km/h];

a_1, a_2 – wartości niezrównoważonych przyspieszeń bocznych [m/s²];

b – baza sztywna pojazdu przyjmowana do obliczeń 20 m;

w – wstawka prosta między łukami zgodnymi bądź odwrotnymi.

Tab 4. Minimalne długości wstawek prostych w między łukami kołowymi [7]

Tory	Warunki terenowe	
	normalne	trudne
główne i szlakowe	$V_{\max}/2,5$ [m]	$V_{\max}/3,0$ [m]*
pozostałe	10 [m]	10 [m]
Vmax – maksymalna prędkość pociągu [km/h]		
*nie mniej niż 20 m		

Różne metody obliczeń kinematycznych zawarte w Normie [6] oraz Rozporządzeniu [7], mogą powodować różnice w dopuszczalnych prędkościach pociągów na łukach odwrotnych i koszowych.

W celu przedstawienia różnic w dopuszczalnych prędkościach, jakie mogą wynikać ze stosowania do obliczeń Normy [6] i Rozporządzenia [7] dla obliczeń łuków koszowych i odwrotnych bez wstawki prostej, wprowadzono parametry R_{zo} oraz R_{zk} wyrażone wzorami 4.4 oraz 4.5. Parametry R_{zo} oraz R_{zk} odnoszą się do promieni R_1 oraz R_2 , odpowiednio w łukach odwrotnych oraz koszowych.

$$R_z^o = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.4)$$

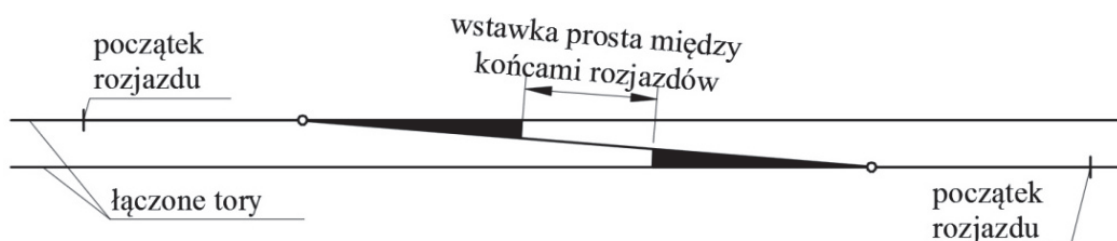
$$R_z^k = \frac{R_1 \cdot R_2}{|R_1 - R_2|} \quad (4.5)$$

Poprzez wprowadzenie zastępczych promieni R_{zo} oraz R_{zk} możliwe jest porównanie dopuszczalnych prędkości obliczanych wg Rozporządzenia [7] oraz Normy [6]. Wzory (4.4) lub (4.5) mogą być bezpośrednio podstawione do wzorów 3.1 i 3.3, z czego wynika, że wykresy zależności dopuszczalnych zastępczych promieni łuków R_{zo} lub R_{zk} od prędkości pociągów V są identyczne z wykresami przedstawionymi na rys. 3.2. Zatem, wszystkie różnice wynikające z obliczeń połączeń łuku z prostą bez krzywej przejściowej przedstawione w rozdziale 3, są także prawdziwe dla łuków koszowych i odwrotnych bez wstawki prostej lub długości wstawki nie spełniającej warunku 4.2.

Istniejące drogi kolejowe o układach geometrycznych złożonych z łuków odwrotnych lub koszowych z wstawką prostą, które spełniają wymagania zawarte w tabeli 4, spełniają także wymagania dotyczące minimalnej wstawki prostej zawarte w Normie [6]. Stąd, przy obliczaniu istniejących układów geometrycznych wg Normy [6], każdy łuk kołowy będzie rozpatrywany oddzielnie, tak jak przy połączeniu łuku z prostą bez krzywej przejściowej. Możliwości zwiększenia prędkości pociągów będą odpowiadać przedstawionym w rozdziale 3. Wymagania zawarte w Normie [6] dotyczące minimalnych długości wstawek prostych między łukami kołowymi są mniej wymagające w stosunku do tych zawartych w Rozporządzeniu [7]. Stąd możliwe jest skrócenie długości wstawki prostej między łukami dla poszerzeń międzytorzy za pomocą łuków odwrotnych i wstawki prostej. Dzięki zmniejszeniu długości wstawki prostej skróceniu ulegnie całkowita długość poszerzenia międzytorza.

5. ROZJAZDY ORAZ POŁĄCZENIA ROZJAZDOWE

Obliczenia połączeń rozjazdowych (rys. 5.1) wg [6,7], podobnie jak w przypadku połączeń łuku z prostą bez krzywej przejściowej, przeprowadza się na podstawie dwóch różnych metod. W przypadku Rozporządzenia [6] obliczenia przeprowadza się metodą wirtualnej krzywej przejściowej, natomiast wg Normy [6] metodą zmiany niedomiaru przechyłki.



Rys. 5.1 Schemat połączenia torów rozjazdami zwyczajnymi.

Przy projektowaniu połączeń rozjazdowych zgodnie z wytycznymi zawartymi w Rozporządzeniu [7] o prędkości jazdy na tor zwrotny rozjazdu decyduje:

- nierównoważone przyspieszenie boczne a_{dop} występujące na torach zwrotnych rozjazdu, obliczane wg wzoru 5.1;
- prędkość przyrostu nierównoważonego przyspieszenia bocznego ψ między łukami odwrotnymi torów zwrotnych rozjazdu, obliczana wg wzoru 4.3;
- długość wstawki prostej w między końcami rozjazdów.

$$a_{dop} = \frac{V^2}{12,96 \cdot R} \quad [\text{m/s}^2] \quad (5.1)$$

gdzie:

V – prędkość pociągu [km/h],

R – promień łuku poziomego [m].

Dopuszczalne wartości parametrów a_{dop} , ψ , oraz w przedstawiono w tabeli 5.

Tab 5. Dopuszczalne wartości parametrów a_{dop} , ψ oraz długość wstawki w [7]

Dopuszczalne niezrównoważone przyspieszenie boczne a_{dop} [m/s ²]	Dopuszczalna wartość przyrostu niezrównoważonego przyspieszenia bocznego ψ [m/s ³]	Minimalna długość wstawki prostej w między końcami torów zwrotnych rozjazdów [m]
0,72**	1,0	$w = \frac{v}{10}$ *
*lecz nie mniej niż 6m **tory zwrotne rozjazdów zwyczajnych ze stałą krzyżownicą dla $V \leq 160$ km/h		

W przypadku projektowania połączeń torowych wg Normy [6] z wykorzystaniem rozjazdów zwyczajnych, decydującym parametrem jest nagła zmiana niedomiaru przechyłki ΔI_{lim} . W przypadku, kiedy długość wstawki L_s między końcami sąsiednich torów zwrotnych spełnia warunek 4.2, obliczenia przeprowadza się oddzielnie dla każdego toru. Minimalną długość wstawki prostej między łukami rozjazdów wyznacza się na podstawie wzoru (4.1). Dopuszczalne wartości parametru ΔI_{lim} dla połączeń rozjazdowych przedstawiono w tabeli 6.

Tab 6. Dopuszczalne wartości zmiany niedomiaru przechyłki ΔI_{lim} dla połączeń rozjazdowych przy zastosowaniu rozjazdów zwyczajnych [6]

Prędkość [km/h]	$V \leq 100$	$100 < V \leq 170$	$170 < V \leq 220$
Wartość rekomendowana ΔI_{lim} [mm]	100	$133 - 0,33 \cdot V$	
Wartość maksymalna ΔI_{lim} [mm]	120	$141 - 0,21 \cdot V$	$161 - 0,33 \cdot V$

W celu porównania dopuszczalnych prędkości na tory zwrotne rozjazdów wynikające z przepisów [6,7], w tabeli 7 zestawiono wyniki obliczeń dopuszczalnych prędkości jazdy na tory zwrotne rozjazdów zwyczajnych, przeprowadzone wg Normy [6] oraz wymagania dotyczące prędkości jazdy na tory zwrotne rozjazdów zawarte w Standardach Technicznych [8], które bazują na przepisach Rozporządzenia [7]. Dla obliczonych prędkości jazdy na tory zwrotne rozjazdów wg Normy [6] przedstawiono minimalne długości wstawek prostych między rozjazdami oraz wynikające z nich minimalne szerokości międzytorza.

Tab 7. Zestawienie dopuszczalnych prędkości jazdy na tor zwrotny rozjazdów oraz minimalne szerokości międzytorza zgodnie z przepisami [6] oraz [8]

Promień rozjazdu/skos	300/1:9	500/1:12	760/1:14	1200/1:18,5	2500/1:26,5
Wymagania dotyczące połączeń rozjazdowych wg EN 13803-2 [6]					
Wartość maksymalna nagłej zmiany niedomiaru przechyłki ΔI_{lim} [mm]*	120 (50)	120 (70)	120 (80)	117,90 (110)	109,50 (150)
Dopuszczalna prędkość jazdy na tor zwrotny rozjazdu [km/h]**	50 (55,22)	70 (71,29)	80 (87,89)	100 (109,47)	150 (152,31)
Minimalna długość wstawki prostej [m]***	5,00	7,00	12,00	15,00	30,00
Minimalna szerokość międzytorza [m]***	4,23	4,04	4,72	4,31	4,69
Wymagania dotyczące połączeń rozjazdowych wg Standardów Technicznych [8]					
Dopuszczalna prędkość jazdy na tor zwrotny rozjazdu [km/h]	50	65	80	100	130
Minimalna szerokość międzytorza [m]	4,35	4,00	4,75	4,50	4,30
* w nawiasie podano prędkość [km/h] dla której obliczono wartość parametru ΔI_{lim} zgodnie z tabelą 6					
** wartość w nawiasie odpowiada maksymalnej prędkości jazdy na tor zwrotny, wynikającej z wartości maksymalnej nagłej zmiany niedomiaru przechyłki ΔI_{lim}					
*** wartość obliczona dla dopuszczalnej prędkości jazdy na tor zwrotny rozjazdu					

Z tabeli 7 wynika, że obliczenia połączeń rozjazdowych wg Normy [6] (dla wartości maksymalnej nagłej zmiany niedomiaru przechyłki ΔI_{lim}) w porównaniu z wytycznymi zawartymi w Standardach Technicznych [8] umożliwiają:

- zwiększenie prędkości pociągów w połączeniach rozjazdowych na tory zwrotne rozjazdów o promieniach 500 m i skosie 1:12, z 60 do 70 km/h, przy zabudowie rozjazdu na międzytorzu o szerokości 4,05 m;
- zwiększenie prędkości pociągów w połączeniach rozjazdowych na tory zwrotne rozjazdów o promieniach 2500 m i skosie 1:26,5, ze 130 do 150 km/h, przy zabudowie rozjazdu na międzytorzu o szerokości 4,70 m;
- zmniejszenia minimalnej szerokości międzytorza dla zabudowy rozjazdu o promieniu 300 m i skosie 1:9 z 4,35 do 4,25 m;
- zmniejszenia minimalnej szerokości międzytorza dla zabudowy rozjazdu o promieniu 1200 m i skosie 1:12,5 z 4,50 do 4,30 m.

6. WNIOSKI

Norma [6] wprowadza do polskich przepisów [7] pojęcie nagłej zmiany niedomiaru przechyłki ΔI oraz nową metodologię obliczeń układów torowych o nagłych zmianach krzywizn. Odmienna metodologia obliczeń kinematycznych, stosowana dotychczas w Polsce oraz przedstawiona w Normie europejskiej [6], prowadzi do różnic w dopuszczalnych prędkościach pociągów dla takich samych układów torowych.

Na liniach kolejowych podlegających interoperacyjności kolei, w przypadku połączeń łuku z prostą bez krzywej przejściowej dla granicznych wartości nagłej zmiany niedomiaru przechyłki (rekomentowane wartości dla połączeń rozjazdowych), możliwe jest zwiększenie prędkości drogowej na istniejących łukach poziomych nawet o 50 km/h (np. ze 130 do 180 km/h dla $R=5500$ m).

Istniejące układy geometryczne złożone z łuków odwrotnych lub koszowych z wstawką prostą, które spełniają wymagania dotyczące minimalnej długości wstawki prostej zawarte w Rozporządzeniu [7], są obliczane według Normy [6] w taki sposób, że każdy łuk jest rozpatrywany oddzielnie, tak jak przy połączeniu łuku z prostą bez krzywej przejściowej.

Wymagania zawarte w Normie [6] dotyczące minimalnych długości wstawek prostych między łukami kołowymi, mogą umożliwić skrócenie całkowitej długości poszerzenia międzytorza podczas przebudowy istniejących linii kolejowych.

Norma [6] umożliwia zwiększenie prędkości jazdy pociągów na tory zwrotne rozjazdów zwyczajnych o typach Rz-500-1:12 oraz Rz-2500-1:26,5 odpowiednio o 10 oraz 20 km/h, co może przyczynić się do zwiększenia przepustowości głowic stacyjnych.

LITERATURA

- [1] Bałuch H., Bałuch M.: Układy geometryczne toru i ich deformacje, KOW, Warszawa 2010.
- [2] Rozporządzenie komisji (UE) nr 1299/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. dotyczące technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „infrastruktura” systemu kolei w Unii Europejskiej. Dz. U. L356 z 12.12.2014, str. 1-109.
- [3] Drogi kolejowe. Praca zbiorowa pod red. J. Sysaka. PWN, Warszawa 1982.
- [4] Kosicki D., Plucińska E.: Projektowanie układu geometrycznego linii kolejowych w planie w świetle nowelizacji przepisów krajowych, Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej, numer 19/2015.
- [5] Norma PN-EN 13803-1:2010 Kolejnictwo – Tor – parametry projektowania toru w planie – Tor o szerokości 1435 mm i większej – Część 1: Szlak.
- [6] Norma PN-EN 13803-2+A1:2010 Kolejnictwo – Tor – Parametry projektowania toru w planie – Tor o szerokości 1435 mm i większej – Część 2: Rozjazdy, skrzyżowania i inne porównywalne przypadki z nagłymi zmianami krzywizny.
- [7] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. 1998 nr 151 poz. 987 z późniejszymi zmianami).

- [8] Standardy techniczne - szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} < 200$ km/h (dla taboru konwencjonalnego) i 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem), TOM I, DROGA SZYNOWA, Wersja 1.1, Warszawa 2009.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego 503216/01/12/DS-PB/0542/16 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w roku 2016.

DESIGNING OF GEOMETRIC RAILWAY LINE IN PLAN WITH ABRUPT CHANGE OF CURVATURE ACCORDING TO THE AMENDMENT OF REGULATION

Summary

The article presents and compares two methods for calculating the geometrical arrangement of railway lines with abrupt change of curvature which are described in the European Standard [6] and Polish regulation [7]. Analyzed the following geometrical arrangement with abrupt change of curvature: connection of the circular curve and straight without transition curve, connections of the compound curve and reverse curve with straight and without straight, turnout connections. The kinematic parameters for calculating the geometries of abrupt change of curvature, set out in regulations [6] and [7] were described. The limits of normal and exceptional value of these parameters were indicated. Compared permissible speed resulting from the calculation according to the regulations [6] and [7]. The analysis shows that on the existing railway lines evaluated with the essential requirements for interoperability for speeds above 60 kph is possible to increase the speed limit even up to 50 kph. Calculations of turnout connections according to the European Standard [6] showed that for some turnout is possible to increase the speed limit on the diverging tracks.

Dane autora:

mgr inż. Wojciech Straszewski
Politechnika Poznańska
Instytut Inżynierii Lądowej
e-mail: wojciech.straszewski@put.poznan.pl
telefon: +48-61 6652407