

Prof. dr hab. inż. Henryk Bałuch  
Instytut Kolejnictwa

# WIELKOŚCI KINEMATYCZNE W PROJEKTOWANIU UKŁADÓW GEOMETRYCZNYCH TORU NA KOLEJACH DUŻYCH PRĘDKOŚCI

## SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Koszty cyklu życia i energochłonność kolei jako wyznaczniki wielkości kinematycznych
3. Nowe wielkości w projektowaniu układów geometrycznych
4. Prędkość maksymalna i wielkości podstawowe
5. Wnioski

## STRESZCZENIE

*Układ geometryczny toru ma rozstrzygające znaczenie w kształtowaniu linii kolejowej i w bardzo dużym stopniu wpływa na jej eksploatację. Zmiany układu (z wyjątkiem samej przechyłki) wymagają kosztownych robót. W całej historii budowy kolei wymagania dotyczące układu geometrycznego ulegały zmianie. Przez długie lata dobrym układem był taki, który zapewniał wyrównanie mas ziemnych przy budowie podtorza, później zwracano uwagę na zachowanie parametrów kinematycznych obowiązujących w okresie, w którym budowano kolej. Wyłom w tej zasadzie uczyniono w opracowaniu założeń budowy Centralnej Magistrali Kolejowej, która miała służyć, w pierwszych dekadach jej istnienia, do wywozu węgla, później zaś stała się linią szybkich przewozów pasażerskich z maksymalną prędkością 160 km/h. Układ geometryczny tej linii spełnił warunki prowadzenia ciężkich pociągów towarowych (pochylenie 6‰), ale pozwala też osiągnąć prędkość maksymalną nie 160, lecz 250 km/h.*

*Wymagania dotyczące projektowania układu geometrycznego toru, należy obecnie ustalać uwzględniając opublikowaną ostatnio nową politykę transportową UE. Artykuł omawia to zagadnienie, naświetla powiązania między parametrami kinematycznymi i nowymi wielkościami, które pojawiają się w projektowaniu układów geometrycznych oraz zawiera konkretne propozycje dotyczące linii Y.*

## 1. WSTĘP

Nadrzędne warunki kształtowania wszelkich budowli kolejowych wyznacza dynamika, w której podstawowymi pojęciami są masa i przyspieszenie. W układach geometrycznych toru, kształtujących położenie linii kolejowych na wiele dziesiątków lat, byłoby trudno operować masą i cechami dynamicznymi pojazdów szynowych, których generacje są znacznie krótsze niż czasy eksploatacji linii. Z tego powodu, głównie analizy dynamiczne przy projektowaniu układów geometrycznych sprowadzono do analiz kinematycznych, przyjmując jako wielkość podstawową przyspieszenie działające na pojazd znajdujący się w łuku. Od dziesiątków lat parametr ten oraz pozostałe wielkości kinematyczne stanowią podstawę wyznaczania minimalnych promieni łuków, przechyłki, długości ramp przechyłkowych i krzywych przejściowych [2]. Operowanie wielkościami kinematycznymi ma też tę zaletę, że jest dobrze wyczuwalne jako cecha bliska dynamice.

Wprowadzony w Technicznych Specyfikacjach Interoperacyjności [3] niedomiary przechyłki i w normie [10]<sup>1</sup> gradient tego niedomiary w czasie są powiązane zależnościami funkcyjnymi z dotychczasowymi wielkościami i w istocie rzeczy niczego nowego nie wnoszą. Nie ma więc naukowych i formalnych podstaw, by odchodzić od dotychczasowej symboliki i zasad obliczania układów geometrycznych, tym bardziej że i tak w cytowanej normie trzeba było w pewnych przypadkach pozostać przy przyspieszeniu.

Liczne wielkości graniczne i wspomniane niezbyt wyczuwalne pojęcia, zwłaszcza gradient niedomiary przechyłki, może skłonić do przyjmowania przy projektowaniu układów geometrycznych na kolejach dużych prędkości pewnych wartości stałych bez analizowania każdego pojedynczego łuku w trudnych warunkach terenowych. Na takie uproszczenie może też wywierać wpływ narzucony czas projektowania.

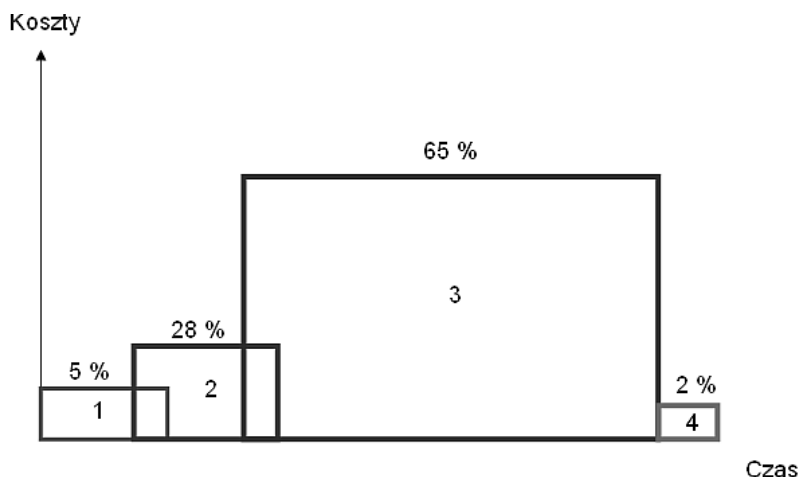
Artykuł ten przedstawia znaczenie właściwie zaprojektowanych układów geometrycznych w świetle nowej polityki transportowej Unii Europejskiej, powiązania wielkości geometrycznych podanych w opracowaniach [3] i [10] z wielkościami kinematycznymi oraz algorytmy podstawowych obliczeń układów geometrycznych toru (przechyłki, długości krzywej przejściowej, minimalnego promienia łuku i maksymalnej prędkości), przy zastosowaniu dotychczasowych i nowych wielkości. Zwraca też uwagę na konieczność rozważnego sięgania do wartości granicznych i naświetla wybór maksymalnej prędkości, na jaką powinny być projektowane układy geometryczne toru.

## 2. KOSZTY CYKLU ŻYCIA I ENERGOCHŁONNOŚĆ KOLEI JAKO WYZNACZNIKI WIELKOŚCI KINEMATYCZNYCH

W kosztach cyklu życia linii kolejowej największy udział mają koszty jej eksploatacji (rys. 1). W pierwszej połowie ubiegłego stulecia przy projektowaniu linii kolejowych

<sup>1</sup> Norma ta dotyczy linii do prędkości nie przekraczających 300 km/h.

duże znaczenie przywiązywano do takiego kształtowania trasy, aby było możliwe wyrównanie mas ziemnych przy zachowaniu warunków granicznych. Często więc wprowadzano minimalne promienie łuków i maksymalne pochylenia w dążeniu do uzyskania najmniejszych kosztów budowy.



Rys. 1. Orientacyjny rozkład kosztów w cyklu życia nawierzchni kolejowej:  
1) planowanie i projektowanie, 2) budowa, 3) eksploatacja, 4) wymiana [9]

W pierwszej połowie XXI wieku w projektowaniu, budowie i eksploatacji kolei dużych prędkości, których sieć powinna być zakończona do roku 2050, należy kierować się nową polityką transportową Unii Europejskiej<sup>2</sup>, zakładającą m.in. drastyczne zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, która do 2050 roku powinna zmaleć o 80÷95% w porównaniu z rokiem 1990, w tym o 60% w transporcie. Decyzja ta powinna znaleźć odzwierciedlenie również w założeniach do budowy kolei dużych prędkości w Polsce. Paradygmatem więc powinno być zbudowanie kolei o możliwie najmniejszej energochłonności w całym cyklu jej życia. Wymaga to m.in. zaprojektowania takiego układu geometrycznego toru, który zapewni małe opory ruchu, a zatem zastosowanie dużych promieni łuków i niewielkich pochyłeń podłużnych. Tak ukształtowana droga kolejowa będzie się odznaczać dużą trwałością, zwłaszcza zaś trwałością nawierzchni, wymagającą rzadszych napraw, uzależnionych jednak m.in. od jakości wykonywanych robót.

Propozycja zastosowania stosunkowo niewielkich pochyłeń może napotkać na kontrargumenty. Jednym z nich jest to, że przy naprzemianległym zaprojektowaniu wzniesień i spadków, stratę energii przy jeździe na duże wzniesienie można wyrównać jej odzyskiem przy jeździe po dużym spadku. Argument drugi to konieczność budowy

<sup>2</sup> Biała Księga UE pt. „Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu” COM(2011) 144. W dniu 28 marca 2011 Komisja Europejska opublikowała pod tym tytułem nową politykę transportową, będącą kontynuacją poprzedniej, pt. „Biała Księga Polityki Transportowej na lata 2001-2010 – „Czas na decyzję”.

wysokich nasypów i głębokich przekopów, co przy koniecznym złagodzeniu pochyłości skarp wiąże się z zajęciem dużego terenu pod budowę linii. Ten drugi argument osłabia jednak obecna technika zbrojenia gruntu, umożliwiając stosowanie większych pochyłości skarp w terenie o dużej wartości. Warto też wspomnieć, że na kolejach dużych prędkości w Hiszpanii, wysokość nasypów dochodzi do 50 m, przy czym ich osiadania są często mniejsze niż nasypów niższych. I tak np. na linii Madryt – Sewilla nasyp o wysokości 50 m w km 291,7 osiadł tylko o 11 mm, a nasyp o wysokości 30 m w km 301,0 osiadł o 450 mm [11].

Rozwiązanie wymienionych i powiązanych ze sobą problemów wymaga pilnego podjęcia skoordynowanych prac badawczych, których pierwsze wyniki powinny być wykorzystane już w fazie projektowania kolei dużych prędkości, dalsze zaś w procesach technologicznych jej budowy i eksploatacji. W sumie całość tych prac powinna w istotny sposób wpłynąć na zmniejszenie energochłonności budowanych i modernizowanych dróg kolejowych oraz poprawę klimatu ekologicznego. Podobne prace dotyczące zużycia energii, od fazy projektowania do eksploatacji kolei, są obecnie podejmowane w innych krajach, np. we Francji [5]. Przyniesione uwagi wymagają bardzo rozważnego sięgania w projektowaniu do granicznych wartości określających układ geometryczny kolei dużych prędkości, tym bardziej, że z doświadczeń już zbudowanych linii wynika, iż koszty ich eksploatacji są znacznie mniejsze niż koszty kolei konwencjonalnych o jednakowej wielkości przewozów [7].

### 3. NOWE WIELKOŚCI W PROJEKTOWANIU UKŁADÓW GEOMETRYCZNYCH

Przypomnijmy, że podstawą większości obliczeń układów geometrycznych jest przyspieszenie  $a$  działające na pojazd w łuku o promieniu  $R$  wyznaczone ze wzoru

$$a = \frac{v^2}{R} - g \frac{h}{s}, \quad (1)$$

gdzie:

- $v$  – prędkość w m/s,
- $s$  – rozstaw szyn, będący wielkością stałą,
- $g$  – przyspieszenie ziemskie,
- $h$  – przechyłka w mm.

Przyjmując  $s = 1500$  mm,  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup> i prędkość w km/h otrzymuje się

$$a = \frac{V^2}{12,96R} - \frac{h}{153}. \quad (2)$$

Drugi człon wzoru (2) określa przyspieszenie niezrównoważone  $a_d$ ,  $h$  jest zaś niedomiarem przechyłki, który można oznaczyć jako  $h^-$ . Tak więc

$$h^- = 153a_d. \quad (3)$$

Drugą podstawową wielkością kinematyczną jest przyrost przyspieszenia  $\psi$ . Można założyć w przybliżeniu, że przyrost przyspieszenia na długości krzywej przejściowej z prostoliniową rampą przechyłkową o długości  $l$ , przejeżdżaną w czasie  $t$ , jest wartością stałą<sup>3</sup>, a zatem

$$\psi = \frac{a}{t} = \frac{Va}{3,6l}. \quad (4)$$

Wprowadzony w normie [10] stosunek niedomiaru przechyłki do czasu można nazwać gradientem niedomiaru przechyłki w czasie i oznaczyć przez  $\nabla h^-$ . Jest on równy

$$\nabla h^- = \frac{dh^-}{dt} = \frac{153Va}{3,6l}. \quad (5)$$

Ze wzorów (4) i (5) wynika

$$\nabla h^- = 153\psi. \quad (6)$$

Wychodząc z zależności (2) otrzymuje się wzór na przechyłkę

$$h = \frac{11,8V^2}{R} - 153a. \quad (7)$$

Długość rampy przechyłkowej powinna odpowiadać zależności wynikającej ze wzoru (4) a także spełniać warunek wynikający z prędkości podnoszenia koła  $f$

$$l = \frac{Vh}{3,6f}. \quad (8)$$

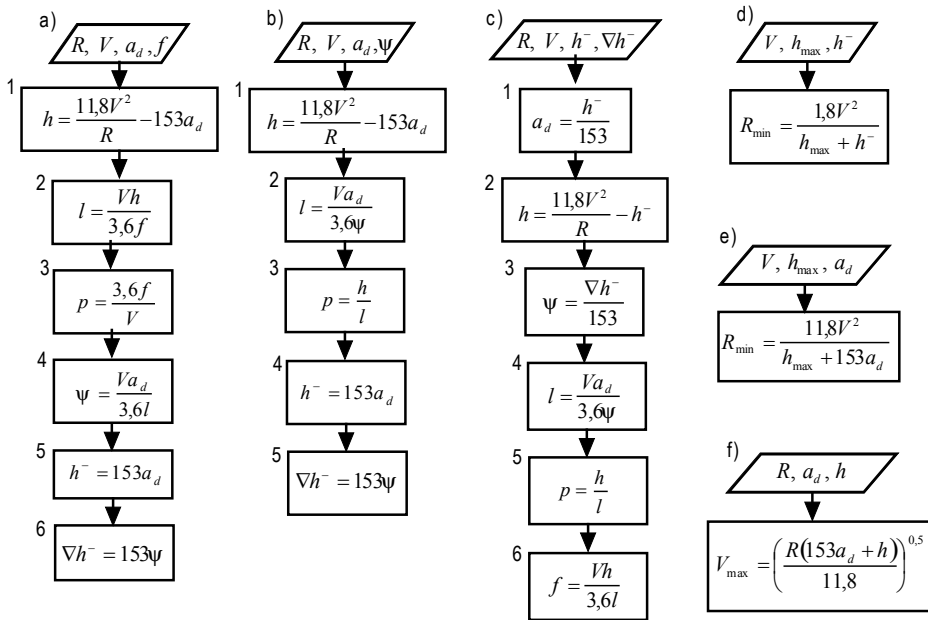
Prędkość podnoszenia koła na rampie przechyłkowej  $f$  można nazwać inaczej gradientem przechyłki w czasie

$$f = \frac{dh}{dt}. \quad (9)$$

Zależnie od wprowadzanych danych, można zastosować jeden z algorytmów przedstawionych na rysunku 2. Rysunek ten obejmuje trzy kombinacje wprowadzania danych i wszystkie wyniki charakteryzujące łuk oraz krzywą przejściową. W algorytmach a, b i c jest obliczana przechyłka, długość krzywej przejściowej i pochylenie jej rampy. Wpro-

<sup>3</sup> W istocie rzeczy największa wartość  $\psi$  występuje na początku krzywej przejściowej i w miarę zbliżania się do końca paraboli trzeciego stopnia maleje. Różnice są jednak niewielkie. Dokładne wzory znajdują się w książce [1] s. 77.

wadząc, oprócz promienia i prędkości, pozostałe parametry kinematyczne, oblicza się wielkości ustalone w normie [10] (algorytm a i b) i odwrotnie – wstawiając wielkości zdefiniowane w tej normie otrzymuje się parametry kinematyczne (algorytm c).



Rys. 2. Algorytmy podstawowych obliczeń

W tych algorytmach jest obliczane również pochylenie prostoliniowej rampy przechyłkowej  $p$  przy założeniu, że na kolejach dużych prędkości długość rampy powinna się pokrywać z długością krzywej przejściowej. Wyjątkiem może być jedynie łuk paraboliczny, w którym ze względu na konieczność zastosowania stałej przechyłki w strefie końcowej obu krzywych przejściowych, są one dłuższe niż rampy.

Obliczanie minimalnych promieni łuków może się odbywać według wzorów podanych w algorytmach d i e, natomiast obliczenia maksymalnej prędkości – w algorytmie f. Wyniki obliczeń przechyłki, długości krzywych przejściowych, promieni oraz prędkości zaokrągla się. W szczególnym przypadku jako przyspieszenie może być przyjęta jego wartość graniczna określona w dokumentach, tj.  $a_d$ . Po zaokrągleniu przechyłki do bliższych 5 mm, mając założoną prędkość podnoszenia koła  $f$  [mm/s], oblicza się długość krzywej przejściowej wg wzoru podanego w bloku 2 na rysunku 1a.

W specyfikacjach [3], które dotyczą kolei dużych prędkości, znajdują się ustalenia dotyczące minimalnych promieni łuków, maksymalnej przechyłki i jej niedomiaru, nie ma natomiast parametrów, na podstawie których można by zaprojektować krzywą przejściową. Jest to jeden z licznych niedostatków tego dokumentu wykazanych już w pracy [6]. Brak tych unormowań w specyfikacjach [3] skłania więc do wykorzystania

brakujących wielkości granicznych zamieszczonych w normie [10]. Graniczne wartości prędkości podnoszenia koła określone w normie [10] są zawarte w tablicy 1.

Tablica 1

### Graniczne prędkości podnoszenia koła $f$ na prostych rampach przechyłkowych

Prędkość $V$ [km/h]	Niedomiary przechyłki $h^-$ [mm] (przyspieszenie $a$ [ $m/s^2$ ])	Wartość graniczna $f$ [mm/s]	
		Normalna	Wyjątkowa
$V \leq 200$	$h^- \leq 168$ ( $a \leq 1,10$ )	50	70*
	$168 < h^- \leq 183$ ( $1,10 < a \leq 1,20$ )	50	50
$200 < V \leq 300$		50	60
*gdy $h^- < 153$ mm i $d h^- / dt \leq 70$ mm/s wartość graniczną $dh/dt$ można zwiększyć do 85 mm/s			

Na rampach krzywoliniowych graniczną wartością jest 55 mm/s, wyjątkową zaś 76 mm/s. Dla pociągów z wychylnym pudłem na rampach prostoliniowych graniczną wartością jest 75 mm/s, wyjątkową zaś 95 mm/s. Przy prędkości 350 km/h prędkość podnoszenia koła na kolejach francuskich wynosi 50 mm/s, na hiszpańskich zaś 32 mm/s.

W normie [10] nie ma wartości przyrostu przyspieszenia, jest natomiast tablica dopuszczalnych gradientów niedomiary przechyłki w czasie. Tablica 2 przedstawia te wartości, uzupełnione obliczonymi wartościami  $\psi$  z przekształconego wzoru (6).

Tablica 2

### Graniczne wartości prędkości podnoszenia koła i przyrostu przyspieszeń

Prędkość $V$ [km/h]	Niedomiary przechyłki $h^-$ [mm] (przyspieszenie $a$ [ $m/s^2$ ])	Wartość graniczna			
		Normalna		Wyjątkowa	
		$f$ [mm/s]	$\psi$ [ $m/s^3$ ]	$f$ [mm/s]	$\psi$ [ $m/s^3$ ]
$V \leq 200$	$h \leq 168$ ( $a \leq 1,10$ )	55	0,36	100	0,65
	$168 < h \leq 183$ ( $1,10 < a \leq 1,20$ )	55	0,36	90	0,59
$200 < V \leq 300$		55	0,36	75	0,49

## 4. PRĘDKOŚĆ MAKSYMALNA I WIELKOŚCI PODSTAWOWE

Przy projektowaniu wielkości geometrycznych na kolejach dużych prędkości występuje tylko jedna prędkość  $V$ , którą należy traktować jako prędkość maksymalną; określa ona położenie linii kolejowej w terenie, niezależnie od tego, jaką prędkość będą osiągały pociągi w pierwszych latach eksploatacji nowej linii.

Nowa generacja pociągów jest budowana do prędkości 380 km/h [4, 8]. Układ geometryczny linii przeznaczonych do prędkości 350 km/h powinien być projektowany przy założeniu pewnego nadmiaru dla pociągów najszybszych. Wychodząc z tej zasady

należałoby projektować układ dostosowany do prędkości 400 km/h, przy warunkach kinematycznych nie osiągających jeszcze wartości maksymalnych. Na podejściach do węzłów i stacji, na których będą przewidywane zatrzymania wszystkich pociągów, a więc z reguły w terenie zurbanizowanym, o prędkości w poszczególnych łukach powinny decydować warunki terenowe.

Kierując się względami wymienionymi w rozdziale 2, należałoby przyjąć typowy łuk, który będzie stosowany w przypadkach, gdy nie wystąpią warunki szczególne. Przy takim łuku graniczne przyspieszenie  $a_d$  powinno wynosić  $0,60 \text{ m/s}^2$ , co odpowiada niedomiarowi przechyłki 92 mm (algorytm a5)<sup>4</sup>. Wielkością normalną wg normy [10] przy prędkości 300 km/h jest niedomiar przechyłki 100 mm, wyjątkową zaś 130 mm. Daje się zauważyć duże ograniczenie tego wymiaru po przekroczeniu 300 km/h, gdyż według specyfikacji [3] wynosi on 80 mm. Dopuszcza się jednak jego zwiększenie dla pociągów wyposażonych w system kompensacji niedoboru przechyłki. Przy prędkości 350 km/h niedomiar przechyłki na kolejach hiszpańskich wynosi 100 mm ( $a = 0,65 \text{ m/s}^2$ ), we Francji zaś 85 mm ( $a = 0,56 \text{ m/s}^2$ ).

Jako maksymalną przechyłkę należałoby przyjąć 160 mm. Przy prędkości 400 km/h oba te parametry wyznaczają promień  $R_{\min} = 7498 \text{ m}$  (algorytm e). Otrzymaną wartość należy więc zaokrąglić do 7500 m. Maksymalna przechyłka na kolejach francuskich wynosi 180 mm, niemieckich 170 mm i hiszpańskich 150 mm.

Graniczna normalna prędkość podnoszenia koła na rampie przechyłkowej  $f$  przy prędkości 300 km/h wynosi 50 mm/s, wyjątkowa zaś 60 mm/s. Do obliczenia długości krzywej przejściowej  $l$  przy prędkości 400 km/h należałoby przyjmować  $f = 45 \text{ mm/s}$ , co przy wykorzystaniu wzoru w bloku a2 daje  $l = 395 \text{ m}$ , a więc w zaokrągleniu 400 m. Z algorytmów a3÷a6, przy przyjętych parametrach, wynikają następujące wartości:

$$p = 0,40 \text{ mm/m},$$

$$\psi = 0,17 \text{ m/s}^3,$$

$$\nabla h^- = 26 \text{ mm/s}^3.$$

Graniczną wartością gradientu niedomiaru przechyłki w czasie przy prędkości 300 km/h jest według [10] 50 mm/s ( $\psi = 0,33 \text{ m/s}^3$ ), wyjątkową zaś 75 mm/s ( $\psi = 0,49 \text{ m/s}^3$ ).

Przy promieniu  $R = 7500 \text{ m}$ , przechyłce  $h = 160 \text{ mm}$  i długości krzywej przejściowej  $l = 400 \text{ m}$ , stosując wzory przedstawione na rysunku 2, uzyskuje się przy prędkości  $V = 350 \text{ km/h}$  następujące wartości:

$$a = 0,21 \text{ m/s}^2 \quad (h^- = 33 \text{ mm}),$$

$$\psi = 0,05 \text{ m/s}^3 \quad (\nabla h^- = 8 \text{ mm/s}^3).$$

Wyniki te wykazują więc, że przy bardzo korzystnych wartościach kinematycznych odpowiadających prędkości 350 km/h można na tym samym układzie osiągnąć prędkość 400 km/h.

<sup>4</sup> Symbol a5 oznacza wzór umieszczony w algorytmie a) w bloku 5.



Na podstawie wzoru (2) można sprawdzić, jakie przyspieszenia wystąpią na tym układzie przy mniejszych prędkościach. I tak np. na pociąg kontenerowy jadący z prędkością 120 km/h będzie działać przyspieszenie

$$a = \frac{120^2}{12,96 \cdot 7500} - \frac{160}{153} = -0,90 \text{ m/s}^2,$$

co odpowiada nadmiarowi przechyłki 138 mm. Według normy [10] graniczną wartością nadmiaru przechyłki jest 110 mm. Zachowanie tej granicy jest możliwe przy prędkości nie mniejszej niż 180 km/h.

Chcąc prowadzić ruch lekkich pociągów towarowych w porze nocnej z prędkością 160 km/h na linii o tak zaprojektowanym układzie geometrycznym, przy maksymalnej prędkości 350 km/h, należałoby – nie zmniejszając długości krzywych przejściowych – zastosować przechyłkę 130 mm. Przyspieszenie maksymalne wyniosłoby wówczas 0,48 m/s<sup>2</sup> (niedomiary przechyłki 73 mm), zaś przy ruchu pociągów z prędkością 160 km/h nadmiar przechyłki wyniosłby 80 mm ( $a = -0,52 \text{ m/s}^2$ ). Zwiększenie w dalszej przyszłości prędkości pociągów do 400 km/h wymagałoby wówczas jedynie zwiększenia przechyłki do 160 mm, co można osiągnąć przy normalnym podbiciu toru. Proponowany układ geometryczny ma więc cechy uniwersalne.

## 5. WNIOSKI

Przedstawione rozważania prowadzą do następujących wniosków:

1. Nadrzędnym warunkiem kształtowania linii kolejowych, przeznaczonych do dużych prędkości pociągów w drugiej dekadzie XXI wieku, powinno być dążenie do osiągnięcia ich najmniejszej energochłonności w całym cyklu życia, od której głównie zależy uzyskanie celów nakreślonych w nowej unijnej polityce transportowej. Spełnienie tego warunku wymaga pilnego podjęcia prac badawczych, których pierwsze wyniki powinny zostać wykorzystane już w projektowaniu linii Y w Polsce.
2. W projektowaniu układów geometrycznych na linii Y należy przyjmować prędkość 400 km/h, niezależnie od prędkości przewidywanych do osiągnięcia nawet w ciągu kilku najbliższych dekad. W normalnych warunkach należałoby stosować na tej linii ujednocione, tzn. typowe łuki o promieniach 7500 m i krzywe przejściowe o prostych rampach przechyłkowych mających długość 400 m. Układ taki przy przechyłce 130 mm nie wyklucza prowadzenia ruchu lekkich pociągów towarowych z prędkością 160 km/h.
3. W nauczaniu projektowania linii kolejowych nie należy odchodzić od parametrów kinematycznych, mających lepsze przełożenie na dynamikę niż wielkości geometryczne. Wyłączne posługiwanie się tymi ostatnimi, bez pokazywania zależności wiążących je z parametrami kinematycznymi oznaczałoby nauczanie rzemiosła, a nie podstaw teoretycznych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bałuch H.: *Optymalizacja układów geometrycznych toru*. Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1983.
2. Bałuch H., Bałuch M.: *Układy geometryczne toru i ich deformacje*. Warszawa, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, 2010.
3. Dyrektywa 96/48/WE-Interoperacyjność transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości. Podsystem Infrastruktura. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L. 77/e, 19.3.2008.
4. *First Chinese-designed HS train break cover*. International Railway Journal 2010, No. 9.
5. Jehanno A. et al.: *L'évaluation carbone de la grande vitesse une comparaison internationale*. Revue Generale Chemins de Fer, 2010, No. 11.
6. Koc W.: *Uwagi do metodyki projektowania układów geometrycznych toru*. IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym” INFRASZYN 2011, Zakopane, 6–8 kwietnia 2011.
7. Lopez Pita A.: *Operating high-speed lines carrying mix traffic: experience gained and current trends*. UIC High Speed Department, October, 2001.
8. Marek H., Orellano A., Schober M.: *Energieeffiziente Schienenfahrzeuge und Standardisierung*. Eisenbahntechnische Rundschau 2010, No. 10.
9. Marx A., Fry K.: *Visualising infrastructure condition*. International Railway Journal 2010, No. 8.
10. *Railway applications – Track – Track alignment design parameters – Track gauges 1435 and wider – Part 1. Plain Line*. Final draft FprEN 13803-1. November, 2009.
11. *Studium wykonalności dla budowy linii kolejowej dużych prędkości „Warszawa – Łódź – Poznań/Wrocław” Raport Nr 4, Rewizja 0, Rozwiązania konstrukcyjne nawierzchni torów i rozjazdów dla LDP*. Praca zbiorowa, Warszawa, listopad 2010.