

Zbigniew KĘDRA\*

\*) dr inż., Politechnika Gdańska ul. Narutowicza 11/12 80-952 Gdańsk

## **WYZNACZENIE PROFILU LINII KOLEJOWEJ NA PODSTAWIE POMIARZONYCH NIERÓWNOŚCI TORU**

Stosowane obecnie toromierze elektroniczne wykorzystywane są przede wszystkim do pomiaru geometrii toru. Dane z pomiarów nierówności mogą być również wykorzystane w procesie projektowania regulacji toru (np. podczas usuwania dołków). W referacie przedstawiono metodę wyznaczenia profilu podłużnego linii kolejowej na podstawie pomierzonych nierówności pionowych. Wyznaczony w ten sposób profil w dalszym etapie wykorzystany by był w projektowaniu nowej niwelety toru kolejowego.

Słowa kluczowe: drogi kolejowe, utrzymanie dróg kolejowych, regulacja toru kolejowego, diagnostyka dróg szynowych

### **1. WPROWADZENIE**

Od dokładnego położenia toru w płaszczyźnie pionowej i poziomej zależy, w dużym stopniu, przebieg procesów degradacji, wysokość środków wydatkowanych na utrzymanie dróg kolejowych i spokojność jazdy. Kształtowanie toru w końcowej fazie jego budowy, a następnie eksploatacji, zwane regulacją, wykonują obecnie automatyczne podbijarki. Maszyny te wymagają jednak obsługi pomiarowej i dość często wykonania projektu regulacji toru (starsze) lub dodatkowych systemów namiarowych, np. GPS.

W latach dziewięćdziesiątych dwudziestego wieku wprowadzone były przez producentów maszyn torowych, dodatkowe systemy pomiarowe podbijarek. Ich działanie sprowadzało się do tego, że maszyna przejeżdża przez zadany odcinek toru nie podbijając go, a spełniając jedynie rolę wagonu pomiarowego. Zarejestrowane wyniki były następnie przetwarzane według algorytmów optymalizujących cechy geometryczne i stanowiły podstawę automatycznego sterowania tej maszyny w procesie podbijania.

W ostatnich latach trwają poszukiwania i zastosowania nowych, lecz często geodezyjnych, metod regulacji toru z zastosowaniem systemów GPS, stacji

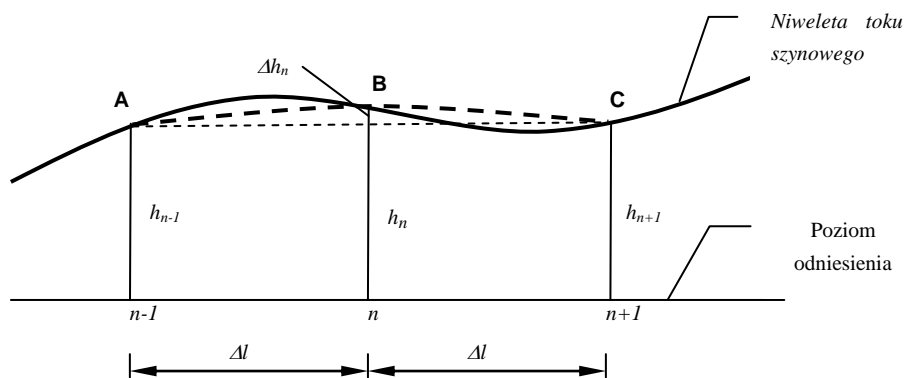
geodezyjnych, systemów laserowych itp. Metody te jednak pomijają całkowicie problem mechaniki toru.

Wprowadzone na szeroką skalę w diagnostyce dróg szynowych toromierze elektroniczne są obecnie wykorzystywane wyłącznie do pomiaru geometrii toru oraz w niewielkim zakresie do inwentaryzacji linii i pomiarów skrajni. Duże koszty zakupu nowoczesnych maszyn wymuszają poszukiwanie nowych rozwiązań z wykorzystaniem posiadanego potencjału.

W licznych publikacjach [1, 2, 3, 4] przedstawione zostały możliwości wykorzystania pomiarów z toromierza do wyznaczania wartości nominalnych, czy też projektowania regulacji toru w płaszczyźnie poziomej. Pomiarzy te mogłyby być również wykorzystane w procesie podnoszenia i podbijania toru. W pierwszym etapie opracowano metodę wyznaczania profilu podłużnego linii kolejowej (rzędne główki szyny) na podstawie pomierzonych nierówności pionowych.

## 2. IDEA METODY

Klasykzna definicja nierówności pionowych [5] związana jest z pomiarem wysokości toków szynowych (niwelacją toru) w równych odstępach  $\Delta l$ , najczęściej co 5 m (Rys. 1).



Rys. 1. Schemat pomiaru nierówności pionowych

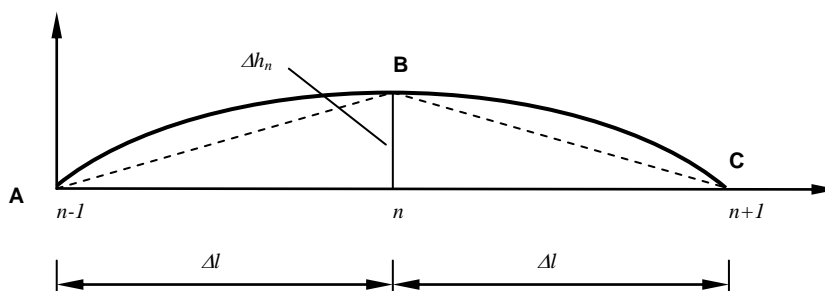
Wartość nierówności pionowej  $\Delta h_n$  można zapisać w postaci:

$$\Delta h_n = h_n - \frac{h_{n-1} + h_{n+1}}{2}$$

gdzie:  $h_{n-1}$ ,  $h_n$ ,  $h_{n+1}$  – wysokości pomierzone w punktach A, B i C.



Rozpatrzmy fragment nierówności na cięciwie długości  $\overline{AC}$

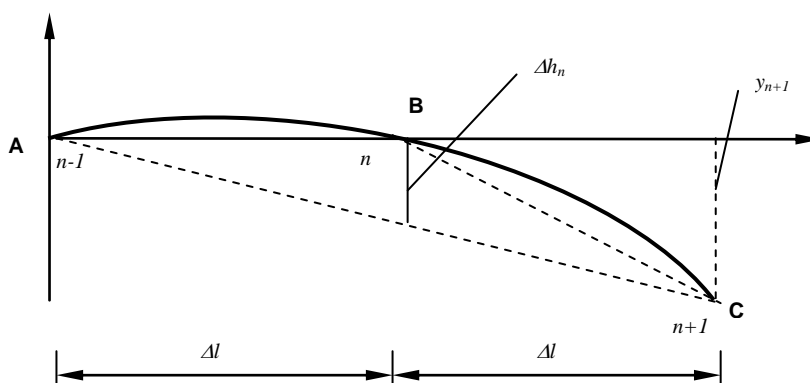


Rys. 2. Pojedyncza nierówność pionowa na długości odcinka  $\overline{AC}$

Przyjmując (Rys. 2), że wysokości w punktach A i C wynoszą odpowiednio  $h_{n-1} = 0$  i  $h_{n+1} = 0$  otrzymamy wartość nierówności równą:

$$\Delta h_n = h_n$$

W praktyce z pomiarów toromierzem nie mamy informacji o wysokościach punktów, lecz tylko wartości nierówności pionowych. Dlatego w dalszej analizie przyjęto, że dwa pierwsze punkty A i B mają wartości zero (Rys. 3).



Rys. 3. Schemat do wyznaczania funkcji deformacji

Wartość rzędnej w punkcie C można wyznaczyć z wyrażenia:

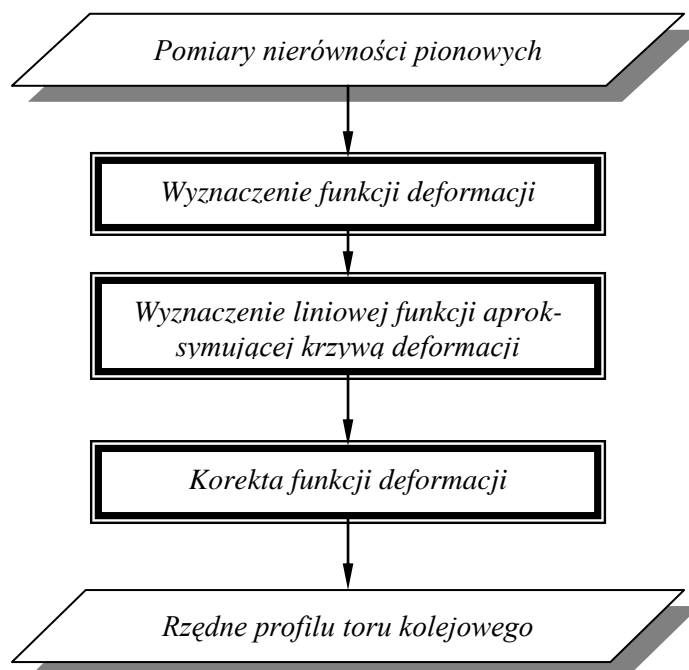
$$y_C = 2\Delta h_B - 2y_B + y_A = 2\Delta h_B$$

lub w sposób ogólny dla dowolnego punktu zapiszemy:

$$y_n = 2\Delta h_{n-1} - 2y_{n-1} + y_{n-2}$$

Aby obliczyć kolejną wartość rzędnej funkcji deformacji musimy znać wartości dwóch poprzednich oraz wartość nierówności pionowej we wcześniejszym punkcie. Zatem wykres funkcji deformacji zostanie obrócony wokół punktu zero (Rys. 6). Kształtem zaś będzie podobny do faktycznej deformacji toru.

Ogólny algorytm proponowanej metody przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Ogólny algorytm proponowanej metody

W pełnej wersji algorytm będzie uzupełniony o następujące elementy:

- Blok wyznaczania funkcji deformacji z nierówności mierzonych z dowolnym krokiem pomiarowym,
- Blok wyznaczania profilu linii kolejowej z uwzględnieniem wysokości punktów początkowego i końcowego oraz punktów pośrednich,
- Blok wyznaczania załomów profilu i parametrów ich wyokrąglenia,
- Blok projektowania niwelety.

### 3. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA METODY



W celu określenia funkcji przejścia (z nierówności pionowych na funkcję deformacji) przyjęto przykładowy kształt zdeformowanego toru, gdzie rzędne zostały obliczone z wyrażenia:

$$h = 10 \sin\left(\pi \frac{x}{50}\right)$$

gdzie:  $x = 0, 5, 10, 15, \dots, 150$  - odległość [m]

$h$  - rzędna zdeformowanego toru [mm].

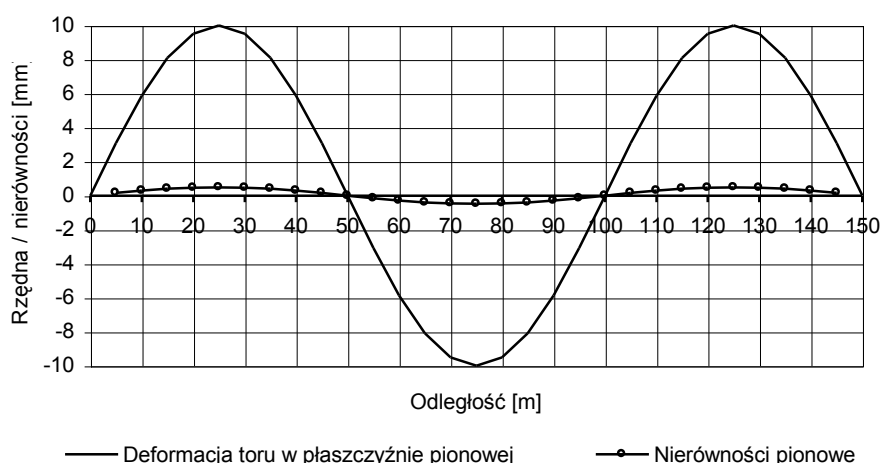
W celu uproszczenia przykładu założono, że:

- wartości rzędnych w początkowym i końcowym punkcie są sobie równe i wynoszą zero (odcinek poziomy),
- rozpatruje się pomiar nierówności w odstępach co 5 m, a faktycznie pomiary wykonywane są co 0,5 lub 1 m.

Zgodnie z definicją, nierówności pionowe w kolejnych punktach  $n = 1, 2, \dots, N$  oblicza się z wzoru:

$$\Delta h_n = h_n - \frac{h_{n-1} + h_{n+1}}{2}$$

Na rysunku 5 przedstawiono profil teoretyczny zdeformowanego toru oraz wykres obliczonych nierówności pionowych na długości 150 m. W praktyce nie jest znana deformacja toru, a jedynie pomierzone za pomocą toromierza nierówności pionowe.



Rys. 5. Wykres teoretycznej deformacji toru i obliczonych nierówności pionowych

W kolejnym etapie obliczamy rzędne funkcji deformacji przyjmując, że wartości w punktach 0 i 1 (odpowiednio na początku i w 5 m, jak na rysunku 3) wynoszą zero (Rys. 6).

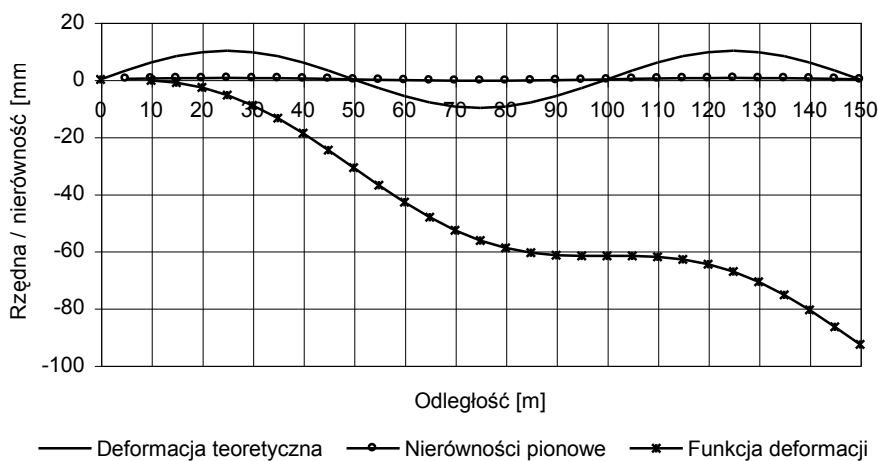
$$y_0 = 0, \quad y_1 = 0, \quad y_2 = 2\Delta h_1 - 2y_1 + y_0 = 2\Delta h_1, \dots,$$

$$y_i = 2\Delta h_{i-1} - 2y_{i-1} + y_{i-2}, \dots, y_N = 2\Delta h_{N-1} - 2y_{N-1} + y_{N-2}$$

gdzie:  $N$  – liczba pomierzonych nierówności,

$i$  – numer nierówności,

$y$  – wartość rzędnej funkcji deformacji [mm].



Rys. 6. Wykres funkcji deformacji

Następnie funkcję deformacji aproksymujemy za pomocą funkcji liniowej

$$y^l = a + bx$$

Niewiadome  $a$  i  $b$  obliczymy rozwiązując układ równań:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N y_i = Na + b \sum_{i=1}^N x_i \\ \sum_{i=1}^N x_i y_i = a \sum_{i=1}^N x_i + b \sum_{i=1}^N x_i^2 \end{cases}$$

Rozwiązaniem układu równań dla przedstawionego przykładu jest funkcja:

$$y^l = 2,0367 - 0,618 \cdot x$$

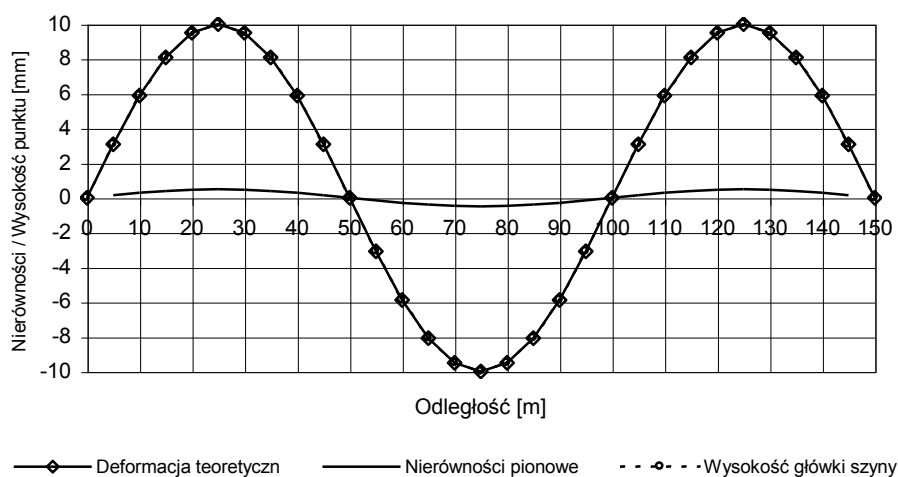


W ostatnim etapie należy wprowadzić korektę obliczonych rzędnych funkcji deformacji. Wartości rzędnych obliczono z wyrażenia:

$$y_n^0 = y_n - bx$$

Na rysunku 7 przedstawiono ostateczny wykres profilu linii kolejowej. Należy zauważyć, że pokrywa się on z przyjętym wykresem deformacji dla rozpatrywanego przykładu, zwanej w uproszczeniu deformacją teoretyczną.

Znając wartości pomierzonych nierówności pionowych możemy wyznaczyć rzędne profilu toru kolejowego. Głównym problemem może się jednak okazać sposób i dokładność wykonywanych pomiarów za pomocą toromierza.



Rys. 7. Wykres profilu toru kolejowego

### 3. WNIOSKI

Przedstawiona metoda wyznaczania profilu linii kolejowej na podstawie pomierzonych nierówności pionowych może w przyszłości mieć zastosowanie w utrzymaniu dróg szynowych, a w szczególności w projektowaniu robót związanych z regulacją osi toru.

Dalsze prace będą miały na celu weryfikację proponowanej metody w terenie na odcinkach doświadczalnych, dopracowanie metody oraz wykonanie oprogramowania do projektowania podnoszenia toru w procesie jego podbijania.



**LITERATURA**

1. Kędra Z.: *Regulacja łuku z wykorzystaniem danych pomiarowych z uniwersalnego toromierza elektronicznego*. III Seminarium Diagnostyki Nawierzchni Kolejowej. Gdańsk 23-25.05.2001, str. 61-68.
2. Kędra Z.: *Metoda projektowania łuku o tym samym kącie zwrotu*. VI Seminarium Diagnostyki Nawierzchni Kolejowej, Gdańsk-Jurata 19-21 maja 2004, str. 99-105.
3. Kędra Z.: *Optymalizacja regulacji osi toru kolejowego w płaszczyźnie poziomej*. XIII Konferencja Naukowo-Techniczna Drogi Kolejowe 2005. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1692 seria Budownictwo nr 103. Gliwice 2005, str. 87-94
4. Kędra Z.: *Projektowanie układu geometrycznego toru z wykorzystaniem danych pomiarowych z toromierza elektronicznego*. VIII Seminarium Diagnostyki Nawierzchni Kolejowej, Gdańsk-Jurata 7-9 czerwca 2006, str. 65-72.
5. *Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id1*. Warszawa 2002.