

# Modernizacja łuków koszowych z wykorzystaniem programu Mugo

Maria Bałuch, Kamila Szwackiewicz

W artykule przedstawiono opracowywane obecnie algorytmy obliczeń, które będą wykonywane w programie komputerowym MUGO służącym do wyznaczania przesunięć toru i robót ziemnych. Program jest związany z modernizacją układów geometrycznych toru kolejowego. W pracy scharakteryzowano aktualny stan zaawansowania programu.



Dr hab. inż. Maria Bałuch,  
prof. IK  
Instytut Kolejnictwa



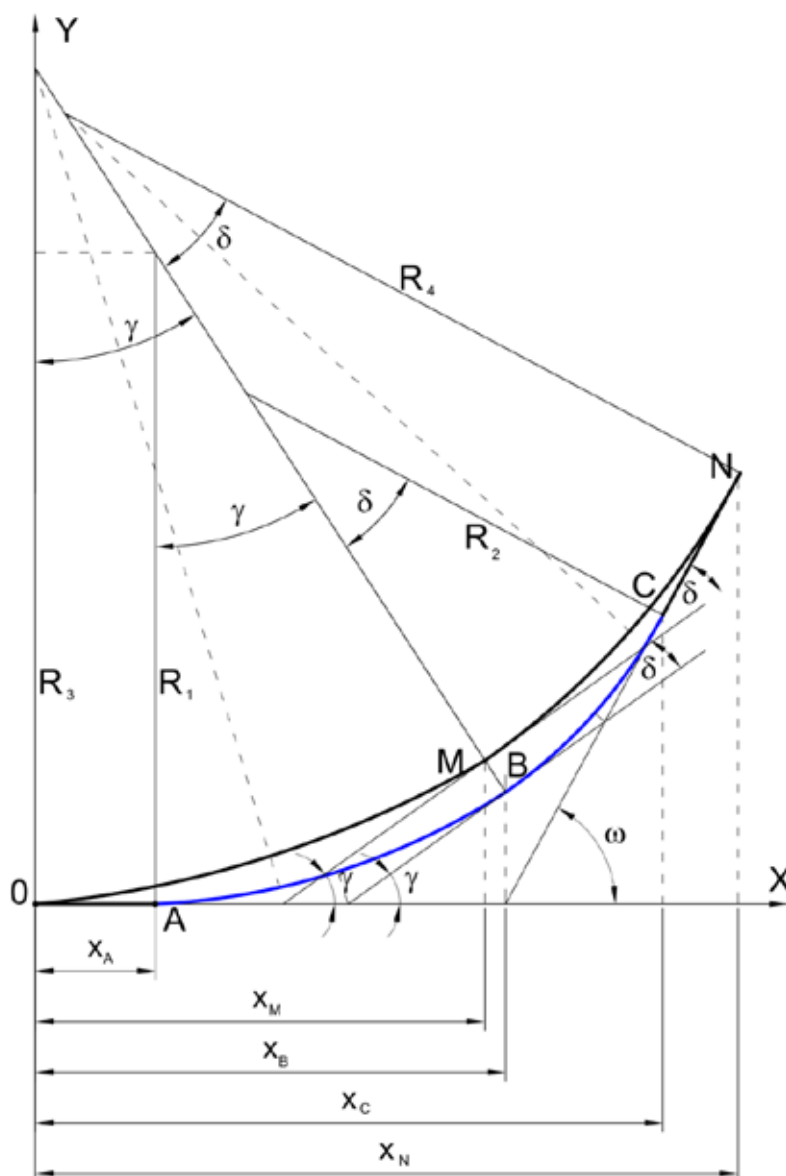
Mgr inż.  
Kamila Szwackiewicz  
Katedra Transportu  
Szynowego,  
Politechnika Gdańska

Jednym z kryteriów oceny wariantów modernizowanych układów geometrycznych toru są przesunięcia toru projektowanego względem istniejącego. W dotychczasowej praktyce studiów wykonalności modernizacji linii kolejowej ocenę tę przeprowadza się na podstawie przemieszczenia projektowanego układu jedynie w dwóch punktach, tj. w środku nowej krzywej przejściowej oraz maksymalnego przesunięcia w punkcie środkowym łuku. Takie ograniczenie nie jest wystarczające do dokładnego oszacowania koniecznego zakresu robót. Niedostatek ten stał się genezą opracowania programu MUGO (akronim od Modernizacja Układów Geometrycznych tOru) umożliwiającego wyznaczanie przemieszczeń toru na całej długości projektowanego układu – co pozwala z dużą dokładnością określić zakres zadań modernizacyjnych. W pierwszym etapie prac nad programem została opracowana opcja dotycząca projektowania zmian układu geometrycznego toru polegających na wydłużeniu krzywych przejściowych i zwiększeniu promienia łuku [1,2,3]. Obecnie

trwają prace nad algorytmami obliczeń odnoszących się do łuków koszowych. Jeden z takich algorytmów przedstawiono w niniejszym artykule.

## Rozpatrywane przypadki

Opisywany algorytm dotyczy istniejącego łuku koszowego złożonego z dwóch łuków kołowych o promieniach  $R_1$ ,  $R_2$  bez krzy-



1. Powiązanie pomiarów geometrycznych z obserwacjami

wych przejściowych. Taki układ geometryczny jest często przyczyną ograniczenia prędkości z powodu dużych wartości przyspieszenia, a w przypadku małych promieni łuków – również przekroczenia dopuszczalnej wartości przyspieszenia. Zwiększenie prędkości można uzyskać poprzez zaprojektowanie w miejsce tego układu łuku kołowego z symetrycznymi przejściowymi lub łuku parabolicznego.

W opracowanym algorytmie uwzględniono również przypadek, który może znaleźć zastosowanie w projektowaniu zmian układów torów tramwajowych, tj. zastąpienie istniejącego łuku koszowego innym łukiem koszowym.

Przy założeniu, że początek układu współrzędnych pokrywa się z początkiem nowo zaprojektowanego układu, do obliczeń przemieszczeń projektowanego układu względem układu istniejącego wykorzystuje się modele opracowane w pracy [2] i zastosowane w pierwszej opcji systemu MUGO [3], tj. modele:

- **LM** - przesunięcia projektowanej krzywej przejściowej względem osi odciętych (odcinka prostego toru),
- **RM** - przesunięcia projektowanego łuku o promieniu  $R$  względem osi odciętych,
- **LM-R** - przesunięcia projektowanej krzywej przejściowej względem istniejącego łuku,
- **RM-R** - przesunięcia projektowanego łuku względem łuku istniejącego.

W stosunku do poprzedniej opcji zmieniają się natomiast strefy obliczeń odnoszących się do poszczególnych modeli.

**Przypadek łuku kołowego z symetrycznymi krzywymi przejściowymi**

Projektowany układ łuku kołowego o promieniu  $R$  z symetrycznymi krzywymi przejściowymi w postaci paraboli 3. stopnia o długości  $L$ , który ma zastąpić istniejący łuk koszowy  $ABC$ , w przyjętym układzie współrzędnych  $XY$  przedstawiono na rysunku 1.

W punkcie  $B$  następuje zmiana promienia łuku koszowego. Odciętą punktu  $B$ , a jednocześnie długość stycznej głównej projektowanego układu  $T_0$ , określa zależność

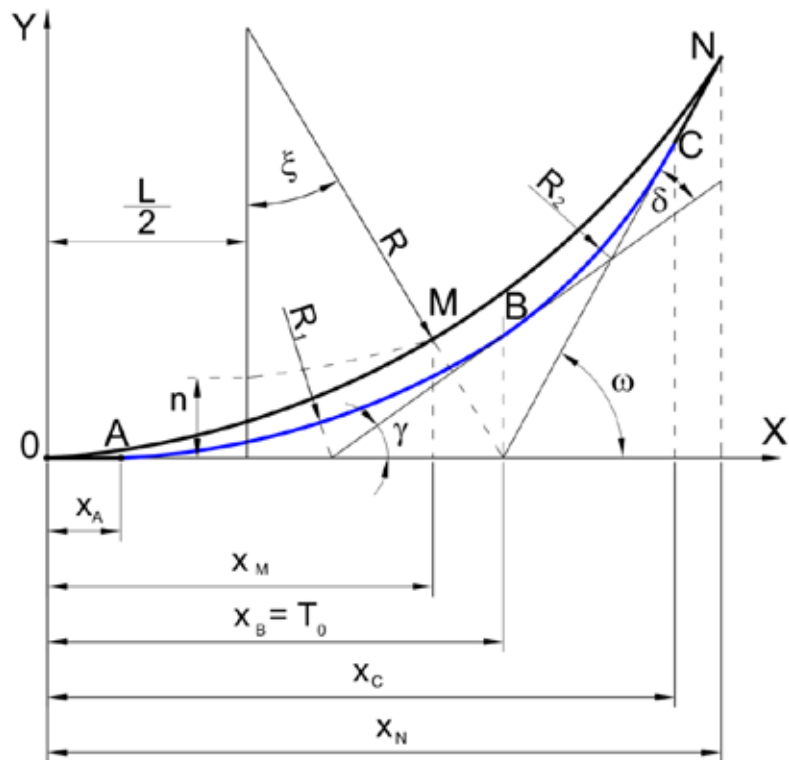
$$xB = T_0 = \frac{L}{2} + \left( R + \frac{L^2}{24R} \right) \tan \frac{\omega}{2} \quad (1)$$

gdzie  $\omega$  jest kątem zwrotu trasy.

Kąt zwrotu  $\gamma$  pierwszej części kołowej ( $AB$ ) łuku koszowego można wyznaczyć na podstawie jej długości  $l_{R1}$

$$\gamma = \frac{l_{R1}}{R_1} \quad (2)$$

Tak więc odcięta punktu  $A$ , tj. początku istniejącego łuku koszowego wynosi



2. Schemat łuku koszowego i projektowanego parabolicznego

$$x_A = x_B - R_1 \sin \gamma \quad (3)$$

Wartość tej odciętej wyznacza koniec przedziału, w którym przemieszczenia będą obliczane według modelu **LM**.

W następnej strefie, ograniczonej odciętymi  $(x_A, x_K)$ , będą wyznaczone przemieszczenia projektowanej krzywej przejściowej względem istniejącego łuku o promieniu  $R_1$ , zgodnie z modelem **LM-R**, przy czym wartość odciętej  $x_K$  jest równa długości projektowanej krzywej przejściowej

$$x_K = L \quad (4)$$

Odciętą punktu  $M$ , czyli końca kołowej części projektowanego łuku, można wyznaczyć z równania

$$x_M = \frac{L}{2} + R \cos(\omega - \xi) \quad (5)$$

gdzie

$$\xi = \arcsin \left( \frac{L}{2R} \right) \quad (6)$$

W strefie odciętych z przedziału  $(x_A, x_K)$  przemieszczenia będą wyznaczone zgodnie z modelem **RM-R**, przy czym w przedziale  $xK < x \leq xB$  w obliczeniach będzie uwzględniany promień pierwszej części łuku koszowego  $R_1$ , a w przedziale  $xB < x \leq xM$  – promień drugiej części łuku koszowego  $R_2$ . Górną granicę następnej strefy wyznacza odcięta punktu  $C$ , w którym kończy się istniejący łuk koszowy

$$x_c = x_B + t_2 (\cos \gamma + \cos \omega) \quad (7)$$

gdzie  $t_2$  jest styczną do drugiej części łuku koszowego opisaną zależnością

$$t_2 = R_2 \tan \frac{\delta}{2} \quad (8)$$

przy czym

$$\delta = \omega - \gamma$$

W strefie o odciętych z przedziału  $(x_M, x_C)$  będą wyznaczone przemieszczenia projektowanej krzywej przejściowej względem istniejącego łuku o promieniu  $R_2$ , według modelu **LM-R**.

Ostatnia strefa obejmuje odcięte w przedziale  $(x_C, x_N)$ , przy czym wartość odciętej  $x_N$  wynosi

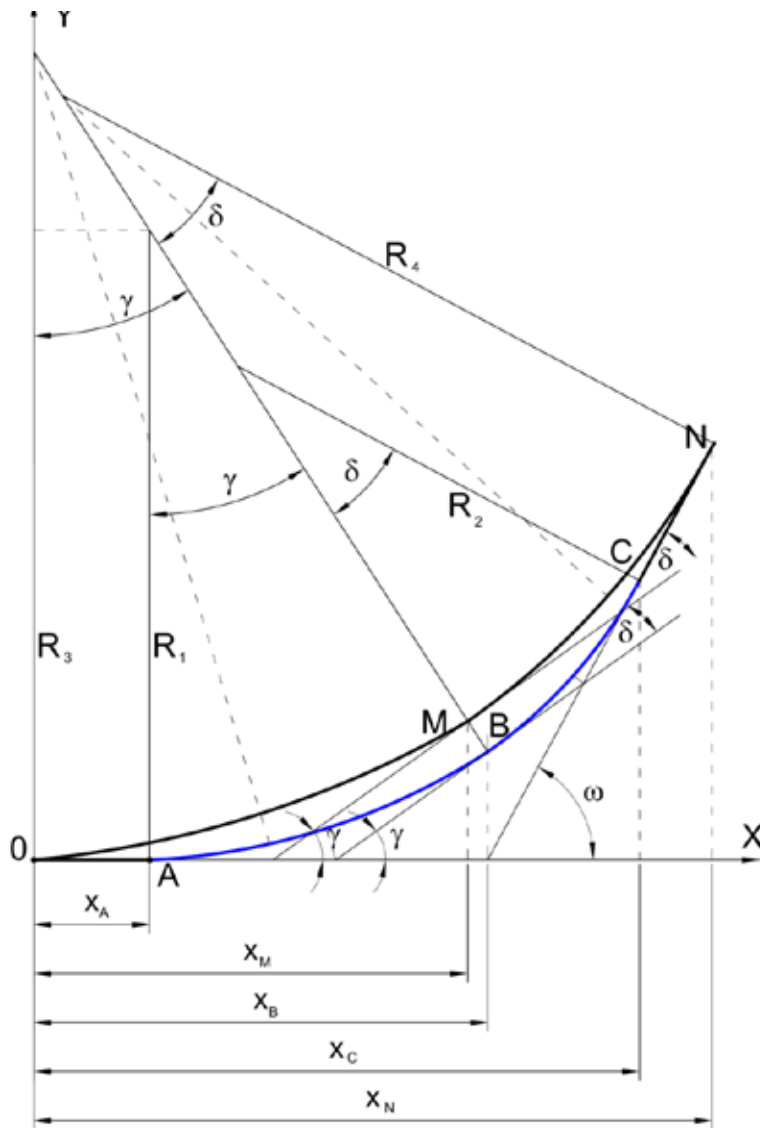
$$x_N = T_0 (1 + \cos \omega) \quad (9)$$

W strefie tej na podstawie modelu **LM** będą wyznaczone przesunięcia projektowanej krzywej przejściowej względem prostego odcinka toru.

**Przypadek łuku parabolicznego**

W tym przypadku projektowany układ jest łukiem parabolicznym składającym się z dwóch krzywych przejściowych w postaci paraboli 3. stopnia o długości  $L$  i promieniu  $R$ . Początki projektowanych krzywych znajdują się w punktach  $O$  i  $N$ , a ich koniec – w punkcie  $M$  (rys.2).

Długość stycznej głównej projektowanego układu  $T_0$ , a zarazem odciętą punktu  $B$ , wyznacza zależność



3. Schemat istniejącego i projektowanego łuku koszowego

$$xB = T_o = \frac{L}{2} + \left( R + \frac{L^2}{24R} \right) \tan \xi, \quad (10)$$

gdzie kąt  $\xi$  jest określony zależnością (6).

Górną granicę pierwszej strefy obliczeń, tj. odciętą  $x_A$ , wyznacza się z równania (3), a do wyznaczenia przemieszczeń projektowanego układu w tej strefie należy zastosować model LM.

Drugą strefę obliczeń, w której według modelu LM-R będą wyznaczone przemieszczenia pierwszej krzywej przejściowej względem łuku o promieniu  $R_1$ , określa przedział  $(x_A, x_M)$ , przy czym wartość odciętej  $x_M$  wynosi

$$x_M = \frac{L}{2} + R \cos \xi \approx L \quad (11)$$

Ten sam model obliczeń zostanie zastosowany w kolejnej strefie, ograniczonej odciętymi  $(x_M, x_B)$ , przy czym będą to obliczenia przemieszczeń drugiej krzywej przejściowej względem łuku o promieniu  $R_1$ .

Przemieszczenia drugiej krzywej przej-

ściowej względem łuku o promieniu  $R_2$  (również na podstawie modelu LM-R) będą wyznaczone w strefie o odciętych  $(x_B, x_C)$ . Wartość odciętej  $x_C$  określa równanie (7).

W ostatniej strefie, o odciętych w przedziale  $(x_C, x_N)$ , przemieszczenia projektowanego układu wyznaczone są według modelu LM. Górną granicę tej strefy, tj. odciętą  $x_N$ , jest opisana zależnością (9).

### Przypadek łuku koszowego

Przypadek ten dotyczy zastąpienia istniejącego łuku koszowego ABC o promieniach  $R_1$  i  $R_2$  nowym łukiem koszowym OMN o promieniach  $R_3$  i  $R_4$ . Występuje tu pięć stref obliczeń, ograniczonych przedziałami o odciętych (rys.3):

- 1)  $(0, x_A)$ , w którym wyznaczone są przemieszczenia projektowanego łuku o promieniu  $R_3$  względem prostego odcinka toru (model RM),
- 2)  $(x_A, x_M)$ , w którym wyznaczone są przemieszczenia projektowanego łuku o promieniu  $R_3$  względem istniejącego łuku o promieniu  $R_1$  (model RM-R),
- 3)  $(x_M, x_B)$ , w którym wyznaczone są przemieszczenia projektowanego łuku o promieniu  $R_4$  względem istniejącego łuku o promieniu  $R_1$  (model RM-R),
- 4)  $(x_B, x_C)$ , w którym wyznaczone są przemieszczenia projektowanego łuku o promieniu  $R_4$  względem istniejącego łuku o promieniu  $R_2$  (model RM-R),
- 5)  $(x_C, x_N)$ , w którym wyznaczone są przemieszczenia projektowanego łuku o promieniu  $R_4$  względem prostego odcinka toru.

- 3)  $(x_M, x_B)$ , w którym wyznaczone są przemieszczenia projektowanego łuku o promieniu  $R_4$  względem istniejącego łuku o promieniu  $R_1$  (model RM-R),
- 4)  $(x_B, x_C)$ , w którym wyznaczone są przemieszczenia projektowanego łuku o promieniu  $R_4$  względem istniejącego łuku o promieniu  $R_2$  (model RM-R),
- 5)  $(x_C, x_N)$ , w którym wyznaczone są przemieszczenia projektowanego łuku o promieniu  $R_4$  względem prostego odcinka toru.

Odcięte  $x_A, x_B, x_M$  opisują zależności

$$x_A = (R_3 - R_1) \tan \gamma, \quad (12)$$

$$x_B = x_A + R_1 \sin \gamma, \quad (13)$$

$$x_M = R_3 \sin \gamma. \quad (14)$$

Natomiast odcięte punktów C i N opisane są zależnościami (7) i (9).

### Podsumowanie

Znajomość zbioru punktów przesunięć na całej długości projektowanego układu umożliwia dokładniejszą ocenę zakresu niezbędnych robót ziemnych i potrzeb ewentualnych zmian granic władania, co wpływa na czas wykonania zadań modernizacyjnych i ich koszty. Wyniki tych obliczeń pozwalają również na dokładne ustalenie koniecznego zakresu usunięcia przeszkód, jak np. wycięcia słupów trakcyjnych.

Program MUGO stanie się dla projektantów narzędziem, które nie tylko przyspieszy prace projektowe, ale wpłynie również na ich jakość dzięki możliwości tworzenia dużej liczby wariantów, spośród których można będzie wybrać rozwiązania suboptymalne. ◀

### Materiały źródłowe:

- [1] Bałuch H., Bałuch M.: Układy geometryczne toru i ich deformacje. KOW, Warszawa 2010
- [2] Bałuch M.: The assessment of changes of track geometrical layout in the process of feasibility studies of railways modernization. Archives of Civil Engineering 2006, No. 4
- [3] Szwaczkiewicz K.: Komputerowe wspomaganie zmian modernizowanych układów geometrycznych toru. IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym INFRASTRUKTURA 2011”. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Radom 2011