

Koncepcja numerycznego modelu geometrii torów w procesie napraw nawierzchni

Polskie koleje rozpoczęły proces modernizacji dostosowujących linie magistralne do szybkości ponad 160 km/h. Do zadań projektowych z tym związanych wykorzystywane są mapy numeryczne opracowywane przeważnie na specjalne zlecenie uwzględniające treść branżową. Programy komputerowe IN RAIL oraz MOSS pozwalają na optymalizację projektów i znaczne skrócenie czasu ich opracowań. Niezależnie od tego oba programy zawierają moduł regulacji osi toru na podstawie mapy numerycznej. Wykorzystanie mapy numerycznej do celów projektowych jest zagadnieniem dobrze znanym.

Szerszego omówienia natomiast wymaga pomiar i opracowanie mapy numerycznej do celów regulacji osi toru, zwłaszcza na tle obowiązujących przepisów i wymaganych dokładności. Aby sprecyzować wymagania dotyczące mapy numerycznej, poddano szczegółowej analizie podstawowe parametry geometrycznej osi toru i sposobu ich pomiarów na liniach kolejowych o dużych prędkościach. Wskazano przy okazji na pewne nieścisłości w definicji krzywej przejściowej zawarte w pozycji [1] oraz strzałki łuku – zawarte w pozycji [2], które mogłyby stać na przeszkodzie w stosowaniu modułów regulacji osi toru wymienionych programów. W dalszej części przedstawiono propozycje sposobu pomiarów odpowiadających wymaganiom dokładnościowym na etapie sporządzania projektów regulacji osi torów.

Zagadnienie dokładności wyznaczania geometrii toru dla dużych szybkości kontynuowane jest na etapie obsługi geodezyjnej pracy podbijarki. Za podstawę rozważań autor przyjmuje kryterium ciągłości wyznaczania krzywizny. Na koniec formułuje koncepcję numerycznego modelu geometrii torów jako bazy geodezyjnej do obsługi napraw torów i ewidencji skrajni budowli. Model ten mógłby być wykorzystywany do sterowania pracą podbijarki odpowiednio oprzyrządowanej według przedstawionej propozycji.

Krzywizna

Zasadniczym zadaniem regulacji osi toru jest doprowadzenie wykresu krzywizny rzeczywistej osi toru do przebiegu teoretycznego będącego zestawem równań prostych:

- pokrywającej się z podstawą wykresu – dla odcinka prostej

$$k = 0 \quad (1)$$

- równoległej do podstawy – dla odcinka łuku kołowego

$$k = \frac{1}{R} = b \quad (2)$$

jako, że krzywizna łuku kołowego jest wielkością stałą,

- ukośnej – dla odcinka krzywej przejściowej

$$k = a \cdot l + b \quad (3)$$

gdzie:

l – długość liczona po osi toru od punktu początkowego, bowiem krzywizna przejściowej rośnie proporcjonalnie od wielkości początkowej do wielkości końcowej.

Wykres krzywizny osi toru ma bezpośredni związek z ruchem pociągu, na który na łuku działa siła odśrodkowa, której wielkość określa wzór:

$$F = \frac{mV^2}{R} \quad (4)$$

lub

$$F = mV^2 K \quad (5)$$

Łatwo zauważyć, że na prostym odcinku toru dla $R \rightarrow \infty$ wielkość siły odśrodkowej jest równa zero. Na krzywej przejściowej występuje stopniowo zmiana siły odśrodkowej. Na łuku siła odśrodkowa ma wielkość stałą. Z pojęciem siły odśrodkowej związane jest przyspieszenie boczne, które częściowo jest równoważone przechyłką toru i ma wielkość stałą na łuku. Przyrost tego przyspieszenia na odcinku krzywej przejściowej jest ograniczony w zależności od prędkości pociągów, co w konsekwencji wprowadza pojęcie minimalnej długości krzywej przejściowej. Szczegółowe ustalenia w tym zakresie zawarte są w pozycji [1]. Interesujący jest wpływ nierówności wykresu krzywizny na ruch pociągu po torze. Z zależności (4) można wnioskować, że zwiększenie prędkości pociągu powoduje szybki wzrost oddziaływań bocznych. Dlatego wybór odpowiedniego sposobu wyznaczania krzywizny ma duże znaczenie, zwłaszcza dla linii o prędkościach $v > 160$ km/h.

Strzałka łuku kołowego

Wiadomo, że pomiar krzywizny można wykonać za pośrednictwem pomiaru strzałek łuku. Strzałkę łuku stanowi odległość punktu osi toru od cięciwy łączącej dwa sąsiednie punkty. Zależność między strzałką a promieniem łuku określa wzór:

$$f = \frac{ab}{2R} \quad (6)$$

lub

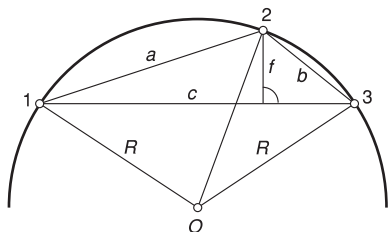
$$f = \frac{ab}{2}K$$

gdzie:

f – strzałka łuku

R – promień łuku

a, b – odległości wzajemne punktów.



Rys. 1. Strzałka łuku kołowego

Celem sporządzenia wykresu przebiegu strzałek osi toru, przyjmuje się równe odległości między punktami, w zależności od promienia i długości łuku 5 m, 10 m, 20 m.

Przy takim założeniu wzór na strzałkę łuku przyjmie postać:

$$f = \frac{a^2}{2R} \quad (8)$$

lub

$$f = \frac{a^2}{2}K \quad (9)$$

Można więc stwierdzić, że wykres strzałek przedstawia wykres krzywizny, gdy trzy punkty trójkąta strzałek leżą w obrębie odcinka o jednym równaniu krzywizny. Instrukcja D19 ma zapis, że wzór (6) jest przybliżony i dla $f > 30$ cm należy stosować wzór dokładniejszy:

$$f = \frac{ab}{2R} + \frac{a^2b^2}{8R^2} \quad (10)$$

Ponieważ wzór na strzałkę łuku ma istotne znaczenie dla konstrukcji algorytmów programów regulacji osi torów, dlatego warto przeanalizować sposób jego wyprowadzenia. Trzy punkty leżące na płaszczyźnie wyznaczają łuk o promieniu R . Pole trójkąta utworzonego przez te punkty związane jest z wielkością promienia okręgu opisanego na tym trójkącie:

$$S = \frac{abc}{4R} \quad (11)$$

gdzie:

c – długość cięciwy utworzonej przez punkt pierwszy i trzeci. Jednocześnie pole tego trójkąta wyraża wzór:

$$S = \frac{cf}{2} \quad (12)$$

Porównanie tych dwóch wzorów prowadzi do wzoru (6) na strzałkę łuku, bez potrzeby uzupełnienia o dalsze wyrazy.

Strzałka łuku krzywej przejściowej o prostoliniowej rampie przechyłkowej

Instrukcja D19 podaje następujący wzór na strzałkę łuku krzywej przejściowej, gdy trzy punkty leżą w obrębie krzywej przejściowej:

$$f = \frac{ab(3d + 2a + b)}{6LR} \quad (13)$$

gdzie:

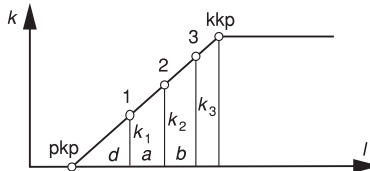
L – długość krzywej przejściowej,

d – odległość pierwszego punktu trójkąta strzałek od początku krzywej,

i wzór dokładniejszy dla $\frac{d}{R} > \frac{1}{5}$

$$F = f \left(1 - \frac{d^4}{8L^2R^2} \right) \quad (14)$$

Analizę wyprowadzenia wzoru (13) wykonano korzystając z rysunku 2.



Rys. 2. Wykres krzywizny krzywej przejściowej

Pod uwagę wzięto trójkąt, którego trzy punkty leżą w obrębie krzywej przejściowej. Na tych punktach opisany jest okrąg, którego krzywizna jest średnią z krzywizn w trzech punktach. Wzór na strzałkę łuku będzie następujący:

$$f = \frac{ab}{2}K_{sr} \quad (15)$$

$$K_{sr} = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3} \quad (16)$$

Zgodnie z definicją krzywej przejściowej, krzywizny w punktach trójkąta będą następujące:

$$\begin{aligned} k_1 &= d \frac{K}{L} \\ k_2 &= (d + a) \frac{K}{L} \\ k_3 &= (d + a + b) \frac{K}{L} \end{aligned} \quad (17)$$

Po wstawieniu (16) i (17) do (15) otrzymujemy wzór (13). W praktyce regulacji osi torów pomiar strzałek odbywa się w punktach powstałych z podziału osi toru na odcinki cięciw. Występujące we wzorze (13) wielkości d, a, b są praktycznie sumami odcinków cięciw, zbliżonymi do długości łuków osi toru między punktami trójkąta strzałek. Na podstawie wyprowadzonych wzorów i stosowanych metod

regulacji osi torów w oparciu o pomiar strzałek można twierdzić, że stosowana krzywa przejściowa jest krzywą, której krzywizna jest odwrotnie proporcjonalna do długości łuku [3], bez ograniczeń na wielkości długości krzywej i promienia łuku kołowego.

Podobną własność, lecz na ograniczonej długości, ma parabola sześcienna o równaniu:

$$y = \frac{x^3}{6LR} \quad (18)$$

gdzie x jest długością odcinka stycznej do krzywej w jej początku. Jako krzywa przejściowa może być stosowana w zakresie długości, w której promień krzywizny osiąga wielkość minimalną

$$R_{\min} = 1,39\sqrt{LR}$$

a potem dalej rośnie nieograniczenie [4]. W dotychczasowych metodach regulacji osi torów nie posługiwano się odcinkami długości po stycznej do krzywej przejściowej, lecz długościami po łuku krzywej, o czym wzmiankowano wyżej. Wynika z tego wniosek, że **stosowana w procesie regulacji osi toru krzywa przejściowa jest kłotoidą o równaniu**

$$y = \frac{x^3}{6LR}$$

gdzie:

R – promień łuku kołowego,

L – długość krzywej przejściowej z prostoliniową rampą przechyłkową,

x – odległość od początku krzywej przejściowej.

Rozważmy na przykładzie praktyczne skutki tego stwierdzenia. Dla uwypuklenia problemu przyjmijmy parametry krzywej przejściowej przekraczające wielkości stosowane w praktyce. Niech $L = 160$ m, $R = 300$ m, $d = 40$ m, $a = 40$ m, $b = 80$ m.

Zauważmy, że:

$$\frac{d}{R} = \frac{80}{300} > \frac{1}{5}$$

Dla przykładu posłużymy się współzrzednymi w układzie prostokątnym, którego oś odciętych jest kierunkiem stycznej w początku kłotoidy (tabl. 1). Przyjmując, że wszystkie długości, poza promieniem łuku kołowego, są miarami łukowymi, otrzymamy na podstawie (13) wielkość strzałki trójkąta strzałek 8 – 11 – 16

$$f = 1822,92 \text{ mm}$$

a po uzupełnieniu według wzoru (14):

$$F = 1820,69 \text{ mm.}$$

Długości cięciw 8 – 11 i 11 – 16 wynoszą odpowiednio

$$a = 29,996 \text{ m}$$

$$b = 49,959 \text{ m}$$

a po wstawieniu do (14) otrzymamy wielkość strzałki

$$f = 1820,64 \text{ mm}$$

Data: 04-06-2001
 Obiekt C:\WINKALK\test
 Strefa układu 65: 5

Tablica 1

OBLICZENIE PUNKTÓW NA KLOTOIDZIE

Początek kłotoidy: pkp X = 0,000 Y = 0,000

Kierunek stycznej: W X = 0,000 Y = 500,000

Promień krzywizny w końcu kłotoidy: 300,000

Długość kłotoidy: 160,000

Zwrot kłotoidy: w lewo od stycznej

Numer	Bieżąca	Domiar	X	Y
8	80,000		1,777	79,964
11	110,000		4,616	109,825
16	160,000		14,150	158,866

Obliczając wielkość strzałki ze współzrzednych prostokątnych punktów 8, 11, 16 kłotoidy jako odległość punktu 11 od cięciwy 8 – 16, otrzymamy:

$$f = 1821,31 \text{ mm}$$

Na podstawie powyższych rozważań można stwierdzić, że **algorytmy programów regulacji osi torów w oparciu o pomiar strzałek łuku w istocie stosują kłotoidę jako krzywą przejściową o prostoliniowej rampie przechyłkowej.**

Ewolwenta

Spostrzeżenie to dotyczy również algorytmów posługujących się ewolwentowym układem współzrzednych. Układ współzrzednych ewolwentowych ma tę cechę, że długości krzywych liczone są po osi toru i zachowują swoje wielkości przy rozwijaniu krzywej na kolejne kierunki stycznych. Równania odcinków składowych geometrii osi toru w układzie ewolwentowym przedstawiają następujące wzory:

$$e = cl + d \quad \text{prosta} \quad (19)$$

$$e = bl^2 + cl + d \quad \text{łuk koła} \quad (20)$$

$$e = al^3 + bl^2 + cl + d \quad \text{krzywa przejściowa} \quad (21)$$

gdzie:

c i d – parametry prostej,

$$b = \frac{1}{2R} \quad \text{– } 1/2 \text{ krzywizny łuku kołowego,}$$

$$a = \frac{1}{6LR} \quad \text{– parametr krzywej przejściowej (kłotoidy).}$$

W algorytmie autora niniejszego artykułu przyjęto wzór (21) jako uogólnione równanie geometrycznej osi toru, w którym przez zerowanie parametrów dochodzi się do równań (19) lub (20). Z drugiej zaś strony do tych równań dochodzi się przez podwójne całkowanie równań (1). Zauważmy, że wykres strzałek jest liniowym przedstawieniem wykresu

krzywizny pomnożonego przez wartość stałą. Podwójne całkowanie wykresu strzałek regulowanej osi toru daje ewolwentę tej osi. W praktyce podwójne całkowanie zastąpione jest podwójnym sumowaniem strzałek pomierzonych

$$E_{i+1} = 2 \sum_i^i \sum_j f_i \quad (22)$$

Praktyczne wykorzystanie teorii ewolwentowej do regulacji osi torów zastosował w latach 30. dr Schramm, posługując się graficzną metodą wykresu kątów mieszczącą się w teorii ewolwent. Powszechny rozwój komputeryzacji w Polsce w latach 80. zaowocował rozwinięciem teorii ewolwent do postaci algorytmu programu komputerowego autorstwa dr W. Gogolińskiego. Także w tym czasie powstał program regulacji osi torów autora artykułu. Oba programy przez 20 lat stosowania sprawdziły się w różnych układach geome-

trycznych osi torów. Dla zilustrowania tezy, że stosują one kłotoidę jako krzywą przejściową przedstawia się przykład – tablica 2, w którym na osi toru złożonej z odcinków: prostej – kłotoidy – łuku kołowego – kłotoidy – prostej obliczono współrzędne prostokątne punktów w stałym kroku 10 m. Przyjęto także, jak poprzednio, przesadzone długości krzywych przejściowych. W punktach tych obliczono strzałki na cięciwie 20 m w stałym kroku 10 m (tabl. 3) i poddano opracowaniu programem autora. Obliczenia strzałek należy prowadzić z dokładnością 5 miejsc po przecinku, z uwagi na podwójne sumowanie w obliczeniu ewolwent osi istniejącej. Wynik obliczeń, przedstawiony w tablicy 4 wykazuje, że strzałki obliczone ze współrzędnych prostokątnych, między innymi kłotoidy i obliczone programem są identyczne. Jest też zgodność otrzymanej geometrii toru z geometrią założoną.

Data: 04-06-2001
Obiekt C:\WINKALK\test
Strefa układu 65 : 5

Tablica 2

PUNKTY GŁÓWNE I POŚREDNIE ŁUKU

Łuk [A] – [W] – [B]
Promień łuku: 300,000
Długość kłotoidy: 160,000
Kąt zwrotu: 30,7148
Długość łuku kołowego: 144,7402
Długość strzałki: 47,400

Numer punktów		Wsp. X	Wsp. Y	Kilometr	
Początek trasy	A	130,000	500,000	0,000	
Wierzchołek	W	500,000	500,000	353,604	
Koniec trasy	B	810,000	0,000	925,510	
Środek okręgu	S	331,044	196,453		
Pocz.kłotoidy	O1	pkp1	251,234	500,000	121,234
Początek łuku	P1	kkp1	410,100	485,850	281,234
Środek łuku	Sl		476,947	458,584	353,604
Koniec łuku	P2	kkp2	535,346	416,137	425,974
Koniec kłot.	O2	pkp2	631,085	288,573	585,974

Punkty pośrednie

Numer	Bieżąca	Domiar	X	Y	Opis
1	10,000		140,000	500,000	Prosta 1
2	20,000		150,000	500,000	Prosta 1
3	30,000		160,000	500,000	Prosta 1
4	40,000		170,000	500,000	Prosta 1
5	50,000		180,000	500,000	Prosta 1
6	60,000		190,000	500,000	Prosta 1
7	70,000		200,000	500,000	Prosta 1
8	80,000		210,000	500,000	Prosta 1
9	90,000		220,000	500,000	Prosta 1
10	100,000		230,000	500,000	Prosta 1
11	110,000		240,000	500,000	Prosta 1
12	120,000		250,000	500,000	Prosta 1
13	130,000		260,000	499,998	Kłotoida 1
14	140,000		270,000	499,977	Kłotoida 1
15	150,000		280,000	499,917	Kłotoida 1
16	160,000		289,999	499,798	Kłotoida 1
17	170,000		299,997	499,597	Kłotoida 1
18	180,000		309,992	499,295	Kłotoida 1

Tablica 2 cd.

Numer	Bieżąca	Domiar	X	Y	Opis
19	190,000		319,983	498,871	Kłotoida 1
20	200,000		329,967	498,304	Kłotoida 1
21	210,000		339,940	497,573	Kłotoida 1
22	220,000		349,898	496,657	Kłotoida 1
23	230,000		359,835	495,537	Kłotoida 1
24	240,000		369,744	494,192	Kłotoida 1
25	250,000		379,616	492,602	Kłotoida 1
26	260,000		389,443	490,749	Kłotoida 1
27	270,000		399,211	488,611	Kłotoida 1
28	280,000		408,909	486,172	Kłotoida 1
29	290,000		418,521	483,417	Łuk kołowy
30	300,000		428,036	480,342	Łuk kołowy
31	310,000		437,444	476,952	Łuk kołowy
32	320,000		446,733	473,250	Łuk kołowy
33	330,000		455,893	469,241	Łuk kołowy
34	340,000		464,915	464,928	Łuk kołowy
35	350,000		473,788	460,317	Łuk kołowy
36	360,000		482,503	455,414	Łuk kołowy
37	370,000		491,049	450,222	Łuk kołowy
38	380,000		499,418	444,749	Łuk kołowy
39	390,000		507,599	438,999	Łuk kołowy
40	400,000		515,584	432,980	Łuk kołowy
41	410,000		523,365	426,699	Łuk kołowy
42	420,000		530,931	420,162	Łuk kołowy
43	430,000		538,276	413,376	Kłotoida 2
44	440,000		545,397	406,355	Kłotoida 2
45	450,000		552,301	399,122	Kłotoida 2
46	460,000		558,997	391,696	Kłotoida 2
47	470,000		565,497	384,096	Kłotoida 2
48	480,000		571,811	376,342	Kłotoida 2
49	490,000		577,952	368,450	Kłotoida 2
50	500,000		583,934	360,437	Kłotoida 2
51	510,000		589,772	352,318	Kłotoida 2
52	520,000		595,481	344,107	Kłotoida 2
53	530,000		601,076	335,819	Kłotoida 2
54	540,000		606,574	327,466	Kłotoida 2
55	550,000		611,992	319,061	Kłotoida 2
56	560,000		617,347	310,616	Kłotoida 2
57	570,000		622,656	302,142	Kłotoida 2

Tablica 2 cd.

Numer	Bieżąca	Domiar	X	Y	Opis
58	580,000		627,936	293,650	Klotoida 2
59	590,000		633,206	285,151	Prosta 2
60	600,000		638,476	276,652	Prosta 2
61	610,000		643,745	268,153	Prosta 2
62	620,000		649,015	259,654	Prosta 2
63	630,000		654,284	251,155	Prosta 2
64	640,000		659,553	242,656	Prosta 2
65	650,000		664,823	234,157	Prosta 2
66	660,000		670,092	225,658	Prosta 2
67	670,000		675,362	217,159	Prosta 2
68	680,000		680,631	208,660	Prosta 2
69	690,000		685,900	200,161	Prosta 2
70	700,000		691,170	191,662	Prosta 2
71	710,000		696,439	183,163	Prosta 2
72	720,000		701,709	174,664	Prosta 2
73	730,000		706,978	166,165	Prosta 2
74	740,000		712,247	157,666	Prosta 2
75	750,000		717,517	149,167	Prosta 2
76	760,000		722,786	140,667	Prosta 2
77	770,000		728,056	132,168	Prosta 2
78	780,000		733,325	123,669	Prosta 2
79	790,000		738,594	115,170	Prosta 2
80	800,000		743,864	106,671	Prosta 2
81	810,000		749,133	98,172	Prosta 2
82	820,000		754,403	89,673	Prosta 2
83	830,000		759,672	81,174	Prosta 2
84	840,000		764,941	72,675	Prosta 2
85	850,000		770,211	64,176	Prosta 2
86	860,000		775,480	55,677	Prosta 2
87	870,000		780,750	47,178	Prosta 2
88	880,000		786,019	38,679	Prosta 2
89	890,000		791,288	30,180	Prosta 2
90	900,000		796,558	21,681	Prosta 2

Tablica 3

testf
lewy
0.130
10
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.29581 5.92846 16.19149
26.60811 37.02467 47.44115 57.85752 68.27377 78.68988
89.10581 99.52155 109.93707 120.35235 130.76736 141.18206
151.59642 161.71503 166.49791 166.65124 166.65124 166.65124
166.65124 166.65124 166.65124 164.95516 156.31583 145.90165
135.48709 125.07221 114.65705 104.24164 93.82600 83.41015
72.99412 62.57793 52.16161 41.74518 31.32865 20.91206
10.49542 1.77579 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 9999
34 0.340 0
48 0.480 0
52 0.520 0
-1 0 0

Projekt regulacji osi toru

Tablica 4

linia	testf				p	
	Nr	km	f	ft		
2	0,14000	0,0	0,0	0,0		*
3	0,15000	0,0	0,0	0,0		*
4	0,16000	0,0	0,0	0,0		*
5	0,17000	0,0	0,0	0,0		*
6	0,18000	0,0	0,0	0,0		*
7	0,19000	0,0	0,0	0,0		*
8	0,20000	0,0	0,0	0,0		*
9	0,21000	0,0	0,0	0,0		*
10	0,22000	0,0	0,0	0,0		*
11	0,23000	0,0	0,0	0,0		*
12	0,23999	0,0	0,0	0,0		*
13	0,24999	0,0	0,0	0,0		*
14	0,25999	0,0	0,0	0,0		*
15	0,26999	0,0	0,0	0,0		*
16	0,27999	0,0	0,0	0,0		*
17	0,28999	0,3	0,3	0,0		*
18	0,29999	5,9	5,9	-0,0		*
19	0,30999	16,2	16,2	-0,0		l*
20	0,31999	26,6	26,6	-0,0		l*
21	0,32999	37,0	37,0	-0,0		l*
22	0,33999	47,4	47,4	-0,0		l*
23	0,34999	57,9	57,9	-0,0		l*
24	0,35999	68,3	68,3	-0,0		l*
25	0,36999	78,7	78,7	-0,0		l*
26	0,37999	89,1	89,1	-0,0		l*
27	0,38999	99,5	99,5	-0,0		l*
28	0,39999	109,9	109,9	-0,0		l*
29	0,40999	120,4	120,4	-0,0		l*
30	0,41999	130,8	130,8	-0,0		l*
31	0,42999	141,2	141,2	-0,0		l*
32	0,43999	151,6	151,6	-0,0		l*
33	0,44999	161,7	161,7	0,0		l*
34	0,45998	166,5	166,5	0,0		l*
35	0,46998	166,7	166,7	0,0		l*
36	0,47998	166,7	166,7	0,0		l*
37	0,48998	166,7	166,7	0,0		l*
38	0,49998	166,7	166,7	0,0		l*
39	0,50998	166,7	166,7	0,0		l*
40	0,51998	166,7	166,6	0,0		l*
41	0,52998	165,0	165,0	0,0		l*
42	0,53998	156,3	156,3	0,0		l*
43	0,54998	145,9	145,9	-0,0		l*
44	0,55998	135,5	135,5	-0,0		l*
45	0,56998	125,1	125,1	-0,0		l*
46	0,57998	114,7	114,7	-0,0		l*
47	0,58998	104,2	104,2	-0,0		l*
48	0,59998	93,8	93,8	-0,0		l*
49	0,60998	83,4	83,4	-0,0		l*
50	0,61998	73,0	73,0	-0,0		l*
51	0,62998	62,6	62,6	-0,0		l*
52	0,63998	52,2	52,2	-0,0		l*
53	0,64998	41,7	41,8	-0,0		l*
54	0,65998	31,3	31,3	-0,0		l*
55	0,66997	20,9	20,9	-0,0		l*
56	0,67997	10,5	10,5	-0,0		l*
57	0,68997	1,8	1,8	0,0		*
58	0,69997	0,0	0,0	0,0		*

Tablica 4 cd.

Nr	km	f	ft	p	
59	0,70997	0,0	-0,0	-0,0	*
60	0,71997	0,0	0,0	0,0	*
61	0,72997	0,0	0,0	0,0	*
62	0,73997	0,0	0,0	0,0	*
63	0,74997	0,0	0,0	0,0	*
64	0,75997	0,0	-0,0	0,0	*
65	0,76997	0,0	0,0	0,0	*
66	0,77997	0,0	0,0	0,0	*
67	0,78997	0,0	0,0	0,0	*
68	0,79997	0,0	0,0	0,0	*
69	0,80997	0,0	0,0	0,0	*

Prędkość $V = 78$ km/h		Prędkość $V_{max} = 78$ km/h	
KM	D	R	
0,13000	164,45	prosta	
0,29445	160,00	przejściowa	
0,45444	75,63	łuk $R = 300,00$	
0,53006	160,00	przejściowa	
0,69005	129,92	prosta	
0,81997			

Pomierzył

Projektował

Uzgodnił

Zatwierdził

PROJEKT REGULACJI ŁUKU

linia testf

WYKAZ MIAR

nr	km	l	d	fr
	34,000		0,34000	-0
		10	1,290	
		20	2,464	
		30	3,501	
		40	4,382	
		50	5,084	
		60	5,586	
		70	5,869	
		80	5,912	
		90	5,692	
		100	5,191	
		110	4,386	
		120	3,257	
		130	1,796	
		140	1,000	
	48,000	0,48000	0,8177	
ae = 140,000	be = 40,000			
		10	500	
		20	667	
		30	500	
		40	0	
	52,000	0,52000	0	

PROJEKT REGULACJI ŁUKU

linia testf

WYKAZ MIAR Z OSI TORU

nr	km	l	d	d(wsk - os)
	34,000	0,34000	0	-0
		10	1290	
		20	2464	
		30	3502	
		40	4382	
		50	5084	
		60	5586	
		70	5869	
		80	5912	
		90	5692	
		100	5191	
		110	4386	
		120	3257	
		130	1796	
		140	1	
	48,000	0,48000	0	0
		10	500	
		20	667	
		30	500	
		40	0	
	52,000	0,52000	0	0

Zalety i wady metody ewolwent

Wadą metody wykresu kątów była mała dokładność operacji graficznych, w wyniku czego powstawały zniekształcenia wykresu krzywizny toru po naprawie. W pewnym stopniu niedokładności te usuwał pomiar kontrolny strzałek na wskaźnikach regulacji osi toru wyznaczanych obok toru w odległościach 2,30–3,00 od osi toru. Na podstawie strzałek pomierzonych i obliczonych wzorami podanymi w instrukcji D19, wyrównywano strzałki pomierzone do wielkości teoretycznej z przybliżeniem do 4 mm. Także w epoce stosowania komputerów potrzebny jest pomiar strzałek kontrolnych celem określenia dokładności pomiarów. Obliczone programem komputerowym strzałki na podstawie ewolwent należy zredukować ze względu na różnice długości odcinków łuków i odpowiadającym im długości cięciw współczynnikiem

$$w = \frac{a_w \cdot b_w}{a \cdot b} \quad (23)$$

gdzie:

 a_w, b_w – długości cięciw, a, b – długości po osi toru.

Długości cięciw pochodzą z pomiarów dodatkowych.

W podanym przykładzie wielkość strzałki, obliczonej programem w punktach położonych w km 0,34000, 0,48000, 0,52000, wynosi:

$$f = 8177 \text{ mm}$$

Długości cięciw wynoszą:

$$a = 139,332 \text{ m}, \quad b = 39,970 \text{ m}$$

Skorygowana wielkość strzałki wynosi:

$$f = 8132 \text{ mm}$$

Ta sama strzałka obliczona ze współrzędnych jako odległość punktu od cięciwy wynosi:

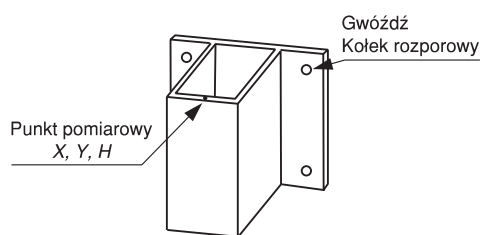
$$F_w = 8120 \text{ mm}$$

Błąd względny strzałki zredukowanej w stosunku do obliczonej ze współrzędnych jest rzędu 0,1%. W praktyce tak duże wielkości strzałek nie występują. Można więc stwierdzić, że niedokładności metody z chwilą stosowania programów komputerowych praktycznie nie mają znaczenia. Deformacje toru podlegającego regulacji składają się z wybić lokalnych, które widoczne są na wykresie strzałek pomierzonych i deformacji o charakterze falowym o długości fal 50–100 m, które nie są widoczne ze względu na dokładność pomiaru strzałek rzędu 1–2 mm [5]. Ponadto w stosowanych przyrządach może występować błąd systematyczny miejsca zera, który może się zmieniać w sposób przypadkowy przy dużej liczbie strzałek pomierzonych. Ma to swoje analogie z pomiarem ciągu poligonowego o dużej liczbie pomierzonych kątów, który charakteryzuje duży błąd poprzeczny. Z tego powodu instrukcja D19 zaleca pomiar strzałek na długą cięciwę i wyliczenia na tej podstawie strzałek w stałym kroku wzorem:

$$f_i = d_i - \frac{d_{i-1} + d_{i+1}}{2} \quad (24)$$

Jest to pośredni pomiar strzałek. Łatwo zauważyć, że eliminuje on wpływ błędu miejsca zera. Jest to poligon długich cięciw, który w dalszym ciągu ma błąd poprzeczny zbyt duży dla linii o prędkościach powyżej 160 km/h. Z tych względów na tych liniach pomiary osi torów do celów regulacji wykonuje się metodami geodezyjnymi. Wymaga się, aby pomiar położenia punktów osi toru charakteryzował się przyrostem błędu nie większym niż 5 mm [5].

Zaletą algorytmów stosujących teorię ewolwent jest ich prosta konstrukcja, przechodząca od wykresu krzywizny poprzez wykres kątów zwrotu do ewolwent. Pozwala to na stosowanie dowolnych układów geometrycznych osi torów. Ponadto wykres strzałek stosowany jest w ocenie stanu toru i w odbiorach robót po naprawach. Połączenie układów współrzędnych ewolwentowych i prostokątnych w procesie napraw i utrzymaniu torów byłoby rozwiązaniem optymalnym, dającym możliwość stosowania różnych technik pomiarowych. Pomiary te musiałyby spełniać niżej opisane kryterium ciągłości wyznaczania krzywizny.



Rys. 3. Znak Kolejowej Osnowy Specjalnej

Kryterium ciągłości wyznaczania krzywizny

Problem nieciągłości pomiaru krzywizny osi toru pojawiłby się w przypadku, gdyby do celów regulacji osi toru wykorzystano mapę zasadniczą. Instrukcje geodezyjne dla tych pomiarów przewidują stosowanie ciągów punktów o długości do 2 km, stabilizowanych trwale wzdłuż toru. Dokładność położenia tych punktów charakteryzuje błąd średni $< 0,10$ m. Punkty te są stanowiskami instrumentów, którymi wykonywany jest bezpośredni pomiar punktów osi toru. Z punktu widzenia ciągłości pomiaru krzywizny szczególnie niekorzystne jest określenie położenia punktów osi toru w pobliżu środka ciągu, a także w pobliżu jego krańców z uwagi na to, że ciągi dowiązywane są często do punktów będących fragmentami różnych osnów geodezyjnych

Biorąc to pod uwagę, koleje austriackie, niemieckie i szwajcarskie wprowadziły do celów regulacji osi torów pomiary geodezyjne o podwyższonej dokładności. Podobne wymogi przewiduje Instrukcja D19 PKP. Jest to celem sporządzania kolejowej mapy numerycznej.

Zdaniem autora niniejszego artykułu, kolejowa mapa numeryczna powinna spełniać następujące kryterium dokładności pomiaru krzywizny: **błąd wyznaczenia położenia punktu osi rzeczywistej w kierunku poprzecznym do osi toru powinien być mniejszy niż 5 mm na całym przebiegu trasy.**

Kolejowa osnowa specjalna

Stosowane powszechnie do pomiarów szczegółowych tachymetry elektroniczne pozwalają na wyznaczenie z jednego stanowiska punktów rzeczywistej osi toru, znajdujących się w zasięgu do 250 m z dokładnością milimetrową. Jeśli więc stanowisko instrumentu będzie dowiązane do punktów odpowiednio precyzyjnej osnowy geodezyjnej, to łączny wpływ błędów metody pomiarów i błędów osnowy geodezyjnej powinien zmieścić się w podanym kryterium. Taką osnową jest Kolejowa Osnowa Specjalna (KOS), której twórcą jest autor niniejszego artykułu. Instrukcja D19 (autor opracował jej pierwsze wydanie w 1992 r.) podaje charakterystykę tej osnowy, której fragmenty przytacza się poniżej.

1. Kolejową osnowę geodezyjną stanowi zbiór punktów tworzących jednorodną sieć przestrzenną w państwowym układzie współrzędnych.
2. Z punktu widzenia organizacji pomiarów, osnowę geodezyjną stanowi jednorzędowa sieć punktów służących do bezpośredniego nawiązania szczegółowych pomiarów geodezyjnych z zakresu pomiarów sytuacyjno-wysokościowych, profilu podłużnego, regulacji osi torów, pomiarów realizacyjnych.
3. Na liniach zelektryfikowanych znaki osnowy geodezyjnej stabilizowane są na słupach sieci trakcyjnej, jako znaki wielofunkcyjne na wysokości 0,7 m powyżej główki szyny.
4. Typ znaku i sposób stabilizacji na liniach zelektryfikowanych przedstawia załącznik (rys. 3).
5. Osnowę geodezyjną należy dowiązać do osnowy I klasy. Konstrukcja nawiązania musi zapewniać spełnienie warunku ciągłości krzywizny osi toru, co wynika z analizy dokładności nawiązania.

6. Pomiar wysokości punktów osnowy należy wykonać metodą niwelacji geometrycznej III klasy.

Na znak KOS autor uzyskał prawo ochronne nr 56943.

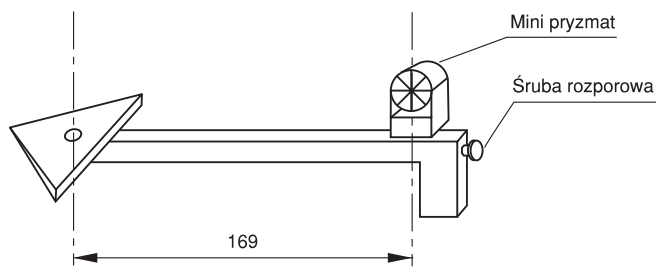
Doświadczenia kolei zachodnich wykazują, że aby osnowa geodezyjna spełniała wymogi kryterium dokładności pomiaru krzywizny, powinna być dowiązana do punktów stałych co 1,5 km, charakteryzujących się błędem średnim 2–3 cm [5]. Na podstawie dotychczasowych wdrożeń na PKP można stwierdzić, że położenie tych punktów wyznacza się z dokładnością wewnętrzną <1 cm. Dokładność ta jest uzyskiwana na odcinkach 40 km linii kolejowej, z zastosowaniem pomiarów statycznych GPS. Pomiaru te są wykonywane na parach punktów stabilizowanych obok toru we wzajemnych odległościach do 250 m. Punkty te służą do dowiązania pomiarów wykonywanych na znakach KOS.

Do pomiaru kolejowej osnowy stosuje się specjalne statywy (rys. 4), umożliwiające centrowanie nad punktem z dokładnością <1 mm.

Konstrukcja statywu umożliwia ustawienie stacji pomiarowej i sygnałów na spodarkach usytuowanych w stałej odległości od punktu pomiarowego znaku, co pozwala na prowadzenie obserwacji metodą trzech statywów. Pomiar osnowy można wykonać także metodą swobodnego stanowiska, bez ustawiania instrumentu na statywie KOS.

Pomiar osi toru i skrajni budowli

Pomiar osi toru i skrajni, podobnie jak pomiary KOS, wykonuje się przy użyciu precyzyjnego tachimetru elektronicznego. Obecnie w powszechnym użyciu są instrumenty o dokładności pomiaru odległości 2 mm i pomiaru kąta 5 sekund gradowych. Dla celowych rzędu 250 m daje to dokładność wyznaczenia położenia punktu około 3 mm. Z punktu widzenia regulacji osi torów, tor położony w łuku powinien być mierzony w wielu punktach, aby można było wybrać optymalny wariant projektu. Nie będzie przesadne podzielenie osi toru na odcinki długości 10 m. Daje to możliwość przeglądu przebiegu przesunięć osi toru, a także, co jest bardzo istotne, możliwość sporządzenia wykresu strzałek. W tym przypadku wykres strzałek spełnia funkcję kontrolną poprawności pomiaru. W przypadku wystąpienia pomyłki wykres strzałek wykaże znaczne zniekształcenie w tym punkcie i dwóch punktach przyległych. Mierząc położenie obiektów do 3 m od osi toru należy wybierać punkty pomiaru tak, by możliwe było obliczenie wielkości skrajni budowli. Potrzebny więc jest pomiar osi toru w punkcie leżącym naprzeciw obiektu i w punkcie najbliższym położonym na obiekcie. Koleje szwajcarskie wymagają, by odchyłka między odległością pomierzoną bezpośrednio a obliczoną ze współrzędnych nie była większa niż 10 mm. Dotyczy to skrajni słupów trakcyjnych, jak i międzytorza. Koleje niemieckie zakładają potrzebę ponownego pomiaru punktów osnowy stabilizowanych na słupach trakcyjnych, gdy pomiar kontrolny wykaże odchyłkę większą od 20 mm w stosunku do odległości obliczonych ze współrzędnych. Z tych względów autor niniejszego artykułu zaleca stosowanie metody swobodnego stanowiska do pomiaru szczegółów, nawiązując stanowisko przynajmniej do czterech punktów KOS. Z uwagi na gęstość punktów KOS



Rys. 4. Statyw KOS

jest to łatwe do wykonania i daje możliwość identyfikacji punktu osnowy, który zmienił położenie np. na skutek przesunięcia się słupa trakcyjnego w czasie eksploatacji sieci trakcyjnej. Punkt taki otrzyma nowe współrzędne. Wpływ takiego przesuniętego punktu na wyniki wyrównania pomiarów wyznaczających współrzędne stanowiska będzie widoczny w analizie dokładności. Jeśli błąd średni wyznaczenia położenia stanowiska okaże się zbyt duży, wówczas zidentyfikowany punkt przesunięty wystąpi w kolejnym wyrównaniu jako punkt wyznaczony. Punkt taki otrzyma nowe współrzędne. W przypadku, gdy dobór punktów nawiązania nie prowadzi do uzyskania błędu średniego położenia stanowiska mniejszego od 5 mm, należy wykonać nowy pomiar odcinka KOS, nawiązując go do punktów z pomiaru satelitarnego.

Koncepcja numerycznego modelu geometrii torów Numeryczny model geometrii torów jest to konstrukcja przestrzenna utworzona przez punkty o współrzędnych X, Y, H uzyskane z pomiarów do mapy numerycznej i dodatkowo wyznaczone wielkości przechyłki i szerokości toru.

Zagęszczenie punktów modelu powinno być tak dobrane, aby umożliwiać jego wykorzystanie do:

- sporządzania projektów regulacji osi torów,
- sporządzania projektów niwelety torów,
- sterowania pracą podbijarki,
- wyznaczania skrajni budowli.

Współrzędne punktów modelu oraz wartości przechyłek i szerokości toru powinny być podawane co najmniej z dokładnością do 1 mm. Rozróżnia się rzeczywisty model geometrii torów, utworzony na podstawie wyników pomiarów terenowych, oraz model teoretyczny, który uzyskuje się w wyniku sporządzenia projektu regulacji osi torów.

Projekty regulacji osi torów

Na początku niniejszego artykułu wykazano równoważność projektów wykonanych metodą ewolwentową i ze współrzędnych geodezyjnych, pod warunkiem zachowania odpowiednich dokładności. Tym zadaniem odpowiada koncepcja modelu numerycznego. Na modelu wykonujemy „pomiar strzałek” regulowanego toru. Wykres strzałek pozwoli stwierdzić, czy nie ma grubych błędów pomiaru osi toru, a więc czy zachowane jest kryterium ciągłości pomiaru krzywizny. Metoda ewolwentowa będzie też przydatna w następnym kroku projektowania, którym jest wybór przedziałów do wy-

znaczenia równań geometrycznej osi toru (proste, łuki kołowe). Z doświadczeń wiadomo, że dobór punktów określających rodzaj równania łatwiej jest wykonać na wykresie kątów zwrotu niż na wykresie strzałek, zwłaszcza z punktu widzenia najlepszego wpasowania w układ istniejący. Wykres kątów zwrotu powstaje z sekwencyjnego sumowania strzałek

$$v_{i+1} = \sum_1^i f_i \quad (26)$$

Odcinki prostych są na wykresie równoległe do podstawy wykresu, natomiast odcinki łuków kołowych są nachylo-
ne. Proces wyznaczenia geometrii toru i przesunięć można by dalej prowadzić metodą ewolwentową. Jednakże w przypadku torów przeznaczonych dla dużych prędkości celowe jest przejście do wyznaczania geometrii toru w układzie współrzędnych geodezyjnych. W wyniku takiego projektu punkty pomiarzone modelu uzyskują współrzędne teoretyczne. Współrzędne te wpisujemy do części teoretycznej modelu. Projektując nową oś toru ustalamy także wielkość przechyłki i długość rampy przechyłkowej. Na takim modelu można określić skrajnie budowli nie tylko na poziomie główki szyny, lecz i na całym jej obrysie. Będzie to możliwe, o ile budowla będzie pomierzona w kilku punktach leżących w płaszczyźnie pionowej prostopadłej do osi toru. Może to być przypadek długiego wiaduktu lub tunelu. Ten dodatkowy pomiar nazywany jest pomiarem skrajni. W wyniku takich pomiarów na modelu może się okazać konieczność zmiany projektu osi toru.

Zastosowanie stacji pomiarowej do podawania namiarów do podbijarki

W dotychczasowych rozważaniach wykazano potrzebę stosowania geodezyjnych metod pomiarów celem uniknięcia długich fal zniekształceń wykresu krzywizny. Obsługa geodezyjna będzie więc polegała na pomiarze punktów osi w geodezyjnym układzie współrzędnych i porównywanie współrzędnych ze współrzędnymi teoretycznymi wpisanymi do zestawu z modelu geometrycznego. Aby pomiar był szybki i dokładny, najlepiej jest stosować metodę swobodnego stanowiska stacji pomiarowej w nawiązaniu do przynajmniej czterech punktów kolejowej osnowy specjalnej. Wymagana duża dokładność pomiaru sugeruje zastosowanie stacji automatycznie śledzącej cel, którym jest lustro dalmiercze przesuwaną-
ce się na wózku po torze. Celem przetworzenia wyników pomiaru na linię osi toru, niezbędny jest równoczesny pomiar przechyłki, a także szerokości toru. Obliczenia te wykonuje komputer przenośny umieszczony na wózku. Przesunięcie osi toru uzyskuje się jako różnicę odległości punktu mierzzonego i teoretycznego od ciężkiwy utworzonej przez dwa sąsiednie punkty teoretyczne.

Wielkość podnoszenia uzyskuje się jako różnicę wysokości teoretycznej i pomierzonej. Wyniki obliczeń podaje się do podbijarki torowej celem dokonania odpowiednich nastaw. Z jednego stanowiska stacji pomiarowej można obsłużyć do 500 m toru (przy sprzyjających warunkach atmosferycznych). Tempo pracy zmniejsza jednak czas przenoszenia stacji po-

miarowej na nowe stanowisko odległe o 500 m. Dlatego też, aby nie powodowało to przestoju maszyny, pomiary wykonuje się z wyprzedzeniem jednego dnia. W takiej sytuacji przesunięcia i podnoszenia nagrywane są na nośniki informacji i wczytywane do komputera pokładowego podbijarki. W metodzie tej należy dopilnować aby kilometracja odczytywana na podbijarce zgadzała się z kilometracją wykazu przesunięć.

Technologia pomiarów satelitarnych GPS w obsłudze geodezyjnej napraw torów

Lepszym rozwiązaniem jest podawanie namiarów tuż przed podbijarką bez wymuszonych przestoju. Wymogom tym ma odpowiadać „Zintegrowany system 3D kontroli stanu geometrycznego torów kolejowych w procesie ich regulacji”, który jest projektem badawczym finansowanym przez KBN. Technologia ta ma dwie bardzo ważne zalety:

- 1) pozwala na pracę ciągłą bez przestoju,
- 2) gwarantuje ciągłość pomiarów krzywizny.

Podstawowym elementem zestawu będą odbiorniki satelitarne. Jeden z nich pełni funkcję stacji referencyjnej i ustawiony jest na punkcie o znanych współrzędnych geodezyjnych. Drugi umieszczony jest na wózku przesuwanym po torze. Odbiornik ruchomy pracuje w czasie rzeczywistym RTK. Współrzędne kolejnych punktów osi toru mogą być wyznaczone metodą *stop and go* lub metodą kinematyczną bez zatrzymania. W wyniku badań okaże się czy metoda kinematyczna będzie wystarczająco dokładna do pomiaru osi toru. Być może metoda *stop and go* będzie najbardziej odpowiednia ze względu na dokładność i organizację pomiarów. Będzie to zależało od roli, jaką będą spełniać punkty stałe, które są stabilizowane co 1,5 km wzdłuż toru dla nawiązania Kolejowej Osnowy Specjalnej. Na dzień dzisiejszy technologia satelitarna ma słaby punkt, którym jest wymóg niezasłoniętej przestrzeni powyżej 15 stopni nad horyzontem. Większość torów szlakowych spełnia ten warunek. Jednakże w głębokich wykopach, a także w bliskim otoczeniu drzew pomiar nie jest możliwy. W takiej sytuacji należy używać zestaw stacji pomiarowej, o którym uprzednio była mowa. W świetle powyższych rozważań można wnioskować, że **Kolejowa Osnowa Specjalna jest czynnikiem integrującym pomiary satelitarne i tachymetryczne w procesie obsługi geodezyjnej napraw torów.**

Stosując technologię satelitarną GPS do obsługi napraw torów w czasie rzeczywistym, należy rozwiązać problem różnicy systemu odniesień współrzędnych wysokościowych GPS i pomiarów tachymetrycznych. Zdaniem autora będzie to możliwe za pomocą Kolejowej Osnowy Specjalnej. Z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym, na etapie tworzenia części teoretycznej numerycznego modelu geometrii torów, można będzie w każdym punkcie osi toru wyznaczyć poprawkę do wysokości satelitarnej celem sprowadzenia jej do wysokości nad poziomem morza. W tym zadaniu KOS spełnia rolę sieci reperów.

Zasadniczą cechą opisanych metod obsługi pomiarowej podbijarki jest podawanie wielkości przesunięć i podnoszeń w punktach jednoznacznie identyfikowanych przez operato-

ra podbijarki. Punkty te mogą być wyznaczone uprzednio kredą na torze lub identyfikowane na wykazie przesunięć na podstawie kilometracji odczytywanej z licznika drogi podbijarki. W drugim sposobie należałoby sprawdzać zgodność kilometracji mierzonej licznikiem drogi z kilometracją wykazu przesunięć. Wprowadzane przesunięcia i podnoszenia są korektami do pracy systemu pomiarowego podbijarki pracującego w sposób ciągły i automatyczny. W metodzie tej musimy mieć pewność, że obliczone w wyniku pomiaru przesunięcia i podnoszenie zostało całkowicie wykonane. W przeciwnym przypadku konieczne jest kolejne przejście z pomiarem i pracą maszyny. Może to mieć miejsce wówczas, gdy korekta geometrii toru wymaga przesunięć i podnoszeń większych niż 5 cm. Mamy tu więc rozdzielenie w czasie czynności pomiaru i podawania namiarów.

Koncepcja sterowania pracą podbijarki

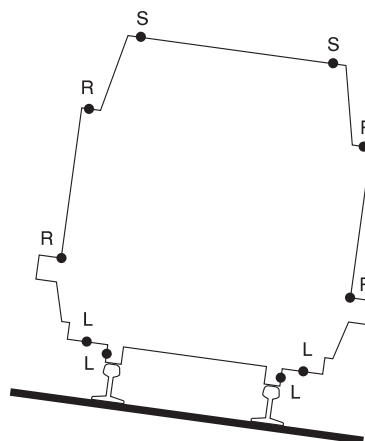
Zasadniczym pomysłem koncepcji sterowania pracą podbijarki jest ciągły pomiar punktu osi toru zmieniającego położenie w wyniku pracy zespołu nasuwania i podnoszenia do momentu osiągnięcia współrzędnych teoretycznych X, Y, H .

Jest to bezpośrednie sterowanie zespołami nasuwania i podnoszenia, z wyłączeniem zespołów pomiarowych podbijarki pracujących na zasadzie zmniejszania błędów geometrycznej osi toru. Ciągły postęp w konstrukcji stacji pomiarowych satelitarnych i tachymetrycznych oraz przenośnych komputerów daje nadzieję na wprowadzenie tego pomysłu w życie. Istotę pomysłu przedstawiono na rysunku 5.

W płaszczyźnie przekroju pionowego podbijarki między zespołem nasuwania i podbijania umieszczone są:

- dwie anteny satelitarne GPS – na dachu podbijarki,
- dwa reflektory tachimetru – na bocznych ścianach podbijarki,
- dwa zestawy laserowe do pomiaru położenia osi toru w stosunku do osi podbijarki,
- zestaw do pomiaru przechyłki,
- zestaw do pomiaru szerokości toru.

Zestaw uzupełnia antena referencyjna lub stacja pomiarowa umieszczane na punktach o znanych współrzędnych geodezyjnych. W czasie wykonywania czynności nasuwania i podnoszenia toru podbijarka zajmuje pozycję nieruchomą. Jej punkty pomiarowe S – S zajmują położenie wyznaczone w przestrzeni pomiarem satelitarnym X, Y, Z . Na podstawie tych współrzędnych komputer pokładowy oblicza współrzędne zer skal zestawu laserowego L – L. Punkty L – L tworzą lokalny nieruchomy układ współrzędnych podbijarki. W stosunku do tych punktów następuje ciągle przesuwanie i podnoszenie toków szynowych zestawami, na których umieszczone są nadajniki laserowe. Odczytywane na skalach laserowych L – L położenia toków szynowych przeliczane są



Rys. 5. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na podbijarce

na współrzędne geodezyjne tych toków. W wyniku uzyskuje się w sposób ciągły współrzędne osi toru oraz przechyłkę i szerokość toru. Poprawność tych pomiarów geodezyjnych kontrolowana jest urządzeniami do pomiaru przechyłki i szerokości toru znajdującymi się na podbijarce. Po uzyskaniu współrzędnych odpowiadających współrzędnym teoretycznym proces sterowania przerywa się i podbijarka przejeżdża do następnego położenia odpowiadającego pozycji wykazu z modelu numerycznego osi toru. W przypadku braku możliwości pomiaru satelitarnego, położenie podbijarki mierzone jest stacją pomiarową na reflektory R – R. Zalecany odstęp między kolejnymi położeniami podbijarki wynosi 5 m. Przypomnijmy, że satelitarny pomiar wysokości powinien być korygowany poprawkami zapisanymi w modelu numerycznym osi toru.



Autor

mgr inż. Bogdan Dobrowolski

Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr 9 T12 C 00318 finansowanego przez KBN w latach 2000-2003

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie.
- [2] Instrukcja D19 *O organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej*. Załącznik do zarządzenia nr 144 Zarządu PKP z dnia 23 października 2000 r.
- [3] *Poradnik matematyczny*. Praca zbiorowa pod redakcją I. Dziubińskiego. PWN 1985.
- [4] *Geodezja inżynierska*, t. III. Praca zbiorowa. PPWK Warszawa 1993.
- [5] Retscher G.: *3D – Gleiserfassung mit einem Multisensorsystem und linearen Filterverfahren*. Wien 1996.