

Bogdan DOBROWOLSKI

Oddział Geodezyjny PKP

w Katowicach

OBSŁUGA POMIAROWA NAPRAW NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ

Streszczenie. Opracowanie przedstawia oryginalną technologię obsługi pomiarowej napraw nawierzchni kolejowej stosowaną w Śląskiej Dyrekcji Okręgowej PKP od 1980 r. Technologia ta jest porównywalna z technologiami stosowanymi w kolejnictwie europejskim.

1. WPROWADZENIE

Niniejsze opracowanie przedstawia technologię obsługi pomiarowej napraw nawierzchni kolejowej w dostosowaniu do linii zelektryfikowanych, omówioną w pracy autora artykułu [1]. Technologia ta docelowo ma być ściśle powiązana z mapą numeryczną terenów kolejowych i w maksymalnym stopniu odwoływać się do jej zbiorów.

Na obecnym etapie wykorzystany jest tylko jeden element mapy numerycznej, tj. osnowa pomiarowa, która w prezentowanej technologii obsługi pomiarowej napraw nawierzchni spełnia funkcję kontroli jakości wykonania projektu, a także kontroli stałości znaków regulacji torów. W prezentowanej technologii wyróżnia się:

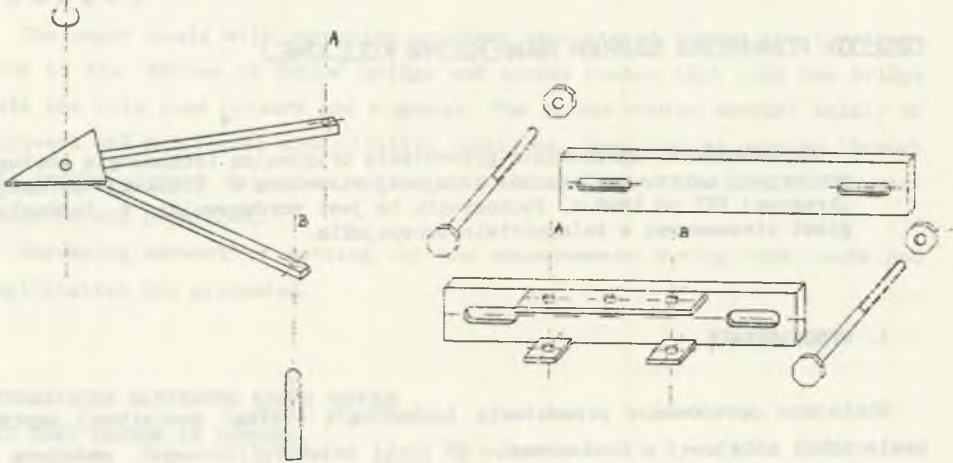
- a) pomiary podstawowe,
- b) pomiary inwentaryzacyjne układu geometrycznego toru,
- c) projekt regulacji osi toru,
- d) wyniesienie projektu w teren,
- e) przygotowanie danych dla maszyn torowych.

2. WYJŚCIOWE ZAŁOŻENIA TECHNOLOGICZNE

- Założeniem podstawowym jest wyznaczenie w terenie geometrycznej osi toru. Oś tę wyznaczają punkty zlokalizowane na specjalnych znakach mocowanych do słupów sieci trakcyjnej (rys.1). U podstaw tego założenia legła potrzeba

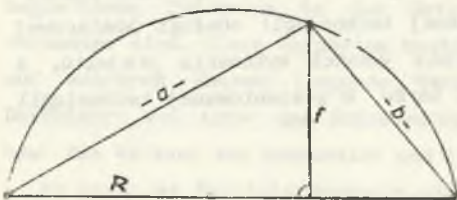
usunięcia z pola pracy maszyn mechanizujących proces napraw torów, tradycyjnych znaków geodezyjnych oraz znaków do regulacji osi torów.

- Przy konstruowaniu specjalnego uniwersalnego znaku pomiarowego kierowano się potrzebą łatwego i dokładnego ustawienia i centrowania instrumentu nad punktem, szybkiego odszukania punktu i swobodnego dostępu.



Rys. 1. Uniwersalny znak geodezyjny ze statywem i sposób umocowania do słupa trakcyjnego

Fig. 1. A universal reference point fixed to the traction pole



Rys. 2. Zależność między strzałką łuku a krzywizną

Fig. 2. The relation between deflection and curvature of an arc

W przedstawionej technologii uwzględniono wykorzystanie w maksymalnym stopniu narzędzi informatyki oraz instrumentów elektronicznych a także ograniczenie liczby pomiarów i korzystanie z danych pomiarowych zawartych w mapie numerycznej.

Efektem przyjętych założeń technologicznych jest utrwalenie w terenie układu geometrycznego toru na okres wielu lat, co ułatwia oraz przyspiesza prace związane z regulacją i naprawami torów.

3. ZAŁOŻENIA TEORETYCZNE REGULACJI OSI TORÓW

Metoda regulacji osi toru [2] bazuje na pojęciu układu współrzędnych naturalnych, który charakteryzowany jest przez miarę długości po łuku i długości po kierunku krzywizny. Układ taki zwany jest też układem ewolwentowym.

Układ ewolwentowy jest układem ortogonalnym, bowiem kierunek krzywizny w każdym punkcie krzywej jest do niej prostopadły. Przyjęcie takiego układu jest wygodne z punktu widzenia praktycznego, bowiem jako baza pomiarowa przyjmowana jest oś toru istniejącego, a nowe położenie osi wykazywane jest jako wartość przemieszczenia poprzecznego dla tych samych odciętych.

Interesujący nas kierunek ortogonalny do osi toru może być wyznaczony pośrednio. W tym celu posłużymy się definicją krzywizny.

Krzywizna jest miarą odchylenia krzywej od stycznej w punkcie następnym do odchylenia w punkcie poprzednim. Jeżeli weźmiemy pod uwagę trzy kolejne punkty krzywej, to tworzą one okrąg o promieniu, którego odwrotność jest miarą krzywizny tego okręgu. W stosunku do długości łuku krzywej między trzema punktami krzywizna łuku kołowego jest krzywizną średnią. Trzy kolejne punkty podziału łuku stworzą trójkąt strzałki, którego wysokość poprowadzona do cięciwy łączącej dwa punkty skrajne stanowi strzałkę łuku. Między strzałką łuku a krzywizną zachodzi następujący związek (rys. 2).

$$f = \frac{a \cdot b}{2R} = \frac{a \cdot b}{2} \cdot K_{\text{śr}}, \quad (1)$$

gdzie:

$K_{\text{śr}}$ - średnia wartość krzywizny.

Krzywe stosowane w PKP definiuje się przebiegiem zmian krzywizny. Tak więc łuk kołowy jest to krzywa, której krzywizna ma wartość stałą w każdym punkcie.

$$K_1 = \frac{1}{R}$$

$$K_2 = \frac{1}{R}$$

$$K_3 = \frac{1}{R}$$

krzywizna średnia dla trzech kolejnych punktów łuku wynosi:

$$K_{\text{śr}} = \frac{\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}}{3} = \frac{1}{R}. \quad (2)$$

Prosta jest to linia, której krzywizna w każdym punkcie jest stała i równa 0.

$$K_{\text{śr}} = 0$$

Krzywizna przejściowa jest to taka krzywa, której krzywizna zmienia się w sposób liniowy od krzywizny mniejszej do krzywizny większej.

$$K_1 = d \cdot \frac{K_2 - K_1}{L}$$

$$K_{1+1} = (d + a) \frac{K_2 - K_1}{L} \quad (3)$$

$$K_{1+2} = (d + a + b) \frac{K_2 - K_1}{L}$$

Krzywizna średnia do trzech kolejnych punktów krzywej przejściowej wynosi:

$$K_{sr} = \frac{3d + 2a + b}{3L} \cdot (K_2 - K_1), \quad (4)$$

gdzie:

- K_1 - krzywa początkowa,
- K_2 - krzywa końcowa,
- L - długość krzywej przejściowej,
- d - odległość 1 punktu od początku krzywej,
- a i b - odległość pomiędzy punktami.

Łącząc wzory (1) i (4) oraz (1) i (2) uzyskujemy znane wzory na strzałki łuku.

Położenie punktów na płaszczyźnie można też określić za pomocą współrzędnych prostokątnych. Strzałkę łuku obliczymy jako wysokość trójkąta w sposób następujący (rys. 3):

$$f = \frac{2P}{c}, \quad (5)$$

gdzie:

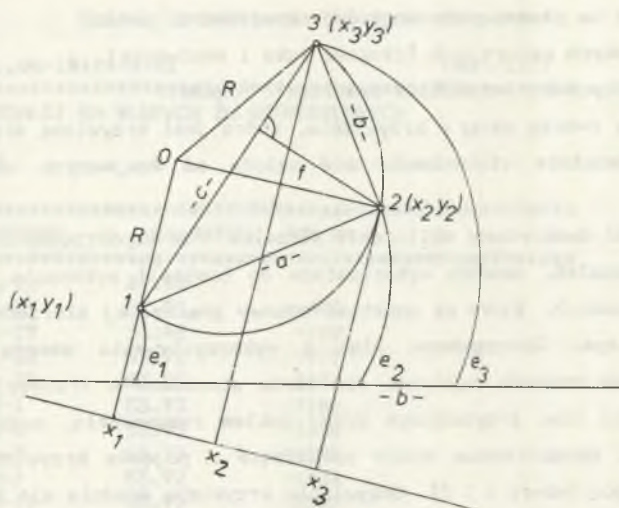
P - pole trójkąta 1.2.3,

$$2P = x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2), \quad (6)$$

c - długość cięciwy,

$$c = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2}. \quad (7)$$

Tak więc, gdy dane są trzy punkty za pomocą współrzędnych kartezjańskich, to możliwe jest obliczenie strzałki łuku, który jest utworzony przez te punkty.



Rys. 3. Zależność między strzałką łuku a polem trójkąta

Fig. 3. The relation between deflection of the arc and the area of triangle

Znany jest także wzór na pole trójkąta, na którym jest opisany okrąg o promieniu R .

$$P = \frac{abc}{4R} \quad (8)$$

wstawiając ten wzór do wzoru (5) uzyskujemy podany wyżej wzór (1)

$$f = \frac{2 \cdot \frac{abc}{4R}}{c} = \frac{ab}{2R}$$

Długość odcinków a i b znajdujemy ze współrzędnych

$$a = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2, \quad (9)$$

$$b = (x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2.$$

Promień okręgu może być więc wyznaczony ze współrzędnych kartezjańskich z zależności

$$R = \frac{ab}{2f} \quad (10)$$

Trzy punkty na płaszczyźnie mogą być określone za pomocą:

- współrzędnych naturalnych (długość łuku i ewolwenta),
- współrzędnych kartezjańskich (odcięta i rzędna).

Trzy punkty tworzą okrąg o krzywiznie, która jest krzywizną średnią dla tych punktów. Ostatnie stwierdzenia nie zależą od wzajemnych odległości tych punktów.

Możliwość dwukrotnego obliczenia strzałki - ze współrzędnych ewolwentowych i kartezjańskich, została wykorzystana do kontroli wykonania regulacji osi torów na znakach, które są punktami osnowy pomiarowej mierzonej tachimetrem elektronicznym. Zrezygnowano więc z wykorzystywania wzorów na strzałki kontrolne na znakach regulacji osi torów stosowane w tradycyjnej metodzie. Tym niemniej idąc przytoczonym wyżej tokiem rozumowania, można wyprowadzić najbardziej skomplikowane wzory wychodzące z pojęcia krzywizny średniej i strzałki łuku (wzory 1 i 2). Oczywiście krzywizna średnia nie będzie średnią arytmetyczną, lecz średnią ważoną, gdzie wagi są funkcją wielkości a i b .

Biorąc pod uwagę, że znaki regulacji mocowane są na słupach średnio co 50m na łuku, mamy kontrolę niezależną wykonania pomiarów i obliczeń projektu regulacji w tych punktach.

4. CHARAKTERYSTYKA ALGORYTMU PROJEKTU REGULACJI OSI TORU NA KOMPUTERY

Algorytm wykorzystuje pojęcie krzywizny i zależności pomiędzy strzałką łuku a krzywizną. Proces technologiczny rozpoczyna się od wprowadzenia wartości strzałek pomierzonych i kończy się na sprawdzeniu przesunięć w stosunku do strzałek teoretycznych (tabl. 1).

Obliczenia przebiegają na podstawie równań krzywizny w układzie współrzędnych naturalnych z uwzględnieniem warunków styczności kolejnych krzywych.

Przesunięcia poprzeczne osi toru obliczane są jako różnice ewolwent pomierzonych i teoretycznych i sprawdzane w stosunku do strzałki teoretycznej. Strzałki teoretyczne będące wynikiem projektu łuku tworzą nowy układ ewolwentowy, z którego obliczane są strzałki kontrolne dla kilometrażu odpowiadającego położeniom wskaźników regulacji osi torów.

Niezależne współrzędne kartezjańskie znaków regulacji osi torów służą do obliczenia wartości strzałek kontrolnych, które porównane ze strzałkami uzyskanymi z ewolwent teoretycznych wskazują na dokładność projektu regulacji osi toru.

Wydruk komputerowy obliczenia strzałek

Tablica 1

87..08-10:14-STRZ

(WSP1-ZZZ)

STRZALKI NA SLUPACH ZE WSPOLRZEMNYCH

NR	D	F

WARSZAWA - KATOWICE TOR NR 1		

281-25	69.55	
281-27	72.51	-400
281-29	53.46	-790
281-31	53.91	-911
281-33	53.91	-1136
282-1	53.93	-1180
282-3	53.95	-1358
282-5	53.73	-1589
282-7	53.92	-1483
282-11	53.90	-1507
282-13	48.64	-1336
282-15	67.81	-1705
282-19	30.03	-1000
282-23	50.69	-815
282-25	57.34	-1109
282-27	56.66	-1643
282-29	56.80	-1401
282-31	56.44	-1298
282-33	65.30	-1093
282-35	71.81	-121
282-37	72.08	-17
282-39		

4.1. Podstawowe zależności układu geometrycznego toru zastosowane w algorytmie

Układ geometryczny toru opisany jest jednym równaniem w układzie ewolwentowym:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d, \quad (11)$$

- równanie prostej jest wtedy, gdy

$$a = 0 \quad i \quad b = 0,$$

- równanie łuku kołowego, gdy

$$a = 0 \quad i \quad b \neq 0,$$

- równanie krzywej przejściowej, gdy

$$a \neq 0.$$

Równanie prostej można otrzymać z równania łuku kołowego, zakładając:

$$b = 0.$$

Aby zmieścić krzywą przejściową o długości L wymagany jest odstęp między dwoma kolejnymi łukami kołowymi opisany równaniem:

$$H_j = \frac{L_j^2}{12} (b_{j+1} - b_{j-1}). \quad (12)$$

Wartość H_j odmierzana jest w punkcie styczności dwóch łuków kołowych, który jest wyznaczony w mierze długości po osi

$$W = \frac{C_{j+1} - C_{j-1}}{2(b_{j-1} - b_{j+1})}. \quad (13)$$

Wartość promienia łuku kołowego można obliczyć z równania:

$$R = \frac{\Delta l^2}{2b}. \quad (14)$$

Do ustalenia warunków styczności oraz do wprowadzania modyfikacji parametrów wykorzystywane są następujące aksjomaty:

- trzy punkty wyznaczają łuk kołowy na płaszczyźnie,
- dwa punkty wyznaczają prostą.

5. OMÓWIENIE SKŁADOWYCH ELEMENTÓW TECHNOLOGII REGULACJI OSI TORÓW

5.1. Pomiary podstawowe

W nowej technologii nie ma znaczenia, która z czynności wykonywana jest najpierw, tzn. inwentaryzacja geometrii toru czy pomiar kontrolny na znakach regulacji. Ze względów praktycznych zaleca się, aby pomiary kontrolne na znakach regulacji były wykonywane najpierw. Technologia tych pomiarów składa się z następujących czynności:

- a) zamocowania uniwersalnych wskaźników na słupach,
- b) pomiaru osnowy poligonowej tachimetrem elektronicznym,
- c) obliczenia współrzędnych osnowy poziomej,
- d) obliczenia strzałek ze współrzędnych.

5.2. Pomiar inwentaryzacyjny układu geometrycznego toru

-Pomiar strzałek

Pomiar bezpośredni strzałek wykonuje się co 10 m (lub w innych odstępach) po toku szynowym bliższym linii słupów trakcyjnych, zgodnie z obowiązującymi zasadami.

Pomiar strzałek pośredni polega na pomiarze na łacie poziomej odległości osi toru od linii prostej utworzonej przez dwa kolejne wskaźniki regulacji osi torów. Sposób pomiaru ilustruje (rys. 4). Do pomiaru stosuje się komplet składający się z teodolitu typu "Theo 020", łąty niwelacyjnej z odpowiednim opisem oraz statywu nożycowego do teodolitu i sygnału.

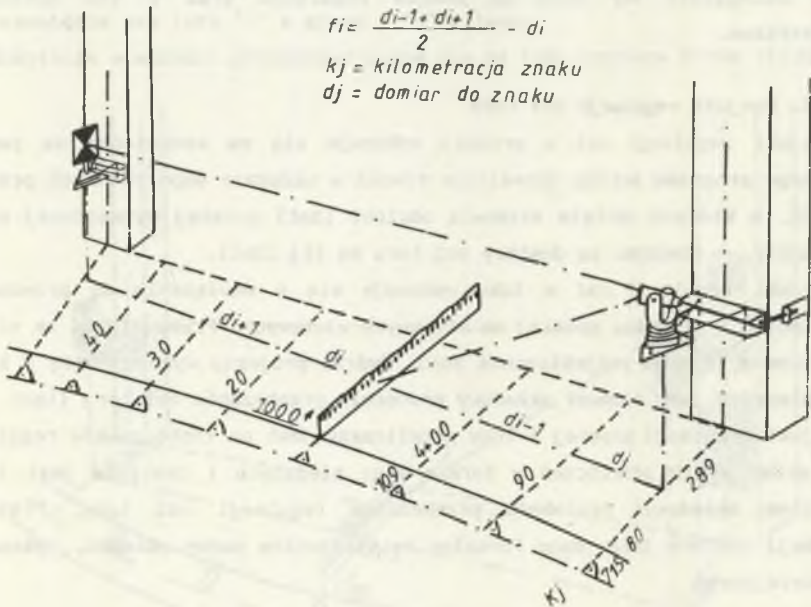
Pośredni pomiar strzałek

(metoda długich cięciw)

$$f_i = \frac{d_{i-1} + d_{i+1}}{2} - d_i$$

k_j = kilometracja znaku

d_j = domiar do znaku



Rys. 4. Pośredni pomiar strzałek

Fig. 4. Indirect measurement of deflections

Opis podziału zaczyna się od 1 metra, bowiem suma wartości mimośrodu zawieszenia teodolitu i połowy przeswitu toru wynosi 1000 mm. Poziomnica umocowana na przesuwnej ramce umożliwia poziomowanie łąty pomiarowej. Łatę układa się prostopadłe do toku szynowego, a strzałki łuku oblicza się według wzoru (14):

$$d'_{i+1} = d_{i+1} + (K_{i+1} - K_j) \cdot J.$$

$$f_i = d_i - \frac{d'_{i+1} - d_{i-1}}{2},$$

$$d_i = d_1 + (K_j - K_1) \cdot j,$$

$$f_{i+1} = d_{i+1} - \frac{d_{i+2} - d'_1}{2}.$$

Obliczenia strzałek umieszcza się jako dyrektywę w programie "REG".

- Pomiar pikietażu

Pomiar ten wykonuje się w sposób podany w przepisach D23. Pomiar powinien być zilustrowany odpowiednim szkicem. W trakcie tych pomiarów mierzy się także odległości osi toru od znaków regulacji wraz z ich dokładnym kilometrażem.

5.3. Projekt regulacji osi toru

Projekt regulacji osi w prostej wykonuje się na komputerze za pomocą odrębnego programu metodą określania równań w układzie współrzędnych prostokątnych, w których odcięte stanowią odcinki linii prostej wyznaczonej przez dwa punkty, a rzędnymi są domiary osi toru do tej linii.

Projekt regulacji osi w łuku wykonuje się w nawiązaniu do przesunięć odczytanych z projektu prostej na stycznych wlotowych. Przesunięcia te nie są zmieniane w trakcie projektowania łuku. Wydruk projektu wykonuje się w kilku egzemplarzach jako element składowy protokołu przekazania osi toru (tabl. 2).

Projekt regulacji prostej i łuku przeliczany jest na linię znaków regulacji osi torów. Wynik przeliczeń w formie miar bieżących i domiarów jest także elementem składowym protokołu przekazania regulacji osi toru. Protokół regulacji zawiera także dane formalne ze wskazaniem nazwy obiektu, wykonawcy i odbierającego.

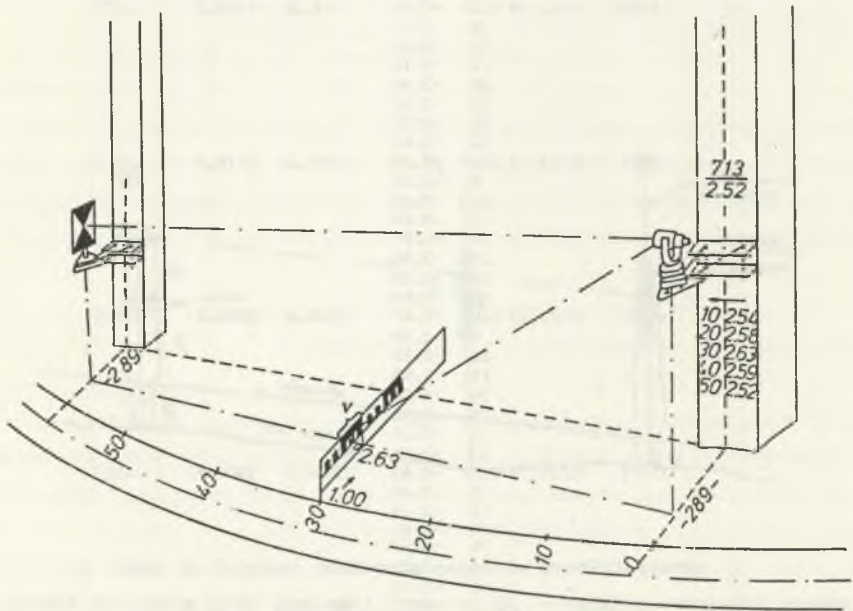
5.4. Wyniesienie projektu w teren

Uzyskane miary z przeliczania projektu na linię znaków regulacji osi torów są naniesione farbą olejną na słup, którego dotyczą, w formie tabliczki (rysunek 5). Na powierzchni słupa od strony toru nanoszone są odpowiednie dane w formie ułamka, w którym licznik podaje odległość osi toru w (mm) od płaszczyzny znaku, do osi projektowanej w profilu, natomiast mianownik podaje odległość w planie w (cm) (rys. 5).

5.5. Przygotowanie danych (namiarów) dla maszyn torowych

Sposób wykonywania czynności pomiarowych dla obsługi maszyn na torach w prostej i w łuku nie różni się. Tok postępowania jest tu następujący:

- rzutowanie znaku regulacji osi toru na tok szynowy posługując się łąką pomiarową,
- podział toku szynowego na odcinki 10 m od tego znaku w kierunku znaku następnego,
- po wykonaniu tych czynności przygotowawczych zawieszają się teodolit za pomocą statywu nożycowego oraz sygnał umocowany na takim samym statywie (identyczny mimośród),
- odczyt "0", podziałki przesuwnej łąki, nastawia się na odczyt na łacie poziomej, odpowiedni dla danego punktu podziału toku szynowego,
- linia celowa teodolitu rzutowana na łąkę wskazuje na podziałkę przesuwnej przesunięcie osi toru "+" w prawo i "-" w lewo,
- odczytanie wielkości przesunięć pisze się na toku szynowym kredą olejną.



Rys. 5. Schemat podawania namiarów poziomych

Fig. 5. System of gathering the horizontal bearings

Podawanie namiarów w profilu wykonuje się za pomocą niwelatora szynowego. Można także w tym celu używać kompletu do podawania namiarów w planie używanego o statywu teodolitu. Kolejność czynności jest następująca (rys. 6):

Tablica 2

Wydruk projektu regulacji toru

```

*****
          10 SEP 68          07:11:39          05TR1
*****
NR      AN SLUPA      L      D      FS      FRS
*****
WŁEŚCIEŃ      MISLA ELEBCE
*****

```

NR	AN SLUPA	L	D	FS	FRS	
11-9	11336.17	SLUP	-2.54			
		5	-2.51			
		10	-2.48			
		15	-2.45			
		20	-2.42			
		25	-2.39			
		30	-2.36			
		35	-2.34			
		40	-2.31			
		45	-2.29			
		50	-2.28			
		55	-2.29			
		60	-2.33			
		65	-2.40			
70	-2.52					
11-10	11413.25	SLUP	-2.57	1971.8	1920.5	-037
		5	-2.54			
		10	-2.20			
		15	-2.11			
		20	-2.09			
		25	-2.14			
		30	-2.29			
		35	-2.53			
11-11	11447.62	SLUP	-2.68	2711.3	2710.2	-715
		5	-2.35			
		10	-2.12			
		15	-2.09			
		20	-1.99			
		25	-2.08			
		30	-2.28			
		35	-2.58			
11-12	11484.67	SLUP	-2.67	2965.4	2965.4	-013
		5	-2.34			
		10	-2.10			
		15	-1.98			
		20	-1.94			
		25	-2.05			
		30	-2.24			
		35	-2.54			
11-13	11521.78	SLUP	-2.63	2804.3	2804.0	-095
		5	-2.34			
		10	-2.14			
		15	-2.05			
		20	-2.07			
		25	-2.26			
		30	-2.43			
		35	-2.77			
11-14	11558.76	SLUP	-2.75	2792.9	2791.8	-710
		5	-2.53			
		10	-2.32			
		15	-2.29			
		20	-2.51			
		25	-2.46			
		30	-2.57			
		35	-2.89			
11-15	11595.81	SLUP	-2.77	2240.0	2193.6	-072
		5	-2.53			

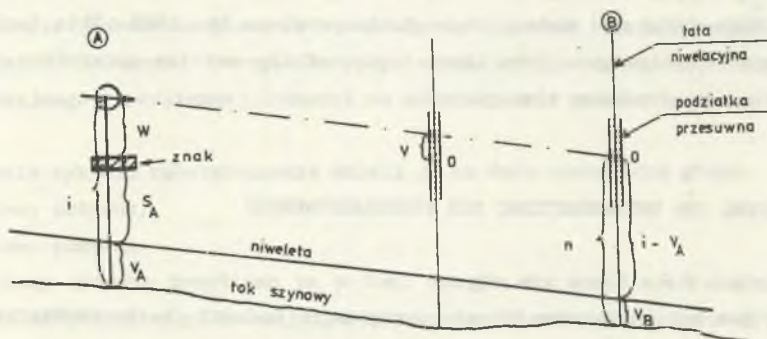
- 1) ustawienie teodolitu (niwelatora szynowego) nad tokiem szynowym,
- 2) odczyt przy poziomej lunecie na łacie ustawionej na bliższym (W), znaku regulacji,
- 3) obliczenie wysokości instrumentu nad tokiem szynowym

$$i = W + S_A + V_A,$$

- 4) ustawienie zera przesuwnej podziałki na odczyt na łacie niwelacyjnej odliczony według zależności:

$$n = i - V_A + V_B,$$

- 5) ustawienie łaty z przesuną podziałką na toku szynowym naprzeciw dalszego znaku regulacji. Wycelowanie lunetą na zero przesuwnej podziałki,
- 6) przestawianie łaty na kolejne punkty pomiaru toku szynowego w kierunku na teodolit i odczytywanie z przesuwnej podziałki wielkości podnoszenia toru.



Rys. 6. Schemat podawania namiarów wysokościowych

W - odczyt na łacie przy poziomej lunecie, S_A - różnica wysokości znaku i niwelety, V_A - wielkość podnoszenia toru (z odrębnego pomiaru), i - wysokość instrumentu nad tokiem szynowym

Fig. 6. System of gathering the vertical bearings

LITERATURA

- [1] Doborowski B.: Projekt instrukcji obsługi pomiarowej napraw nawierzc. kolejowej. Maszynopis zdeponowany w Śl. DOKP w Katowicach.
- [2] Quee H.: Automatisierte Gleiskorrektur auf vermessungstechnischer Grundlage.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Łucjan Siewczyński

Wpłynęło do Redakcji 21.09.1987

SERVICE SURVEYING DURING MAINTENANCE OF THE RAILWAY TRACK**S u m m a r y**

Paper introduces the original technology of the service surveying for the purpose of the maintenance of the railway track. Following this technology, surveying during maintenance of the railway track has been being applied on the Silesian District Polish State Railways since the 1980. This technology is competitive to the modern technologies of the service surveyings applied in the european railway transport.

MEßWARTUNG FÜR INSTANDSETZUNG DER EISENBAHNOBERBAU**Z u s a m m e n f e s s u n g**

Die Bearbeitung beschreibt eine originelle Technologie der Meßwartung für Instandsetzung der Eisenbahnoberbaue. die im Rahmen der Schlesischer Eisenbahndirektion (DOKP) ab 1980, verwendet wird.

Diese Technologie ist vergleichbar mit verwendent Technologien bei europäischen Eisenbahnen.