

Koncepcja łącznego wykorzystania metody poligonowej i uszeregowania punktów dla wyznaczania odkształceń wydłużonych budowli

W wielu przypadkach zachodzi potrzeba badania stałości wzajemnego położenia punktów rozmieszczonych wzdłuż pewnych linii, zazwyczaj w przybliżeniu prostych lub krzywych o dużym promieniu krzywizny. Ma to miejsce np. przy badaniu odkształceń zapór wodnych, mostów, tuneli, nadbrzeży, torów podsuwnicowych i innych budowli lub urządzeń. Najczęściej dominujące znaczenie posiada możliwość wyznaczenia składowych przesunięć o kierunku prostopadłym do osi podłużnej budowli. Do wyznaczenia składowych pionowych najbardziej właściwa jest tu na ogół metoda niwelacji geometrycznej. Do wyznaczenia składowych poziomych stosuje się w geodezji metodę uszeregowania punktów (alignment, stwornyj metod) w różnych jej odmianach (tyczenie przy wykorzystaniu aliniometru i przesuwanych tarcz, aliniometru z mikrometrem okularowym i stałych tarcz, teodolitu i łat lub zgoła przy pomocy pomiaru małych kątów paralaktycznych teodolitem). Na temat tej metody istnieje obszerna literatura jak np. [3], [4], [5], [6].

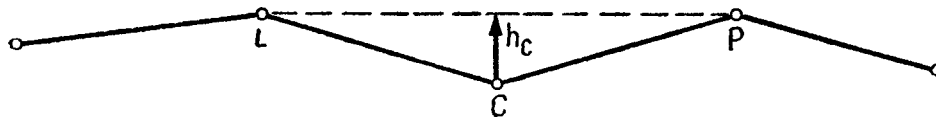
W niektórych przypadkach ze względu na bardzo duże odległości między końcowymi punktami badanych odcinków, względnie niekorzystne warunki atmosferyczne w miejscu pomiaru, powstają trudności w uzyskaniu wizur wzdłuż całych badanych odcinków. Wówczas korzystne byłoby zastosowanie metody uszeregowania punktów odniesionej do kilku punktów o przesunięciach wyznaczonych inną metodą, dzielących badany odcinek na krótsze. Próby stosowania stanowisk pośrednich na badanym odcinku opisane są w lit. [6], jednak sposób postępowania nie jest tam całkowicie konsekwentny, bowiem zróżnicowanie dotyczy jedynie kolejności wyznaczania przesunięć (przesunięcia punktu pośredniego wyznaczone są bezpośrednio metodą uszeregowania punktów w oparciu o celowe wzdłuż całego badanego odcinka).

Dla pokonania omawianej trudności właściwą wydaje się metoda poligonowa, pozwalająca na wyznaczenie położenia lub przesunięcia szeregu punktów badanego odcinka jako punktów poligonowych, względem końcowych jego punktów.

W niniejszym opracowaniu pragnę scharakteryzować sposób postępowania przy wyznaczaniu odkształceń z użyciem metody poligonowej i uszeregowania punktów, wzajemnie się uzupełniających.

Przy pomiarze ciągu poligonowego odstąpimy tu od pomiaru kątów zastępując go pomiarem strzałek. Jest to podyktowane względami natury zarówno pomiarowej jak i obliczeniowej. Mianowicie pomiar kątów jest bardziej pracochłonny niż strzałek i wymaga bardziej dokładnego teodolitu, jak też obliczenie przesunięć na podstawie różnic kątów jest bardziej skomplikowane. Ponadto — jak to wynika z dalszej części opracowania — zastąpienie pomiaru kątów w ciągu pomiarem strzałek zbliży pod względem technologicznym łącznie stosowaną metodę poligonową i uszeregowania punktów, co dla przebiegu prac jest bardzo istotne.

Omówimy tu optyczne sposoby pomiaru strzałek, pomijając sposób oparty na wykorzystaniu drutów i specjalnych urządzeń opisany szczegółowo w publikacji [2]. Sposoby optyczne i mechaniczne mogą mieć w praktyce odrębne zastosowania przede wszystkim z uwagi na różne wymagane warunki środowiska.



Rys. 1

Aby uniknąć nieporozumień w dalszej części pracy, zdefiniujemy na wstępie strzałkę jako rzut poziomy odległości punktu poligonowego od prostej łączącej dwa sąsiadujące z nim obustronnie na ciągu punkty poligonowe. Jeśli końce ramion kąta poligonowego nazwiemy L (lewy) i P (prawy) zaś wierzchołek kąta C (centralny) to strzałka h_c jest równa rzutowi poziomemu odległości od punktu C do prostej $L-P$. Umówimy się, że punkty te występują na ciągu w kolejności od L poprzez C do P .

I sposób pomiaru strzałki

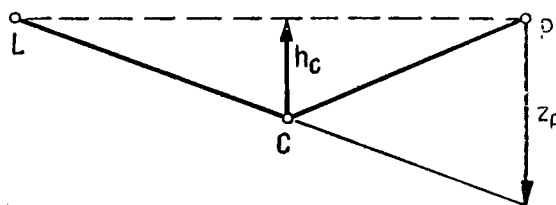
Na punkcie L ustawiamy teodolit, poziomujemy go i nacelowujemy na tarczę stałą ustawioną na punkcie P . Następnie naprowadzamy na celową ruchomą tarczę ustawioną na punkcie C i wykonujemy odczyt położenia tarczy. Jeśli indeks zerowy podziałki przy tarczy znajduje się na linii pionu punktu C zaś wskaźnik odczytowy na linii pionu osi tarczy, to wykonany odczyt jest równy wprost strzałce h_c . Dla zwiększenia dokładności wykonujemy naprowadzenia tarczy na celową i odczyty

jej położenia kilkakrotnie (parzystą ilość powtórzeń z jednoczesną zmianą położenia lunety dla wyeliminowania wpływu błędów spowodowanych zmianami osi optycznej przy ogniskowaniu [4]). Niniejszy sposób jest identyczny z metodą uszeregowania punktów przy założeniu, że punkty L , P są końcowymi punktami badanego odcinka, na którym wyznaczamy położenie punktu C .

Dla zmierzenia strzałki na punkcie P (h_P) przenosimy teodolit na punkt C , ruchomą tarczę na punkt P zaś stałą tarczę na kolejny następny punkt ciągu i wykonujemy opisane wyżej czynności pomiarowe. Po przejściu wzdłuż całego ciągu wykonujemy powtórny pomiar ze zwrotem przeciwnym.

II sposób pomiaru strzałki

Na punkcie C ustawiamy teodolit, poziomujemy go i nacelowujemy na stałą tarczę ustawioną w punkcie L poczym przykładamy lunetę przez zenit i naprowadzamy na celową ruchomą tarczę ustawioną na punkcie P , wykonując jednocześnie odczyt położenia tarczy. Następnie obracamy alidadę o około 180° , nacelowujemy na stałą tarczę ustawioną w punkcie L , przekładamy lunetę przez zenit i naprowadzamy ponownie tarczę ustawioną w punkcie P na celową, wykonując odczyt jej położenia. Obliczamy średnią wartość odczytu położenia tarczy, która przy podobnych jak uprzednio założeniach dotyczących konstrukcji tarczy, oznacza wielkość zwrotu z_P (przez analogię do stosowanego pojęcia kąta zwrotu). Znając wielkość zwrotu z_P możemy przy znanych długościach boków poligonowych obliczyć wartość strzałki h_C lub bezpośrednio wykorzystać ją



Rys. 2

w dalszych obliczeniach położenia punktów ciągu. Oczywiście pomiar wykonujemy tu również kilkakrotnie dla zwiększenia dokładności wyników.

Sposób II jest bardziej pracochłonny od sposobu I, natomiast zaletą jego jest skrócenie celowych przy tych samych długościach boków poli-

gonowych i zmniejszenie różnic w ogniskowaniu. Cechą wspólną obu sposobów jest potrzeba centrowania teodolitu i tarcz, co przy dużych wymaganych dokładnościach może stwarzać konieczność stosowania urządzeń do mechanicznego centrowania.

W obydwu wymienionych sposobach można stosować w miejsce ruchomych tarcz łąty niwelacyjne, ustawione w położeniu poziomym z przyłożeniem stopką do jednoznacznie określonych punktów poligonowych lub pośrednich na wyznaczanej linii, skierowane prostopadle do cięciwy (prostej $L-P$). Wówczas naprowadzenia tarczy ruchomej zastąpione zostają odczytami odciętymi przez nitkę pionową na łącie. Ze względów dokładnościowych można tu wyodrębnić dwa sposoby nacelowania (odczytów na łącie) podobnie jak w niwelacji technicznej lub precyzyjnej. Przy niedużych wymaganych dokładnościach oraz stosunkowo krótkich celowych wystarczające jest wykonanie odczytów na łącie do niwelacji technicznej z szacowaniem końcówek odczytów. Przy wyższych wymaganych dokładnościach konieczne jest wprowadzenie zasady celowania bisekcyjnych, co możemy zrealizować poprzez zastosowanie mikrometru okularowego i tarczy stałej, względnie łąty do niwelacji precyzyjnej i nasadki płaskorównoległej na obiektywie teodolitu, założonej w sposób umożliwiający przesunięcie celowej w kierunku poziomym. Zastosowanie mikrometru okularowego, jakkolwiek stwarza konieczność dodatkowych przeliczeń, może być korzystne przy dłuższych celowych. Płytką płaskorównoległą daje możliwość uzyskania większej dokładności, lecz przy stosowaniu krótkich celowych. Wynika to z ograniczonego zakresu przesuwu celowej i zwiększonego z tym ograniczenia wymiaru poszczególnych wskaźników na łącie, wskutek gęstego ich rozstawienia. Pewnym rozwiązaniem, zwiększającym zasięg długości celowych przy użyciu płytki płaskorównoległej może tu być umieszczenie sąsiednich wskaźników na łącie w kilku szeregach (podział mijany). Wówczas poszczególne wskaźniki mogą być narysowane w postaci kresek odpowiednio wygrubionych a tym samym bardziej odpowiednich do bisekcyjnego celowania przy większych odległościach. Gdyby np. zastosować podział o interwałach równych zakresowi przesuwu płytki płaskorównoległej (5 mm) umieszczając kreski podziałki naprzemian w dwu szeregach, tak jak to ma miejsce w łątach niwelacyjnych Zeissa, to szerokość białych pól wynosiłaby po około 7 mm. Przy celowaniu jedną nitką pionową na środki tych pól i przy grubości kątowej nitki równej $3''$, możnaby stosować celowe o długości do około 140 m przy jednoczesnym spełnieniu wymagań dotyczących optymalnych warunków celowania.

Należy podkreślić, że możliwość stosowania sposobu II przy wykorzystaniu nasadki płaskorównoległej (również i opisanego dalej sposobu IV)

jest uwarunkowana możliwością przekładania lunety przez zenit okularom w położeniu dolnym (tak aby mieścił się on ponad libelą alidadową). W przeciwnym przypadku, stosowanie tych sposobów wymagałoby wbudowania płytki płaskorównoległej do wnętrza lunety.

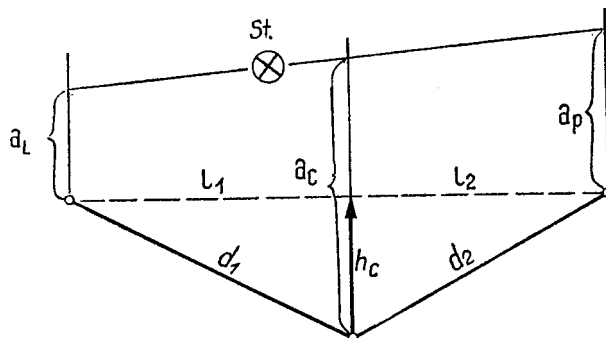
III sposób pomiaru strzałki

Ustawiamy teodolit na statywie, w pobliżu badanej linii, w najmniejszej odległości obrazowej od punktu L , tak, aby możliwe było wycelowanie w jednym położeniu lunety kolejno na łąkę przyłożoną do punktów L , C , P . Poziomujemy teodolit, kierujemy lunetę w przybliżeniu równoległe do cięciwy $L-P$ i wykonujemy przybliżone odczyty na łące przyłożonej poziomo i prostopadle do cięciwy $L-P$ w punktach L i P . Obracamy alidadę tak, aby naprowadzić nitkę pionową lunety na odczyt na łące w punkcie P w przybliżeniu równy odczytowi wykonanemu na łące w punkcie L . Tym sposobem uzyskujemy położenie lunety w nieznacznym tylko stopniu nierównoległe do cięciwy $L-P$. Następnie wykonujemy z możliwą do osiągnięcia dokładnością odczyty na łące przykładanej kolejno do punktów P , C , L przy unieruchomionej alidadzie (zmieniając jedynie ogniskowanie i pochylenie lunety). Odczyty te ponawiamy przy drugim położeniu lunety w podobny sposób a następnie obliczamy średnie z odczytów każdej łąki, uzyskanych w obu położeniach lunety α_L , α_C , α_P .

IV sposób pomiaru strzałki

Ustawiamy teodolit na statywie w pobliżu punktu C . Przykładamy łąkę poziomo i prostopadle do cięciwy $L-P$ w punkcie L . Po spoziomowaniu teodolitu i skierowaniu lunety w przybliżeniu równoległe do cięciwy $L-P$ wykonujemy przybliżony odczyt na łące w punkcie L , przenosimy łąkę na punkt P , przykładamy ją podobnie i wykonujemy przybliżony odczyt po przełożeniu lunety teodolitu przez zenit (bez obracania alidady). Dla większej operatywności można przy przybliżonych odczytach korzystać z dwu łąk. Obliczamy średnią z przybliżonych odczytów, po czym nacelowujemy nitką pionową na obliczony odczyt średni na łące w punkcie P . Wykonujemy dokładny odczyt na łące w punkcie P , przekładamy lunetę przez zenit i wykonujemy dokładne odczyty na łąkach przyłożonych podobnie w punktach C i L . Obracamy alidadę o około 180° naprowadzając nitkę pionową w przybliżeniu na odczyt równy uprzed-

niemu na łaćce w punkcie L (po przełożeniu lunety przez zenit), zamocowujemy alidadę i wykonujemy kolejno dokładne odczyty na łaćce przyłożonej w punktach L, C, P . Obliczamy średnie wartości odczytów na łaćce przyłożonej w tych samych punktach a_L, a_C, a_P .



Rys. 3

Strzałkę h_C w III i IV sposobach obliczamy korzystając z proporcji:

$$\frac{a_P - a_L}{l_1 + l_2} = \frac{a_P - (a_C + h_C)}{l_2}$$

$$h_C = (a_P - a_C) - \frac{l_2}{l_1 + l_2} (a_P - a_L) \quad (1)$$

Przyjmując, że mierzone są nie wielkości l_1, l_2 lecz długości boków poligonowych d_1, d_2 i utożsamiając je odpowiednio, jak również licząc się z ograniczoną dokładnością pomiaru boków poligonowych (przy wyznaczaniu jedynie przesunięć poprzecznych) dążymy do ograniczenia ich wpływu na błąd obliczanej strzałki poprzez uzyskiwanie możliwie jak najmniejszych wartości czynnika $(a_P - a_L)$. Temu to właśnie celowi służyć mają początkowe przybliżone odczyty dla naprowadzenia płaszczyzny celowania przy odczytach dokładnych do położenia w przybliżeniu równoległego do cięciwy $L-P$. Ustalmy tolerancje dokładności wyznaczenia długości l_1, l_2 . Przyjmując $ml_1 = ml_2 = ml$ oraz $l_1 \cong l_2$ otrzymamy zależność:

$$m_h = \frac{ml}{\sqrt{8} l} (a_P - a_L) \quad (2)$$

Aby np. uzyskać $m_h < 0,1$ mm należałoby zachować warunek

$$\frac{ml}{l} < 0,057 = \frac{1}{18} \text{ przy } a_P - a_L = 5 \text{ mm.}$$

Sposoby III i IV różnią się podobnie jak i I i II pod względem pracochłonności, długości celowych i możliwości wykorzystania z użyciem nasadki płaskorównoległej (z przekładaniem lunety przez zenit lub nie w czasie wykonywania pomiaru). W stosunku do sposobów I, II posiadają one istotny walor braku potrzeby centrowania teodolitu, przy zachowaniu jedynie warunku korzystnego usytuowania go względem punktów L, C, P , i w odległości od badanej linii określonej długością łąty. Korzystanie w tych sposobach z łąty umożliwia również pominięcie konstruowania urządzeń do mechanicznego centrowania stałych i ruchomych tarcz, przy zachowaniu jedynie warunku jednoznacznego przyłożenia do punktu poligonowego. Ponadto zastosowanie łąty umożliwia tu ustawianie teodolitu nie bezpośrednio w badanej linii, lecz obok niej, co prowadzić może do osiągnięcia większej wygody obserwacji (np. przy badaniu torów podsuwnicowych) jak również zwiększa zakres pomiarowy w przypadkach znacznych odchyłeń badanej linii od kierunku prostego (np. przy badaniu zapór łukowych).

Należy podkreślić, że sposoby III i IV mogą być z powodzeniem stosowane przy pomiarze ciągów poligonowych zbliżonych do prostoliniowych, wykonywanym dla innych niż kontrola kształtu lub stałości celów. Przy zastosowaniu np. długości boków poligonowych $d = 200$ m i przy wykorzystaniu łąt o długości 3 m, można sposobami III i IV mierzyć strzałki w ciągach o kątach załamania w granicach $180^\circ \pm 3^\circ$, zaś przy bokach krótszych granice kątów załamania odpowiednio się tu zwiększają.

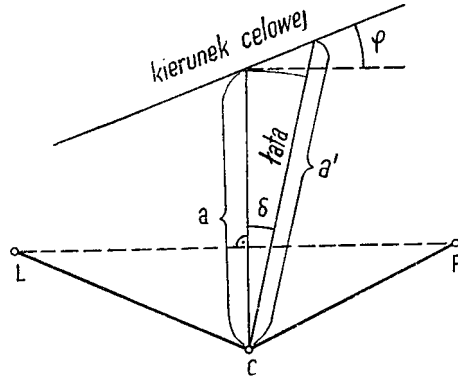
Jak to wynika z dalszych rozważań — w ciągu w przybliżeniu prostoliniowym i równobocznym zachodzi zależność między błędem strzałki i obliczonego na jej podstawie kąta poligonowego:

$$m_h = \frac{m_\gamma \cdot d}{2}$$

Wynika z tego, że gdy boki poligonowe wynoszą np. po 100 m zaś błędy odczytów na łątach $m_a = 1,5$ mm to błąd kąta poligonowego obliczonego na podstawie strzałki wyznaczonej III lub IV sposobem wyniesie $m_\gamma = 7''$. Wspomnianą dokładność można praktycznie uzyskać przez pomiar strzałki teodolitem klasy minutowej z wykorzystaniem łąt do niwelacji technicznej. Bezpośredni pomiar kąta z tą dokładnością wymagałby zastosowania znacznie dokładniejszego teodolitu i większego nakładu pracy przede wszystkim ze względu na czynności związane z centrowaniem teodolitu i sygnałów.

Zastosowanie do pomiaru łąt wymaga przeanalizowania koniecznej do uzyskania dokładności ich ustawiania prostopadle do kierunku cięciwy.

Przy analizie uwzględnimy wielkość kąta φ przy znanej wielkości kąta δ odchylenia celowej od kierunku cięciwy oraz określonej, maksymalnej wielkości odczytu na łacie. Zgodnie z rysunkiem 4, przy najbardziej niekorzystnym zestawieniu kierunków odchylenia łąty od prostopadłości do cięciwy i celowej od równoległości do cięciwy, zachodzi zależność:



Rys. 4

$$a - a' = \Delta a = a \left(\frac{\delta^2}{2} + \varphi \cdot \delta \right) \quad (3)$$

Przyjmując — w związku z ustalonym uprzednio systemem doprowadzenia płaszczyzn celowania do przybliżonej równoległości z kierunkiem cięciwy — że zachodzi możliwość osiągnięcia $\varphi = 20''$, możemy zależność (3) uprościć do postaci:

$$\Delta a = \frac{a \cdot \delta^2}{2} \quad (4)$$

Gdy np. pragniemy, aby Δa nie przekraczało 0,1 mm przy $a = 1$ m należy zachować $\delta < 0^\circ,8$.

Przeanalizujemy możliwości dokładnościowe wyznaczenia poprzecznej składowej przesunięcia lub położenia najbliższego punktu ciągu poligonowego, nawiązanego obustronnie do dwu punktów końcowych badanego odcinka. Weźmiemy tu pod uwagę jedynie błędy średnie składowej poprzecznej do kierunku ciągu w przybliżeniu prostoliniowego i równobocznego. Zadanie sprowadza się do obliczenia współczynników wagowych na podstawie zestawionej tabeli współczynników równań poprawek obserwacji lub różnic obserwacji (w zależności od tego, czy wyznaczamy położenie punktu czy też jego przesunięcie). W związku z tym zachodzi potrzeba ustalenia formy równania poprawki strzałki lub różnicy strzałki.

Równanie prostej przechodzącej przez punkty L, P (cięciwy) napiszemy w postaci:

$$\frac{y - y_L}{x - x_L} = \frac{y_P - y_L}{x_P - x_L} = \operatorname{tg} \beta \quad (5)$$

Równanie prostej prostopadłej do $L-P$ przechodzącej przez punkt C (prostej, wzdłuż której mierzona jest strzałka h_C) napiszemy w postaci:

$$\frac{y - y_C}{x - x_C} = \operatorname{tg} \beta_h$$

gdzie: $\operatorname{tg} \beta_h = -\frac{x_P - x_L}{y_P - y_L}$, na mocy warunku prostopadłości.

W rezultacie równanie kierunku strzałki wyrazimy w postaci:

$$\frac{y - y_C}{x - x_C} = - \frac{x_P - x_L}{y_P - y_L} \quad (6)$$

Na podstawie równań (5) i (6) wyznaczmy współrzędną X punktu przecięcia obu prostych:

$$X = \frac{x_L \operatorname{tg} \beta - y_L + x_C \operatorname{ctg} \beta + y_C}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{ctg} \beta} \quad (7)$$

Zgodnie z definicją strzałki zachodzi związek:

$$h_C^2 = (Y - y_C)^2 + (X - x_C)^2 = (X - x_C)^2 (1 + \operatorname{ctg}^2 \beta) \quad (8)$$

gdzie: X, Y — współrzędne punktu przecięcia prostych.

Podstawiając do równania (8) wartość X wg wyrażenia (7) otrzymamy po przekształceniach:

$$h_C = \frac{(x_L - x_C)(y_P - y_L) - (y_L - y_C)(x_P - x_L)}{\sqrt{(x_P - x_L)^2 + (y_P - y_L)^2}} \quad (9)$$

Różniczkując zależność (9) względem poszczególnych zmiennych otrzymujemy:

$$\begin{aligned} dh_C = & -\sin \beta dx_C + \cos \beta dy_C + \frac{y_P - y_C + h_C \cos \beta}{d} dx_L + \\ & + \frac{-(x_P - x_C) + h_C \sin \beta}{d} dy_L + \frac{-(y_L - y_C) - h_C \cos \beta}{d} dx_P + \\ & + \frac{x_L - x_C - h_C \sin \beta}{d} dy_P; \end{aligned} \quad (10)$$

gdzie: β — kierunek, d — długość odcinka $L-P$.

W przypadku, gdy ciąg jest w przybliżeniu prostoliniowy, to jest przy małych — pomijalnych wielkościach h_C można zależność powyższą napisać w postaci:

$$\begin{aligned} dh_C = & -\sin \beta dx_C + \cos \beta dy_C + \frac{y_P - y_C}{d} dx_L - \frac{x_P - x_C}{d} dy_L + \\ & - \frac{y_L - y_C}{d} dx_P + \frac{x_L - x_C}{d} dy_P \end{aligned}$$

Dalsze uproszczenia wynikają przy równoboczności ciągu:

$$dh_C = -\sin \beta dx_C + \cos \beta dy_C + \frac{\sin \beta}{2} dx_L - \frac{\cos \beta}{2} dy_L + \frac{\sin \beta}{2} dx_P - \frac{\cos \beta}{2} dy_P$$

Zakładając $\beta = 90^\circ$ otrzymamy prostą zależność:

$$dh_C = -dx_C + \frac{1}{2} dx_L + \frac{1}{2} dx_P \quad (11)$$

Warto zwrócić uwagę, że dla kąta poligonowego w ciągu prostoliniowym i równobocznym, usytuowanym wzdłuż osi OY układu współrzędnych zachodzi zależność:

$$d\gamma_C = -\frac{2}{d} dx_C + \frac{1}{d} dx_L + \frac{1}{d} dx_P \quad (12)$$

gdzie d — długość boku poligonowego.

Podstawiając dh_C wyrażone równaniem (11) do równania (12) otrzymamy:

$$d\gamma_C = \frac{2}{d} dh_C \text{ i w konsekwencji } m_{d\gamma_C} = \frac{2}{d} m_{dh_C}$$

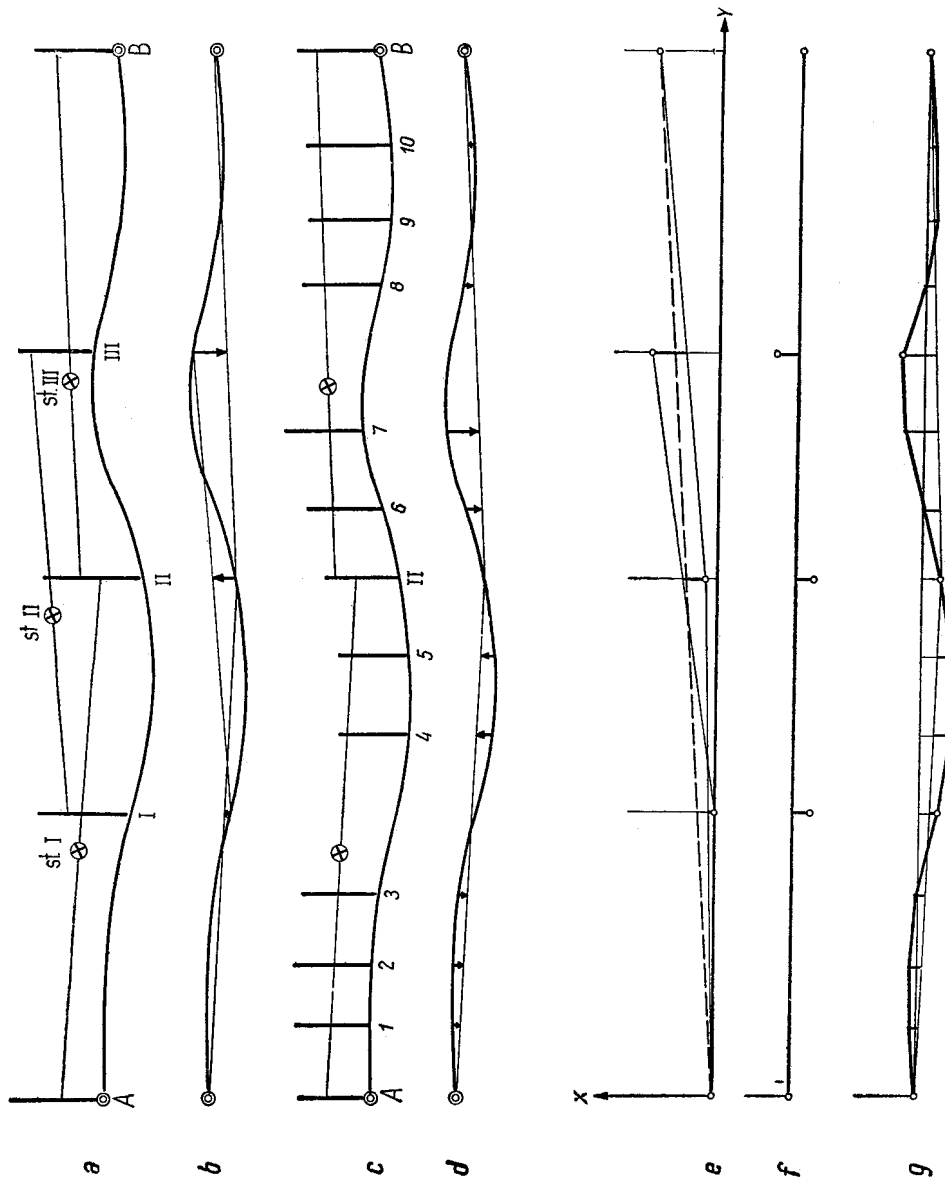
Znane są w literaturze (np. [1], [7]) wzory na błędy poprzeczne wyznaczenia położenia punktów ciągu prostoliniowego i równobocznego, wywołane błędami pomiaru kątów. Wobec nawiązania w naszym przypadku ciągu do dwu końcowych punktów badanego odcinka, możemy tu wykorzystać wzory i zestawienia tabelaryczne odpowiadające niniejszemu przypadkowi, zawarte w lit. [7]. Podana tam jest między innymi tabela współczynników wagowych Q dla obliczenia błędów składowych poprzecznych do kierunku ciągu dla środkowego jego punktu. Zestawimy tabelę współczynników $Q' = 2Q$ pozwalających na obliczenie błędu wyznaczenia przesunięcia lub położenia środkowego punktu ciągu (składowej poprzecznej) wg wzoru $m_{dx} = Q'm_{dh}$ lub $m_x = Q'm_h$.

Q'	1,1	1,5	2,5	3,2	4,4	5,3	12,1	20,2	31,6
n	1	2	3	4	5	6	11	16	21

Gdzie: n — liczba wyznaczanych punktów poligonowych.

Z zestawienia tego wynika, że ze względów dokładnościowych nie jest korzystne zakładanie ciągu o dużej liczbie punktów wyznaczanych. Przy n nie przekraczającym 3—4, wyznaczenie metodą poligonową winno być bardziej dokładne aniżeli przy zastosowaniu metody uszeregowania punktów w jej klasycznej postaci. Szczegółowe ustalenie efektu dokładnościowego przy porównaniu obu metod wymaga przeprowadzenia badań polowych w różnych warunkach środowiska pomiarów. Niniejsze opracowanie ma stanowić jedynie podstawę do ustalenia programu odpowiednich badań i w związku z tym nie wykracza poza omówienie koncepcji metody i część analizy dokładnościowej możliwą do przeprowadzenia na drodze kameralnej, przy znajomości jedynie kształtu i rozmiarów konstrukcji geodezyjnej.

Istotę koncepcji łącznego wykorzystania metody poligonowej i metody uszeregowania punktów charakteryzuje rysunek 5.



Rys. 5

Na rysunku 5a linią falistą oznaczono istniejącą w terenie linię pewnego urządzenia lub budowli (np. krawędź główki szyny toru podsuwnicowego), której przebieg należy wyznaczyć w wyniku pomiaru położenia szeregu jej punktów. Punkty *I*, *II*, *III* na krawędzi szyny są tu punktami ciągu poligonowego, nawiązanego do punktów stałych *A*, *B*. Liniami wygrubionymi oznaczone są schematycznie położenia łąt, zaś cienkie linie oznaczają ślady poziome płaszczyzn celowania (średnich z obu położzeń lunety), uzyskane przy kolejnych ustawieniach teodolitu na stanowiskach *I*, *II*, *III*.

Rysunek 5b obrazuje sytuację uzyskaną w wyniku obliczenia wartości strzałek na podstawie wykonanych odczytów (oznaczone liniami wygrubionymi).

Rysunek 5c charakteryzuje zdjęcie pośrednich punktów 1—5 ze stanowiska *I* oraz 6—10 ze stanowiska *III* przy wykorzystaniu identycznego sposobu pomiaru. Wykonane tu odczyty łąty wykorzystuje się dla wyliczenia z wzoru (1) wielkości odchyień położenia punktów pośrednich krzywej w stosunku do poszczególnych cięciw lub boków poligonowych. Obliczone odchylenia należy traktować jako odległości ze zwrotem od punktów pośrednich do cięciw lub boków poligonowych. W naszym przypadku obliczone mogą być odchylenia punktów 1—5 od cięciwy *A—II* i punktów 6—10 od cięciwy *II—B*. Zdjęcie to stanowi realizację metody uszeregowania punktów odnoszonej każdorazowo do cięciw lub boków poligonowych zamiast do prostej łączącej punkty końcowe badanego odcinka (w naszym przypadku prostej *A—B*).

Rysunek 5d charakteryzuje sytuację uzyskaną po obliczeniu odchyień położenia punktów pośrednich krzywej w stosunku do cięciw. Liniami wygrubionymi oznaczono wielkości obliczonych odchyień.

Rysunki 5e, f, g określają czynności przy graficznej metodzie odtworzenia kształtu krzywej na podstawie wyników wykonanych pomiarów oraz obliczonych wartości strzałek i odchyień.

Opracowanie jak na rysunku 5e wykonuje się następująco: Rysuje się oś odniesienia (wygrubiona linia usytuowana wzdłuż osi *OY*) i oznacza się na niej pierwotne lub wymagane w myśl projektu położenia punktów poligonowych (punkty przecięcia z cienkimi liniami równoległymi do osi *OX*). Od pierwotnego lub wymaganego położenia punktu *I* odkłada się wzdłuż osi *OX* obliczoną na podstawie wykonanych pomiarów wartość dh_1 lub h_1 i przez koniec uzyskanego wektora prowadzi się od punktu *A* linię prostą, odpowiadającą cięciwie *A—II*. Cięciwa ta w przecięciu z linią równoległą do osi *OX*, wyprowadzoną z pierwotnego lub projektowanego położenia punktu *II* określa aktualne jego położenie. Czynności powtarza się wielokrotnie — dla kolejnych następnych punk-

tów poligonowych — uzyskując ich aktualne położenie. Czynności graficznego określenia położenia punktów ciągu strzałek opisane są bardziej szczegółowo w lit. [2]. W wyniku tych czynności otrzymujemy wielkości odchyłeń składowej X położenia punktów poligonowych względem położen pierwotnych lub projektowanych, przy założeniu, że położenie punktów A, I pozostało niezmienione. Odchylenia te są na wykresie identyczne z odległościami wyznaczonych położen punktów od osi odniesienia.

Ponieważ — jak założono na wstępie — niezmiennie względnie zgodne z projektem położenie zajmują punkty końcowe A i B badanego odcinka, dokonujemy graficznej redukcji uzyskanych wartości składowych dx przesunięć punktów lub x odchyłeń od projektu.

Na rysunku 5e w tym celu połączono linią przerywaną aktualne, wyznaczone położenie punktów A i B . Zredukowane aktualne położenia poszczególnych punktów ciągu określimy jako odległości ich położen zgodnych z rysunkiem 5e od linii przerywanej, mierzone wzdłuż osi OX . Wynik tej redukcji wykazany został na rysunku 5f, na którym oś odniesienia (linia przerywana z rysunku 5e) narysowana jest jako wygrubiona, zaś punkty poligonowe usytuowane są w odległościach od tej osi równych wyznaczonym graficznie na rysunku 5e.

Na rysunku 5g powtórzona jest sytuacja w odniesieniu do aktualnych stwierdzonych położen punktów poligonowych, uzupełniona graficznym określeniem położenia punktów pośrednich na podstawie obliczonych wartości odchyłeń od cięciw.

Dla lepszego zobrazowania omówionego sposobu pomiaru i opracowania kameralnego, posłużymy się przykładem. W tablicy 1 podany jest dziennik pomiaru strzałek i odchyłeń sposobem III. Punkty ciągu i pośrednie określone są jednoznacznie na krawędzi szyny przebiegającej od punktu A do punktu B , zgodnie ze szkicem w nagłówku dziennika. Rysunek 6 przedstawia opracowanie wyników pomiaru i obliczenia zawartych w tablicy 1.

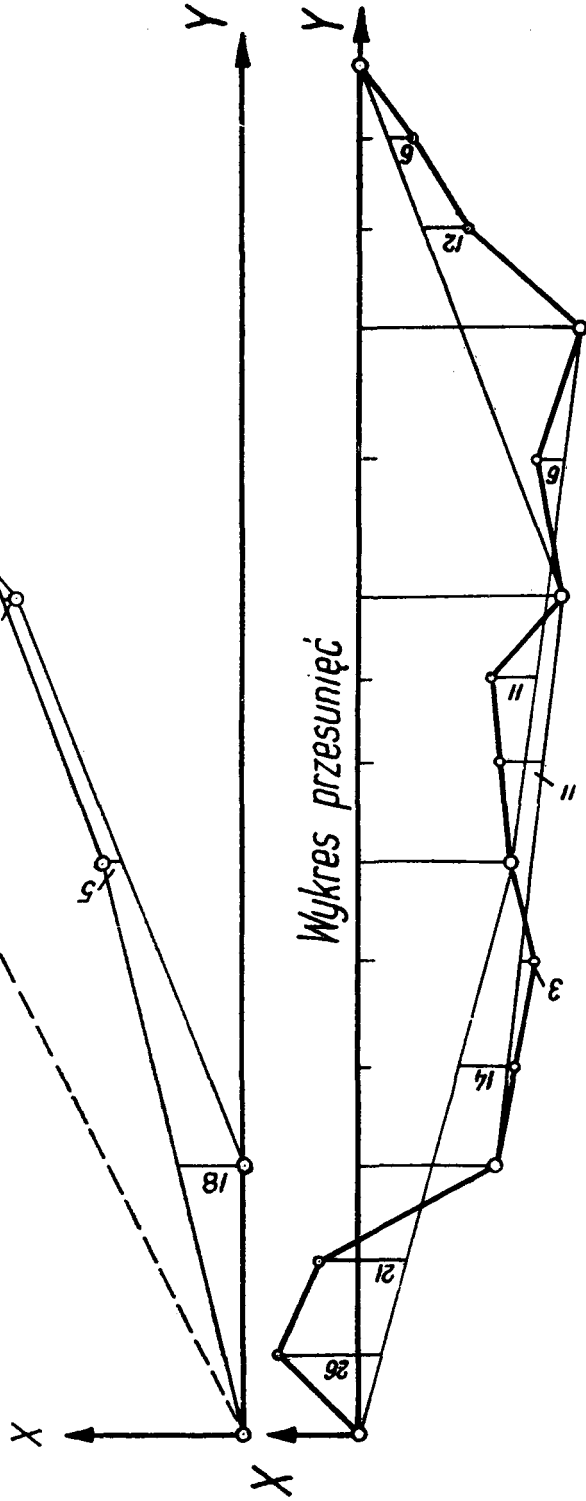
Tablica 1

Dziennik pomiaru i obliczenia strzałek i odchyleń										
		St I ⊗		St II ⊗		St III ⊗		St IV ⊗		
A	1	2	I	3	4	II	5	6	III	
								7	IV	
								8	9	
									8	
		Odczyty na latach w obu położeniach lunety					$y - y_L$	Obliczenie strzałki lub odchylenia od cięc.		
Stan	Cel	Lewy	Prawy	Centr.	Pośr.					
I		234	236	218		0	$-\frac{40}{75}(235 - 234) + 235 - 217 = 18$			
		235	234	216		35	$-\frac{75}{75}(235 - 234) + 235 - 217 = 18$			
	1					75	$-\frac{65}{75}(235 - 234) + 235 - 260 =$			
						261	$-\frac{75}{75}(235 - 234) + 235 - 260 =$			
						260	$-\frac{75}{75}(235 - 234) + 235 - 260 =$		- 26	
	2					254	$-\frac{53}{75}(235 - 234) + 235 - 255 =$			
						256	$-\frac{75}{75}(235 - 234) + 235 - 255 =$		- 21	
	3					221	$-\frac{27}{75}(235 - 234) + 235 - 221 = 14$			
						221	$-\frac{75}{75}(235 - 234) + 235 - 221 = 14$			
II		902	899	907		0	$-\frac{35}{75}(900 - 902) + 900 - 906 =$			
		902	900	906		40	$-\frac{75}{75}(900 - 902) + 900 - 906 =$		- 5	
	4					75	$-\frac{48}{75}(-2) + 900 - 878 = 3$			
						878	$-\frac{75}{75}(-2) + 900 - 878 = 3$			
	5					878	$-\frac{22}{75}(-2) + 900 - 912 = - 11$			
						912	$-\frac{75}{75}(-2) + 900 - 912 = - 11$			
					913	$-\frac{75}{75}(-2) + 900 - 912 = - 11$				
	III		540	538	535		0	$-\frac{35}{70}(538 - 540) + 538 - 535 = 4$		
			540	537	535		35	$-\frac{70}{70}(538 - 540) + 538 - 535 = 4$		
6						70	$-\frac{46}{70}(-2) + 538 - 550 = - 11$			
						551	$-\frac{70}{70}(-2) + 538 - 550 = - 11$			
7						549	$-\frac{17}{70}(-2) + 538 - 544 = - 6$			
						544	$-\frac{70}{70}(-2) + 538 - 544 = - 6$			
					545	$-\frac{70}{70}(-2) + 538 - 544 = - 6$				
IV			384	381	353		0	$-\frac{35}{70}(382 - 384) + 382 - 353 = 30$		
			383	383	353		35	$-\frac{70}{70}(382 - 384) + 382 - 353 = 30$		
	8					70	$-\frac{22}{70}(-2) + 382 - 371 = 12$			
						371	$-\frac{70}{70}(-2) + 382 - 371 = 12$			
	9					371	$-\frac{10}{70}(-2) + 382 - 376 = 6$			
						376	$-\frac{70}{70}(-2) + 382 - 376 = 6$			
					376	$-\frac{70}{70}(-2) + 382 - 376 = 6$				

Skala odległości (Y) 1:1000

Skala przesunięć (X) 1:2

Ciąg strzałek



Rys. 6

LITERATURA

- [1] *Hausbrandt St.*: Rachunki Geodezyjne. PPWK W-wa 1953
- [2] *Janusz W.*: Próby opracowania metody pomiaru odkształceń wydłużonych budowli przy wykorzystaniu ciągów poligonowych i specjalnej aparatury pomiarowej. Prace IGiK. Tom X, zeszyt 1(21) PPWK W-wa 1963
- [3] *Lazzarini T.*: Geodezyjne pomiary odkształceń ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb kontroli zapór wodnych. Prace GINB W-wa 1952
- [4] *Lazzarini T.*: Geodezyjne pomiary odkształceń i ich zastosowanie w budownictwie. PPWK W-wa 1961
- [5] *Marčak P.*: Fozorovanie deformacij priehrad metodou merania na zamernu priamku (alignement) podle skusenosti na slovenskich priehradach. Stavebnicky Casopis, Slovenska Akademia Vied V/2 1957
- [6] Min. Elektrostancii SSSR, Hidroenergoprojekt. Nastawlenie po nabliudieniam za osadkami i gorizontalnymi smieszczeniami gidrotechniczeskich sooruzenii geodeziczeskimi metodami. Moskwa—Leningrad 1958
- [7] *Senisson W.*: Błąd średni punktu w prostoliniowym i równobocznym obustronnie nawiązanym poligonie w zależności od długości boków nawiązania przy uwzględnieniu błędów średnich współrzędnych nawiązania. Geodezja i Kartografia Tom VII, z. 2,3 W-wa 1954.

Rękopis złożono w Redakcji w lutym 1963 r.

ВОЙЦЕХ ЯНУШ

**ИДЕЯ СОВОКУПНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ
ПОЛИГОННОГО И СТВОРНОГО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ДЕФОРМАЦИЙ ДЛИННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Резюме

В работе изложено принцип совместного использования полигонного и створного методов для определения формы, существующих в местности однозначно определенных, приблизительно прямых, линий или для определения изменения формы этих линий. Определяется здесь положение ряда точек исследуемой линии по отношению к её конечным точкам.

Эта проблема была обсуждена по следующей причине. Как это доказано, в некоторых случаях, весьма затруднительно применять в выше упомянутых целях исключительно створной метод, вследствие слишком больших длин исследуемых линий или вследствие неблагоприятных условий среды, заставляющих сократить визирную линию.

В особенности изложены способы оптического измерения углов (заменяющих здесь углы полигона) и отклонения от положения промежуточных точек исследуемой линии относительно хорд или боков полигона. Кроме этого изложен графический метод определения поперечной — по отношению к направлению линии — составляющей положения отдельных определяемых точек линий, а также определения изменения этой составляющей вследствие происходящих изменений формы линии. Работа иллюстрируется примером измерения, расчета и графического оформления.

WOJCIECH JANUSZ

AN IDEA OF SIMULTANEOUS APPLICATION OF THE TRAVERSE
AND ALIGNMENT METHODS TO THE STAKING OUT OF LONG
CONSTRUCTIONS

S u m m a r y

The paper contains the discussion of the conception of common use of the polygonal method and that of alignment for the determination of forms of the approximately straight lines on the ground, or for the determination of changes of forms of these lines. One determine here the position of the series of points of the line to be checked in regard to its end points.

The difficulty of use for this purpose the method of alignment only, stated in some cases, is the reason for nearer discussion of this problem. This difficulty arises when the lines to be checked are very long, or when the local conditions compel to shorten the sights.

In particular, the methods of optical measurement of sags (which replace here the horizontal angles of the traverse) and the deviations of the points of the line in regard to the chords or to the traverse sides are described here. Besides, the graphic method of determination of the transversal component of position of each point of the line to be fixed, or of determination of change of this component due to the change of form of the line, are described here. An example of the measurement, computation and a graphical plotting is given.