ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1969
Seria: GÓRNICTWO z. 41 Nr kol. 269

Tadeusz Dziura,
Antoni Kot,
Piotr Trzcionka

ZASTOSOWANIE GIROTEODOLITU W POMIARACH KOPALNIANYCH

Streszczenie: Referat przedstawia informacje dotyczące analizy dokładności najnowszych pomiarów wyznaczania azymutu geograficznego przy użyciu giroteodolitu, oraz możliwości zastosowania giroteodolitu w różnych pracach geodezyjnych związanych z orientacją kopalń, pomiarami ciągów poligonowych, pracami przebitkowymi i pomiarami linii obserwacyjnych.

Wstęp

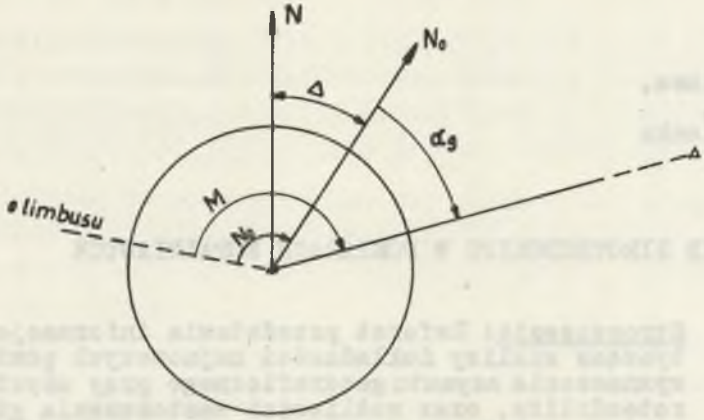
W ostatnich latach daje się zauważyć wzrastające zainteresowanie giroteodolitami dla zastosowania ich do pomiarów kopalnianych, w szczególności podziemnych.

Giroteodolit łączy w swojej budowie teodolit z giroskopem o ograniczonym stopniu swobody względem osi poziomej, prostopadłej do osi wirnika (girokompasem). Przyrząd ten pozwala na wyznaczenia azymutu geograficznego dowolnego kierunku.

Na pomiar azymutu składają się:

- centrowanie i poziomowanie giroteodolitu wraz z przybliżonym ustawieniem osi czułego elementu giroskopu w płaszczyźnie południka geograficznego,
- wyznaczenie położenia równowagi dynamicznej czułego elementu,
- pomiar kierunku boku.

Położenie równowagi wyznacza się na podstawie obserwacji sześciu punktów rewersji czułego elementu (wskaźnika osi wirnika girokompasu).



Rys. 1. Pomiar azymutu giroteodolitem

Azymut geograficzny boku oblicza się z zależności:

$$A = M - N_0 + \Delta \tag{1}$$

gdzie:

A - azymut geograficzny boku (rys. 1).

M - średnia z odczytów na limbusie w dwu położeniach lunety przy wycelowaniu na punkt końcowy,

N_0 - położenie równowagi dynamicznej czułego elementu - giroskopowy kierunek północy,

Δ - poprawka giroteodolitu podana w metryce instrumentu lub wyznaczona z różnicy azymutu geograficznego i girokompasowego kierunku o znanym azymucie geograficznym.

$$\Delta = A - \alpha g \tag{2}$$

gdzie:

αg - azymut girokompasowy

Charakterystyka przyrządów giroskopowych

Nowoczesne przyrządy giroskopowe zastosowane do pomiarów geodezyjnych, muszą charakteryzować się wysoką dokładnością okreś-

lenia kierunku północy geograficznej oraz możliwie niewielkimi rozmiarami, a co za tym idzie, małym ciężarem.

W związku z tym najlepsze wydają się być nasadki giroskopowe na teodolity. Giroteodolity powinny zapewniać wystarczającą dokładność odczytu koła poziomego. Z uwagi na bezpieczeństwo powinny to być przyrządy iskrobezpieczne, przystosowane do pracy w kopalniach gazowych.

Tablica 1 przedstawia charakterystykę niektórych znanych w Polsce, oraz za granicą giroteodolitów.

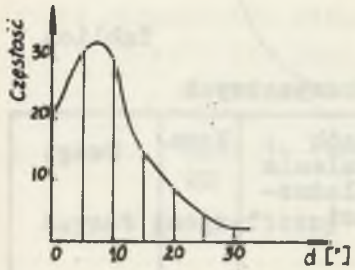
Tablica 1

Charakterystyka przyrządów girokompasowych

Lp.	Nazwa	Firma	Średni błąd pojedynczego wyznaczenia giro-azymutu	Czas pomiaru w minutach	Sposób ustalenia dokładności	Waga KG	Uwagi
1	Gi-B1	MOM Węgry	15"	45-60	AGH Kraków	70	waga odnosi się do pełnego wyposażenia
			14,2"		Budapeszt		
			12,7"		Murmańsk (ZSRR)		
			15"		prospekt		
2	Gi-B2		12"	50	prospekt	70	
3	G1-C1		30"	20	prospekt	30	
4	Gi-D1		60"	15	prospekt	30	
5	KT-1	Fennel NRF	35"	60-90	AGH Kraków	65	
6	MW-10		15	35	prospekt	75	iskrobezpieczny
7	TK-3		30"	35	prospekt	21,5	
8	TK-4		30"	35	prospekt	18	
9	GAK-1	Wild Szwajcaria	24"	35	AGH Kraków	21	nasadka
10	MRK-1	Freiberg NRD	15	40	publikacja	45	

Dokładność giroteodolitów

Dokładność wewnętrzną uzyskujemy z analizy szeregu spostrzeżeń tej samej wielkości, tym samym przyrządem lub a priori, przez zróżniczkowanie wzoru na obliczenie giroazymutu i zastąpienia różniczek błędami odpowiednich czynności, składających się na pomiar. Stanowi ona jedynie o dokładności samego mechanizmu.



Rys. 2. Częstość występowania różnic

Przedsiębiorstwo Miernictwa Górniczego wykonuje pomiary kątów kierunkowych przy użyciu giroteodolitów Gi-B1.

Średni błąd pojedynczego pomiaru kąta kierunkowego wyznaczonego tym przyrządem z 108 par spostrzeżeń wykonanych w kopalniach Zagłębia Górnośląskiego obliczono wzorem:

$$m_\sigma = \pm\sqrt{\frac{[dd]}{2n}} = \pm\sqrt{\frac{18205}{2.108}} = \pm\ 9{,}2'' \quad (3)$$

gdzie:

d - różnica dwukrotnego pomiaru,

n - ilość par spostrzeżeń.

Częstość występowania różnic (d) przedstawia rys. 2. Najczęściej pojawiają się różnice w przedziale 6-10".

Na błąd określenia giroazymutu składają się:

- błąd wyznaczenia stałej Δ instrumentu,
- błąd określenia położenia równowagi czułego elementu,
- błędy instrumentalne (celowania, odczytu),

Na błąd określenia położenia równowagi drgań harmonicznych w dużym stopniu wpływa prawidłowość uchwycenia momentów rewersji. Równowaga osi głównej może być zakłócona tarciem w łożyskach girokompasu, niestałością momentu kinetycznego wirnika, niedokładnością konstrukcji, wpływami magnetycznymi i nieregularnymi prądami powietrza.

J. Życka [1] podaje teoretyczną dokładność określenia giroazymutu przyrządem Gi-B1 poprzez analizę błędów elementarnych

$$m_{\sigma} = \pm 11{,}5''$$

Dokładność zewnętrzna stanowi o dokładności z jaką wyznaczany jest giroazymut. Uzyskać ją można przez porównanie wyników pomiaru giroteodolitem z wynikami uzyskanymi metodami klasycznymi, bardziej dokładnymi, np. z orientacji dwu lub wieloszybowej, a najlepiej z wynikami kierunków określonych metodami astronomicznymi. Zbyt mała ilość danych nie pozwala dotąd na zadowalające obliczenie dokładności zewnętrznej.

Tablica 2

Zestawienie porównawcze różnic orientacji wykonanych giroteodolitem Gi-B1 z orientacją metodą wliczeniową

Lp.	Nazwa kopalni	Bok orientowany	Różnica azymutów	Charakterystyka pomiarów
1	Kop. Gliwice	1106-1080	- 73"	długość ciągu 4265 m, stan. 99 średnia długość boku 43 m
2	"	939-940	+ 55"	długość ciągu 4383 m, stan.105 średnia długość boku 42 m
3	"	244-245	+ 5"	długość ciągu 4517 m, stan.117 średnia długość boku 39 m
4	Kop. Rydułtowy	51-39	- 16"	piąty bok ciągu
5	"	433-444	- 35"	długość ciągu 764 m, stan. 13 średnia długość boku 54 m
6	Kop.Marcel	315-316	- 87	długość ciągu 2230 m, stan. 33
7	"	179-180	+ 25	
8	"	733-767	+ 10	długość ciągu 2010 m, stan.31
9	"	733-634	- 53	długość ciągu 350 m, stan. 6
10	"	243-302	- 22	
11	"	52-787	- 57	
12	Kop. Śląsk	2-3	+ 43	wyniesienie współrzędnych z dołu na powierzchnię

Przedstawione w tablicy 2 różnice są dość znaczne. Przyczyn ich występowania należy szukać zarówno w dokładności orientacji wliczeniowej jak i girokompasowej. Wyników orientacji klasycznej ze względu na stosunkowo małą ich dokładność nie można przyjąć w charakterze komparatora. Obliczona w ten sposób dokładność zewnętrzna na skutek wpływu błędów orientacji i poligonizacji byłaby fałszywa.

Praca J. Kopcia [3] stanowi próbę ujęcia dokładności zewnętrznej pomiaru giroazymutu, przyrządem Gi-B1, w oparciu o pomiar wszystkich elementów kątowych w trójkącie o długości boków 1,5 km, 1,6 km, 0,6 km. Tym sposobem określa autor błąd średni pojedynczego pomiaru giroazymutu.

$$m_{\sigma} = \pm 7{,}2''$$

Wartość ta obliczona jest na podstawie niewielkiej liczby obserwacji, nie można zatem mieć do niej większego zaufania.

Czuczor Ernő, główny referent techniczny Kopalń Węgla "Oroszlany" w pracy [4] podaje, w oparciu o wyniki pomiarów na Węgrzech, dokładność określenia giroazymutu instrumentem Gi-B1, $m_{\sigma} = \pm 8 - 10''$, a przy bardzo dokładnych pomiarach $m_{\sigma} = \pm 6''$. Równocześnie zapewnia on, że podawane przez Magyar Optikal Müvek w prospektach parametry odzwierciedlają wartości, które mogą być osiągnięte nawet w niekorzystnych warunkach.

Możliwości stosowania giroteodolitów w geodezyjnych pomiarach podziemnych

Duże usługi oddaje giroteodolit w przypadku orientacji kopalń, głównie ze względu na stosunkowo wysoką dokładność określenia azymutu, w granicach 12" - 40" oraz ze względu na korzyści ekonomiczne.

Dokładność orientacji nie zależy od głębokości poziomu, ani miejsca pomiaru. Kąt kierunkowy wyznaczony jest niezależnie od przeniesienia współrzędnych z powierzchni do kopalni. Pomiar nie wymaga unieruchomienia szybu na czas dłuższy i skraca czas pracy w poważnym stopniu. Wyniki orientacji giroteodolitowej

początkowo były wykorzystywane dla celów kontroli pomiarów wykonanych metodami klasycznymi. Obecnie z uwagi na dużą dokładność wyznaczanie kąta kierunkowego pomiary giroteodolitem traktowane są jako niezależne.

Dopuszczalna odchyłka dwukrotnej niezależnej orientacji, określona przez "Tymczasową Techniczną Instrukcję Wykonywania Prac Mierniczych" wynosi 2. Zatem średni błąd pojedynczej orientacji nie powinien przekroczyć wielkości:

$$m_\sigma = \pm \frac{f_{\sigma\,max}}{3\sqrt{2}} = \pm \frac{120''}{4{,}23} = \pm 28'' \qquad (4)$$

Dokładność ta, jak wykazały dotychczasowe badania, a także wyniki pomiarów wykonywanych w praktyce giroteodolitem, jest możliwa i łatwa do osiągnięcia. Wielokrotny pomiar giroazymutu pozwala w prosty sposób zmniejszyć błąd jego wyznaczenia, co w metodach klasycznych jest niemożliwe z uwagi na dominujący wpływ błędu pionowania, występującego zwłaszcza przy większych głębokościach szybów.

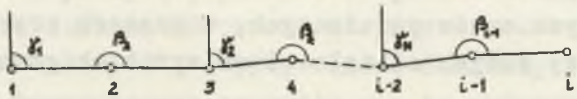
Stosowanie giroteodolitów ma doniosłe znaczenie w pomiarach geodezyjnych osnów podziemnych, w pracach przebitkowych, szczególnie przy dużych odległościach wyrobisk górniczych od szybów.

Metoda pomiaru girokompasem pozwala orientować dowolnie wybrany kierunek w kopalnianej sieci poligonowej i daje możliwość kontroli kątowej otwartych ciągów poligonowych. Pomiar azymutu ostatniego boku ciągu wiszącego czyni ten ciąg dwustronnie dowiązanym kierunkowo, przez co zmniejsza się prawie dwukrotnie błąd położenia ostatniego punktu. Pomiar niektórych azymutów w sieciach podziemnych pozwala na wyrównanie osnowy a tym samym powiększa jej zasięg i podnosi dokładność położenia punktów.

Dla zmniejszenia poprzecznego błędu położenia punktu końcowego, w ciągu otwartym, wskazany jest pomiar kilku giroazymutów na różnych bokach ciągu. Dotychczasowe badania wykazały, że bardziej celowe jest równomierne rozmieszczenie tych boków. Każdorazowo jednak należy przeprowadzić analizę dla ustalenia właściwej ilości giroazymutów w ciągu poligonowym, koniecznej

do osiągnięcia żądanej dokładności. Nadmierna ilość kierunków określonych giroteodolitem w ciągach dwustronnie dowiązanych nie powiększa dokładności w sposób istotny, natomiast przyczynia się do znacznego wzrostu nakładu pracy i czasu pomiaru. Z reguły wystarcza określenie 2-3 giroazymutów.

W nowoczesnym górnictwie zarysowuje się tendencja do stosowania długich boków poligonowych przy zakładaniu podstawowej osnowy sytuacyjnej w wyrobiskach górniczych. Sieć takich ciągów daje możliwość uzyskania poligonów zamkniętych o małej ilości punktów i długich bokach, a stanowiących szkielet osnowy podstawowej całej kopalni lub jej części. Szczególnym przypadkiem takiej sieci jest układ czworoboków. Pomiar wszystkich elementów czworoboku stwarza możliwość wyrównania. Zagadnienie to zostało opracowane przez Z. Kowalczyka w pracy [5]. W przypadku ciągów lub sieci nowego typu, niezależnie od orientacji przez szyby, można wyznaczyć giroteodolitem kąty kierunkowe poszczególnych boków, co dostarczy dodatkowych warunków do wyrównania.



Rys. 3. Ciąg poligonowy o pomierzonych giroazymutach

Przyjmijmy ciąg otwarty o długości 3 km, w którym pomierzono pewną ilość giroazymutów rozłożonych równomiernie co "k" boków (rys. 3).

Wzór na błąd poprzeczny położenia punktu końcowego ma postać:

$$q^2 = \frac{N}{\varrho^2} l^2 \left(k^2 m_\gamma^2 + \frac{2k^3 - 3k^2 + k}{6} \cdot m_\beta^2\right) \qquad (5)$$

gdzie:

N - ilość azymutów wyznaczonych giroteodolitem,

l - długość boku ciągu,

m_γ - błąd określenia giroazymutu,

m_β - błąd pomiaru kąta,

ϱ - 205 265".

Oznaczmy przez:

q_1 - wpływ błędów wyznaczenia giroazymutu na odchyłkę poprzeczną,

q_2 - wpływ błędów pomiaru kątów

$$\frac{N}{\varrho^2} l^2 k^2 m_\gamma^2 = q_1^2 \tag{6}$$

$$\frac{N}{\varrho^2} l^2 \frac{2k^3 - 3k^2 + k}{6} m_\beta^2 = q_2^2 \tag{7}$$

Po przyjęciu l = 50 m, m_β = 6", m_γ = 20", w tablicy 3 podano zależność $q_1 = f(k)$ oraz $q_2 = f(k)$.

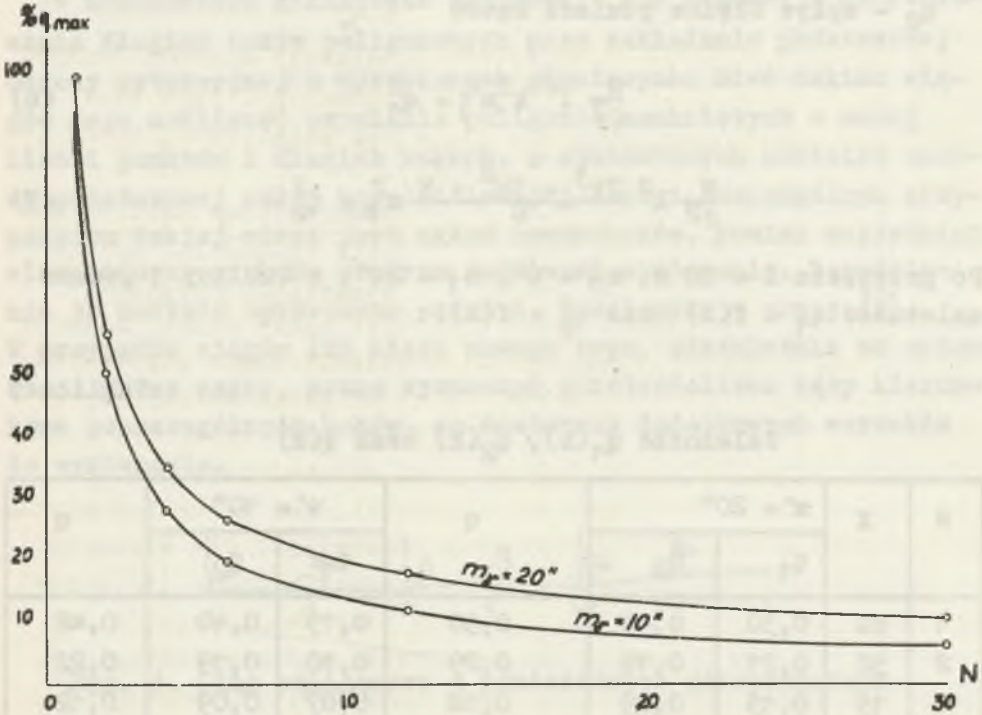
Tablica 3

Zależność $q_1(k)$, $q_2(k)$ oraz $q(k)$

N	K	m" = 20"		q	m" = 10"		q
		q_1	q_2		q_1	q_2	
1	60	0,30	0,40	0,50	0,15	0,40	0,42
2	30	0,21	0,19	0,29	0,10	0,19	0,22
4	15	0,15	0,09	0,18	0,07	0,09	0,12
6	10	0,12	0,06	0,13	0,06	0,06	0,08
12	5	0,09	0,03	0,09	0,04	0,03	0,05
30	2	0,05	0,01	0,06	0,03	0,01	0,03

Jak wynika z powyższej tablicy błąd poprzeczny położenia punktu końcowego maleje ze wzrostem ilości pomierzonych giroazymutów, przy czym wpływy q_1 i q_2 są sobie równe tylko dla jednej określonej wartości k, przy założonym m_β i m_γ. W powyższym przykładzie równość wpływów zachodzi dla k = 10, przy $m_\gamma = \pm 10"$, $m_\beta = \pm 6"$. Zależność procentową błędu poprzecznego od ilości pomierzonych giroazymutów, w stosunku do błędu maksymalnego, przy wyznaczonym jedynie azymucie boku początkowego, ilustruje rys. 4. Wzrost liczby giroazymutów rozłożonych

równomiernie w ciągu poligonowym otwartym powoduje znaczne zmniejszenie poprzecznego błędu położenia punktu końcowego. Przy N wynoszącym około 10 wzrost dokładności jest mniejszy. Dalsze powiększanie ilości giroazymutów staje się niecelowe.



Rys. 4. Wykres zależności błędu poprzecznego od ilości pomierzonych giroazymutów

Przesunięcie poprzeczne końcowego punktu ciągu otwartego, o długości L, zorientowanego metodą klasyczną,,wyraża się wzorem:

$$q^2 = \frac{L^2}{\varrho^2} m_{\sigma_0}^2 + \frac{m_\beta^2}{\varrho^2} L^2 \cdot \frac{n}{3} \qquad (8)$$

Przy założeniu błędu azymutu boku wyjściowego $m_{\sigma_0} = 1$ oraz pozostałych założeniach z przykładu podanego wyżej, przesunięcie poprzeczne q = 0,98 m. W przypadku natomiast pomiaru

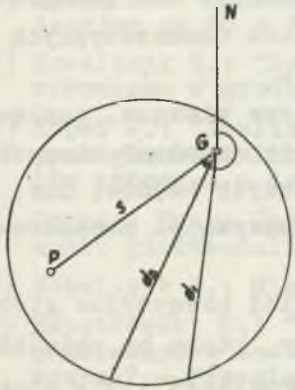
wszystkich kątów kierunkowych giroteodolitem odchyłka poprzeczna obliczona wzorem:

$$q = \frac{m_j}{\varrho} \cdot \frac{L}{\sqrt{n}} \qquad (9)$$

wynosi 0,12 m, czyli jest ośmiokrotnie mniejsza, niż przy orientacji klasycznej, dla $m_{\sigma_0} = m_j = \pm 1$.

Zastosowanie giroteodolitów w poligonizacji znacznie podnosi dokładność określenia współrzędnych punktów i jest bardzo cenne przy geodezyjnej obsłudze przebitek górniczych. Warto zatem stosować je w szerszym zakresie.

Pomiary giroteodolitowe umożliwiają również zdjęcie szczegółów metodą biegunową, ze stanowiska straconego, w oparciu o jeden znany punkt, Daje to możliwość wykorzystania giroteodolitu dla kontroli urządzeń szybowych, w oparciu o jeden pion (rys. 5). Metoda ta jest ekonomiczna, pomiar stosunkowo szybki, pod warunkiem skrócenia cyklu obserwacji. Jak wykazało porównanie wykonane w pracy [1] zmniejszenie liczby obserwacji punktów rewersji do trzech, pozwala dwukrotnie skrócić czas pomiaru, bez istotnego wpływu na dokładność wyznaczenia położenia równowagi.



Rys. 5. Kontrola urządzeń szybowych w oparciu o jeden pion

Dla powyższego zagadnienia celowe jest zastosowanie giroteodolitów o mniejszej dokładności, za to lżejszych i umożliwiających szybszy pomiar. Z wyszczególnionych w tablicy 2 przyrządów najlepszy pod tym względem jest Gi-D1, giroteodolit produkcji węgierskiej. Średni błąd pojedynczego określenia azymutu $m_\sigma = \pm 60''$ na odległości ok. 5 m daje odchylenie poprzeczna 1,5 mm, co jest wystarczające dla tego celu. Czas pomiaru 15 minut podany przez firmę również przemawia na korzyść metody.

Możliwość stosowania giroteodolitu do pomiaru ruchów punktów górotworu

Przy pomiarach linii obserwacyjnych położonych na jednym poziomie, głównie na powierzchni, stosowane dotychczas klasyczne metody pozwalają osiągać bardzo dużą dokładność. Stosowanie giroteodolitów wydaje się być w tych przypadkach niecelowe.

Inaczej przedstawia się sprawa obserwacji ruchów punktów w górotworze. Obserwacje takie są bardzo celowe, nawet konieczne, a wykonywane z odpowiednią precyzją, dadzą nam pełny obraz zjawisk zachodzących w górotworze i pozwolą na podejmowanie wielu ważnych przedsięwzięć bez zbytecznego ryzyka. Przy pomiarach punktów linii obserwacyjnych położonych na różnych poziomach kopalni wyłania się problem wzajemnego ich powiązania, dokładnego wyznaczenia położenia punktów obserwacyjnych we wspólnym układzie przestrzennym X, Y, Z.

Dotychczas zwykle były to ciągi poligonowe wiszące, nawiązane jednostronnie poprzez szyb i orientację metodami klasycznymi, To nawiązanie na skutek stosunkowo dużych błędów, nie pozwalało na kompleksową analizę wyników obserwacji prowadzonych równocześnie na kilku poziomach.

Obecnie mając do dyspozycji coraz bardziej precyzyjne giroteodolity można przeprowadzić takie pomiary, które by określały ruchy punktów górotworu w przestrzeni. Ponieważ linie obserwacyjne położone na poszczególnych poziomach można pomierzyć metodami klasycznymi z dość dużą dokładnością, zasadniczy wpływ na błąd przestrzennego położenia punktów obserwacyjnych będzie miał błąd orientacji. Obecnie jesteśmy w stanie, przy wielokrotnej orientacji z zastosowaniem giroteodolitu zmniejszyć jej błąd do kilku sekund. Niezależnie od tego możemy podnieść dokładność pomiarów poprzez usztywnienie układu linii obserwacyjnych pomiarem azymutów na niektórych jej bokach. Wykonanie takich pomiarów jest niezbyt kosztowne i nie wymaga specjalnych przerw w ruchu kopalni. Przeprowadzone w Katedrze Miernictwa Górniczego teoretyczne rozważania pozwalają przypuszczać, że potrafilibyśmy wyznaczyć współrzędne X, Y, Z punktów linii obserwacyjnych z dokładnością około ± 20 mm.

Niezależnie od badań nad możliwościami zastosowań nowych przyrządów w geodezyjnej obsłudze kopalń Katedra Miernictwa Górniczego rozpracowuje w chwili obecnej problem strat substancji węglowej, problem prawidłowej gospodarki złożem i jak najwłaściwszego jego wykorzystania. Katedra zajmuje się również zagadnieniem szkód górniczych, teoriami ruchów punktów górotworu, sposobami zakładania i pomiaru linii obserwacyjnych.

LITERATURA

[1] Życka J.: "Giroteodolit węgierski Gi-B1" - Przegląd Geodezyjny nr 10 z 1966 r.

[2] Kowalczyk Z.: "Zasada działania, budowa i zastosowanie girokompasu w geodezji" - Przegląd Geodezyjny nr 10 z 1966 r

[3] Kopeć J.: "Analiza dokładności wyznaczania kątów kierunkowych giroteodolitem w oparciu o pomiar wszystkich elementów kątowych w dowolnym trójkącie" - (praca inżynierska).

[4] Czuczor Ernö: Doświadczenie praktyczne nabyte przy stosowaniu giroteodolitów. Referat.

[5] Kowalczyk Z.: Miernictwo Górnicze. Orientacja Kopalń.

[6] Szpetkowski S.: "Rozwój metod geodezyjnych w górnictwie podziemnym z zastosowaniem nowoczesnych przyrządów pomiarowych" - Przegląd Górniczy nr 12 z 1966 r.

[7] Dzierżęga A.: "Porównanie orientacji kopalni metodą żyrokopmasową z metodą klasyczną" - Przegląd Górniczy nr 5 z 1966 r.