Seria: GÓRNICTWO z. 37

Nr kol. 246

TADEUSZ DZIURA, ANTONI KOT

### ZAGADNIENIE WPŁYWU PRĄDU POWIETRZA NA DOKŁADNOŚĆ POMIARÓW KOPALNIANYCH CIĄGÓW POLIGONOWYCH

Streszozenie. W artykule przedstawiono zachowanie się pionu mechanicznego w prądzie powietrza płynącego wyrobiskami górniczymi. W oparciu o zasady aerodynamiki doświadczalnej, określono teoretyczne wielkości wychyleń pionów o różnych parametrach. Obliczone wartości wychyleń porównano z wielkościami wychyleń otrzymanymi z pomiarów doświadczalnych. Przeprowadzono szczegółową analizę czynników wpływających na błąd centrowania teodolitu powstały w wyniku działania prądu powietrza.

## 1. Kopalniane ciągi poligonowe

Specyficzny charakter miernictwa górniczego powoduje, że kopalniane ciągi poligonowe mają większą wagę i znaczenie niż tej samej klasy ciągi poligonowe prowadzone na powierzchni. Różnią się one od powierzchniowych przede wszystkim tym, że są ograniczone, tak co do długości boków, jak i możliwości prowadzenia różnymi drogami. Bardzo często poligonizacja kopalniana obok zadań inwentaryzacyjnych jest prowadzona dla ważnych prac przebitkowych. Długości ciągów poligonowych dołowych często przekraczają dopuszczalne długości ciągów poligonowych na powierzchni. Ponieważ zaś długości boków są znacznie mniejsze, ilość boków w takim ciągu kopalnianym jest bardzo duża.

Rozważając problem dokładności poligonizacji kopalnianej w sposób ogólny, możemy stwierdzić, że mamy tu do czynienia przede wszystkim z błędami pomiaru kątów i błędami pomiaru długośoi boków.

Wpływ błędu pomiaru kąta na niedokładność określenia położenia ostatniego punktu cięgu poligonowego wiszącego wzrasta

Tadeusz Dziura, Antoni Kot

proporcjonalnie do długości odcinka łączącego punkt, na którym popełniono błąd, z punktem końcowym ciągu (rys. 1).

Wpływ błędu pomiaru długości boku ciągu poligonowego na położenie ostatniego punktu ma charakter stały niezależny od długości oiągu (rys. 2).

Z rysunków 1 i 2 wynika, że bardziej niebezpieczne dla dokładności określenia położenia ostatniego punktu ciągu poligonowego wiszącego i z tym związanych prac przebitkowych są błędy pomiaru kątów. Zmniejszenie wpływu błędu pomiaru kątów, jak na warunki dołowe, jest bardzo trudne. Można je osiągnąć tylko przez opracowanie nowych metod pomiaru kąta, bardziej precyzyjnych oraz przez wyeliminowanie wszelkich dodatkowych, losowych elementów wpływających na dokładność pomiaru kąta.

# 2. Bledy pomiarów katów poziomych

Wyniki pomiarów kątów poziomych są obciążone zwarówno błędami systematycznymi jak i przypadkowymi.

Błędy systematyczne albo usuwa się po wykonaniu obserwacji, albo eliminuje, stosując odpowiednią metodę pomiarową. Na błąd pomiaru kąta składać się będą głównie następujące błędy przypadkowe:

- bląd centrowania teodolitu; mer,
- blędy centrowania sygnalów; me, me,
- blad Celu; na,
- bląd odozytu; mo.

Sredni błąd pomiaru kąta wynosi:

$$\mathbf{m}_{\mathbf{k}} = \pm \sqrt{\mathbf{m}_{e_{\mathrm{T}}}^2 + \mathbf{m}_{e_{1}}^2 + \mathbf{m}_{e_{2}}^2 + \mathbf{m}_{o}^2 + \mathbf{m}_{o}^2}$$
(1)

Błędy celu i odczytu dają w sumie błąd instrumentaloy:

$$m_1 = \pm \sqrt{m_0^2 + m_0^2}$$
 (2)

którego wielkość zależy głównie od obserwatora, jakości instrumentu i metody pomiaru kąta.





#### Zagadnienie wpływu prądu powietrza na dokładność ...

Błędy oentrowania teodolitu i sygnałów występują wtedy, gdy ioh osie pionowe nie przeohodzą z różnych powodów przez środek punktów poligonowych. Nie wnikając w szczegółową analizę i wyprowadzenia wzorów całkowity błąd spowodowany niedokładnym centrowaniem teodolitu i sygnałów wynosi:

$$m_{e} = \pm \sqrt{m_{e_{T}}^{2} + m_{e_{1}}^{2} + m_{e_{2}}^{2}}$$

$$m_{e} = \pm q'' \sqrt{\frac{e_{1}^{2} + e_{2}^{2} + e_{2}^{2} + e_{T}^{2} + (1_{1}^{2} + 1_{2}^{2} - 2 + 1_{1}^{2} + 1_{2}^{0} \cos \beta)}{m^{2}n^{2}}}$$
(3)

gdzie:

e<sub>T</sub> - liniowa ekscentryczność teodolitu
 e<sub>2</sub> - liniowa ekscentryczność sygnałów
 l<sub>1</sub>, l<sub>2</sub> - długość oelowych
 β - mierzony kąt
 ξ<sup>"</sup> = 206265"

Ze wzoru (3) wynika, że w miarę zmniejszenia się długości boków poligonowych wzrasta wpływ błędu niecentrycznego ustawienia teodolitu i sygnałów, przy bardzo krótkich celowych osią-



Rys. 3. Schemat powstawania maksymalnego błędu ekscentryozności przy pomiarze kąta

ga wartość niedopuszczalną. Maksymalny wpływ błędu centrowania występuje dla kątów około 180<sup>0</sup>, co w ciągach kopalnianych jest normalnym zjawiskiem.

Np.  $l_1 = l_2 = 20$  m  $\beta = 180^{\circ}$   $e_1 = e_2 = e_m = 1,5$  mm

 $m_e = \frac{+}{20,000.20,000}$ 

 $\sqrt{0,0015^2 \cdot 20^2 + 0,0015^2 \cdot 20^2 + 0,0015^2 (20^2 + 20^2 + 2.2.20)} =$ = ± 514  $\sqrt{0,0054} = 12,0''$ 

Przykład ten świadozy, że w dobrych, normalnych warunkach wartość maksymalnego blędu ekscentru jest rzędu błędu instrumentalnego.

Błąd eksoentryczności w kopalnianych ciągach poligonowych zależy głównie od:

- uniejętności i staranności pracy obserwatora,
- staranności wykonania punktów poligonowych,
- sposobu wykonania sygnału,
- sposobu wykonania znaozka centrującego na lunecie,
- dlugości sznurka pionu, którym centruje się teodolit pod punktem,
- prędkości i obarakteru prądu powietrza plynącego przez wyrobisko.

Spośród podanych przyczyn powstawania błędu ekscentryczności najgroźniejszym i najtrudniejszym do dokładnego określenia i wyeliminowania jest wpływ prądu powietrza. Odnosi się to jedynie do tych metod pomiaru kąta, przy których posługujemy się pionami mechanicznymi (sznurowymi), z wyłączeniem metody z automatycznym centrowaniem.

# 3. Predkość powietrza w wyrobiskach korytarzowych

W wyrobiskach górniozych, którymi prowadzimy kopalniane ciągi poligonowe, często namy do czynienia z dużą prędkością powietrza sięgającą nawet do 8 m/sek. Czasowe wyłączenie wyrobiska z sieci wentylacyjnej w celu dokonania pomiarów jest ze względów bezpieczeństwa i stabiltości prądów powietrza raczej nie

# Zagadnienie wpływu prądu powietrza na dokładność ...

stosowane. Prędkość powietrza w wyrobisku jest funkoją wielu zmiennych parametrów, trudnych do uchwycenia, zmieniających się w czasie. Nie ma ona jednakowej stałej wartości, nie tylko w różnych punktach przekroju wyrobiska, ale nawet w tym samym punkcie. Możemy tylko mówić o przeciętnym rozkładzie prędkości powietrza w wyrobiskach górniczych (rys. 4).



Rys. 4. Rozkład prędkości powietrza w przekroju wyrobisk korytarzowych

W większości przypadków największa prędkość powietrza występuje w środkowej części wyrobiska, a najmniejsza na obwodzie.

Ponieważ rozkład prędkości powietrza w przekroju wyrobiska jest bardzo różny, późniejsze rozważania będą się opierały na najbardziej prawdopodobnym rozkładzie prędkości.

Zwykle punkty poligonowe stabilizowane są albo w osi wyrobiska, albo bliżej jednego z ociosów (rys. 5). Analiza wpływu prądu powietrza na wychylenie pionu będzie dotyczyła przypadku stabilizacji punktów poligonowych w osi wyrobiska.



Rys. 5. Miejsce stabilizacji punktów poligonowych w stropie w stosunku do przekroju wyrobiska

Tadeusz Dziura, Antoni Kot

# 4. Oddziaływanie prądu powietrza na pion mechaniczny sznurowy

Zgodnie z teorią dynamiki płynów, opór ciała zanurzonego w prądzie płynu rzeczywistego (cieczy lub gazu) jest wynikiem jego lepkości. Gdy rozpatrujemy opływ płynu o bardzo małej lepkości dookoła ciała w kształcie walca zauważany, że elementy płynu lepkiego nie ślizgają się po powierzchni ciała opływanego, lecz przylegają do niej, pozostając nieruchome. Powoduje to wyraźne zmiany w obrazie opływu i rozkładzie linii prądu. Wskutek występowania sił tarcia i sił adhezyjnych występujących między oząsteczkami płynu, wytwarza się tzw. warstwa przyścienna, w której następuje spadek prędkości cząstek płynu od wartości równej prędkości całego strumienia do zera, tuż przy powierzchni ciała. Powstają naprężenia styczne wzdłuż opływanego ciała, które są źródłem oporu, zwanego oporem tarcia.



Rys. 6. Schemat opływu płynu lepkżego dookoła ciała 1 – obszar objęty warstwą przyścienną, 2 – obszar leżący zewnątrz warstwy przyściennej, 3 – obszar zawirowania

Po opłynięciu, cząstki warstwy przyściennej odrywają się w tylnej części ciała i łączą się ze swobodnym strumieniem. Wskutek różnicy prędkości, ponieważ prędkość ich jest mniejsza od prędkości płynu otaczającego, tworzą się poza ciałem wiry zwane śladem aerodynamicznym (rys. 6). Ten niesymetryczny rozkład ciśnień na powierzchni ciała powoduje dodatkowy opór zwany oporem ciśnienia.

W przypadku ruchu laminarnego, w którym oząsteczki płynu poruszają się po torach równoległych, będziemy mieli do czynienia głównie z oporem tarcia, który jest proporcjonalny do

pierwszej potęgi gęstości ośrodka #, prędkości przypływu v, lepkości dynamicznej powietrza ? i średnicy opływanego ciała d.

$$P = f(\mathcal{U}, \mathbf{v}, \mathbf{d}, \gamma)$$
(4)

W przypadku ruchu burzliwego (turbulentnego), z jakim many do czynienia w środowisku kopalnianym, następuje oderwanie się warstwy przyściennej już w przedniej części opływanego ciała i tworzenie się szerokiego śladu aerodynamicznego. Wtedy w całkowitym oporze ciała przeważa opór ciśnienia nad oporem tarcia.

Prędkość przepływu, przy której następuje przejście z ruchu laminarnego w burzliwy, można określić liczbą Reynoldsa. Ustalono, że przepływ laminarny jest, gdy Re ≤ Re<sub>kw</sub>.

Wartość krytyczna Re<sub>kr</sub> zależy od gładkości przewodów. Dla wyrobisk górniczych można przyjąć Re<sub>kr</sub> ≃ 1300 Wartość R, możemy obliczyć wzorem:

$$R_e = \frac{v \cdot d}{v}$$
(5)

#### gdzie:

d - charakterystyczny wymiar przewodu (średnica),

V - kinematyczny współczynnik lepkości zależny od rodzaju płynu i temperatury.

Dla przekrojów niekołowych wymiar charakterystyczny d obliczany ze wzoru:

$$\mathbf{d} = 4 \cdot \frac{\mathbf{S}}{\mathbf{L}} \tag{6}$$

gdzie:

S - powierzchnia przekroju,

L - obwód przekroju.

Dla typowych warunków wyrobisk korytarzowych prędkość prądu powietrza, przy której następuje przejście ze stanu przepływu laminarnego do turbulentnego, wynosi około 0,01 - 0,02 s.



Rys. 7. Linie prądu

a - przy opływie laminarnym, b - przy opływie turbulentnym

Przy opływach wokół niektórych ciał jak np. walca kołowego, występuje zjawisko okresowego odrywania się warstwy przyściennej, której cząstki tworzą spiralne, odosobnione wiry, zwane wirami Karmana (rys. 8). Wiry te oddalają się od ciała z prędkością znacznie mniejszą od prędkości środka płynnego.



Rys. 8. Wiry Karmana

Okresowo odrywające się wiry powodują okresowe zmienności reakcji aerodynamicznych, wywieranych na ciało przez ośrodek. Przyjmując, że reakcja aerodynamiczne jest stała, w przypadku ogólnym da się ją obliczyć ze wzoru fizykalnego

$$\mathbf{P} = \mathbf{f} (\boldsymbol{\mu}, \mathbf{d}, \mathbf{v}, \boldsymbol{\eta})$$

- P opór aerodynamiczny
- *μ* gęstość ośrodka
- v prędkość względna ruchu
- d charakterystyczny wymiar
- 7 lepkość dynamiczna

Po analizie wymiarowej, przyjęciu  $C_x = f(R_e)$  zwanego współczynnikiem aerodynamicznym, wprowadzeniu za d<sup>2</sup> przekrój czołowy S - opór aerodynamiczny:

$$P = C_x \cdot \frac{\mu v^2}{2} \cdot S$$

gdzie:

 $\frac{\mu v^2}{2}$  - oiśnienie dynamiczne,

C. - współozynnik oporu całkowitego.

Badanie oporu dynamicznego ciał o różnych kształtach stanowi jedno z ważniejszych zadań aerodynamiki doświadczalnej.

Współczynnik oporu całkowitego C<sub>x</sub> zależy głównie od kształtu ciała oraz liczby  $R_e$ , którą możemy obliczyć ze wzorów (5) i (6).

Wartości współczynnika  $C_x$  dla ciał o kształcie walcowym i o stosunku średnicy do wysokości 1: $\infty$ i 1:5 podane są na wykresie na rys. 9. Wartości te otrzymane są doświadczalnie w tunelach aerodynamicznych.

W dalszej części współczynnik  $C_x$  dla pionu oznaczono przez  $C_p$ , zaś współczynnik  $C_x$  dla sznurka oznaczono przez  $C_s$ .



213

(7)

Gęstość powietrza "" zależy głównie od temperatury i ciśnienia barometrycznego. Tą zależność podaje rys. 10.



Rys. 10. Wykres gestości powietrza "

Dla określenia liczby R<sub>e</sub> potrzebna jest wartość współczynnika kinematycznej lepkości, którą odczytujemy s wykresu na rys. 11.



Rys. 11. Zależność •spółczynnika lepkości kinematycznej powietrza od temperatury

Wyżej pokazane wzory i wykresy umożliwiają obliczenie wielkości oporu aerodynamicznego P.

## Zagadnienie wpływu prądu powietrza na dokładność ...

5. Wychylenie pionu pod wpływem prądu powietrza

Ujęcie w sposób ścisły wpływu prądu powietrza na pion mechaniczny jest bardzo trudne.

Przyjęto następujące, najbardziej prawdopodobne warunki:

- Na pion działa prąd powietrza o prędkości maksymalnej w przekroju wyrobiska.
- 2. Na sznurek działa prąd powietrza o przeciętnym rozkładzie prędkości, zbliżonym do trójkątnego lub pierwiastkowego, o prędkości największej w ostrzu pionu i równej zeru w punkcie zawieszenia sznurka. Przyjęto trójkątny rozkład sił oporu sznurka.
- 3. Długość pionu mechanicznego traktujemy od punktu zawieszenia sznurka do ostrza pionu. Powstałe w wyniku tego założenia różnice: w długości sznurka, określenia miejsc zaczepienia wypadkowych sił reakcji aerodynamicznych, mają znikomy wpływ na wartość wychylenia i są możliwe do pominięcia.
- 4. Ciężar sznurka jako mały, drugiego rzędu, pomijamy.



Rys. 12. Działanie prądu powietrza na pion mechaniczny

Wielkość reakcji aerodygamicznych

dla pionu:

$$P_p = C_p \frac{\mu v^2 s}{2}$$

(8)

Tadeusz Dziura, Antoni Kot

dla sznurka:

$$P_{\rm S} = C_{\rm g} \frac{\mu \frac{v^2}{2} \, dh}{2} \tag{9}$$

Przyrównując do zera wartości momentów działających sił:

$$f \cdot n \cdot g = h \cdot P_p + P_s \cdot \frac{2}{3}h$$
  
 $f = h \cdot \frac{P_p + \frac{2}{3}P_s}{n \cdot g}$ 

$$f = \frac{\mu h}{2 mg} (c_{p} \cdot s + c_{s} \frac{d \cdot h}{3})$$
(10)

Do oelów praktycznych można wzór ten zmodyfikować do takiej postaci, aby po podstawieniu do niego potrzebnych wielkości otrzymać wartość wychylenia w mm.

wtedy:

$$f = \frac{\mu h v^2}{2 mg} (10^{-1} \cdot C_p \cdot S + C_s \cdot \frac{d \cdot h}{3})$$
(11)

Oznaozenia:

S - powierzohnia przekroju pionu,  $cm^2$ , C - współozynnik aerodynamiczny pionu C - współozynnik aerodynamiczny sznurka, v - prędkość maksymalna powietrza,  $\frac{m}{s}$ ,  $\mu$  - masa właściwa, gęstość powietrza,  $\frac{m}{s}$ , d - średnica sznurka, Em, h - wysokość pionu, m, m - masa pionu, kg, g - przyspieszenie ziemskie,  $\frac{m}{s^2}$ , f - wychylenia pionu, mm. Wystarczająco dokładne wydaje się być przyjęcie wartości C<sub>p</sub> i C<sub>s</sub> z wykresów na rysunku 9.

Prędkość powietrza działającego na pion znajdziemy albo mierząc ją bezpośrednio anemometrem, albo jeśli znamy wydatek powietrza czyli ilość powietrza Q przepływającego przez przekrój wyrobiska S, w jednostce czasu i obliczamy ze wzoru:

$$v_{\text{max}} = \frac{v_{\text{dr}}}{0,85} = \frac{0}{0,85.5}$$
 (12)

Na podstawie podanych w rozdziale 4 i 5 zależności i wykresów wykonano teoretyczne obliozenia dla różnego rodzaju pionów mechanicznych, o różnym kształcie, różnej wadze i o różnej długości oraz grubości sznurka.

Następnie przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych kontrolne sprawdzenie teoretycznych obliczeń. Wyniki obliczeń i badań zestawiono w tabelach i sporządzono niżej podane wykresy.

#### 6. Obliozenia i wykresy wychyleń

Tok obliczeń:

Założono przeciętne warunki, dla których

$$\mu = 1,2 \frac{\log n^2}{n^3}$$
  $\gamma = 15 \cdot 10^{-6} \frac{n^2}{s}$ 

co w każdorazowym przypadku można, znając temperaturę powietrza i ciśnienie barometryczne, odczytać z wykresów na rysunkach (10) i (11).

Dla każdego sznurka, przy wszystkich prędkościach obliczono ze wzoru (5):

$$R_e = \frac{v \cdot d}{v}$$

Podobnie dla każdego pionu i wszystkich prędkości ze wzoru (6)

$$R_e = 4 \cdot \frac{S_{\bullet} Y}{L_{\bullet} Y}$$

d.	8 7 2	500 LAG 200	42 24 4.9	metry Re		5	900	260	268	0.00	869	200
20 mm	4 6	1 052 025	12 21	0 i Co 0	~	8	7 076 t	3 940 6	3 860 (	3 020 6	3400 6	2 920
-	1 8	280 82	10 15	la re	>	2	2	8	2	8	8	2
del	~	18	**	huz	1	Re	9 450	7440	7 920	6040	6800	5440
300	*	325	13	ch 1	4	-						-
2	0 5	8	3	Dion		3	0.75	0.75	220	9.55	ar	0.75
	~	20 20	10	ow	-		2	11	11	0	01	-
del	~	100	47	a parter a		2	50	89	200	000	200	160
8mn	*	2	13	aleres .		6	9,2	a	27	a	a	0
	6 8	04 000	1.9 2.1	Te	F		5	5	5	5	S	5
	*	30	2.0	0110		8	18 900	VI AN	one si	10 00	1360	10 880
0=0	~	80	10	8	9							
Smm	4	181	**			3	ar	2	925	ans	0,75	520
1.07	0	8	4	a spearter								
	d= 20 mm d= 1.3 mm d= 0.5 mm d= 0.5 mm	d-20 mm     d=1.3 mm     d=0.20 mm       d     d=0.20 mm     d=1.3 mm       d     z     z     z       d     z     z     z     z       d     z     z     z     z     z     z	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	d-20 mm     dz l.3 mm     dz l.3 mm     dz l.3 mm       e     f     e     f     f     f     f     f       e     f     f     f     f     f     f     f     f       e     f     g     f     f     g     f     f     g     f     f     g       e     f     g     f     g     f     g     f     g     f     g     f     g     f     g     f     g     f     g     f     g     f     g     g     f     g     g     f     g <td><math display="block"> \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c</math></td> <td><math>d \cdot 20 \text{ mm}</math> <math>d = 1.3 \text{ mm}</math> <math>d = 0.20 \text{ mm}</math> <math>d = 0.20 \text{ mm}</math> <math>d = 0.20 \text{ mm}</math> <math>e</math> <math>i</math> <math>i</math></td> <td><math display="block">\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c</math></td> <td><math display="block">\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c</math></td> <td><math display="block">\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c</math></td> <td><math display="block">\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c</math></td> <td><math display="block">\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c</math></td>	$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$d \cdot 20 \text{ mm}$ $d = 1.3 \text{ mm}$ $d = 0.20 \text{ mm}$ $d = 0.20 \text{ mm}$ $d = 0.20 \text{ mm}$ $e$ $i$	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$

218

0.75

10 400

a 75 a 75

13 200

a25 a75 a75

0086

a75 a75 a75

5 200 11 800 6 600

22

2 600 5 900 3 300

0.0

1 300 2 850 1 660

2 00 1

90

0.8

	-				Taoric	as
Ni	74	1	2	3	4	5
Ryst	unek	Ī				
SIC	m²]	26.6	14.6	17.0	11.6	10.8
m[	kg]	0.473	0,215	0.240	0.140	0.192
11	m]	0.281	0,196	0.214	0.192	0.159
	1	0.1	0.2	0,2	0.2	42
me	2	0.5	27	0.7	0,9	0.9
500	4	22	29	29	25	2.9
-0.	6	5.0	6.5	6.6	82	6.6
4	8	8,9	11.4	11.5	14.4	11.6
-	1	0.3	<i>a</i> 3	a.3	0.6	0.4
nm	2	1.2	1.6	16	2.2	1.7
100	4	4.9	6.7	6.7	8.7	6.8
. 10	6	11.1	15,1	15.1	19.6	15.5
*	8	19.5	26.1	26,1	33,9	25.8
3	1	0.5	0.7	0.7	1.0	0.8
- W	2	1.9	2.8	2.8	29	2.9
50	4	8.0	11.3	11.2	15.1	11.7
1. 2	6	18.0	25,6	25.3	34.0	26.6
5	8	31.6	44.8	43.6	58.3	45.7

Wartości wychylenia pionów f w [mm] dla v = 1;2;4;6:8[]

Nr	4	6	7	8	9
		П	H	$\square$	F
Rysu	nek	$\forall$	$\forall$	$\forall$	$\bigvee$
SIC	m²]	10.9	9,2	30.2 *	19.0
m	kg]	0.116	0.094	0.700	0.280
1[1	7	0.200	0.177	0.256	0.288
	1	0.2	93	<i>a1</i>	02
E	2	1.0	LI	24	26
mo	4	4.2	4.6	1.8	28
· 0.3	6	9.5	100	4.0	6.2
9	8	16.7	17.9	7.1	11.0
	1	0,6	0.7	0.2	a3
CU I	2	2.5	2.7	0.9	1.5
mo	4	10.1	11.1	3,8	6.3
1=1		. 22.7	24.7	8,6	14.1
4 9	8	39.4	43.2	15,2	24.5
0	1	1.1	1.3	0.4	@7
uu	2	4.4	4.8	1.5	2.5
5m	4	12.6	19.0	6.2	10.4
1 = 1	6	39.7	43.8	13.8	23.4
2	8	68.2	76.0	24,3	40.5

Wartości wychylenia pionów f w [mm] d/a v= 1;2;4;6;8[] Tablica 4 Wartości wychylenia pionów f w [mm] dla v=1;2;4;6;8[5] Tablica 5

A pie	Ir	u	1	2	3	4	5
Ry	54	nek	H				
	T	1	0.4	0.5	0.5	0.7	0.5
-	22	2	13	20	2.0	2.0	21
00	5	4	5,6	8.2	8.0	129	8.6
2.	1	6	12.3	129	17.6	22.0	18.6
4	0	8	21.4	30,6	30,2	40.6	31.9
	~	1	Q.3	0.4	0.4	0.6	0.5
	20	2	1.2	1.7	1.7	24	1,8
00	2	4	5.1	7.2	7,2	9.5	7.5
1 .		6	11.4	15.0	15.8	20,9	16.5
4		8	19.9	29.3	27.3	35.7	20.2
	2	1	<i>a</i> 3	0.4	0.4	0,5	0.4
8	in.	2	1.1	1.5	15	21	1.6
0	0.8	4	4.6	6.3	6.4	8.1	6,5
	0	6	12.6	14.3	14.3	18.3	14.6
2		8	18.7	24.8	25.0	31.7	25.4
	2	1	as	aj	0.3	0.5	0.4
-	um	2	1.1	1,4	14	1.9	1,4
200	0.5.	4	4.4	5.7	5.9	23	5.8
1.	-	6	10,1	13,2	13,4	16.7	13.4
4	-	8	17.9	23.1	23.5	29.2	24.5

Nr	nu	6	7	8	9
Ryst	unek	Ĩ	I		T
3	1	2.8	1.0	0.2	Q.4
iu i	2	3,2	3.7	1.0	1.8
20	4	12,9	14.6	43	2.4
1.0	6	27.9	31,1	9.5	16.3
4		47.7	53,5	165	28.0
3	1	Q.7	Q.8	0,2	0.4
. Ü	2	8,7	3,1	0.9	1.6
13	4	11.1	12.4	4.0	6.7
9	6	24.4	26,7	8.9	14.7
2	8	41.7	46.1	15,6	25.5
W	1	Q.6	0.7	Q.2	0.4
w.	2	2,3	25	<i>Qg</i>	1.4
00	4	<b>9</b> .5	10,3	3.7	6.0
1.0	6	21.3	22,9	8.4	13.0
2	8	37.0	40.3	14.8	24.2
9	1	0,5	4.5	0,2	0.3
9	2	2,1	3.3	Q.8	1.3
m as	4	8.4	2.0.	3,5	5.5
0.	6	19.3	20.5	8.0	12.6
4	8	33.8	36.4	14.2	22.2

Wartości wychylenia pionów f w [mm] dla v = 1; 2; 4; 6; 8 [] Tablica 6



Rys. 13. Zależność wyohylenia pionu od prędkości powietrza



Rys. 14. Zależność wychylenia pionu od jego masy







Rys. 16. Zależność wychylenie pionu od długości sznurka

#### Zagadnienie wpływu prądu powietrza na dokładność ...

Przy pomocy wykresu na rys. (9) znaleziono dla tych przypadków wszystkie wartości C<sub>p</sub> i C<sub>S</sub>. Wartości R<sub>z</sub>, C<sub>p</sub> i C<sub>S</sub> zestawiono w tabelach 1-2. W końcu, ze wzoru (11) obliczono wielkość wychyleń pionu:

$$f = \frac{\mu h}{2 mg} \frac{v^2}{(10^{-1} \cdot C_p \cdot S + C_s \frac{d \cdot h}{3})}$$

Wyniki obliczeń podano w tabelach 3-6. Sporządzono wykresy:

- zależność wychylenia pionu od prędkości powietrza (rys. 13),
- zależność wychylenia pionu od jego masy (rys. 14).
- zależność wychylenia pionu od grubości sznurka (rys. 15),
- zależność wychylenia pionu od długości sznurka (rys. 16).

# 7. Pomiar wychyleń pionu mechanicznego

Pomiaru dokonano w warunkach laboratoryjnych, optymalnie dopasowując je do warunków rzeczywistych. W czasie pomiaru temperatura wynosiła +20°C, ciśnienie barometryczne 1010 milibarów.

Pomiaru predkości powietrza dokonywano anemometrem ozterokrotnie, biorac do wyników wartość średnią. Błąd średniej wartości nie przekraozał ± 0.1 m/sek. Pomiaru wychyleń dokonywano przy pomocy specjalnie do tego celu sporządzonego urządzenia także ozterokrotnie, uzyskując błąd średni wartości wyohylenia, nie przekraczający 0,9 mm. Błąd okazał się stosunkowo duży na skutek występowania amplitudy wahań pionu. Jest to łatwo wytłunaczalne zjawisko. Dobrze odpowiada warunkon rzeczywistym. Przepływ w wyrobiskach górniczych jest przepływem turbulentnym. nieustalonym, Prędkość strumienia powietrza jest, można powiedzieć, średnią tych pulsujących prędkości zmierzoną anemometrem. Oprócz znian prędkości przepływu wycikającej z jego turbulencji i ze zjawiska tzw. wirów Karmana, dochodzą jeszcze wpływy nierównomierności pracy wentylatora, odrywania się wirów powietrznych od obudowy. ruchu klatek w szybie itp. To wszystko powoduje, że wychylenie pionu jest rzeczywiście nieustabilizowane i możeny mówić tylko o średnim wychyleniu pionu.



Rys. 17. Wychylenia pionów dla różnych prędkości powietrza

had an Hadd m

Tablica 8

Nr	d=2.0mm		d=1.3mm		d=1.0mm		d=0.8mm		d=0.5mm	
pionu	7	Df	f	101	1	61	1	14	1	41
3	8.2	0.3	7.1	0.5	6.6	0,5	6.6	0.1	5.8	0.3
7	14.9	0.3	12.4	0.4	10.8	0.8	10.1	0.7	9.1	0.2
8	4.3	0.3	4.2	a.1	4.0	0.2	3.7	0.2	3.5	0.4





V= 4.1 3	h=0:	Sm	7	0 m	h=1,	5 m
pionu	+	101	f	101	ſ	4
3	3.0	22	6.6	0.2	11.4	0.3
7	4.5	02	10.8	2.5	20.5	0.3
8	1.8	a1	4.0	a3	6.2	0,1



Rys. 19. Wychylenia pionów dla różnej długości sznurków

Wykonano szereg pomiarów sprawdzających obliczenia teoretycznie.

 Dla wszystkich pionów, przy długości sznurka h = 1,0 m i średnicy 1,0 mm pomierzono wychylenia odczytując na anemometrze prędkości v = 1,0 m/sek, v<sub>2</sub> = 1,9 m/sek, v<sub>3</sub> = = 4,1 m/sek. Zestawienie wyników podano w tablicy 7. Dla zobrazowania wielkości różnic Δf pomiędzy pomierzonymi wartościami wychyleń a wielkościami teoretycznymi wykonano wykres rys. 17, ograniczając się tylko do pionów

nr 3,7 18.

- 2. Dla pionów 3,7 i 8, przy prędkości 4,1 m/sek i h = 1,0 m pomierzono wychylenia stosując różne grubości sznurków. Wyniki pomiaru wraz z odchyłką Af podane są w tablicy 8 oraz przedstawione na wykresie rys. 18.
- 3. Dla pionów 3,7 i 8 przy prędkości 4,1 m/sek, średnicy sznurka d = 1,0 mm wykonano pomiary wychyleń dla różnej długości sznurka (h = 0,1; 1,0; 1,5). Wyniki obserwacji ujęto w tablicy 9 i wykresie rys. nr 19.

# 8. Analiza wyników obliczeń i przeprowadzonych obserwacji

Przeprowadzone obserwacje wykazały, że obliozenia teoretyczne są słuszne i do ich wyników możeny odnosić się z pełnym zaufaniem. Zaobserwowane różnice między wielkościami odchyleń pomierzonych a obliczonych teoretycznie są nieduże, mogą pochodzić zarówno z niedoskonałości wzorów i ich parametrów, jak i na skutek nie najlepszego dopasowania warunków laboratoryjnych.

Na podstawie obliczeń i obserwacji można stwierdzić:

- Wychylenie pionu zależy od długości sznurka i to w ten sposób, że jest do niego w przybliżeniu proporcjonalne.
- Wychylenie pionu pod działaniem prądu powietrza osiąga znaczną wartość i wzrasta wraz ze wzrostem prędkości.

- 3. Wyohylenie pionu dla pionów lżejszych zależy znaoznie od średnicy sznurka, a dla cięższych (ponad 0,3 kg) w bardzo małym stopniu.
- 4. Wychylenie pionu zależy od jego ciężaru (wraz z malejącą wartością rośnie i to w ten sposób, że do pewnego ciężaru wzrasta nieznacznie (do 0,3 kg) potem rośnie w sposób znaczny).

Przykłady wpływu błędu ekscentryczności, spowodowanego wychyleniem pionu na błąd pomiaru kąta:

 Wyrobisko zmienia kierunek o 90°. Nie analizując dokładnie ruchu prądu powietrza, w przybliżeniu sytuacja przedstawia się jak na rys. 20.



Rys. 20. Wpływ błędu ekscentryczności na błąd pomiaru kąta przy zmianie kierunku wyrobiska lub v o 90°

Przyjnując  $l_1 = 30, n$ , pion nr 3, h = 1,5 m, v = 4

$$e = 11.2 \text{ mm}$$

$$\Delta \beta = 206 \ 265'' \cdot \frac{11.2}{30.1000} = 76.6''$$

 Wyrobisko jest kształtu w przybliżeniu prostoliniowego, kąt wynosi około 180°. Na skutek różnych przyczyn, np. stojących przedmiotów, mogą powstawać lokalne zmiany kierunku powietrzą.

3

30.

28

11:



Rys. 21. Wpływ błędu ekscentryczności na błąd pomiaru kąta dla niestałego kierunku przepływu prądu powietrza

Dla sytuacji pokazanej na rys. 21, zmianie kierunku prądu powietrza o np. 10<sup>0</sup> i danyoh:

 $l_1 = 40 \text{ m}, \quad l_2 = 20 \text{ m}, \quad \beta = 180^{\circ}, \quad v = 4 \text{ m/sek}, \quad h = 1,5 \text{ m}$ 

pion ar 3, zmiene kierunku  $\alpha = 10^{\circ}$ 

$$\Delta \beta = \pm \sqrt{\frac{(e_1')^2 \, l_2^2 + (e_2')^2 \, l_1^2 + (e_T')^2 \, (l_1^2 + l_2^2 - 2 \, l_1 l_2 \, \cos \beta)}{l_1^2 \, l_2^2}}$$

$$e_m = e_1 = e_2 = e_m \cdot \sin \alpha = 11,2 \cdot 0,174 = 1,95 mm$$

Podstawiając konkretne wartości otrzymamy:

$$\Delta\beta = 37,5^{"}$$

Przykłady te świadczą o tym, że wychylenie pionu pod wpływem prądu powietrza w znaczny sposób pomniejsza dokładność pomiaru kątów.

Powstałe błędy mogą niejednokrotnie przekraczać wartości dopuszczalne.

# 9. Wnioski końcowe

Powyższe rozważania i doświadczenia wykazały, że działanie prądu powietrza na pion mechaniczny, sznurowy jest niejednokrotnie stosunkowo duże, a wywołany nim błąd centrowania znacznie przekracza wartości dopuszczalne, podane w normach technicznych. Już dla prędkości powietrza powyżej 1,5 m/s i typowych pionów, błąd centrowania wynosi około 1 mm. Opierając się na przeprowadzonych doświadczeniach i obliczeniach można stwierdzić, że:

- Nie należy stosować pionów lżejszych od 0,250 kg. Duże zwiększenie wagi pionów nie wydaje się być celowe, gdyż w małym procencie powoduje to zmniejszenie wartości wychylenia, a jest bardzo uciążliwe w praktycznym ich stosowaniu.
- 2. Dotychczas stosowane w praktyce sznurki o średnicy d = 1 mm, wydają się być właściwe. Nie wpływają w sposób istotny na wartość wychylenia pionu i są praktyczne w użyciu.
- 3. Na wielkość wychylenia pionu ma pewien wpływ miejsce stabilizacji punktów poligonowych w przekroju wyrobiska. Jest ono mniejsze, gdy punkt poligonowy znajduje się w pobliżu ociosu wyrobiska, ponieważ prędkość powietrza w tym miejscu przekroju jest mniejsza. Jednak ze względu na priorytet błędu pomiaru kątów wskazane by było zakładać punkty poligonowe w osi wyrobiska, gdyż wtedy kierunek prądu powietrza jest bardziej ustabilizowany.
- 4. Najbardziej niebezpieczna dla powstania błędów pomiaru kątów i długości jest zmiana kierunku prądu powietrza w stosunku do kierunku ciągu poligonowego.
- 5. Ponieważ błąd centrowania wywołany wpływem prądu powietrza rośnie w sposób znaozny z długością sznurka pionu, należałoby szczególną uwagę zwrócić na pomiar ciągów poligonowych w wyrobiskach wysokich i o dużym przepływie powietrza.
- 6. W warunkach dużej prędkości powietrza konieczne wydaje się przejście na pomiar kopalnianych ciągów poligonowych metodą z automatycznym centrowaniem i centrowaniem statywów pod punktami poligonowymi przy pomocy picnu optycznego.

Metoda ta w warunkach dołowych tylko niekiedy jest możliwa do zastosowania. Punkty poligonowe stabilizuje się w stropie wyrobisk górniczych (wyjątkowo w spągu) niejednokrotnie w sposób uniemożliwiający bezpośrednie celowanie na nie lunetką pionu optycznego. Obecnie przy powszechnym zastosowaniu obudowy wyrobisk korytarzowych wykonanych z łuków po-

## Zagadnienie wpływu prądu powietrza na dokładność ....

datnych stalowych, są to zwykłe nacięcia nie dające wyraźnego zaznaczenia punktu. Te trudności można przezwyciężyć stosując metodę pośrednią między metodą z automatycznym centrowaniem przy pomocy pionu optycznego a metodą z automatycznym centrowaniem przy pomocy pionu mechanicznego, metodą, która wymaga użycia przyrządu zwanego centrownikiem optycznym.

Gliwice, październik 1968 r.

## LITERATURA

- [1] Budryk W. Wentylaoja kopalń, cz. I, Katowice 1951.
- [2] Drumm R. Die Mechanik der Schachtlotung Mitteilungen aus den Marschieidewesen 1934.
- [3] Kowalozyk Z. Miernictwo górnicze. Cz. I. Pomiary sytuacyjno-wysokościowe kopalń, Katowice 1952.
- [4] Trojanowski K. Graniczne odohyłki w poligonizacji kopalnianej. Przegląd geodezyjny 1967/10.
- [5] Troskolański A.T. Hydromechanika, Warszawa 1967.
- 6 Wysocki J. Mechanika płynów, Warszawa 1967.
- [7] Zaks N. Podstawy aerodynamiki doświadozalnej, Warszawa 1967.
- 8 Poradnik górnika, ton I.

ПРОБЛЕМА ВЛИННИН ВОЗДУШНОГО ТОКА НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ШАХТНЫХ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ ХОДОВ

Резюме

В работе представлено поведение механической вертикали в возлупном токе. протекаюдем горными выработками.

Опираясь на принципы экспериментальной аэродинамики, определены теоретические величины отклонений вертикалей разных параметров. Рассчитанные значения отклонений сравнено с величинамн отклонений, полученных на основе экспериментельных измерений. Проведено точный анализ факторов, влинющих на погрепность центрирования теодолита, всзникшую в результате действия возцущного тока.

PROBLEM OF AIR CURRENT INFLUENCE ON THE EXACTNASS OF POLYGONAL MINING SEQUENCES IN MEASUREMENTS

Summary

In the article the behaviour of mechanical plumb line in the air current flowing through the pit working has been presented. On the ground of experimental aerodynamics principles the theoretical quantities of plumb line deviations with different parameters have been determined.

Some values of deviations have been compared with the quantitis of deviations obtained by means of experimental measurements. A detailed analysis of factors that have an influence an the centring of teheodolite which arooe an account of air current action - has been carried out.