

Marian KOLARCZYK  
Krystian KROPSZ

## LOKALNE STRATY NAPORU W WĘZŁACH SIECI WENTYLACYJNEJ KOPALNI

Streszczenie. W artykule przedstawiono kształtowanie się lokalnych strat naporu w miejscach łączenia się i rozdzielania prądów powietrza w kopalni. Podano metodę pomiarową zdejmowania charakterystyk skrzyżowań dróg wentylacyjnych oraz wstępne wyniki badań tych pasywnych elementów sieci wentylacyjnej.

### 1. WSTĘP

Posiadanie dokładnych informacji o charakterystykach elementów sieci wentylacyjnej kopalni istniejącej bądź projektowanej, niezbędne jest przy przeprowadzaniu jakichkolwiek obliczeń wentylacyjnych. Spośród elementów pasywnych najlepiej rozpoznane zostały wyrobiska prostoosiowe. Literatura górnicza dostarcza dostatecznie pewne dane o stratach naporu powietrza przepływającego tymi wyrobiskami.

Mało rozpoznane pod względem aerodynamicznym są natomiast elementy, na których powstają tzw. lokalne straty naporu. Uwaga ta dotyczy także miejsc rozdzielania i łączenia się prądów powietrza w sieci. Skrzyżowania dróg wentylacyjnych, zwane także węzłami sieci, są właśnie miejscami, w których prądy powietrza łączą się względnie rozdzielają, zmieniają kierunek, prędkość przepływu. W samym węźle a także w wyrobiskach tworzących skrzyżowanie powstają zawirowania. Wiąże się to ze stratami energii przepływającego powietrza, ze stratami naporu na tych elementach.

W dotychczasowych obliczeniach wentylacyjnych nie uwzględnia się tych strat naporu z następujących względów:

- uważa się, że są to wielkości małe a w związku z tym godne zaniedbania,
- nieznan jest pełny mechanizm powstawania tych strat, co stwarza kłopoty przy prawidłowym ich określeniu,
- uwzględnianie tych strat komplikuje znane dotychczas i stosowane metody przeprowadzania obliczeń wentylacyjnych.

Pożądaną wzrost dokładności obliczeń wentylacyjnych uzyskuje się przez uściślenie matematycznego modelu sieci wentylacyjnej obejmującego procesy termodynamiczne, którym ulega powietrze kopalniane, a także przez zwiększenie dokładności danych dotyczących aerodynamiki elementów sieci. Uwzględnianie lokalnych strat naporu występujących na skrzyżowaniach dróg wentylacyjnych będzie więc konieczne, zwłaszcza na drogach z grupowymi

prądami powietrza o dużych wydatkach, w kanałach wentylacyjnych, w silnie rozbudowanych sieciach oddziaływowych przy eksploatacji systemami komorowo-filarowymi.

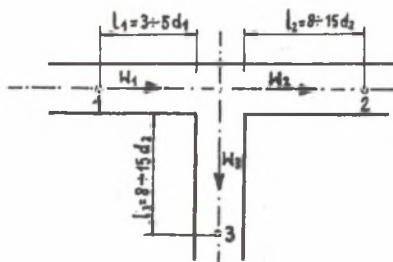
## 2. WAŻNIEJSZE DOTYCHCZASOWE BADANIA

Informacje o współczynnikach oporu skrzyżowań dróg wentylacyjnych podają opracowania [3, 6]. Lokalna strata naporu  $\Delta W_0$  na skrzyżowaniu ujęta została następującą zależnością:

$$\Delta W_0 = \xi \cdot \frac{\rho_w v^2}{2}, \quad (1)$$

gdzie:

- $\rho_w$  - gęstość powietrza,
- $\xi$  - współczynnik oporu wyznaczony doświadczalnie dla danego typu skrzyżowania,
- $v$  - prędkość średnia powietrza w przekroju wybranego wyrobiska dopływu, względnie wypływu.



Rys. 1. Schemat skrzyżowania wyrobisk z rozdzielaniem prądów powietrza

Uzyskane doświadczalnie wartości współczynników oporu dla poszczególnych typów skrzyżowań wyznaczone zostały dla prędkości powietrza w wybranym wyrobisku dopływu względnie wypływu. Tablice podające  $\xi$  wskazują, którą prędkość należy brać pod uwagę przy określaniu  $\Delta W_0$  dla danego typu skrzyżowania. Najczęściej jest to prędkość w wyrobisku najbardziej odchylonym (rys. 1). Takie ujęcie zagadnienia jest dość niekonsekwentne. Ponadto przyjmuje się jednakową wartość  $\Delta W_0$  dla prądu

mniej odchylonego (czy nawet płynącego dalej prosto) i dla prądu bardziej odchylonego. Przyjmuje się także, że wartość współczynnika oporu  $\xi$  dla danego skrzyżowania jest niezależna od wzajemnego stosunku poszczególnych prądów. Nowsze badania i pomiary własne wskazują, że określanie spadku naporu na danym skrzyżowaniu wg zależności (1) za pomocą jednego stałego współczynnika  $\xi$  i jednej prędkości jest niewystarczające.

Dość obszerne badania zostały przeprowadzone w oparciu o teorię podobieństwa przepływów na modelach skrzyżowań [1, 4, 5]. Autorzy tych opracowań na podstawie dużej ilości pomiarów dochodzą do wniosku, że straty naporu na danym skrzyżowaniu różne są dla poszczególnych kierunków wzdłuż skrzyżowania. Określając współczynniki  $\xi$  dla poszczególnych kierunków na skrzyżowaniu posługują się zawsze prędkością powietrza w wyrobisku z prądem całkowitym. Przyjmują przy tym zasadę, że wyrobisko z prądem całkowitym oznaczają numerem 1, z prądem najbardziej odchylonym numerem 3, z prądem mniej odchylonym numerem 2. Zależności ujmujące związek między stra-

tami naporu a współczynnikami oporu skrzyżowania przedstawiają się wtedy następująco:

- dla rozdziału prądów:

$$\Delta W_{o_{1-2}} = \xi_{1-2} \frac{Q \cdot w_1^2}{2}; \quad \Delta W_{o_{1-3}} = \xi_{1-3} \frac{Q \cdot w_1^2}{2} \quad (2a)$$

- dla łączenia się prądów

$$\Delta W_{o_{2-1}} = \xi_{2-1} \frac{Q \cdot w_1^2}{2}; \quad \Delta W_{o_{3-1}} = \xi_{3-1} \frac{Q \cdot w_1^2}{2} \quad (2b)$$

Współczynniki  $\xi$  zależne są dla danego skrzyżowania od udziału poszczególnego prądu bocznego w prądzie całkowitym. Podano dla różnych typów skrzyżowań wykresy współczynników obrazujące zależności

$$\xi_{1i} = f\left(\frac{\dot{V}_3}{\dot{V}_1}\right); \quad \xi_{i1} = f\left(\frac{\dot{V}_3}{\dot{V}_1}\right), \quad (3)$$

gdzie:

$i = 2, 3,$

$\dot{V}_1$  - wydatek prądu całkowitego,

$\dot{V}_2, \dot{V}_3$  - wydatki prądów bocznych.

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 + \dot{V}_3$$

Z tych badań modelowych [1, 5, 6] wynikają następujące zasadnicze wnioski:

a) współczynniki  $\xi$  dla danego skrzyżowania są różne dla poszczególnych kierunków przez skrzyżowania, ich przebiegi wyraźnie zależne są od udziału prądu rozgałęzionego w prądzie całkowitym,

b) przebiegi  $\xi$  zależą od typu skrzyżowania (rozdzielanie się prądów, łączenie) oraz od wzajemnej konfiguracji wyrobisk tworzących skrzyżowanie,

c) przebiegi  $\xi$  zależą także od chropowatości i parametrów geometrycznych wyrobisk tworzących skrzyżowanie.

Jak widać ilość parametrów zasadniczo wpływających na współczynniki oporu skrzyżowań jest duża. Mimo szerokiego zakresu pomiarów [1, 4, 5] nie można było podać wzorców ogólnych. Niektóre fragmenty wyników badań modelowych różnych autorów nie pokrywają się także całkowicie. Brak jest pełnego potwierdzenia poprawności przeprowadzonych pomiarów modelowych i porównania wyników z pomiarami naturalnymi.

### 3. METODYKA POMIARÓW WŁASNYCH

Bezpośrednie wyznaczenie pomiarami lokalnych strat naporu w miejscach łączenia się lub rozdzielania prądów powietrza w kopalni jest niemożliwe.

Zaburzenia powstające na skrzyżowaniu w wyniku łączenia lub rozdzielania się prądów, zmiany kierunku przepływu, zmiany przekroju przepływu występują nie tylko w samym węźle lecz także na pewnej długości wyrobisk tworzących skrzyżowanie. Przepływ w wyrobiskach w sąsiedztwie skrzyżowania jest inny niż w wyrobiskach prostoosiowych. Różnica w charakterze przepływu pociąga za sobą inne kształtowanie się strat energii, strat naporu w tych wyrobiskach. Lokalna strata naporu na skrzyżowaniu powstaje więc nie tylko w samym węźle lecz także w wyrobiskach skrzyżowania. Długości odcinków z zaburzeniami wg [1,2,4] oraz obserwacji własnych są następujące:

- w wyrobiskach z prądami dopływającymi do skrzyżowania  $3 \pm 4 d$ ,
- w wyrobiskach z prądami odpływającymi  $8 \pm 15 d$ , gdzie  $d$  jest średnicą hydrauliczną danego wyrobiska.

Pomiary własne przeprowadzono zdejmując w pierwszej kolejności całkowite spadki naporu między przekrojami dopływu i wypływu, usytuowanymi w takiej odległości od węzła, że przepływ w nich nie był zakłócony obecnością skrzyżowania. Różnicę ciśnień statycznych mierzono za pomocą mikromanometrów, węży i tarczek Saire'a. Różnicę ciśnień dynamicznych określono w oparciu o pomierzone prędkości średnie w odpowiednio wybranych przekrojach wszystkich wyrobisk.

Całkowite spadki naporu na drogach 1-2 i 1-3 (rys. 1) dla rozplitywu prądów na skrzyżowaniu będą równe

$$\Delta W_{1-2} = \Delta P_{s_{1-2}} + \Delta P_{d_{1-2}} \quad (4a)$$

$$\Delta W_{1-3} = \Delta P_{s_{1-3}} + \Delta P_{d_{1-3}}$$

Odpowiednio także dla łączenia się prądów na drogach 2-1 i 3-1

$$\Delta W_{2-1} = \Delta P_{s_{2-1}} + \Delta P_{d_{2-1}} \quad (4b)$$

$$\Delta W_{3-1} = \Delta P_{s_{3-1}} + \Delta P_{d_{3-1}},$$

gdzie:

$$\Delta W_{1-2}, \Delta W_{1-3}, \Delta W_{2-1}, \Delta W_{3-1}$$

- całkowite spadki naporu między przekrojami 1-2, 1-3 przy rozdzielaniu się prądów i przekrojami 2-1, 3-1 przy łączeniu się prądów,

$$\Delta P_{s_{1-2}}, \Delta P_{s_{1-3}}, \Delta P_{s_{2-1}}, \Delta P_{s_{3-1}}$$

- różnica ciśnień statycznych między odpowiednimi przekrojami, wyznaczona mikromanometrem,

$$\Delta P_s = \gamma_c \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha$$

$\gamma_c$  - ciężar właściwy cieczy mikromanometrycznej,

$\Delta l$  - uśrednione dla danego stanu pomiarowego wskazanie mikromanometru,

$\alpha$  - kąt nachylenia ramienia mikromanometru.

$$\Delta P_{d_{1-2}}, \Delta P_{d_{1-3}}, \Delta P_{d_{2-1}}, \Delta P_{d_{3-1}}$$

- różnica ciśnień dynamicznych między odpowiednimi przekrojami;
- przy rozdzielaniu prądów,

$$\Delta P_{d_{1-i}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{śr}} \cdot (w_i^2 - w_1^2), \quad i = 2, 3$$

- przy łączeniu prądów,

$$\Delta P_{d_{i-1}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{śr}} \cdot (w_i^2 - w_1^2), \quad i = 2, 3$$

$w_1, w_2, w_3$  - prędkości średnie powietrza w odpowiednich przekrojach

$\rho_{\text{śr}}$  - gęstość średnia powietrza.

Każdy w ten sposób zmierzony całkowity spadek naporu jest sumą spadku naporu w węźle i spadków naporu w wyrobiskach tworzących skrzyżowanie.

Dla wyrobisk z przepływem prostoosiowym słuszne jest w rozpatrywanym przedziale liczb Reynoldsa prawo Darcy-Weissbacha:

$$\Delta W = \frac{\lambda \cdot \rho}{2} \cdot \frac{l}{d} \cdot w^2, \quad (5)$$

gdzie:

$\Delta W$  - spadek naporu w wyrobisku,

$\lambda$  - bezwymiarowy współczynnik tarcia,

$\rho$  - gęstość powietrza,

$l$  - długość wyrobiska,

$d$  - średnica hydrauliczna wyrobiska,

$w$  - prędkość średnia powietrza.

Jak już wspomniano przepływ powietrza w odcinkach wyrobisk tworzących skrzyżowanie nie jest prostoosiowy, jest zaburzony obecnością skrzyżowania. Różnice w kształtowaniu się strat naporu w tych wyrobiskach należy zaliczyć do lokalnej straty naporu na skrzyżowaniu. Powstały one bowiem w wyniku istnienia skrzyżowania.

Słuszne są więc następujące zależności:

- dla rozdziału prądów

$$\Delta W_{1-2} = \Delta W_{o_{1-2}} + \frac{\lambda_1 \cdot \rho}{2} \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot w_1^2 + \frac{\lambda_2 \cdot \rho}{2} \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot w_2^2$$

(6a)

$$\Delta W_{1-3} = \Delta W_{o_{1-3}} + \frac{\lambda_1 \cdot \rho}{2} \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot w_1^2 + \frac{\lambda_3 \cdot \rho}{2} \cdot \frac{l_3}{d_3} \cdot w_3^2$$

- dla łączenia się prądów

$$\Delta W_{2-1} = \Delta W_{o_{2-1}} + \frac{\lambda_2 \cdot \varrho_2}{2} \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot w_2^2 + \frac{\lambda_1 \cdot \varrho_1}{2} \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot w_1^2 \quad (6b)$$

$$\Delta W_{3-1} = \Delta W_{o_{3-1}} + \frac{\lambda_3 \cdot \varrho_3}{2} \cdot \frac{l_3}{d_3} \cdot w_3^2 + \frac{\lambda_1 \cdot \varrho_1}{2} \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot w_1^2,$$

gdzie:

$$\Delta W_{o_{1-2}}, \Delta W_{o_{1-3}}, \Delta W_{o_{2-1}}, \Delta W_{o_{3-1}},$$

- lokalne straty naporu na poszczególnych kierunkach skrzyżowania odpowiednio przy łączeniu się i rozdzielaniu prądów,

$$\lambda_i, \varrho_i, l_i, d_i, w_i, \quad i = 1, 2, 3,$$

- odpowiednie wielkości w wyrobiskach tworzących skrzyżowanie.

Kojarząc zależności (4a), (6a), (4b), (6b), uzyskujemy:

- dla rozdziału prądów

$$\Delta W_{o_{1-2}} = \Delta P_{s_{1-2}} + \Delta P_{d_{1-2}} - \frac{\lambda_1 \cdot \varrho}{2} \cdot \frac{l_1}{d_1} w_1^2 - \frac{\lambda_2 \cdot \varrho}{2} \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot w_2^2 \quad (7a)$$

$$\Delta W_{o_{1-3}} = \Delta P_{s_{1-3}} + \Delta P_{d_{1-3}} - \frac{\lambda_1 \cdot \varrho}{2} \cdot \frac{l_1}{d_1} w_1^2 - \frac{\lambda_3 \cdot \varrho}{2} \cdot \frac{l_3}{d_3} \cdot w_3^2$$

- dla łączenia się prądów

$$\Delta W_{o_{2-1}} = \Delta P_{s_{2-1}} + \Delta P_{d_{2-1}} - \frac{\lambda_2 \cdot \varrho_2}{2} \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot w_2^2 - \frac{\lambda_1 \cdot \varrho_1}{2} \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot w_1^2 \quad (7b)$$

$$\Delta W_{o_{3-1}} = \Delta P_{s_{3-1}} + \Delta P_{d_{3-1}} - \frac{\lambda_3 \cdot \varrho_3}{2} \cdot \frac{l_3}{d_3} \cdot w_3^2 - \frac{\lambda_1 \cdot \varrho_1}{2} \cdot \frac{l_1}{d_1} w_1^2$$

Dla wyznaczenia lokalnych strat naporu na skrzyżowaniu wg zależności (7a), (7b) oprócz pomiaru całkowitej straty naporu między odpowiednio wybranymi przekrojami dopływu i wypływu, potrzebna jest także dokładna znajomość bezwymiarowych współczynników oporu  $\lambda$  wyrobisk tworzących skrzyżowanie. Zdjęcie wielkości tych współczynników przeprowadzane także pomiarami podano w dalszej kolejności.

Współczynniki lokalnych strat naporu na skrzyżowaniu przyjęto określać podobnie jak w pracach [1, 4, 5]:

- dla rozdzielania się prądów

$$\hat{s}_{1-2} = \frac{\Delta W_{o_{1-2}}}{\frac{1}{2} \varrho w_1^2}; \quad \hat{s}_{1-3} = \frac{\Delta W_{o_{1-3}}}{\frac{1}{2} \varrho w_1^2}, \quad (8a)$$

- dla łączenia się prądów:

$$\xi_{2-1} = \frac{\Delta W_{02-1}}{\frac{1}{2} \rho w_1^2}; \quad \xi_{3-1} = \frac{\Delta W_{03-1}}{\frac{1}{2} \rho w_1^2}. \quad (8b)$$

Współczynniki te nie są stałe. Pomiaru prowadzono w ten sposób, by możliwy był do uchwycenia przebieg  $\xi(\frac{v_3}{v_1})$ . Dla każdego skrzyżowania stwarzano szereg stanów pomiarowych przez tamowanie względnie "otwieranie" poszczególnych prądów bocznych. Wykorzystano w tym celu tamy istniejące w sieci kopalnianej lub budowano nowe do celów pomiarowych. Uzyskanie jednak w czasie pomiarów pełnego przebiegu stosunku  $\frac{v_3}{v_1}$  od 0 do 1 oraz utrzymanie prądu całkowitego  $v_1$  na stałym poziomie jest w warunkach naturalnych trudne i technicznie nie zawsze możliwe. Równoległe z pomiarami spadków naporu w każdym stanie pomiarowym prowadzono pomiary prędkości średniej powietrza we wszystkich wyrobiskach skrzyżowania, a także mierzono parametry fizyczne powietrza pozwalające określać jego gęstość.

Ingerujące w zależnościach (7a, 7b) bezwymiarowe współczynniki oporu  $\lambda$  tworzących skrzyżowanie, wyznaczano drogą pomiarową. Niemożliwe jest z wiadomych względów zdjęcie tych współczynników w wyrobiskach w bezpośrednim sąsiedztwie skrzyżowania. Do pomiarów wybierano więc prostoosiowe odcinki tych wyrobisk o długości 70÷100 m, dostatecznie odległe od skrzyżowania. Po przekształceniu zależności (5), otrzymuje się

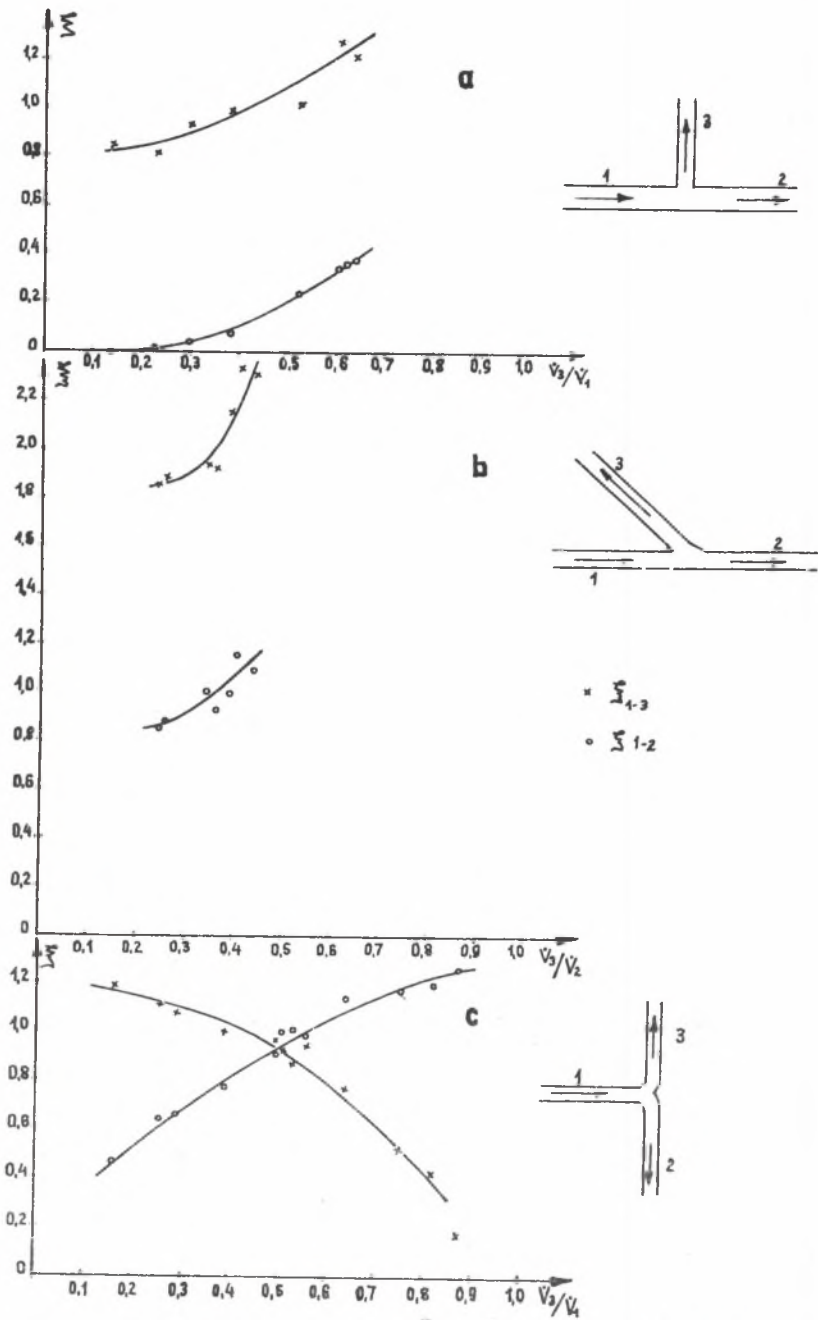
$$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta W \cdot d}{\rho \cdot l \cdot w^2}. \quad (9)$$

Pomiar całkowitego spadku naporu, prędkości średniej i pozostałych parametrów powietrza, parametrów geometrycznych tych odcinków, pozwalał na wyznaczenie współczynników  $\lambda$  dla poszczególnych wyrobisk.

#### 4. WYNIKI POMIARÓW I ICH ANALIZA

Przeprowadzanie pomiarów naturalnych w kopalni przedstawioną metodą jest dość uciążliwe. Wymaga zaangażowania grupy pomiarowej składającej się z kilku osób. Możliwość regulacji rozprywu powietrza na skrzyżowaniu jest zazwyczaj ograniczona. Konieczne jest stosowanie do pomiarów dodatkowych regulatorów rozprywu przez montowanie tam i wentylatorów pomocniczych. Wielkości mierzone w czasie pomiarów są zazwyczaj niezbyt duże, co wpływa na dokładność otrzymanych wyników. Pulsacje ciśnienia i prędkości powietrza występujące w kopalni, także wpływają na przebieg obserwacji i zasadniczo zwiększają ich czasochłonność.

Posiadany dotychczas materiał pomiarowy nie upoważnia jeszcze do przedstawienia uzyskanych zależności w sposób ogólny. Ograniczymy się więc jedynie do podania kilku przykładów charakterystyk skrzyżowań.



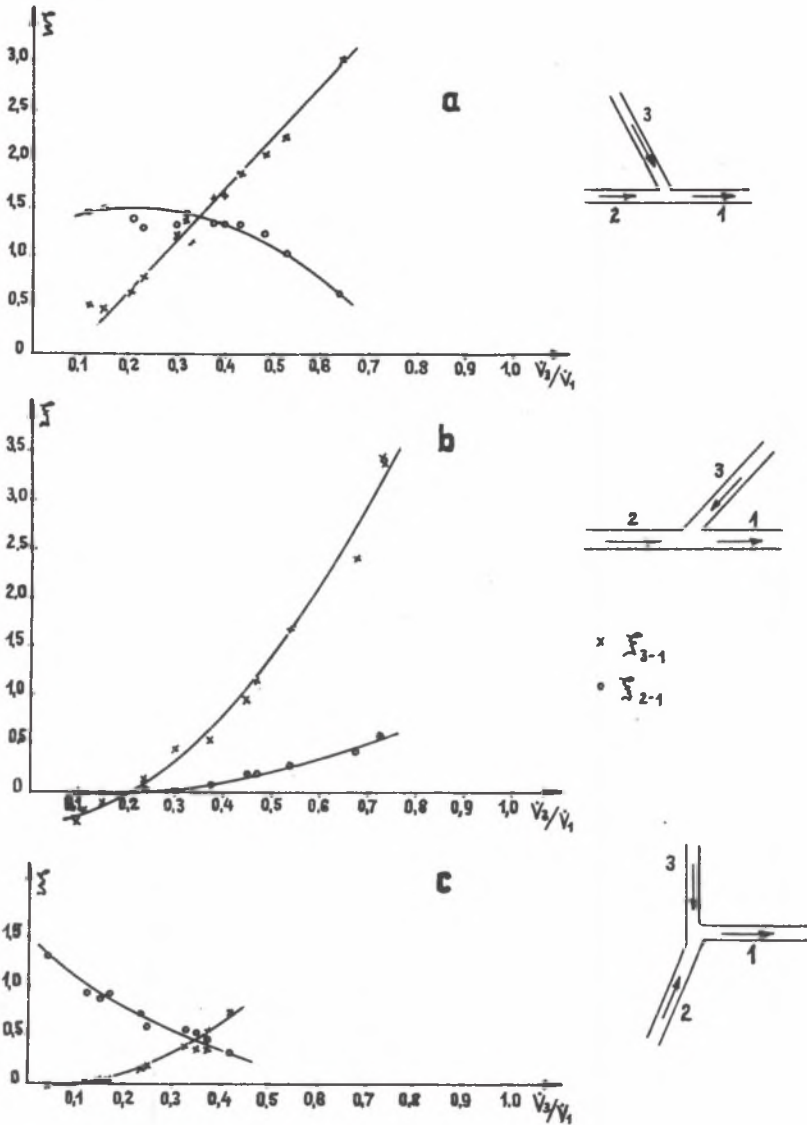
Rys. 2. Charakterystyki skrzyżowań  $\hat{S} = f\left(\frac{\hat{v}_3}{\hat{v}_1}\right)$  dla rozdzielania się prądów powietrza



Tablica 1

Wielkości związane z pomiarami charakterystyk  
przedstawionych skrzyżowań

Szkic							
Obudowa	1	bez obudowy	ŁP	ŁP	ŁP	bez obudowy	ŁP
	2	bez obudowy	ŁP	ŁP	ŁP	bez obudowy	ŁP
	3	bez obudowy	ŁP	ŁP	ŁP	bez obudowy	ŁP
Przekroje $A [m^2]$	1	14,7	8,5	6,8	6,7	13,8	8,1
	2	14,7	7,5	7,1	6,8	15,0	5,9
	3	8,25	7,5	5,2	6,6	9,2	6,5
Średnice hydrauliczne $d [m]$	1	3,92	2,84	2,50	2,49	3,60	2,74
	2	3,92	2,62	2,55	2,52	3,87	2,35
	3	2,86	2,95	2,19	2,49	3,07	2,46
Zakres wydatków $\dot{V}$ $[m^3/s]$	1	39,1 -67,3	18,6 -20,8	9,9 -11,2	23,4 -28,0	45,4 -58,4	28,4 -34,1
	2	14,2 -58,4	14,1 -13,3	7,4 -2,8	20,7 -10,1	40,9 -15,8	27,1 -19,9
	3	25,0 -8,9	4,5 -7,4	2,5 -8,4	2,8 -17,9	4,5 -42,6	1,3 -14,2
Zakres liczb Reynoldsa $Re \times 10^3$	1	695 -1195	426 -476	244 -274	580 -695	789 -1015	663 -795
	2	252 -1035	493 -467	179 -66,7	516 -252	703 -271	746 -550
	3	574 -206	96,4 -156	70,5 -273	67 -434	105 -992	33 -367
Bezwymiarowe współczynniki oporu wyrobisk $\lambda$	1	0,085	0,055	0,032	0,051	0,050	0,065
	2	0,085	0,048	0,043	0,054	0,058	0,051
	3	0,10	0,051	0,022	0,049	0,040	0,044
Długości wyrobisk skrzyżowania $l [m]$	1	28,65	25,30	15,30	44,6	38,45	29,30
	2	45,70	26,70	26,30	23,00	24,60	24,55
	3	30,50	28,50	28,20	17,80	19,65	22,4
Zakres stosunków wydatków	$\frac{\dot{V}_3}{\dot{V}_1}$	0,638 -0,133	0,242 -0,358	0,253 -0,752	0,115 -0,639	0,099 -0,729	0,046 -0,415
	$\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}$	0,362 -0,867	0,758 -0,643	0,747 -0,247	0,885 -0,361	0,901 -0,271	0,954 -0,585



Rys. 3. Charakterystyki skrzyżowań  $\Sigma = f\left(\frac{V_3}{V_1}\right)$  dla łączenia się prądów powietrza

Przez charakterystykę skrzyżowania rozumiemy będziemy następujące zależności:

- dla rozdzielania prądów

$$\xi_{1-2} = f\left(\frac{\dot{V}_3}{\dot{V}_1}\right); \quad \xi_{1-3} = f\left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right) \quad (10a)$$

- dla łączenia się prądów

$$\xi_{2-1} = f\left(\frac{\dot{V}_3}{\dot{V}_1}\right); \quad \xi_{3-1} = f\left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right) \quad (10b)$$

Rys. 2 przedstawia przykłady charakterystyk skrzyżowań z rozdzielaniem się prądów. Dwa pierwsze wykresy a i b dotyczą przypadków, gdy prądy boczne 3 odgałęziają się od prądu całkowitego 1 pod kątami  $90^\circ$ ,  $160^\circ$ , prądy 2 płyną dalej w tym samym kierunku. Charakter odpowiednich krzywych  $\xi$  jest podobny. W przypadku b jednak współczynniki osiągają dużo większe wartości. Wiąże się to na pewno z większym kątem odchylenia prądu 3. Rys. 2c przedstawia skrzyżowanie symetryczne. Prądy boczne 3 i 2 odpływają w przeciwnych kierunkach prostopadle do prądu całkowitego 1. Przebieg  $\xi_{1-3}$  jest prawie symetryczny z przebiegiem  $\xi_{1-2}$ . Wielkość danego współczynnika rośnie, gdy rośnie udział prądu przeciwnego w bilansie wydatku na skrzyżowaniu.

Obok wykresów na rys. 2 i 3 podano szkice skrzyżowań w skali 1:1000. W tablicy 1 zestawiono parametry geometryczne wyrobisk tworzących poszczególne skrzyżowania, podano zasadnicze wielkości związane z przepływem powietrza przez skrzyżowanie w czasie pomiarów.

Na rys. 3 podano przykłady charakterystyk skrzyżowań dla łączenia się prądów. Przebiegi  $\xi_{3-1}$  (rys. 3a i b) silnie związane są z stosunkiem  $\frac{\dot{V}_3}{\dot{V}_1}$ . Przy małych wartościach,  $\frac{\dot{V}_3}{\dot{V}_1}$  osiągają wartości ujemne (rys. 3b) i szybko rosną wraz ze wzrostem  $\frac{\dot{V}_3}{\dot{V}_1}$ . Różne przebiegi  $\xi_{2-1}$  są wynikiem dopływu prądu 3 pod różnymi kątami ( $60^\circ$ ,  $135^\circ$ ); parametry geometryczne wyrobisk skrzyżowań także się różnią (tabl. 1). Rys. 3c przedstawia charakterystykę skrzyżowania z łączeniem się prądów o prawie symetrycznym układzie wyrobisk bocznych. Przebiegi krzywych  $\xi_{3-1}$  i  $\xi_{2-1}$  są podobne. Wielkości współczynników rosną wraz ze wzrostem danego prądu bocznego. Jest to zjawisko odwrotne niż przy rozdzielaniu się prądów na takim skrzyżowaniu (rys. 2c i 3c).

## 5. ZAKOŃCZENIE

Przytoczone przykłady charakterystyk skrzyżowania dostarczają wstępnych informacji o kształtowaniu się lokalnych strat naporu w miejscach rozdzielania i łączenia się prądów powietrza w sieci wentylacyjnej kopal-

ni. Poczynione obserwacje wskazują, że wielkości współczynników  $\xi$  są dla niektórych typów skrzyżowań dość duże, straty naporu  $\Delta W_0$  porównywalne ze stratami na prostych odcinkach wyrobisk o długości kilkudziesięciu metrów a nawet i więcej. Wskazane jest więc uwzględnianie tych elementów w matematycznym modelu obliczeń sieci wentylacyjnej. Zagadnienie to jednak ze względu na dużą ilość wielkości mających wpływ na kształtowanie się lokalnych strat naporu, wymaga dalszych badań. Wyniki pomiarów przeprowadzonych w warunkach naturalnych jakościowo pokrywają się z badaniami modelowymi, tzn. przebiegi odpowiednich krzywych  $\xi$  są podobne.

Prowadzenie poprawnych badań modelowych wymaga zachowania warunków podobieństwa, co nie zawsze jest łatwe zwłaszcza w odniesieniu do modelowania chropowatości ścian wyrobisk. Uzyskane tą drogą wyniki powinny być konfrontowane z wynikami badań w warunkach naturalnych. Celowe jest więc dalsze prowadzenie badań modelowych i w warunkach naturalnych.

#### LITERATURA

- [1] Anner L.: - Untersuchungen über Stromungswiderstande bei der Grubenbewetterung. Freiburger Forschungshefte 1968 A, 454.
- [2] Kaszibadze W.W.: Aerodynamiczeskoje soprotivlenije gornych vyrabotok pri novych vidach kreplenija. Ugletechizdat Moskwa 1950.
- [3] Ksenofontova A.J.,  
Karpuchin W.D.,  
Charev A.A.: Wentilacjonnoje soprotivlenie gornych vyrabotok. Ugletechizdat - Moskwa 1950.
- [4] Nejkov O.O.,  
Aleksjiev A.G.,  
Koval W.J.: Miestnyje soprotivlenia i turbulentnost pri slijanii i rozdzielienii vozdušnych potokov. Oczistka vozducha 1969 /5.
- [5] Popowicz S.P.,  
Frienkel F.Z.,  
Koval W.J.,  
Proźow N.S.: Isledovanije miestnych soprotivlenii na sopraženijach gornych vyrabotok pri rozlicznoj szerochowatosti stenok. Oczistka vozducha 1970/6.
- [6] Poradnik górnika t. 3. wyd. 2. Praca zbiorowa Wyd. "Śląsk", Katowice.

#### МЕСТНЫЕ ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ В УЗЛАХ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ ШАХТЫ

#### Р е з ю м е

В статье представлено образование потерь давления в местах соединения и разделения воздушных потоков в шахте. Представлен метод снятия характери-

стик сопряжений горных выработок и вопупительные результаты исследований этих элементов вентиляционной сети шахты.

LOCAL PRESSURE LOSSES IN THE NODES OF MINE VENTILATION NETWORK

S u m m a r y

In the paper the local pressure losses by disintegration and binding of air streams have been presented. Measurement method determination of the characteristics of air ways intersections and preliminary results of these investigations have been given.