

Marian KOLARCZYK, Michał OLEKSY, Grzegorz PACH  
Politechnika Śląska, Gliwice

## CHARAKTERYSTYKI ZASTĘPCZE OTOCZEŃ PODSIECI ODDZIAŁÓW WYDOBYWCZYCH W KOPALNIANEJ SIECI WENTYLACYJNEJ

**Streszczenie:** W artykule przypomniano wyniki wcześniejszych badań charakterystyk zastępczych otoczeń podsieci oddziałów wydobywczych, których fragmenty wyznaczone zostały w trakcie pomiarów w kopalniach. Uzyskanie pełnego przebiegu takich charakterystyk możliwe jest poprzez obliczenia komputerowe kopalnianych sieci wentylacyjnych. Zastosowanie tej metody pozwoliło na dalsze uściślenie informacji dotyczących właściwości charakterystyk otoczeń. Podano 17 nowych przykładów ich przebiegu oraz wyniki aproksymacji linią prostą i parabolą. Zwrócono uwagę na znaczenie nachylenia charakterystyki otoczenia podsieci oddziałowej.

## SUBSTITUTE CHARACTERISTICS OF SURROUNDING SUB-NETWORKS FOR MINING DEPARTMENTS IN VENTILATION NETWORKS OF COLLIERIES

**Summary.** Results of earlier research in the characteristics of surrounding sub-networks for mining departments in ventilation networks were reminded in this paper. Some fragments were specified during underground measurement. Complete characteristics can be obtained by computer calculations of ventilation networks of collieries. Further specification of information concerned with surrounding characteristics was possible owing to application of this method. Seventeen new examples and their linear and parabolic approximations were given. Meaning of inclination of characteristics of surrounding sub-networks were also emphasized.

### 1. Wprowadzenie

Narastanie zagrożeń w kopalniach podziemnych, wynikające ze wzrostu głębokości i intensyfikacji eksploatacji, zwłaszcza zagrożenia metanowego i ciepłego, zmusza do

tworzenia bardziej skutecznych systemów wentylacji kopalń zapewniających potrzebny przepływ powietrza oraz odpornych na powstające zaburzenia. W tym zakresie bardzo przydatne jest tworzenie modeli komputerowych kopalnianych sieci wentylacyjnych, zezwalających na analizę różnych sytuacji normalnych i awaryjnych. Konieczne są także dalsze badania systemów i sieci, pozwalające na poznawanie kolejnych istotnych prawidłowości występujących w kopalni.

Niektóre właściwości kopalnianej sieci wentylacyjnej mogą być analizowane z wykorzystaniem charakterystyk zastępczych części sieci [1–9]. Istnieje wtedy możliwość dostrzeżenia wybranych prawidłowości, przeprowadzania niektórych analiz lub obliczeń, wypracowywania metod usuwania zagrożenia. Teoria kopalnianej sieci wentylacyjnej zna wiele przykładów wskazujących na celowość takiego postępowania.

Każdy element lub bocznicza kopalnianej sieci wentylacyjnej o ustalonym węźle początkowym  $w_p$  i końcowym  $w_k$  posiada swoją indywidualną charakterystykę przedstawianą zazwyczaj w postaci zależności:

$$- W = f(V), W = R \cdot V^2 \quad \text{dla elementów pasywnych, na których występuje rozproszenie energii,} \quad (1a)$$

$$- H = F(V) \quad \text{dla elementów aktywnych np. wentylatorów,} \quad (1b)$$

gdzie:

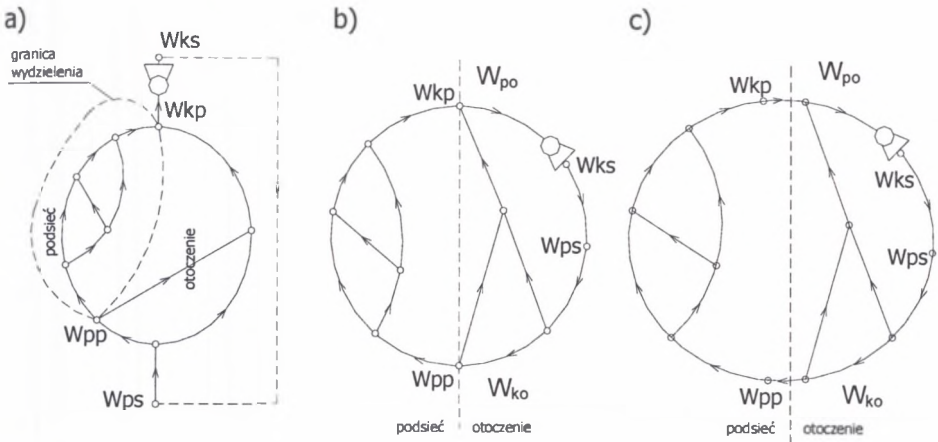
$V$  – wydatek powietrza w boczniczy lub wydajność wentylatora,

$W, H$  – odpowiednio spadek lub przyrost naporu powietrza, spiętrzenie wentylatora,

$R$  – opór aerodynamiczny wyrobiska lub boczniczy.

Charakterystyki bocznic są wykorzystywane w równaniach równowagi sieci w trakcie różnych jej obliczeń.

Zagadnienie indywidualnej charakterystyki bocznicy można uogólnić na fragment sieci posiadający również dwa węzły wspólne z resztą sieci [5, 6, 7]. Wydzielenie takiego fragmentu, pokazane na rys. 1, powoduje wyróżnienie dwóch części sieci. Z uwagi na podobieństwo do pracy układu wentylator główny–sieć, gdzie wentylator główny wymusza przepływ, a sieć jest odbiorem powietrza, także po rozdzieleniu sieci na dwie części (rys. 1, 2), jedną z tych części traktować można jako wymuszającą przepływ, a drugą jako odbiór powietrza. Wymiana wydatku powietrza oraz energii przepływu pomiędzy częściami występuje w węzłach styczności tych części. Jeden z tych węzłów jest wtedy traktowany jako wylotowy z części pierwszej i wlotowy do części drugiej, drugi węzeł jest wylotowym z części drugiej oraz wlotowym do części pierwszej (rys. 1).



Rys. 1. Wydzielenie podsięci i otoczenia w kopalnianej sieci wentylacyjnej

Fig. 1. Separation of the sub-networks from the environment

- $W_{ps}$ ,  $W_{ks}$  - węzły początkowy i końcowy sieci,  
 $W_{pp}$ ,  $W_{kp}$  - węzły początkowy i końcowy podsięci,  
 $W_{po}$ ,  $W_{ko}$  - węzły początkowy i końcowy otoczenia.

Istnienie jednego węzła wlotowego i wylotowego każdej części pozwala na określenie charakterystyki zastępczej  $W_z = f(V_z)$  lub  $H_z = F(V_z)$  dla każdej z tych części (rys. 1, 2). Dla części sieci będącej odbiorem powietrza charakterystykę tę celowo określa się, podobnie jak dla elementu pasywnego sieci, jako zależność pomiędzy zastępczym spadkiem naporu  $W_z$  a ilością powietrza przepływającego przez tę część  $V_z$  (rys. 2):

$$W_z = f(V_z) \quad (2a)$$

Dla części sieci wymuszającej przepływ, charakterystykę zastępczą określa się, podobnie jak dla wentylatora głównego, jako zależność pomiędzy zastępczym przyrostem naporu powietrza  $H_z$  a zastępczym wydatkiem powietrza  $V_z$  (rys. 2):

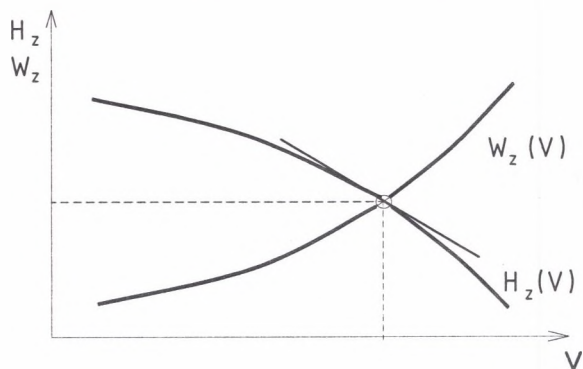
$$H_z = F(V_z) \quad (2b)$$

W niektórych pracach taka charakterystyka nazywana jest charakterystyką zredukowanego wentylatora do podsięci [1, 2]. Punkt pracy układu obydwu części, podobnie jak punkt pracy układu wentylator główny-sieć, ustala się na przecięciu charakterystyk  $W_z = f(V_z)$  i  $H_z = F(V_z)$  (rys. 1, 2) ponieważ wydatki zastępcze powietrza  $V_{zI}$  i  $V_{zII}$  są sobie równe. Wynika to z równań I prawa Kirchhoffa dla węzłów styczności. W punkcie pracy takiego układu zastępczy spadek naporu  $W_z$  jest równy zastępczemu przyrostowi naporu  $H_z$ :

$$W_z = H_z \quad (3)$$

Istnienie charakterystyk zastępczych  $W_z = f(V_z)$ ,  $H_z = F(V_z)$  części sieci oraz ich właściwości wynikają ze struktury tych części oraz charakterystyk elementów tworzących te poszczególne

części. Posługiwanie się charakterystykami zastępczymi wydzielonych części sieci znalazło interesujące zastosowania w wielu zagadnieniach praktycznych [np. 3, 4, 5].



Rys. 2. Charakterystyki zastępcze podsieci  $W_z(V_z)$  i otoczenia  $H_z(V_z)$   
 Fig. 2. Substitute characteristics of sub-network  $W_z(V_z)$  and its surrounding  $H_z(V_z)$

W pracach [6, 8] przedstawiono wyniki badań wykonanych w kopalniach dotyczących właściwości charakterystyk zastępczych  $H_z(V_z)$  otoczeń podsieci oddziałów wydobywczych. Stwierdzono, że charakterystyki te z dostateczną dokładnością można aproksymować linią prostą  $H_z = a + b \cdot V_z$ . Współczynnik kierunkowy  $b$  stycznej, świadczący o jej nachyleniu względem osi układu współrzędnych  $V, H$  (rys. 2), przyjmował wartości z dość szerokiego przedziału od  $-2,98$  do  $-108,8 \text{ Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$ . W pracy [8] zwrócono także uwagę na możliwość uruchomienia rezerwy wydatku powietrza, wynikającej z nachylenia charakterystyki zastępczej otoczenia. Przy płaskich charakterystykach otoczenia możliwe jest efektywne uzyskiwanie wzrostu ilości powietrza w podsieci oddziałowej w stanach awaryjnych przez obniżanie oporu tamy regulacyjnej. Taki sposób uruchamiania rezerwy wentylacyjnej nie jest jednak skuteczny i nie powinien być stosowany przy stromych charakterystykach otoczenia, ponieważ nie prowadzi to do efektywnego wzrostu ilości powietrza w oddziale.

Wyniki pomiarów przedstawione w pracach [6, 8] uzyskano z niezbyt szerokiego przedziału wydatku powietrza  $V_z$  i zastępczego ciśnienia otoczenia  $H_z$ . Wynikało to z utrudnień organizacyjnych i technicznych w trakcie pomiarów w kopalniach. Oprócz pomiarów kopalnianych istnieje również możliwość badania przebiegu charakterystyki zastępczej otoczenia  $H_z = F(V_z)$  poprzez przeprowadzanie odpowiedniej symulacji komputerowej. Pozwala to na poznanie pełnego przebiegu tej charakterystyki w I ćwiartce układu współrzędnych  $V, H$ . Analiza wyników takiego badania jest przedmiotem niniejszego referatu.

## 2. Wyznaczanie charakterystyki otoczenia z symulacji komputerowej

Wyznaczenie charakterystyki zastępczej otoczenia podsieci oddziałowej  $H_z = F(V_z)$ , w trakcie pomiarów w kopalni, polegało na wprowadzaniu zmian w podsieci powodujących zmianę jej oporu zastępczego. Przebieg pomiarów jest prawie identyczny jak przy zdejmowaniu charakterystyki wentylatora głównego. Zmieniony opór podsieci przez otwarcie, zamknięcie tam lub zmianę parametrów pracy wentylatora pomocniczego w podsieci, powodował, że w podsieci zmieniał się wydatek zastępczy  $V_z$  oraz zastępczy spadek naporu  $W_z$ . Wielkości te były wyznaczane przez odpowiednie pomiary w trakcie kilku, kilkunastu, utworzonych stanów pomiarowych [5, 6]. Ciąg współrzędnych  $(V_z, W_z = H_z)$  punktu pracy układu podsieć–otoczenie (rys. 2) pozwalał na sporządzenie charakterystyki zastępczej otoczenia  $H_z = F(V_z)$ .

Podobne wyznaczenie charakterystyki zastępczej otoczenia  $H_z = F(V_z)$  możliwe jest poprzez przeprowadzenie odpowiednich obliczeń komputerowych sieci wentylacyjnej kopalni. W trakcie takich obliczeń celowo zmieniano opór zastępczy podsieci, wyznaczano wydatek zastępczy  $V_z$  oraz różnicę potencjałów powietrza  $\Delta\Phi$  występującą pomiędzy węzłami krańcowymi podsieci i otoczenia. Wykorzystano także następujący związek pomiędzy tą różnicą  $\Delta\Phi$ , spadkiem naporu w podsieci  $W_z$  i spiętrzeniem zastępczym otoczenia  $H_z$ :

$$\Delta\Phi = W_z = H_z \quad (4)$$

Przeprowadzenie obliczeń dla kilkunastu stanów pracy układu podsieć–otoczenie pozwalało na sporządzenie poszukiwanej charakterystyki zastępczej otoczenia,  $H_z = F(V_z)$ .

Badania własności charakterystyk otoczenia wykorzystujące komputerową symulację rozplywu powietrza w sieci przeprowadzono opierając się na modelach matematycznych sieci czterech kopalń. W sieciach tych przeprowadzono wstępną analizę, polegającą na wyszukaniu podsieci oddziałów wydobywczych, które posiadały dokładnie dwa węzły wspólne z resztą sieci czyli z otoczeniem. Analiza ta pozwoliła na wyodrębnienie i przeprowadzenie obliczeń dla następujących przykładów:

- w kopalni „D” – 4 przykłady (da, db, dc, dd),
- w kopalni „S2” – 3 przykłady (s2a, s2b, s2c),
- w kopalni „Sz” – 5 przykładów (sza, szb, szc, szd, sze),
- w kopalni „K” – 5 przykładów (k42a, k42b, k42c, k42d, k42e).

Łącznie w referacie przedstawione są wyniki badań 17 charakterystyk  $H_z(V_z)$  otoczeń podsięci oddziałów wydobywczych. Dla wyznaczenia każdej charakterystyki przeprowadzono od 15 do 23 obliczeń sieci wentylacyjnej wybranej kopalni.

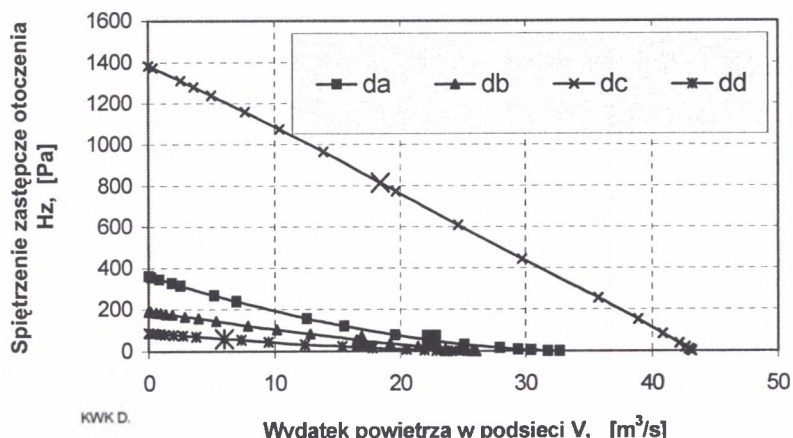
### 3. Analiza wyników badań charakterystyk otoczenia

Przeprowadzone obliczenia pozwoliły na sporządzenie poszukiwanych charakterystyk otoczenia  $H_z(V_z)$  i na dalszą ich analizę. Wykonano również obliczenia pozwalające na aproksymację uzyskanych zależności. Wykorzystano metodę najmniejszych kwadratów. Przy aproksymacji zastosowano równanie linii prostej lub paraboli. Przebieg poszukiwanych charakterystyk  $H_z(V_z)$  pokazano na rysunkach od 3 do 7. Aktualny punkt pracy układu podsięć–otoczenie na każdym rysunku wyróżniono przez powiększenie odpowiedniego znaku. Wyniki aproksymacji zestawiono w tablicach od 1 do 4.

Dla przykładów w kopalni „D” uzyskane wyniki (rys. 3, tabl. 1) wskazują, że możliwa jest aproksymacja charakterystyki otoczenia linią prostą lub parabolą. Uzyskane współczynniki korelacji  $R^2$  są bardzo wysokie i wynoszą odpowiednio:

- przy aproksymacji linią prostą: 0,9704–0,9998,
- przy aproksymacji parabolą: 0,9997–1,000.

Aproksymacja parabolą jest bardziej dokładna. W sąsiedztwie aktualnego punktu pracy aproksymacja linią prostą jest również bardzo zadowalająca.



Rys. 3. Charakterystyki otoczenia  $H_z(V_z)$  podsięci oddziałów wydobywczych w kopalni „D”  
Fig. 3. Characteristics of surrounding  $H_z(V_z)$  of sub-network in „D” colliery

Tablica 1  
Wyniki aproksymacji dla obliczeń charakterystyk otoczenia  $H_z(V_z)$  kopalni „D”

Numer przykładu	Aproksymacja linią prostą	Współczynnik korelacji $R^2$	Aproksymacja parabolą	Współczynnik korelacji $R^2$
da	$H_z = -11,459V + 334,39$	0,9704	$H_z = -0,2588V^2 - 19,559V + 360,79$	0,9999
db	$H_z = -7,4231V + 185,52$	0,9939	$H_z = -0,0952V^2 - 9,8941V + 192,04$	0,9997
dc	$H_z = -32,236V + 1399$	0,9998	$H_z = -0,0413V^2 - 30,348V + 1388,6$	0,9999
dd	$H_z = -3,6068V + 83,329$	0,9919	$H_z = -0,0587V^2 - 5,0118V + 86,648$	0,9997

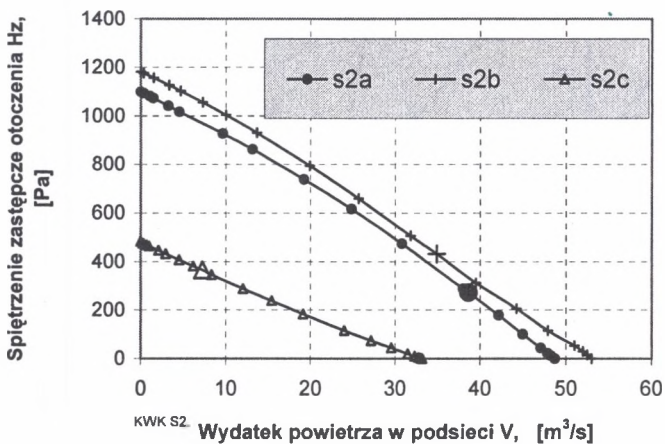
W kopalni „S2” możliwe było wydzielenie trzech podsieci oddziałów wydobywczych posiadających jeden wlot i jeden wylot. Wyniki obliczeń i aproksymacji pokazano na rysunku 4 i w tablicy 2.

Tablica 2  
Wyniki aproksymacji dla obliczeń charakterystyk otoczenia  $H_z(V_w)$  w kopalni „S2”

Numer przykładu	Aproksymacja linią prostą	Współczynnik korelacji $R^2$	Aproksymacja parabolą	Współczynnik korelacji $R^2$
S2a	$H_z = -22,561V + 1127$	0,9963	$H_z = -0,1263V^2 - 16,435V + 1098,7$	1
S2b	$H_z = -21,859V + 1202,4$	0,9976	$H_z = -0,0009V^2 - 21,809V + 1202,1$	0,9976
S2c	$H_z = -14,524V + 473,8$	0,9987	$H_z = -0,712V^2 - 16,892V + 481,32$	1

Podobnie jak w kopalni „D”, uzyskane wyniki (rys. 4, tabl. 2) wskazują, że bardzo duża dokładność aproksymacji charakterystyki otoczenia uzyskuje się przy aproksymacji linią prostą lub parabolą. Uzyskane współczynniki korelacji  $R^2$  również są bardzo wysokie i wynoszą odpowiednio:

- przy aproksymacji linią prostą: 0,9963–0,9987,
- przy aproksymacji parabolą: 0,9976–1,000.



Rys. 4. Charakterystyki otoczenia  $H_z(V_z)$  podsieci oddziałów wydobywczych w kopalni „S2”  
Fig. 4. Characteristics of surrounding  $H_z(V_z)$  of sub-network in “S2” colliery

W sieci wentylacyjnej kopalni „Sz” można było wyodrębnić 5 podsieci oddziałów wydobywczych. Wyznaczono więc 5 charakterystyk  $H_z(V_z)$  otoczeń tych podsieci. Wyniki obliczeń i aproksymacji zestawiono w tabelicy 3 i pokazano na rysunku 5.

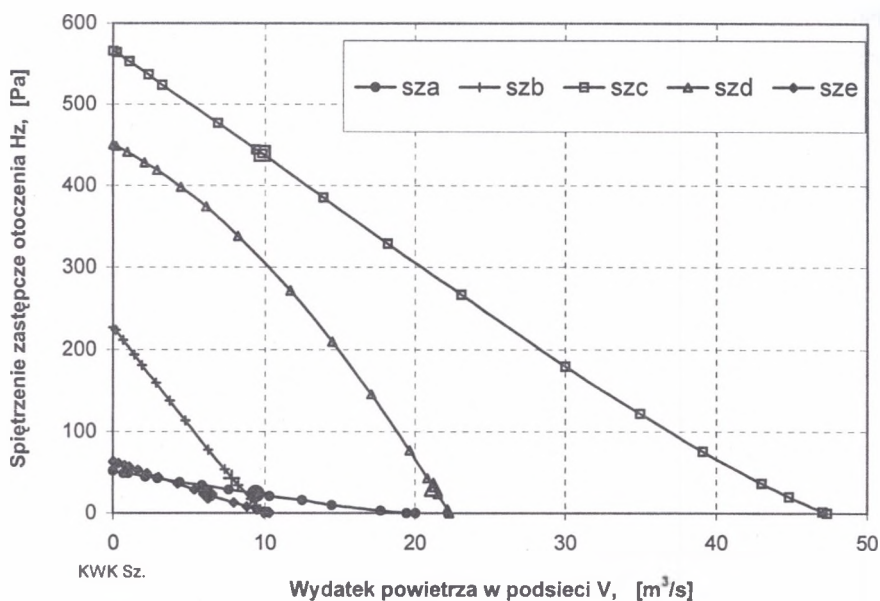
Tablica 3  
Wyniki aproksymacji dla obliczeń charakterystyk otoczenia  $H_z(V_z)$  w kopalni „Sz”

Numer przykładu	Aproksymacja linią prostą	Współczynnik korelacji $R^2$	Aproksymacja parabolą	Współczynnik korelacji $R^2$
sza	$H_z = -2,6619V + 50,31$	0,9942	$H_z = 0,034V^2 - 3,3306V + 52,027$	0,9992
szb	$H_z = -22,934V + 225,17$	0,9994	$H_z = 0,2269V^2 - 25,318V + 228,2$	0,9999
szc	$H_z = -12,176V + 559,92$	0,9983	$H_z = 0,1051V^2 - 16,392V + 550,95$	0,8486
szd	$H_z = -20,745V + 478,46$	0,9884	$H_z = -0,4398V^2 - 10,281V + 451,35$	0,9988
sze	$H_z = -6,1598V + 62,851$	0,9988	$H_z = 0,0739V^2 - 6,9445V + 63,794$	0,9997

Również w tym przypadku uzyskano dobre dopasowanie przy aproksymacji linią prostą i parabolą. Uzyskane współczynniki korelacji  $R^2$  są wysokie i wynoszą odpowiednio:

- przy aproksymacji linią prostą: 0,9884–0,9994,
- przy aproksymacji parabolą: 0,8486–0,9997.

W przykładzie „szc” aproksymacja linią prostą jest lepsza od aproksymacji parabolą.



Rys. 5. Charakterystyki otoczenia  $H_z(V_z)$  podsieci oddziałów wydobywczych w kopalni „Sz”  
Fig. 5. Characteristics of surrounding  $H_z(V_z)$  of sub-network in “Sz” colliery



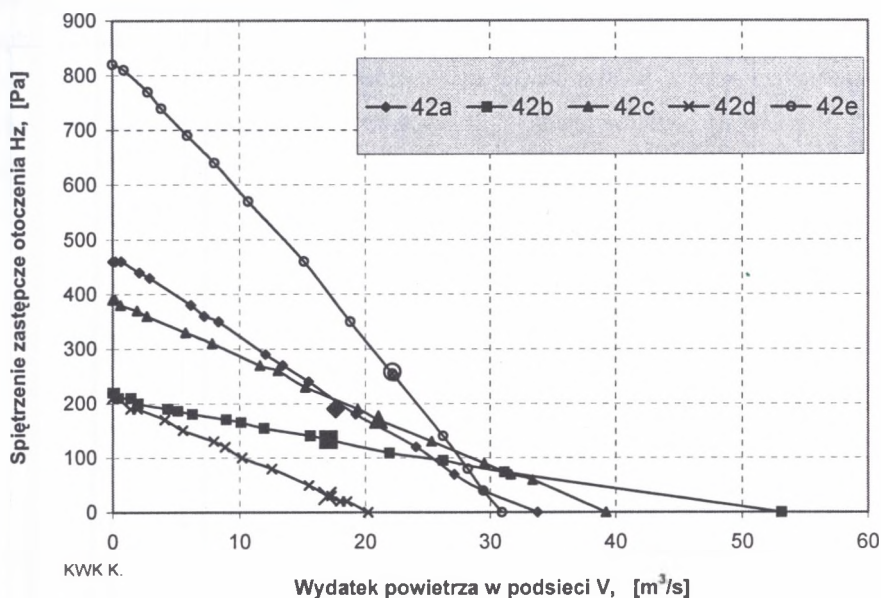
Dla danych z kopalni „K” wykonano symulację komputerową 5 przykładów charakterystyk otoczeń  $H_z(V_z)$  podsieci oddziałów wydobywczych. Wyniki odpowiedniej aproksymacji linią prostą i parabolą zamieszczono w tabelicy 4 oraz pokazano na rysunku 6.

Tablica 4  
Wyniki aproksymacji dla obliczeń charakterystyk otoczenia  $H_z(V_z)$  w kopalni „K”

Numer przykładu	Aproksymacja linią prostą	Współczynnik korelacji $R^2$	Aproksymacja parabolą	Współczynnik korelacji $R^2$
K42a	$H_z = -14,292V + 465,01$	0,9983	$H_z = -0,0358V^2 - 15,404V + 469,14$	0,9988
K42b	$H_z = -4,5022V + 204,51$	0,9516	$H_z = -0,0568V^2 - 7,1262V + 218,05$	0,9983
K42c	$H_z = -10,01V + 387,49$	0,9992	$H_z = -0,1382V^2 - 22,649V + 828,35$	0,9998
K42d	$H_z = -10,435V + 210,26$	0,9985	$H_z = -0,003V^2 - 10,497V + 210,41$	0,9985
K42e	$H_z = -26,872V + 844,68$	0,9984	$H_z = -0,1382V^2 - 22,649V + 828,35$	0,9998

Jak widać w tym przypadku również uzyskano bardzo dużą dokładność aproksymacji charakterystyk otoczeń z wykorzystaniem linii prostej i paraboli. Uzyskane współczynniki korelacji  $R^2$  również są bardzo wysokie i odpowiednio wynoszą:

- przy aproksymacji linią prostą: 0,9516–0,9983,
- przy aproksymacji parabolą: 0,9983–0,9998.

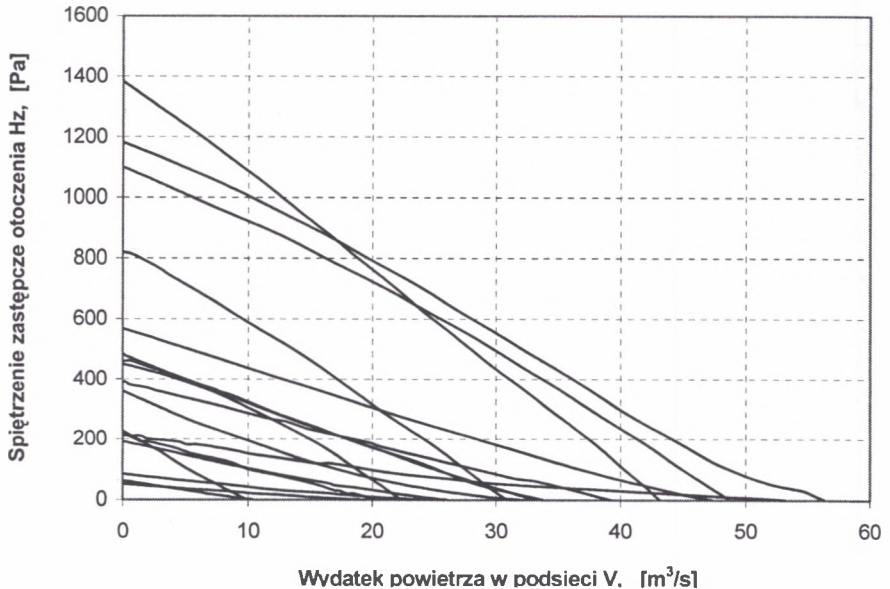


Rys. 6. Charakterystyki otoczenia  $H_z(V_z)$  podsieci oddziałów wydobywczych w kopalni „K”  
Fig. 6. Characteristics of surrounding  $H_z(V_z)$  of sub-network in “K” colliery

Tablica 5

Częstość występowania współczynnika  $b$  (nachylenia charakterystyki otoczenia  $H_z(V_z)$ ) z pomiarów w kopalniach [6, 8] i z obliczeń komputerowych sieci wentylacyjnych

Lp.	Przedział współczynnika (-b) [Pa·s/m <sup>3</sup> ]	Liczba obserwacji z pomiarów	Częstość występowania wg pomiarów	Liczba obserwacji z obliczeń	Częstość występowania wg obliczeń	Liczba wszystkich obserwacji	Częstość występowania
		$n_p$	%	$n_o$	%	$n_w$	%
	1	2	3	4	5	6	7
1	0–10	4	16,0	5	29,4	9	21,4
2	10–20	9	36,0	6	35,3	15	35,7
3	20–30	7	28,0	5	29,4	12	28,6
4	30–40	2	8,0	1	5,9	3	7,1
5	40–50	0	0	0	0,0	0	0,0
6	50–60	1	4,0	0	0,0	1	2,4
7	60–70	0	0	0	0,0	0	0,0
8	70–80	0	0	0	0,0	0	0,0
9	80–90	1	4,0	0	0,0	1	2,4
10	90–100	0	0	0	0,0	0	0,0
11	100–110	1	4,0	0	0,0	1	2,4
12	110–120	0	0	0	0,0	0	0,0
	Razem	25	100	17	100	42	100



Rys. 7. Zbiórce zestawienie charakterystyk zastępczych otoczeń  $H_z(V_z)$  podsieci oddziałów wydobywczych  
Fig. 7. Collection of characteristics of surrounding  $H_z(V_z)$  of sub-networks in collieries

Przeprowadzone badania charakterystyk zastępczych  $H_z(V_z)$  otoczeń podsieci oddziałów wydobywczych w wybranych kopalniach zmierzały do dalszego uściślenia ich właściwości

i porównania z wynikami uzyskanymi z pomiarów w kopalniach. Obliczenia komputerowe pozwoliły na wyznaczenie pełnego przebiegu tych charakterystyk w pierwszej ćwiartce układu współrzędnych  $V_z$ ,  $H_z$ . Zbiorcze zestawienie wszystkich charakterystyk pokazano na rys. 7. W tabelicy 5 zestawiono częstość występowania współczynnika  $b$  świadczącego o nachyleniu charakterystyki otoczenia względem osi układu współrzędnych. Porównano wyniki uzyskane z pomiarów [6, 8] oraz z obliczeń komputerowych sieci wentylacyjnych.

#### 4. Uwagi końcowe, stwierdzenia i wnioski

Informacje dotyczące właściwości charakterystyk zastępczych otoczenia podsieci oddziałowych, podane w pracy [8], wynikały z 25 pomiarów wykonanych w kilku kopalniach węgla. W trakcie pomiarów, ze względów organizacyjnych i technicznych, można było wyznaczyć jedynie fragment każdej charakterystyki w pewnym przedziale wydatku powietrza i spiętrzenia zastępczego otoczenia. Wynikało to z ograniczonych możliwości regulacji przepływu powietrza w sieci oraz z czasochłonności pomiarów. Dlatego też do dalszych badań właściwości tych charakterystyk zastępczych zastosowano metodę obliczeń komputerowych wybranych kopalnianych sieci wentylacyjnych. Przeprowadzono badanie 17 takich charakterystyk. Wykonane badania i ich porównanie z wcześniejszymi wynikami pozwalają na sprecyzowanie następujących wniosków i stwierdzeń:

1. Wyznaczone z obliczeń charakterystyki otoczeń podsieci oddziałów wydobywczych (pełne przebiegi w I ćwiartce układu współrzędnych  $V$ ,  $H$ ) są monotonicznie malejące.
2. Często pełny przebieg charakterystyki otoczenia w I ćwiartce układu współrzędnych lepiej można opisać wykorzystując równanie paraboli. W sąsiedztwie aktualnego punktu pracy układu podsieć – otoczenie, zadowalający jest opis linią prostą.
3. Przebiegi charakterystyk otoczeń oraz współczynniki występujące w ich opisie, uzyskane z badań kopalnianych oraz z komputerowej symulacji przepływu, wskazują, że każde otoczenie należy traktować w sposób indywidualny.
4. Współczynniki kierunkowe  $b$  stycznych do charakterystyki otoczenia w punkcie pracy układu podsieć–otoczenie najczęściej przyjmują wartości z przedziału od  $-10$  do  $-20$  Pa·s/m<sup>3</sup>. Stanowi to około 36 % zaobserwowanych przypadków.

## LITERATURA

1. Bołbat J. E., Lebiediew W. J.: Sposoby počuczenija privediennoj charakteristiki wientilatora. Gornospasatielnoje Dielo. Donieck, 1972/5.
2. Bołbat J. E., Lebiediew W. J.: Analiticeskoje opriedielenije osnovnych parametrow priwiedienoj charakteristiki wientilatora. Razrabotka miestorożdijenij poleznych iskopajemych. Nr 39. Kijów, 1979.
3. Budryk W.: Wspólna praca kilku wentylatorów w normalnych systemach wentylacyjnych. Przegląd Górniczo-Hutniczy, 1935/3. (Wybór Pism, PWN, Warszawa-Kraków 1976).
4. Bystróż H.: Graficzne rozwiązywanie systemów przewietrzania. Przegląd Górniczy, 1958/5-6.
5. Frycz A., Kolarczyk M.: Zastosowanie charakterystyki otoczenia podsieci wentylacyjnej do analizy przewietrzania oddziału. Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie. s. 1-3. 1979/1 (42).
6. Kolarczyk M.: Własności i zastosowania charakterystyki podsieci i otoczenia w kopalnianej sieci wentylacyjnej. ITEZ, Gliwice 1980, s. 244, (niepublikowane).
7. Kolarczyk M.: Definiowanie i wyznaczanie charakterystyk części kopalnianych sieci wentylacyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 188, Gliwice 1990, s. 171-183.
8. Kolarczyk M.: Rezerwa wydatku powietrza w oddziale wydobywczym wynikająca z nachylenia charakterystyki otoczenia podsieci oddziałowej. W materiałach XX seminarium „Metan i inne zagrożenia współwystępujące – Teoria i Praktyka”. XXIX Dni Techniki ROP’ 2003. Rybnik X 2003. Wyd. IGGGiETP Pol. Śl. Gliwice 2003, s. 65-76.
9. Kolarczyk M., Oleksy M., Pach G.: Opór całkowity, charakterystyka zastępcza podsieci. W materiałach seminarium na temat „Aerodynamika v hornictvi”. VSB-TU, Ostrawa, Czechy, XII 2003. s. 126-140.

*Artykuł opracowano w ramach projektu badawczego KBN Nr T12A 041 2.*

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Bernard Nowak