

22

CHARAKTERYSTYKI ZASTĘPCZE WENTYLATORÓW W ZAGADNIENIACH WYMUSZONEGO ROZPŁYWU POWIETRZA

22.1 WSTĘP

Niektóre zagrożenia naturalne występujące w kopalni można zaliczyć do zagrożeń aerologicznych (np. zagrożenie metanowe, pożarowe, ciepłone, pyłowe). Istotne przy zwalczaniu tych zagrożeń jest dostarczenie właściwej ilości powietrza do wyrobisk górniczych będących odbiorami powietrza. Odbiorami powietrza mogą być np. wyrobiska ścianowe czy też komory funkcyjne. Jednym z zagadnień związanych z kopalnianą siecią wentylacyjną, uwzględniającym konieczność dostarczania wymaganej ilości powietrza do wyrobisk będących odbiorami powietrza, jest obliczanie wymuszonego rozpływu powietrza (spotykana alternatywna nazwa tej problematyki to regulacja sieci wentylacyjnej).

Ogólnie zagadnienie rozpływu wymuszonego powietrza polega na wyznaczeniu:

- parametrów związanych z punktem pracy wentylatorów głównego przewietrzania tj. potrzebnego spiętrzenia H_g tych wentylatorów oraz ich wydajności V_g ,
- rozmieszczenia i nastaw regulatorów rozpływu powietrza [8, 9, 10] tj.:
 - a) oporu tam regulacyjnych R_t przy regulacji dodatniej,
 - b) spiętrzeń wentylatorów pomocniczych H_p przy regulacji ujemnej,
 - c) oporu tam regulacyjnych R_t i spiętrzeń wentylatorów pomocniczych H_p przy regulacji mieszanej.

Dla tego zagadnienia znane w obliczeniach są następujące:

- struktura kopalnianej sieci wentylacyjnej, którą tworzą wyrobiska górnicze,
- zadane wydatki objętościowe powietrza w wyrobiskach będących odbiorami powietrza (na wartości tych wydatków wpływają pośrednio przepisy prawa oraz poziom zagrożeń naturalnych),
- zadane opory R_i wszystkich bocznic.

W przypadku rozważań prowadzonych dla sieci aktywnych (o zmiennej gęstości powietrza kopalnianego) należy dodatkowo uwzględnić wymianę ciepła

oraz masy pomiędzy powietrzem płynącym w wyrobiskach a otoczeniem, natomiast dla sieci pasywnych wspomniane procesy nie muszą być brane pod uwagę.

W zagadnieniu rozplywu wymuszonego istotna jest struktura kopalnianej sieci wentylacyjnej [2], a szczególnie występowanie w niej prądów zależnych. Biorąc to pod uwagę, można wyróżnić następujące typy sieci wentylacyjnych:

- sieci, w których nie występują prądy zależne (w tym sieci normalne oraz sieci przekątne),
- sieci z prądami zależnymi, występującymi w strefie powietrza doprowadzanego (świeżego) i/lub w strefie powietrza odprowadzanego (zużytego). W tym typie sieci nie jest dopuszczalne występowanie prądów zależnych łączących podsieci wentylatorów głównego przewietrzania (prądów „międzysystemowych”),
- sieci z prądami zależnymi, łączącymi podsieci wentylatorów głównego przewietrzania, czyli sieci z prądami „międzysystemowymi”.

Zachodzące w polskim górnictwie procesy reorganizacji często powodują łączenie się kopalń, co z kolei może się przyczynić do powstawania prądów zależnych [3] (w tym prądów „międzysystemowych”) w kopalnianej sieci wentylacyjnej. Dla takich sytuacji potrzebna jest regulacja pracy wentylatora (lub w skrajnych przypadkach jego wymiana), która powinna być poprzedzona obliczeniami pozwalającymi na określenie potrzebnych parametrów pracy wentylatora, w tym jego spiętrzenia i mocy użytecznej.

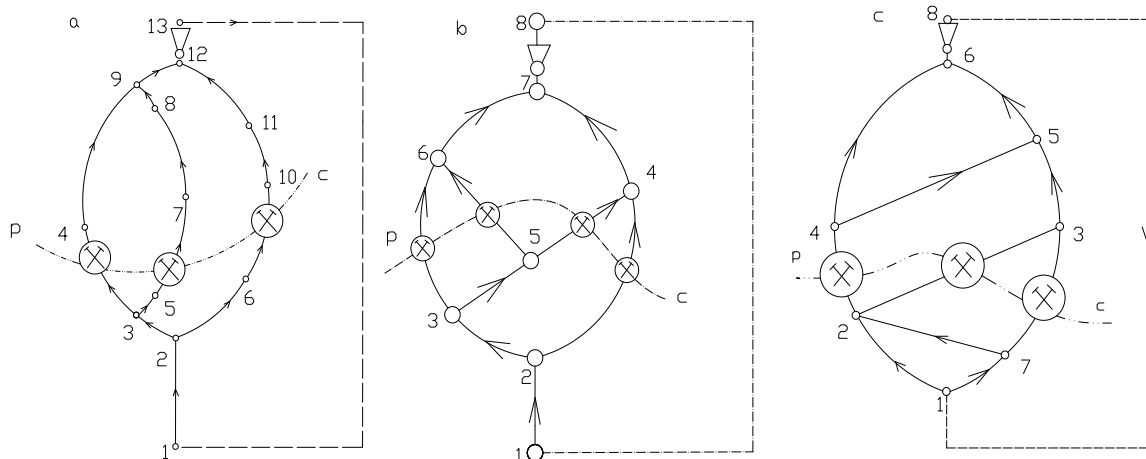
W niniejszym artykule przedstawiono przykład doboru parametrów pracy wentylatorów dla kopalnianej sieci wentylacyjnej z dwoma wentylatorami głównego przewietrzania zawierającej prądy „miedzystemowe” łączące podsieci tych dwóch wentylatorów. Obliczenia i analiza została wykonana dla sieci pasywnej.

22.2 SIECI WENTYLACYJNE Z POJEDYNCZYM WENTYLATOREM GŁÓWNEGO PRZEWIETRZANIA

Zagadnienie rozplywu wymuszonego dla sieci wentylacyjnych zawierających jeden wentylator głównego przewietrzania było przedmiotem licznych badań [6, 8, 9, 10]. Na rysunku 22.1 zostały przedstawione schematy kanoniczne będące przykładami takich sieci.

Przerywana linia p-c [2] oznacza przekrój całkowity przez sieć wentylacyjną, w skład którego to przekroju wchodzi wszystkie bocznicę będące odbiorami powietrza, w których znany jest a priori wydatek objętościowy powietrza. Po przeprowadzeniu takiego przekroju można dokonać podziału sieci wentylacyjnej na strefę powietrza doprowadzanego (świeżego) – poniżej bocznic zaliczanych do przekroju całkowitego i strefę powietrza odprowadzanego (zużytego) – powyżej wspomnianej linii.

W sieci normalnej (rys. 22.1a) oraz w sieci przekątnej bez prądów zależnych (rys. 22.1b) wyznaczenie wydatków objętościowych we wszystkich bocznicach nie stanowi problemu i może być wykonane bez zastosowania techniki komputerowej.



Rys. 22.1 Przykłady sieci wentylacyjnych:
a) normalnych, b) przekątnych bez prądów zależnych,
c) przekątnych z prądami zależnymi z jednym wentylatorem głównym.

Wykorzystanie wyłącznie prawa równowagi [7] dla węzłów pozwala na określenie wydatków objętościowych w każdej z bocznic. Dla sieci wentylacyjnych z prądami zależnymi (rys. 22.1c), przy wyznaczaniu wydatków objętościowych, konieczne staje się zastosowanie zarówno prawa równowagi dla węzłów, jak i prawa równowagi dla oczek wentylacyjnych. Przedstawiona na rysunku 1c sieć wentylacyjna zawiera dwa prądy zależne: prąd w bocznicie 7-2 (według numeracji węzłów) w strefie powietrza doprowadzanego oraz prąd w bocznicie 4-5 w strefie powietrza odprowadzanego.

Rozwiązanie równań wynikających z II prawa równowagi dla dwóch oczek wentylacyjnych (które odpowiednio tworzą bocznicę: 1-2, 7-2, 1-7 – pierwsze oczko oraz 4-5, 5-6, 4-6 – drugie oczko) przy jednoczesnym wykorzystaniu I prawa równowagi (7 niezależnych równań) pozwala na wyznaczenie wydatków objętościowych powietrza w każdej z dziewięciu bocznic o nieznanych a priori wydatkach powietrza. Sieci wentylacyjne kopalń mogą jednak być znacznie bardziej skomplikowane i zawierać znacznie większą liczbę prądów zależnych. W takich sytuacjach nieodzowne staje się zastosowanie programów komputerowych pozwalających na wyznaczenie rozplywu powietrza.

W ogólnym przypadku w sieciach wentylacyjnych z jednym wentylatorem głównym założenie określonego wydatku powietrza w każdej bocznicie należącej do przekroju całkowitego pozwala na wyznaczenie rozplywu powietrza w całej sieci na podstawie praw równowagi. Uzyskany z obliczeń rozplyw powietrza jest jedynym możliwym rozplywem spełniającym prawa równowagi.

Należy jednak zauważyć, że liczba równań wynikających z praw równowagi wynosi m i jest równa liczbie bocznic, natomiast niewiadomych występujących w zagadnieniu rozplywu wymuszonego wynosi $m+1$. Dla sieci przedstawionej na rysunku 22.1c liczba równań wynosi 12 (w tym 5 równań oczkowych oraz 7 równań dla węzłów), natomiast liczba niewiadomych wynosi 13 (9 wydatków objętościowych powietrza w bocznicach, które nie zostały zaliczone do przekroju

całkowitego, potrzebne spiętrzenie wentylatora głównego przewietrzania H_g oraz nastawy regulatorów rozpływu powietrza – 3). Implikuje to istnienie nieskończonej liczby rozwiązań zagadnienia rozpływu wymuszonego powietrza różniących się nastawami regulatorów i potrzebnym spiętrzeniem wentylatora głównego przewietrzania (jednakże wydatki objętościowe powietrza w bocznicach są identyczne dla każdego z rozwiązań). W celu zminimalizowania mocy użytecznej wentylatora głównego przewietrzania, a poprzez to kosztów wentylacji, stosuje się w następujących wariantach:

- a) tamę regulacyjną o oporze zerowym (brak tamy) na drodze najtrudniejszej przy regulacji dodatniej,
- b) wentylator pomocniczy o zerowym spiętrzeniu (brak wentylatora) na drodze najłatwiejszej przy regulacji ujemnej,
- c) braku regulatora na drodze pośredniej przy regulacji mieszanej.

22.3 SIECI WENTYLACYJNE Z DWOMA WENTYLATORAMI GŁÓWNEGO PRZEWIETRZANIA

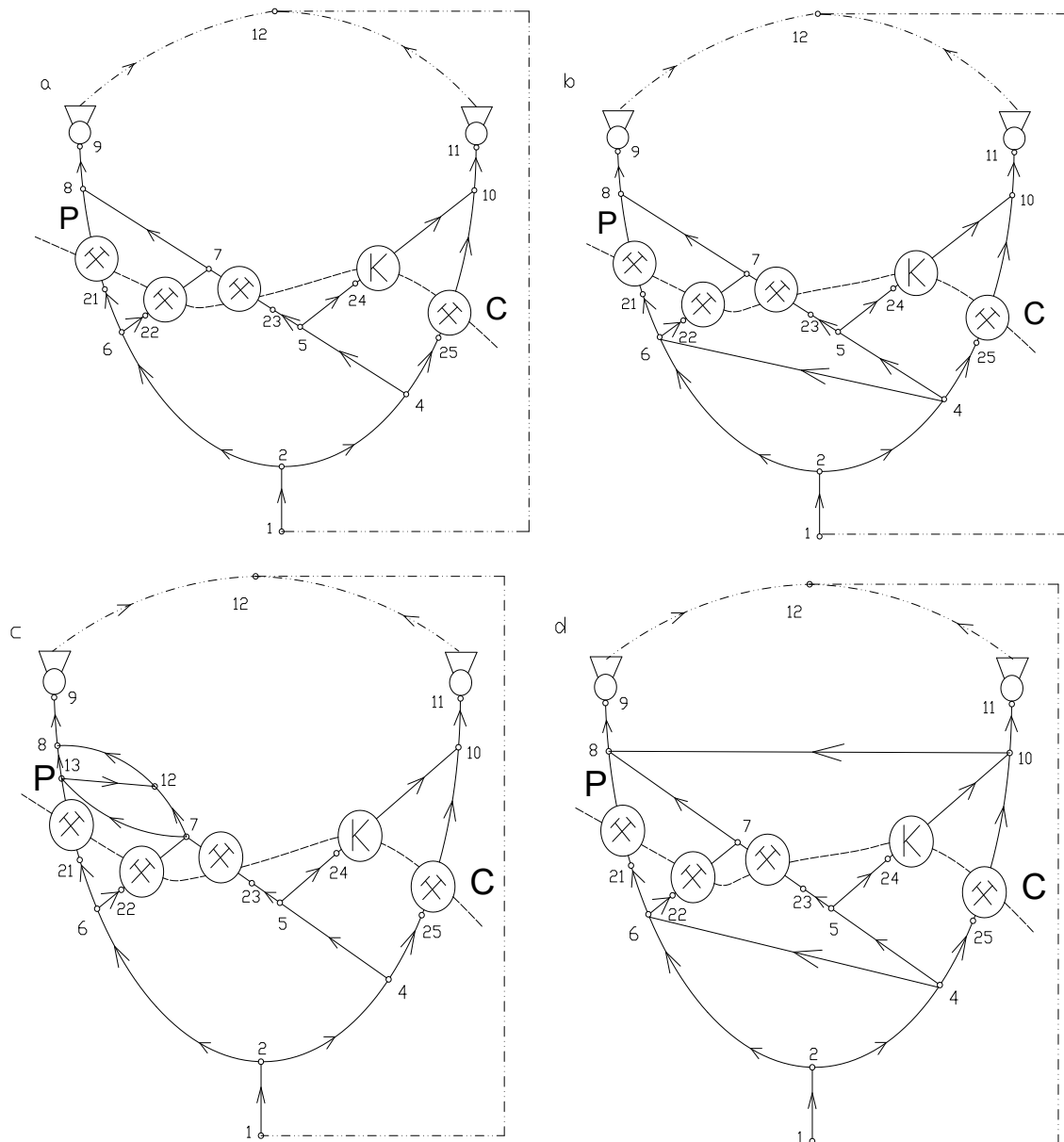
W sieciach wentylacyjnych z dwoma wentylatorami głównego przewietrzania mogą zachodzić następujące przypadki [4, 5]:

- sieci bez prądów zależnych (rys. 22.2a),
- sieci z prądami zależnymi w strefie powietrza świeżego (rys. 22.2b) – prąd zależny występuje w bocznicach 4-6,
- sieci z prądami zależnymi w strefie powietrza zużytego (rys. 22.2c) – prąd zależny występuje w bocznicach 13-12,
- sieci z prądami zależnymi łączącymi podsieci dwóch wentylatorów głównych (rys. 22.2d) – prąd zależny łączący podsieci dwóch wentylatorów to prąd w bocznicach 8-10. Dodatkowo w tej sieci występuje prąd zależny w strefie powietrza świeżego – w bocznicach 4-6.

Linia przerywaną p-c, przechodzącą przez odbiory powietrza, oznaczono analogicznie do rysunku 1, przekrój całkowity przez sieć wentylacyjną.

Sposób postępowania przy wyznaczaniu rozpływu wymuszonego powietrza dla sieci wentylacyjnych, w których nie występują prądy zależne łączące podsieci wentylatorów głównego przewietrzania (rys. 22.2a, 22.2b, 22.2c) jest podobny do sposobu stosowanego w sieciach z jednym wentylatorem głównego przewietrzania, który został opisany w poprzednim rozdziale. W takich sieciach (rys. 22.2a, 22.2b oraz 22.2c), występować będą 2 odrębne (różne) drogi krytyczne, dla każdego z dwóch wentylatorów. Liczba równań wynikających z praw równowagi jest równa liczbie bocznic m , a liczba niewiadomych jest równa $m+2$. Występowanie dwóch niezależnych dróg krytycznych (z których każda przechodzi przez inny odbiór powietrza), po jednej dla każdego z wentylatorów, pozwala na wyznaczenie potrzebnych spiętrzeń tych wentylatorów uwzględniających rodzaj stosowanej regulacji. Warto wspomnieć, że dla takich sieci istnieje tylko jeden możliwy rozplływ powietrza na poszczególne bocznicę, a więc wydatek objętościowy powietrza na

każdym z wentylatorów może być jednoznacznie obliczony. Analizując schemat kanoniczny przedstawiony na rysunku 2c można stwierdzić, że wydatek powietrza przepływającego przez wentylator znajdujący się w bocznicy 9-12 musi być równy sumie wydatków powietrza w bocznicach 21-13, 22-7, 23-7, natomiast wydatek powietrza na wentylatorze umieszczonym w bocznicy 11-12 będzie równy sumie wydatków powietrza w bocznicach 24-10 i 25-10. Analogiczne wnioski dostarczyłaby analiza schematów z rysunków 22.2a i 22.2b.



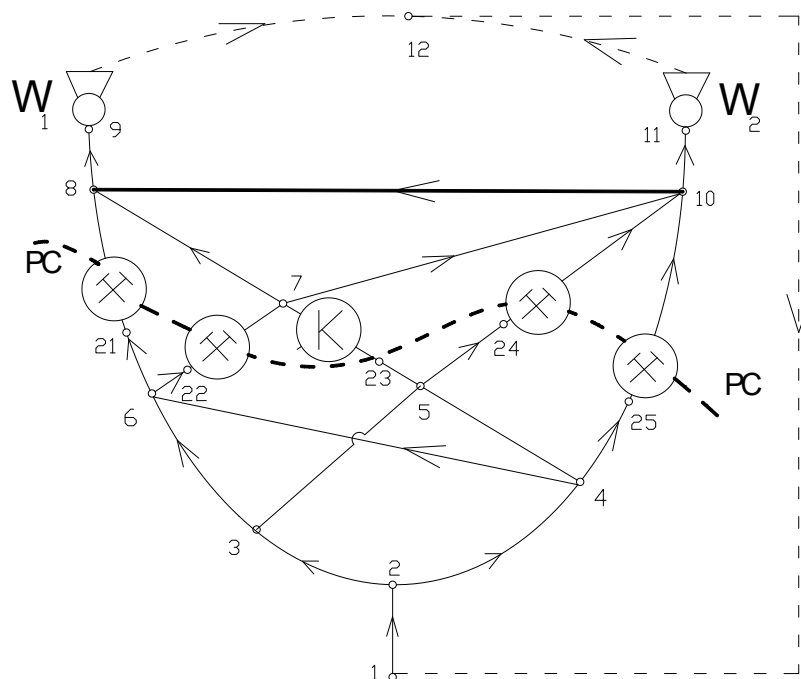
Rys. 22.2 Przykłady sieci wentylacyjnych: a) bez prądów zależnych, b) z prądami zależnymi w strefie świeżej, c) z prądami zależnymi w strefie zużytej, d) z zużytymi prądami zależnymi pomiędzy podsieciami dwóch wentylatorów głównych

W sieci wentylacyjnej przedstawionej na rysunku 22.2d występuje prąd zależny (w bocznicy 8-10), który pozwala na „kierowanie” przepływem powietrza

na poszczególne wentylatory. Możliwe jest takie dobranie wartości spiętrzeń wentylatorów głównego przewietrzania, które spowoduje odwrócenie kierunku przepływu powietrza w bocznicy 8-10 (względem przedstawionego na rysunku 22.2d), a nawet skierowanie całości powietrza, ze wszystkich pięciu odbiorów, na jeden wentylator główny. Dlatego, w tej sieci, będzie istnieć nieskończenie wiele różniących się od siebie rozpływów powietrza w strefie „zużytej” spełniających prawa równowagi oraz zapewniających dostarczenie przyjętej z góry ilości powietrza do bocznic należących do przekroju całkowitego. Każdy z tych rozpływów będzie charakteryzował się innymi od pozostałych potrzebnymi spiętrzeniami wentylatorów oraz ich mocami użytkowymi, co wiąże się z kosztami ich pracy [1, 3]. Prawdopodobna jest sytuacja, w której drogi krytyczne prowadzące do każdego z wentylatorów będą przechodzić przez ten sam odbiór powietrza. W dalszej części artykułu zostanie przedstawiony przykład sieci wentylacyjnej z dwoma wentylatorami głównego przewietrzania, która zawiera prąd powietrza łączący podsieci tych wentylatorów. Poszukiwany będzie taki rozpływ wymuszony powietrza dla którego moc użyteczna wentylatorów jest jak najmniejsza.

22.4 PRZYKŁAD OBLICZEŃ ROZPŁYWU WYMUSZONEGO

Na rysunku 22.3 przedstawiono schemat kanoniczny sieci wentylacyjnej z dwoma wentylatorami.



Rys. 22.3 Przykład sieci wentylacyjnej kopalni A z dwoma wentylatorami zawierającej prądy zależne łączące podsieci wentylatorów

W tej sieci znajduje się 5 odbiorów powietrza (4 rejon wydobywczy i 1 komora funkcyjna). Bocznic z odbiorami powietrza (21-8, 22-7, 23-7, 24-10 oraz

25-10) zostały zaliczone do przekroju całkowitego i a priori przyjęto dla nich wydatki objętościowe powietrza (tab. 22.1). W analizowanej sieci występują prądy zależne w strefie powietrza świeżego (np. prąd powietrza w bocznicy 4-6) oraz prądy zależne w strefie powietrza zużytego łączące podsieci wentylatora W_1 i wentylatora W_2 (prąd powietrza w bocznicy 8-10). W skład sieci wentylacyjnej wchodzi 17 węzłów oraz 25 bocznic, a więc istnieje w niej 9 niezależnych oczek wentylacyjnych.

Tabela 22.1 Dane o sieci wentylacyjnej kopalni A

Numer bocznicy	Węzeł początkowy	Węzeł końcowy	Opór bocznicy [g/m ³]	Zadany wydatek [m ³ /min]
1	4	25	?	-
2	25	10	80	1200 (przyjmowany a priori)
3	5	24	?	-
4	24	10	100	800 (przyjmowany a priori)
5	5	23	?	-
6	23	7	150	500 (przyjmowany a priori)
7	6	22	?	-
8	22	7	80	1500 (przyjmowany a priori)
9	6	21	?	-
10	21	8	50	1000 (przyjmowany a priori)
11	1	2	100	-
12	2	3	150	-
13	2	4	80	-
14	3	5	70	-
15	3	6	100	-
16	4	6	120	-
17	4	5	140	-
18	7	8	30	-
19	7	10	80	-
20	8	9	150	-
21	8	10	50	-
22	10	11	80	-
23	9	12	0	-
24	11	12	0	-
25	12	1	0	-

Obliczenia rozplywu wymuszonego dla rozważanej sieci wykonano dla regulacji dodatniej. W skład niewiadomych wchodziły:

- wydatki objętościowe powietrza w bocznicach niezliczonych do odbiorów powietrza – 20 niewiadomych,
- opory tam regulacyjnych, które były zlokalizowane w bocznicach znajdujących się przed odbiorami powietrza (bocznic: 6-21, 6-22, 5-23, 5-24 i 4-25) – 5 niewiadomych,
- spiętrzenia wentylatorów głównego przewietrzania – 2 niewiadome.

Łączna liczba niewiadomych w tym przykładzie wynosiła 27.

Dla rozważanej sieci możliwe było ułożenie 25 równań wynikających z praw równowagi (w tym 16 równań węzłowych oraz 9 równań oczkowych).

Liczba niewiadomych przewyższała liczbę równań. Nie jest możliwe jednoznaczne wyznaczenie rozplywu powietrza w strefie powietrza zużytego (tj. w bocznicy 7-8, 7-10, 10-8, 8-9, 9-12, 10-11, 11-12), a w związku z tym również niemożliwe jest określenie drogi krytycznej. Ze względu na występowanie prądu zależnego w bocznicy 8-10 łączącego podsięci wentylatorów, uzyskiwane rozwiązania będą się różnić w wydatkach objętościowych powietrza we wspomnianych powyżej bocznicy oraz w potrzebnych spiętrzeniach wentylatorów głównego przewietrzania. Dlatego, w celu uzyskania jednego z rozwiązań należy przyjąć dodatkowe założenia. Założeniem tym może być przyjęcie wydatku powietrza V_{w1} w bocznicy z wentylatorem W_1 . Do obliczeń został wykorzystany pakiet programów komputerowych „WK”. W tabeli 22.2 przedstawione zostały wyniki obliczeń przy przyjętym wydatku V_{w1} wynoszącym 2500 m³/min, takie założenie odpowiada więc sytuacji gdy przez wentylatory W_1 i W_2 przepływa taka sama ilość powietrza, będąca połową ilości powietrza płynącego we wszystkich bocznicy zaliczonych do przekroju całkowitego.

Tabela 22.2 Wyniki obliczeń rozplywu wymuszonego powietrza dla sieci wentylacyjnej kopalni A - wariant z równomiernym rozplywem powietrza na wentylatory

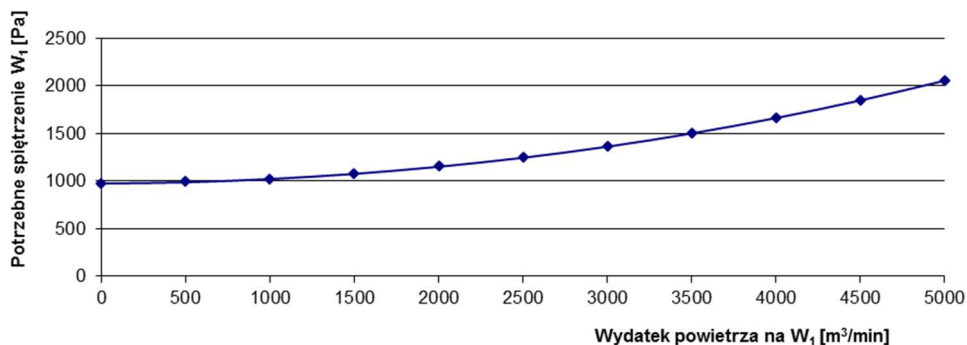
10	ms-400 siec przekatna 2 wentylatory 5 odbiorow do optymalizacji funkcj Nu=f(V)										
11	bocznic : 25 wezlow : 17 maks. wartosc wezla : 25 wentylatorow : 0										
12	-----										
13		Numer	Wezly	Opor	Wydatek powietrza	Dys.	Depr.				
14		bocznicy	bocznicy	(g/m ³)	(m ³ /min)	(m ³ /s)	(Pa)	(Pa)			
15		-----									
16		1	4 25	192.120	1200.00	20.0000	76.848	0.000			
17		2	25 10	80.000	1200.00	20.0000	32.000	0.000			
18		3	5 24	454.510	800.00	13.3333	80.801	0.000			
19		4	24 10	100.000	800.00	13.3333	17.778	0.000			
20		5	5 23	1092.270	500.00	8.3333	75.852	0.000			
21		6	23 7	150.000	500.00	8.3333	10.417	0.000			
22		7	6 22	0.000	1500.00	25.0000	0.000	0.000			
23		8	22 7	80.000	1500.00	25.0000	50.000	0.000			
24		9	6 21	177.300	1000.01	16.6668	49.251	0.000			
25		10	21 8	50.000	1000.01	16.6668	13.889	0.000			
26		11	1 2	100.000	5000.00	83.3334	694.445	0.000			
27		12	2 3	150.000	2104.57	35.0762	184.551	0.000			
28		13	2 4	80.000	2895.43	48.2571	186.300	0.000			
29		14	3 5	70.000	786.14	13.1023	12.017	0.000			
30		15	3 6	100.000	1318.44	21.9739	48.285	0.000			
31		16	4 6	120.000	1181.57	19.6928	46.537	0.000			
32		17	4 5	140.000	513.86	8.5643	10.269	0.000			
33		18	7 8	30.000	1255.69	20.9282	13.140	0.000			
34		19	7 10	80.000	744.30	12.4050	12.311	0.000			
35		20	8 9	150.000	2500.00	41.6667	260.417	0.000			
36		21	8 10	50.000	-244.30	-4.0717	-0.829	0.000			
37		22	10 11	80.000	2500.00	41.6667	138.889	0.000			
38		23	9 12	0.000	2500.00	41.6667	0.000	1250.838			
39		24	11 12	0.000	2500.00	41.6667	0.000	1128.481			
40		25	12 1	0.000	5000.00	83.3334	0.000	0.000			
41		-----									
42											
43		Z E S T A W I E N I E P O T E C J A L O W									
44		K O P A L N I A N E J S I E C I W E N T Y L A C Y J N E J									
45		-----									
46		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
47		0	-694	-879	-881	-891	-927	-977	-990	-1251	-990
48		-----									
49		11	12	21	22	23	24	25			
50		-1128	0	-977	-927	-967	-972	-958			
51		-----									

W tabeli 22.3 pogrubioną czcionką zaznaczono bocznicę z tamami regulacyjnymi (opór bocznicy jest oporem tamy regulacyjnej), zaś kursywą zaznaczono bocznicę z wentylatorami głównymi i niezbędnymi spiętrzeniami tych wentylatorów. Ujemna wartość wydatku powietrza w bocznicy 8-10 świadczy o uzyskanym kierunku przepływu powietrza z węzła 10 do węzła 8. Łatwo obliczyć, że moc użyteczna wentylatora W_1 , będąca iloczynem wydatku objętościowego powietrza przepływającego przez ten wentylator oraz spiętrzenia wentylatora będzie wynosić 52,118 kW, zaś wentylatora W_2 odpowiednio 47,02 kW. Sumaryczna moc użyteczna obydwu wentylatorów będzie więc wynosić 99,138 kW.

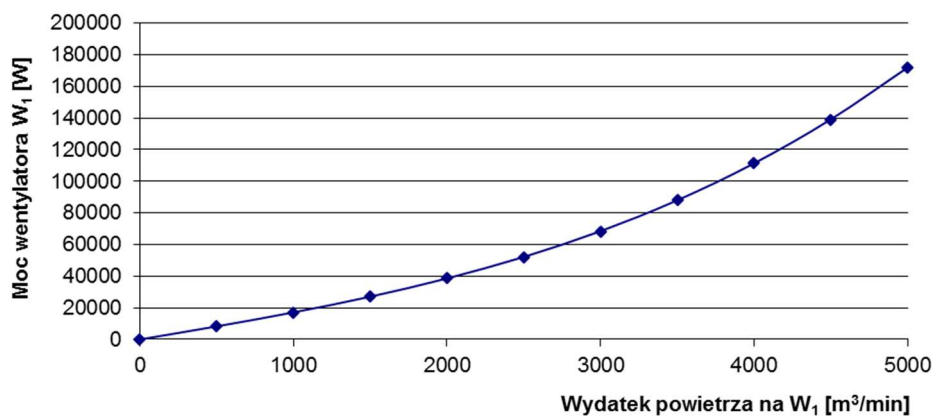
Powstaje pytanie, czy przy dla innych przyjmowanych wartości wydatku V_{w1} sumaryczna moc użyteczna będzie się różnić od uzyskanej w powyższym przypadku. W tym celu, dla analizowanej sieci wentylacyjnej, wyznaczono 10 dodatkowych rozpyłów wymuszonych powietrza, dla których to rozpyłów przyjmowano wydatek powietrza na wentylatorze W_1 w granicach 0-5000 m³/min, z krokiem co 500 m³/min. Uzyskane wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabeli 22.3 oraz na rysunkach 22.4-22.8 za pomocą charakterystyk zastępczych wentylatorów dla zagadnienia rozpyłu wymuszonego.

Tabela 22.3 Wariantowe wyniki obliczeń rozpyłu wymuszonego powietrza dla sieci wentylacyjnej kopalni A

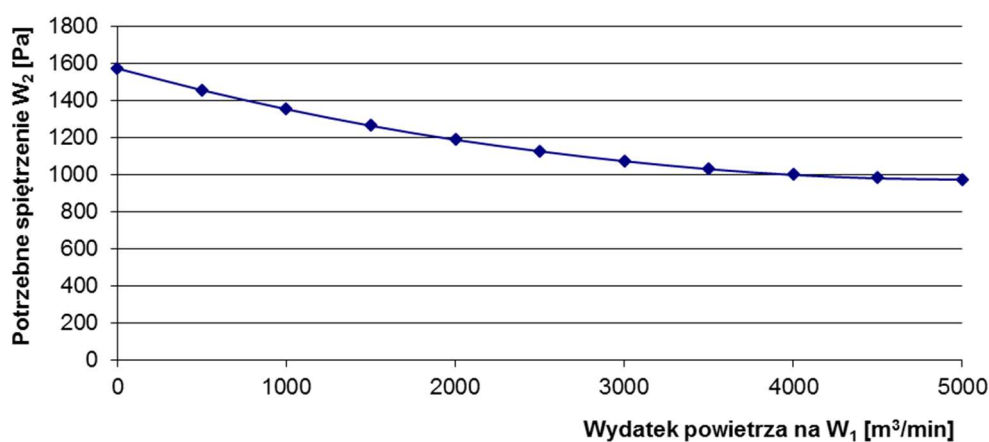
Wydatek powietrza na wentyl. W_1 [m ³ /min] Wartości przyjmowane	Potrzebne spiętrzenie wentylatora W_1 [Pa]	Moc użyteczna wentylatora W_1 [kW]	Wydatek powietrza na wentylatorze W_2 [m ³ /min]	Potrzebne spiętrzenie wentylatora W_2 [Pa]	Moc użyteczna wentylatora W_2 [kW]	Całkowita moc użyteczna wentylatorów [kW]
0	981	0	5000	1574	131,147	131,147
500	993	8,279	4500	1458	109,323	117,602
1000	1027	17,121	4000	1355	90,337	107,458
1500	1082	27,046	3500	1266	73,849	100,895
2000	1156	38,550	3000	1191	59,527	98,077
2500	1251	52,118	2500	1129	47,020	99,138
3000	1367	68,375	2000	1076	35,851	104,226
3500	1507	87,890	1500	1033	25,816	113,706
4000	1668	111,236	1000	1001	16,688	127,924
4500	1853	139,009	500	983	8,190	147,199
5000	2061	171,728	0	976	0	171,728



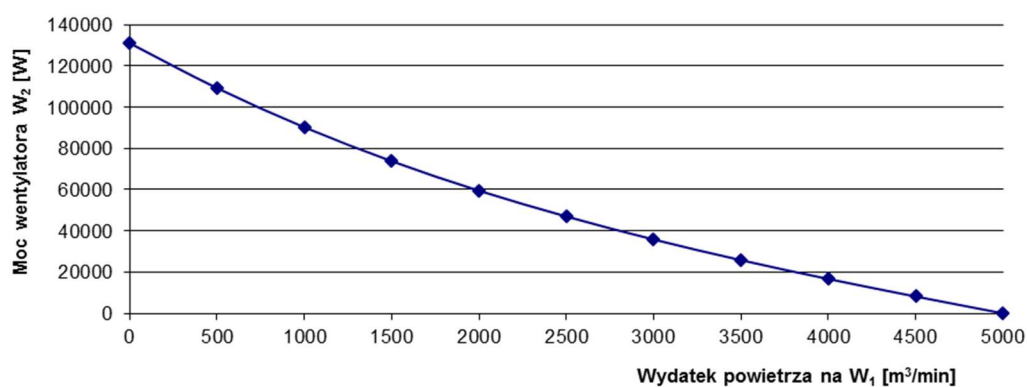
Rys. 22.4 Potrzebne spiętrzenie wentylatora W_1 w zależności od przyjmowanej wartości wydatku objętościowego powietrza na wentylatorze W_1



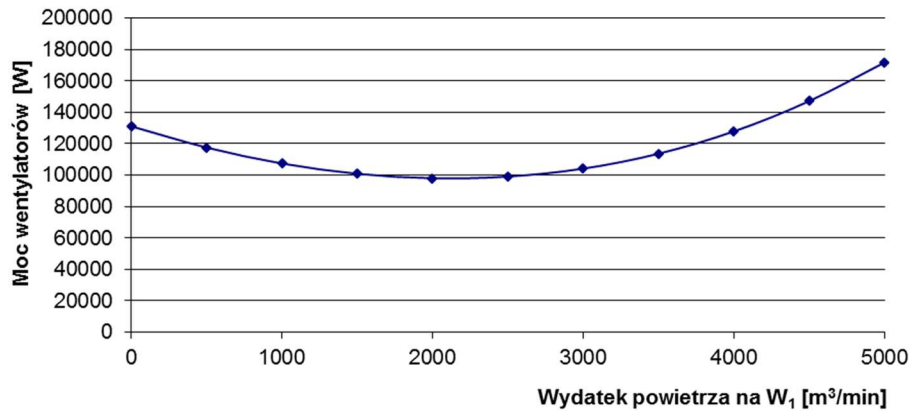
Rys. 22.5 Moc użyteczna wentylatora W_1 w zależności od przyjmowanej wartości wydatku objętościowego powietrza na wentylatorze W_1



Rys. 22.6 Potrzebne spiętrzenie wentylatora W_2 w zależności od przyjmowanej wartości wydatku objętościowego powietrza na wentylatorze W_1



Rys. 22.7 Moc użyteczna wentylatora W_2 w zależności od przyjmowanej wartości wydatku objętościowego powietrza na wentylatorze W_1



Rys. 22.8 Sumaryczna moc użyteczna wentylatorów W₁ i W₂ w zależności od przyjmowanej wartości wydatku objętościowego powietrza na wentylatorze W₁

Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że wraz ze wzrostem przyjmowanego wydatku powietrza V_{w1} rosną potrzebne spiętrzenie wentylatora W₁ (rys. 22.4) i moc użyteczna tego wentylatora (rys. 22.5), natomiast maleją potrzebne spiętrzenie wentylatora W₂ (rys. 22.6) oraz jego moc użyteczna (rys. 22.7). Wzrost przyjmowanego wydatku powietrza V_{w1} o pewną wartość ΔV powoduje spadek wydatku powietrza V_{w2} na wentylatorze W₂ o identyczną wartość ΔV . Można więc wyciągnąć następujący wniosek: czym większa ilość powietrza zostanie skierowana na wentylator tym większe jest jego potrzebne spiętrzenie oraz moc użyteczna. Porównując rysunki 22.4 i 22.6 i dane z tabeli 22.3 można stwierdzić, że wzrost potrzebnego spiętrzenia wentylatora W₁ pomiędzy dwoma skrajnymi stanami (dla $V_{w1} = 0 \text{ m}^3/\text{min}$ i dla $V_{w1} = 5000 \text{ m}^3/\text{min}$) wynosi 1080 Pa, natomiast spadek potrzebnego spiętrzenia wentylatora dla tych samych stanów wynosi 597 Pa. Można wnioskować, że wentylator W₁ reaguje silniej niż wentylator W₂ na „przekierowanie” powietrza. Warto dodać, że minimalne potrzebne spiętrzenia wentylatorów konieczne do zachowania kierunków przepływu powietrza przez wentylatory wynoszą: 981 Pa dla wentylatora W₁ oraz 976 Pa dla wentylatora W₂.

Dokonano aproksymacji zależności przedstawionej na rys. 22.4 funkcją kwadratową i uzyskano następująca zależność:

$$H_{w1} = 0,0000431 \cdot (V_{w1})^2 + 0,000675 \cdot (V_{w1}) + 983,139$$

dla której współczynnik determinacji R^2 wyniósł 1.

Analogicznie dla zależności z rysunku 6 uzyskano:

$$H_{w2} = 0,000024 \cdot (V_{w1})^2 - 0,237 \cdot (V_{w1}) + 1570,797$$

z identyczną wartością współczynnik R^2 .

Analizując informację dotyczące mocy użytecznej poszczególnych wentylatorów (rys. 22.5 i 22.7) można stwierdzić, analogicznie jak przy analizie spiętrzeń, o większym przyroście mocy użytecznej wentylatora W₁ wynoszącym 171,728 kW (porównując stany skrajne) niż spadku mocy użytecznej wentylatora W₂ wynoszącym 131,147 kW. Oczywiście, w przypadku zerowego przepływu powietrza przez wentylator W₁ lub W₂ jego moc użyteczna wynosiła 0 kW.

Także w tym przypadku dokonano aproksymacji, tym razem funkcją będącą wielomianem trzeciego stopnia i uzyskano odpowiednio dla zależności przedstawionej na rysunku 22.5:

$$N_{u,w1} = 0,0000007 \cdot (V_{w1})^3 - 0,000195 \cdot (V_{w1})^2 + 16,676 \cdot (V_{w1}) - 50,282$$

zaś dla zależności przedstawionej na rysunku 7:

$$N_{u,w2} = -0,00000042 \cdot (V_{w1})^3 + 0,00613 \cdot (V_{w1})^2 - 46,383 \cdot (V_{w1}) + 131082,134$$

w obydwu przypadkach uzyskując wartość współczynnika R^2 wynoszącą 1.

Analizując rysunek 22.8, można stwierdzić o występowaniu minimum funkcji sumarycznej mocy użytecznej obu wentylatorów. Funkcja aproksymująca została przyjęta jako wielomian trzeciego stopnia i ma następującą postać:

$$N_u = 0,00000032 \cdot (V_{w1})^3 + 0,00594 \cdot (V_{w1})^2 - 29,707 \cdot (V_{w1}) + 131031,852$$

zaś współczynnik R^2 dla niej wynosi 1.

Znajomość powyższej funkcji pozwala na wyznaczenie wydatku V_{w1} , przy którym uzyskana zostanie najniższa sumaryczna moc obu wentylatorów. Następnie przy przyjęciu takiego wydatku można wyznaczyć najbardziej korzystny ze względu na minimalizację mocy użytecznej wentylatorów rozpyw wymuszony powietrza. Dla analizowanego przykładu optymalna wartość wydatku V_{w1} wyniosła 2132,9 m³/min, przy której sumaryczna moc użyteczna obu wentylatorów wyniosła 97,978 kW i była niższa od uzyskiwanych w każdym z wariantów przedstawionych w tabeli 22.3. Potrzebne spiętrzenia wentylatorów wynosiły: wentylatora W_1 – 1179,598 Pa, zaś wentylatora W_2 – 1172,870 Pa.

Na samym końcu, należy przypomnieć, że dla przedstawianych wariantów ilości powietrza w poszczególnych bocznicach odbioru były identyczne dla każdego z wariantów. Wyniki obliczeń różniły się jednak rozpywem powietrza w strefie zużytej, potrzebnymi spiętrzeniami wentylatorów, ich mocami użytecznymi oraz nastawami regulatorów (oporami tam regulacyjnych).

22.5 WNIOSKI

1. W obliczeniach rozpywu wymuszonego powietrza dla kopalnianych sieci wentylacyjnych, w których nie występują prądy zależne łączące podsieci wentylatorów głównego przewietrzania, wydatki powietrza dla każdej z bocznic są możliwe do wyznaczenia na podstawie praw równowagi dla sieci wentylacyjnych. Znajomość tych wydatków pozwala na znalezienie drogi krytycznej, a następnie zgodnie ze znanymi metodami określenie potrzebnych spiętrzeń wentylatorów oraz nastaw regulatorów przepływu powietrza.
2. W procesie restrukturyzacji kopalń często dochodzi do ich łączenia, co może przyczynić się do powstawania prądów zależnych łączących podsieci wentylatorów głównego przewietrzania.
3. Dla takich przypadków zachodzi konieczność modyfikacji znanych metod przeprowadzania obliczeń rozpywu wymuszonego powietrza.
4. Przedstawiona w artykule metoda bazuje na dodatkowym założeniu, mianowicie wariantowym przyjmowaniu wydatku powietrza w jednej z bocznic z wentylatorem.

Dla takiego warunku obliczany jest rozpływ powietrza na pozostałe bocznice, a następnie wyznaczane są potrzebne spiętrzenia wentylatorów i nastawy regulatorów.

5. Wyznaczając pewną liczbę wymuszonych rozpływów powietrza dla analizowanej sieci wentylacyjnej, możliwe było utworzenie charakterystyk zastępczych wentylatorów (rys. 22.4-22.8), które pozwalają na określenie potrzebnego spiętrzenia, mocy użytecznej wentylatorów w zależności od ilości powietrza przepływającego przez jeden z nich.

6. W przedstawionym przykładzie istnieje minimum sumarycznej mocy użytecznej obu wentylatorów związane z rozdziałem powietrza na poszczególne wentylatory.

7. Wskazane w artykule charakterystyki mogą być aproksymowane funkcjami kwadratowymi (dla zależności spiętrzenie – wydatek powietrza) i funkcjami będącymi wielomianami trzeciego stopnia (dla zależności moc użyteczna – wydatek powietrza), co wydaje się być zgodne z teorią sieci wentylacyjnych.

LITERATURA

1. E. De Souza. „Improving the energy efficiency of mine fan assemblages.” *Applied Thermal Engineering*, vol. 90, pp. 1092–1097, 2015. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.04.048]
2. M. Kolarczyk. *Wpływ struktury kopalnianej sieci wentylacyjnej na wrażliwości prądów powietrza przy zmianach oporów bocznic*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 214, 1993.
3. M. Kolarczyk, G. Pach, M. Oleksy. „Szczególny przypadek doboru spiętrzeń dwóch wentylatorów głównych w obliczeniach wymuszonego rozpływu powietrza w kopalni.” *Przegląd Górniczy*, t. 63, nr 7/8, pp. 22-28, 2007.
4. M. Kolarczyk, G. Pach, M. Oleksy. „Wybrane właściwości struktury kopalnianej sieci wentylacyjnej zawierającej prądy zależne.” *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej s. Górnictwo*, z. 279, pp. 241-254, 2007.
5. E. Krausek, K. Łukowicz. „Wpływ struktury kopalnianej sieci wentylacyjnej na skuteczność ujęcia metanu.” *Prace Naukowe GIG, s. Górnictwo i Środowisko*, nr 4, pp. 95-108, 2012.
6. B. Madeja-Strumińska, A. Strumiński. *Projektowanie naturalno-wymuszonych rozpływów powietrza w kopalnianych podziemnych*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2004, pp. 109.
7. M. McPherson. *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*. Ed. Springer-Science+Business Media, BV1993. doi: [DOI 10.1007/978-94-011-1550-6]
8. A. Sałustowicz. „Obliczanie oporu ogólnego i regulacji ilości powietrza w złożonych systemach wentylacyjnych.” *Przegląd Górniczo-Hutniczy*, nr 6, pp. 287-295, 1930.
9. A. Sałustowicz. „Regulacja odjemna i mieszana w złożonych systemach wentylacyjnych.” *Przegląd Górniczo-Hutniczy*, nr 9, pp. 426-436, 1930.
10. A. Sałustowicz. „Przewietrzanie kopalń za pomocą kilku szybów wentylacyjnych.” *Przegląd Górniczo-Hutniczy*, nr 11, pp. 614-617, 1931.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 10.2016
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 03.2017

dr inż. Grzegorz Pach

Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa i Geologii
Instytut Eksploatacji Złóż
ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice, Polska
e-mail: grzegorz.pach@polsl.pl

CHARAKTERYSTYKI ZASTĘPCZE WENTYLATORÓW W ZAGADNIENIACH WYMUSZONEGO ROZPŁYWU POWIETRZA

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań nad charakterystykami zastępczymi wentylatorów. Przypomniano podstawowe wiadomości dotyczące tematyki wymuszonego rozplywu powietrza (dawna nazwa to regulacja sieci wentylacyjnej) oraz rodzajów stosowanych przy niej rozwiązań. Wykazano możliwość wykorzystania charakterystyk zastępczych w zagadnieniu wymuszonego rozplywu powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych, w szczególności w przypadku występowania w nich zależnych prądów powietrza zużytego łączących podsieci wentylatorów głównego przewietrzania. Wspomniane charakterystyki mogą być przedstawione jako zależności łączące wydatek objętościowy powietrza w wybranej boczniczy wentylacyjnej z wymaganym spiętrzeniem wentylatorów zapewniającym utrzymanie zadanej a priori ilości powietrza w bocznicach, w których następuje jego zużycie. Kolejna forma to charakterystyki pozwalające na określenie mocy użytecznej poszczególnych wentylatorów oraz całkowitej mocy użytecznej wszystkich wentylatorów głównego przewietrzania w kopalni w odniesieniu do wydatku objętościowego powietrza w wybranej boczniczy wentylacyjnej. W artykule przedstawiony został przykład obliczeniowy dla kopalnianej sieci wentylacyjnej zawierającej dwa wentylatory głównego przewietrzania, których podsieci są wzajemnie połączone w strefie powietrza zużytego. Zwrócono uwagę, na możliwość wykorzystania tytułowych charakterystyk przy doborze optymalnego wymuszonego rozplywu powietrza mającego na celu obniżanie kosztów wentylacji kopalni przy jednoczesnym zapewnieniu stałej, bezpiecznej ilości powietrza w miejscach jego odbioru, tj. np. w rejonach wydobywczych, komorach funkcyjnych.

Słowa kluczowe: kopalniana sieć wentylacyjna, rozplyw wymuszony powietrza, prądy zależne powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych, moc użyteczna wentylatora, optymalizacja kopalnianej sieci wentylacyjnej

SUBSTITUTE CHARACTERISTICS OF VENTILATORS IN THE FORCED AIRFLOW PROBLEMS

Abstract: *In this article the results of the research on the substitutive characteristics of ventilators have been presented. There has been reminded the basics knowledge concerning the forced airflow (the old name: mine network regulation) and different kinds of solutions applied to it. There has also been presented the possibility of using substitutive characteristics in the matter of forced airflow in the mine ventilation nets and especially in the case of appearing the dependent currents of used air uniting the subnets of fans of the main venting. Above mentioned characteristics can be presented as dependencies of the volume of the air in a chosen ventilatory branches and the required pressure drop of the fans which are to maintain the requested beforehand amount of air in the branches where its usage takes place. Another form are the characteristics allowing to define the output power of each fan and the aggregate output power of all the fans in the main venting in the mine with respect to the cubic amount of air in a chosen branches. In the article there has been presented a calculative example for the ventilatory net comprising two fans of the main venting whose subnets are interlinked in the area of the used air. Attention has been drawn to the possibility of using the titulary characteristics in lowering the costs of ventilating the mine and at the same time in maintaining the fixed and safe amount of air in the place of its reception, i.e. in the excavating regions or functional chambers.*

Key words: *mine ventilation network, forced airflow, dependent air currents in mine ventilation network, fan useful power, mine ventilation network optimization.*