

Ocena wpływu włączenia wentylatora tłoczącego na rozptyw powietrza w sieci wentylacyjnej kopalni rud miedzi

Streszczenie: Eksploatacja w kopalni rud miedzi wymaga udostępniania nowych partii złoża. Wydobycie prowadzone jest z czynnych wyrobisk podziemnych, a przy znacznych odległościach projektuje się najczęściej szyby wdechowe. Z uwagi na duże odległości pomiędzy projektowanymi szymbami wdechowymi a istniejącymi szymbami wydechowymi mogą występować trudności z doprowadzeniem wymaganych ilości powietrza do projektowanych oddziałów wydobywczych. Dlatego też rozważane są możliwości zabudowy podziemnej stacji wentylatorów tłoczących na podszybiu szybu wdechowego. Ich celem jest zwiększenie objętościowego natężenia przepływu powietrza w sieci wentylacyjnej. W oparciu o obliczenia rozptyłu powietrza w sieci wentylacyjnej jednej z kopalń rud przedstawiono ocenę skuteczności takiego rozwiązania.

Słowa kluczowe: wentylacja kopalni rud miedzi, sieć wentylacyjna, wentylatory główne, strumień powietrza doprowadzanego.

Impact assessment of tche applying additional forcing fans for the air distribution in ventilation network in copper ore mine

Summary: Mining progress in underground copper ore mines requires workings in newly-opened deposits. The excavation is being carried from the operationg workings and when there are long distances the downcast shafts are designed. In many cases the distance between downcast and ventilations shafts are relatively big, so there might be a problem with necessary air flow distribution in new mining districts. In the article the author presented the efficiency of such a development, based on calculating the air distribution inside the ventilation network of a copper mine. Therefore the possibilities to install the subsurface fan stations with forcing fans at the bottom of the downcast shaft are considered.

Keywords: underground copper ore mine ventilation, ventilation network, main fans, intake air flow.

1. Wprowadzenie

Eksploracja w kopalniach rud miedzi wiąże się z ciągłym przemieszczeniem frontów eksploatacyjnych. Udostępnianie nowych rejonów powoduje wydłużanie dróg doprowadzenia i odprowadzenia powietrza do nowych rejonów, a co za tym idzie, zwiększenie oporów przepływu powietrza na tych drogach. Udostępnienie nowych partii złoża szybami prowadzone jest rzadko. Jeżeli wykonuje się szyby, to ze względów technologicznych są to najczęściej szyby wdechowe.

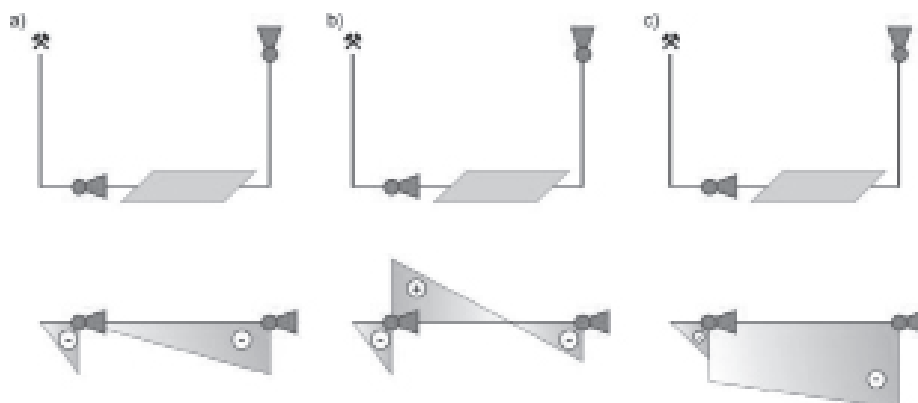
W polskich kopalniach podziemnych stosuje się wentylację ssącą, a stacje wentylatorów głównego przewietrzania zabudowane są na powierzchni. Powietrze doprowadzane jest do kopalń za pomocą jednego lub kilku szybów wdechowych. Po przewietrzeniu oddziałów wydobywczych, oddziałów przygotowawczych i komór funkcyjnych powietrze odprowadzane jest szybami wentylacyjnymi na powierzchnię. W sieciach o dużym stopniu skomplikowania zabudowane przy szybach wydechowych wentylatory bardzo często oddziałują na siebie w różnych jej miejscach.

W rozbudowanych sieciach wentylacyjnych może zająć potrzeba zmian w organizacji rozprowadzenia powietrza, celem doprowadzenia do nowo udostępnionej partii złoża większego strumienia objętościowego powietrza. W kopalniach rud miedzi jednym ze sposobów realizacji tego celu może być zabudowa na podszybiu jednego z szybów wdechowych podziemnej stacji wentylatorów pomocniczych.

W artykule dokonano oceny wpływu zabudowy podziemnej stacji wentylatorów pomocniczych (tłoczących) na rozplływ powietrza w sieci. Rozważania te przeprowadzono na modelu numerycznym stanowiącym uproszczenie rzeczywistej sieci wentylacyjnej kopalni rud miedzi. Obliczenia prowadzone były z zastosowaniem metody Crossa dotyczącej rozwiązywania sieci wentylacyjnych [1].

2. Sieć wentylacyjna kopalni

W polskich kopalniach rud stosowany jest system wentylacji ssącej, a stacje wentylatorów głównego przewietrzania zlokalizowane są na powierzchni. W kopalniach tych, z uwagi na eksploatację kopalni niepalnych, istnieje możliwość stosowania wentylacji tłocząco-ssącej [2]. Może być ona realizowana poprzez zabudowę w wyrobiskach podziemnych stacji wentylatorów (najczęściej w sąsiedztwie podszybi szybów wdechowych). W układach ssąco-tłoczących (z większą liczbą wentylatorów) niezbędny jest właściwy dobór charakterystyki wentylatorów ssących i tłoczących, aby nie dopuścić do niewłaściwego wzajemnego oddziaływania wentylatorów (ujemne wartości spiętrzenia jednego z wentylatorów), co przedstawiono na rysunku 1.



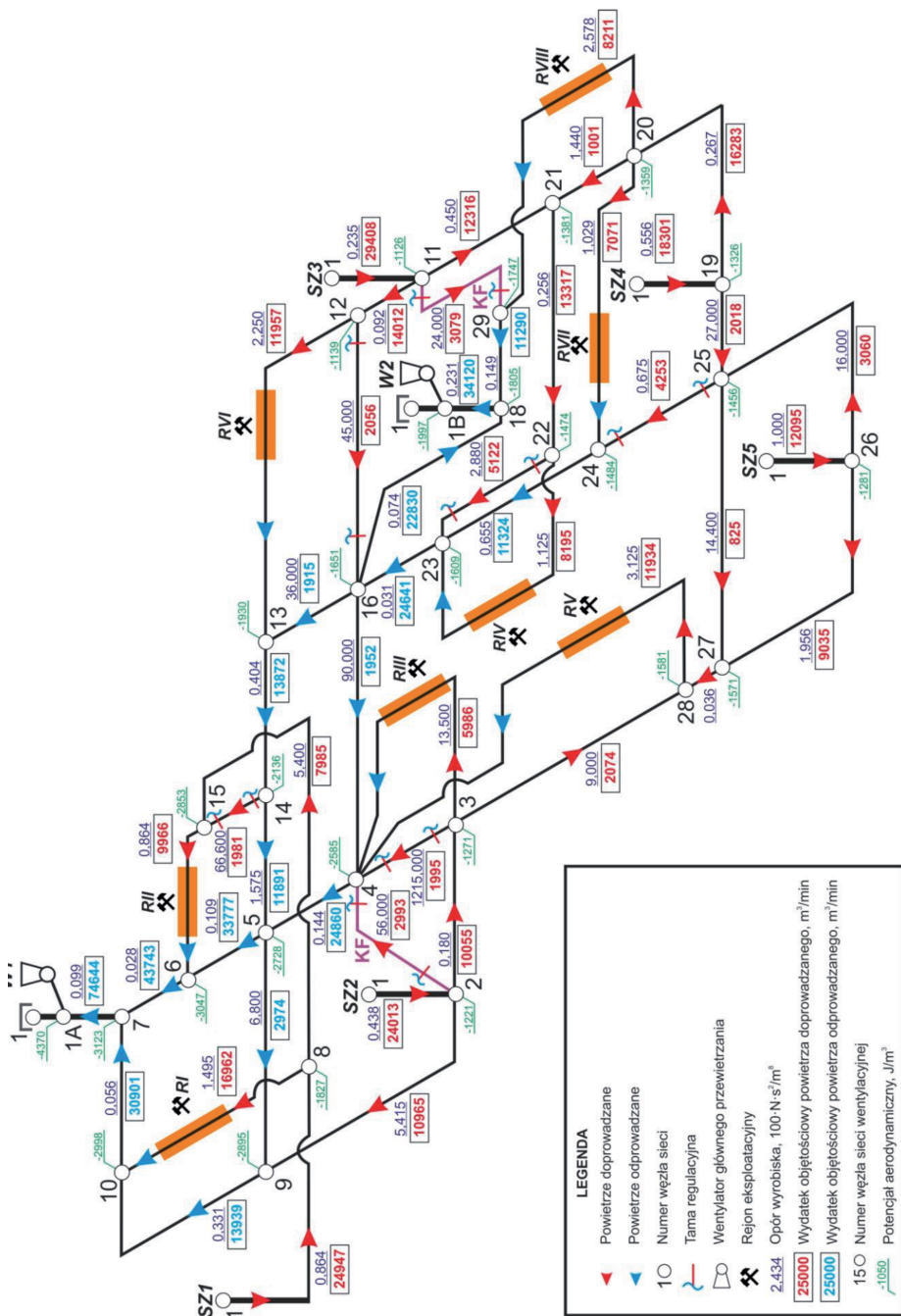
Rys. 1. Rozkład straty naporu powietrza (dyssypacji energii) w sieci wentylacyjnej dla układu ssąco-tłoczącego z dwoma wentylatorami; a) i b) rozkład prawidłowy, c) rozkład nieprawidłowy

Źródło: oprac. własne.

W sieciach wentylacyjnych o dużym stopniu skomplikowania konieczne jest przeprowadzenie obliczeń rozptyłu powietrza [2, 3]. Obliczenia można prowadzić, wykorzystując metody rozwiązywania złożonych sieci wentylacyjnych. Ocenę wpływu włączenia wentylatora tłoczącego na rozptył powietrza w sieci wentylacyjnej kopalni rud miedzi przeprowadzono w oparciu o obliczenia wykonane programem komputerowym Ventgraph, wykorzystującym metodę Crossa rozwiązywania sieci wentylacyjnych. Model zastosowany do obliczeń został przedstawiony w publikacji [6]. Obliczenia prowadzono dla uproszczonej sieci wentylacyjnej jednej z kopalń rud miedzi. Opory poszczególnych wyrobisk wyznaczone zostały w oparciu o przeprowadzone w sieci pomiary wentylacyjne. Wykonywano pomiary ciśnień w węzłach sieci wentylacyjnej kopalni. W obliczeniach uwzględniono także zmiany gęstości powietrza w sieci.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat przestrzenny uproszczonej sieci wentylacyjnej analizowanej kopalni podziemnej (na rysunku naniesiono opory poszczególnych bocznic sieci). Sieć wentylacyjną można zaliczyć do tzw. grupy sieci bardzo złożonych [4, 5].

Powietrze do wyrobisk górniczych doprowadzane jest pięcioma szybami wdechowymi, natomiast odprowadzane poprzez dwa szyby wydechowe (z zabudowanymi na powierzchni stacjami wentylatorów głównego przewietrzania). W sieci znajduje się osiem oddziałów wydobywczych oraz komory funkcyjne, które zostały zaznaczone na rysunku 2. Na rysunku przedstawiono również wartości strumienia objętościowego powietrza w poszczególnych bocznicach, które są wynikami obliczeń rozptyłu powietrza w sieci w oparciu o wykonane pomiary. Na schemacie zaznaczono także wyrobiska z zabudowanymi tamami regulacyjnymi. Z uwagi na duże skomplikowanie sieci została ona uproszczona i przedstawiona za pomocą charakterystycznych węzłów sieci. Wyrobiska „wielonitkowe” zostały zastąpione pojedynczymi wyrobiskami o zastępczym oporze. Uproszczona sieć wentylacyjna składa się z 57 bocznic i 33 węzłów, które tworzą 25 niezależnych oczek wentylacyjnych.



Rys. 2. Schemat przestrzenny analizowanej sieci wentylacyjnej – stan wyjściowy

Źródło: oprac. własne.

Przy szybie W1 zabudowana jest powierzchniowa stacja wentylatorów równoległych, których wypadkową charakterystykę opisuje równanie:

$$\Delta p = -0,0058 \cdot Q^2 + 9,12 \cdot Q + 2419 \quad (1)$$

Przy szybie W2 pracują natomiast wentylatory o charakterystyce wypadkowej opisaną następującym równaniem:

$$\Delta p = -0,0786 \cdot Q^2 + 68,48 \cdot Q - 10617 \quad (2)$$

Wyniki obliczeń strumienia objętościowego powietrza doprowadzanego do kopalni przedstawiono w tabeli 1. Największe strumienie powietrza w stanie aktualnym doprowadzane są do kopalni szymbami SZ1, SZ2 i SZ3.

W analizowanej sieci znajduje się osiem rejonów eksploatacyjnych. Obliczone strumienie objętościowe powietrza doprowadzane do poszczególnych rejonów zestawione zostały w tabeli 2. Strumień powietrza doprowadzany do rejonów prowadzonych robót eksploatacyjnych stanowi prawie 74% całkowitego strumienia powietrza doprowadzanego do kopalni. Przy szybach wdechowych W2 i W3 znajdują się komory funkcyjne, do których doprowadzane jest łącznie ok. 6000 m³/min powietrza, co stanowi ok. 5,5% powietrza doprowadzanego do kopalni.

Tab. 1. Wyniki obliczeń strumienia objętościowego powietrza doprowadzanego do kopalni w stanie wyjściowym

Lp.	Nazwa szybu	Strumień objętościowy powietrza doprowadzanego	Udział procentowy w całkowitym strumieniu powietrza doprowadzanego
		m ³ /min	%
1.	SZ1	24 947	22,9
2.	SZ2	24 013	22,1
3.	SZ3	29 408	27,0
4.	SZ4	18 301	16,8
5.	SZ5	12 095	11,2
Całkowity strumień powietrza doprowadzanego		108 764	100,0

Źródło: oprac. własne.

Tab. 2. Wyniki obliczeń strumienia objętościowego powietrza doprowadzanego do rejonów eksploatacyjnych w stanie wyjściowym

Lp.	Rejon eksploatacyjny	Strumień objętościowy powietrza	Udział procentowy w strumieniu powietrza doprowadzanego	Potencjał aerodynamiczny	
				Wlot do rejonu	Wylot z rejonu
		m ³ /min	%	J/m ³	J/m ³
1.	RI	16 962	15,6	-1494	-2689
2.	RII	9966	9,2	-2450	-2688
3.	RIII	5986	5,5	-752	-2095
4.	RIV	8195	7,5	-880	-1090
5.	RV	11 934	11,0	-860	-2095
6.	RVI	11 957	11,0	-615	-1508
7.	RVII	7071	6,5	-714	-856
8.	RVIII	8211	7,5	-714	-1197
Razem		80 282	73,8	-	-

Źródło: oprac. własne.

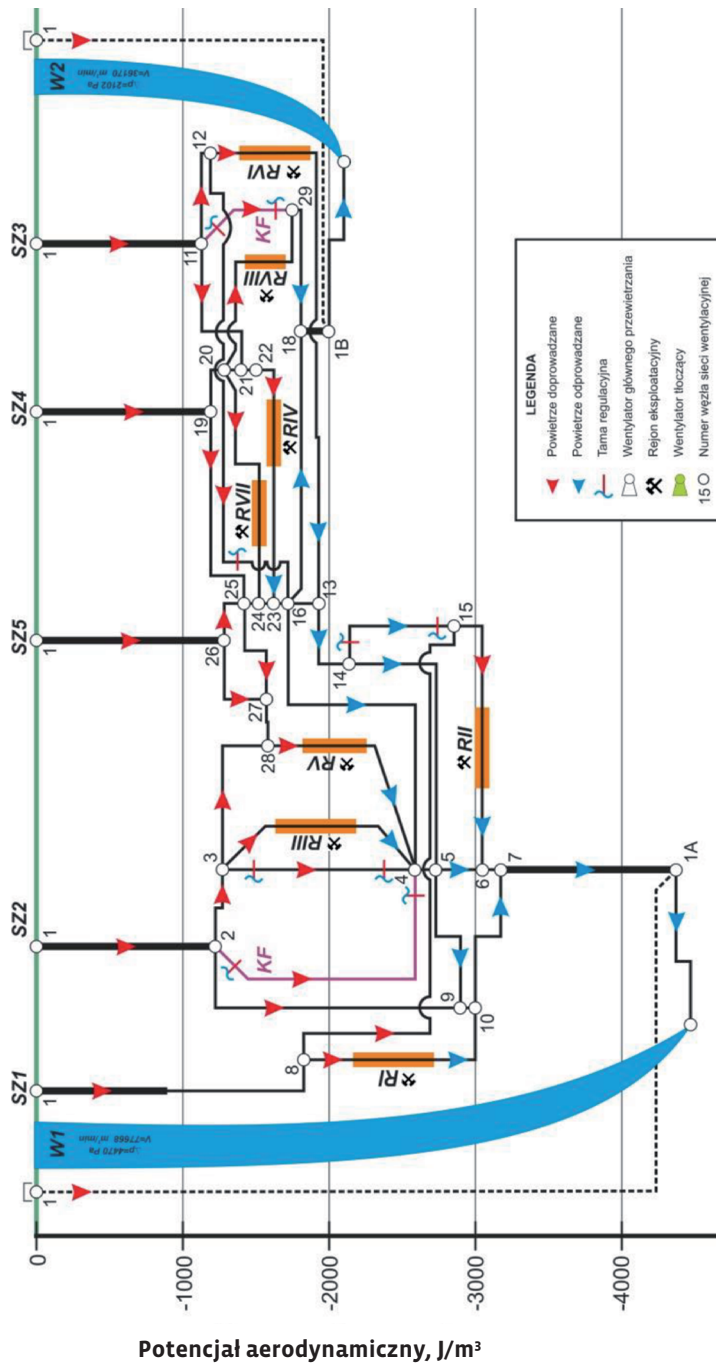
Obliczone parametry stacji wentylatorów głównego przewietrzania zabudowanych przy szybach wentylacyjnych W1 i W2 przedstawiono w tabeli 3. Większy strumień objętościowy oraz wyższe spiętrzenie wentylatorów uzyskiwane jest przy szybie W1.

Tab. 3. Obliczeniowe parametry stacji wentylatorów głównego przewietrzania w stanie wyjściowym

Szyb	Strumień objętościowy powietrza			Ciśnienie całkowite		Otwór równoznaczny	
	w szybie	straty	na wentylatorze	w szybie	przed wentylatorem	w szybie	przed wentylatorem
	m ³ /min			Pa		m ²	
W1	74 644	3024	77 668	4369	4470	22,17	23,07
W2	34 120	2050	36 170	1996	2102	14,78	15,67
Razem	10 8764	5074	113 838	-	-	-	-

Źródło: oprac. własne.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat potencjalny sieci wentylacyjnej dla stanu wyjściowego.



Rys. 3. Schemat potencjalny analizowanej sieci wentylacyjnej – stan wyjściowy

Źródło: oprac. własne.

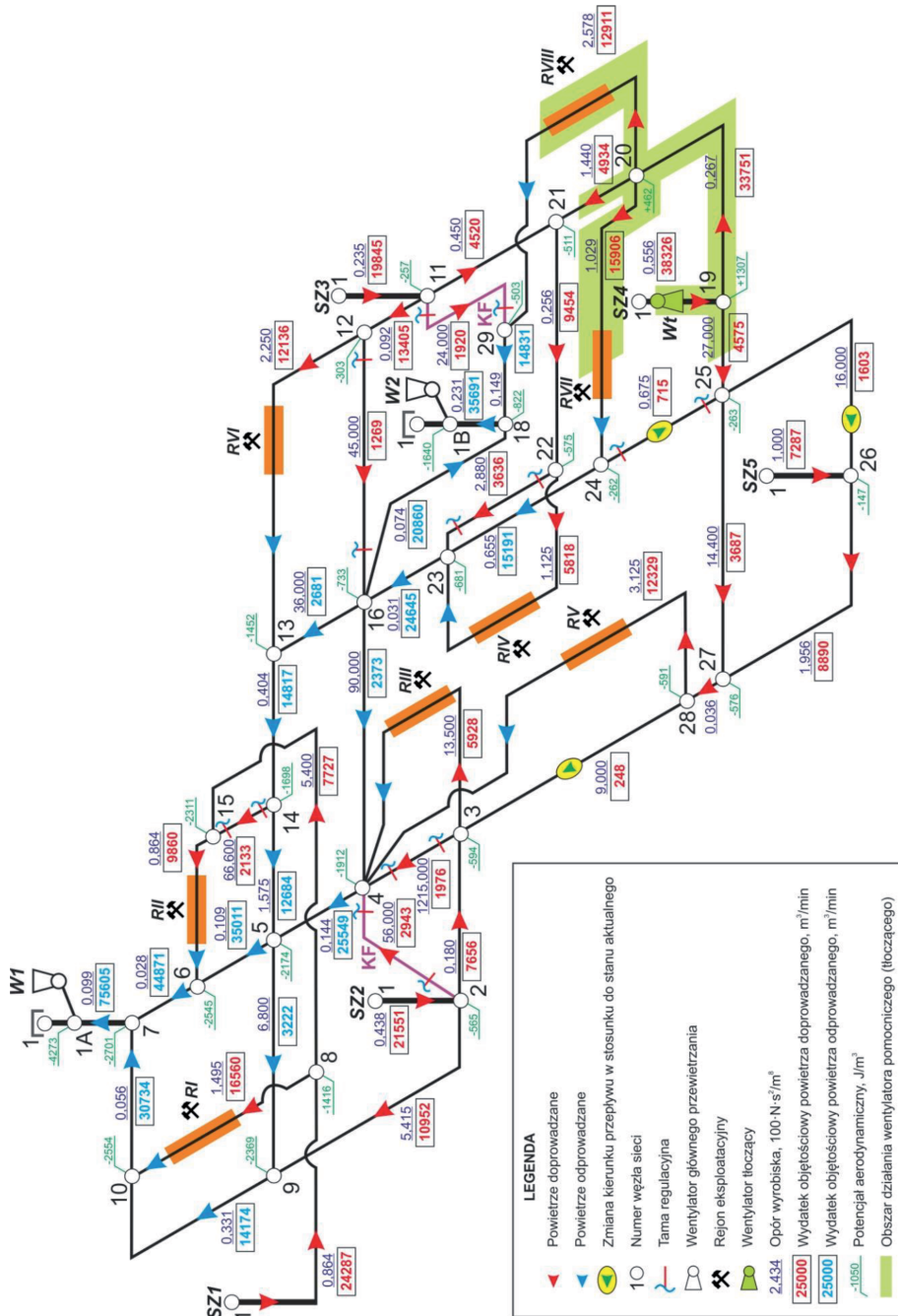
W analizowanej sieci wentylacyjnej rozważono możliwość włączenia podziemnej stacji wentylatorów tłoczących na podszybiu szybu SZ4.

3. Ocena wpływu włączenia podziemnej stacji wentylatorów pomocniczych

Dla analizowanej sieci wentylacyjnej wykonane zostały obliczenia rozptywu powietrza w przypadku włączenia podziemnej stacji wentylatorów pomocniczych (tłoczących). Założono, że stacja taka będzie zabudowana przy szybie SZ4. Zabudowane wentylatory tłoczące posiadają charakterystykę wypadkową opisaną równaniem:

$$\Delta p = -0,0025 \cdot Q^2 - 0,28 \cdot Q + 5000 \quad (3)$$

Schemat przestrzenny uproszczonej sieci wentylacyjnej z zabudowanymi wentylatorami pomocniczymi (tłoczącymi) został przedstawiony na rysunku 4. Na rysunku przedstawiono wyniki obliczeń rozptywu powietrza. Obliczone strumienie powietrza doprowadzane poszczególnymi szybami oraz ich udziały w całkowitym strumieniu powietrza doprowadzanego do kopalni przedstawiono w tabeli 4. W tabeli kolorem szarym wpisano wartości uzyskane dla obliczeń przeprowadzonych dla stanu wyjściowego, bez zabudowanych wentylatorów tłoczących. Zgodnie z obliczeniami udział poszczególnych szybów wdechowych w bilansie powietrza sprowadzanego do kopalni uległ zmianie po zabudowie wentylatorów. Największy strumień powietrza doprowadzany będzie szybem SZ4 z zabudowanymi wentylatorami pomocniczymi, a jego udział będzie stanowił ponad 34% całkowitego strumienia powietrza doprowadzanego do kopalni. Dopływ powietrza pozostałymi szybami wdechowymi ulegnie jednak zmniejszeniu. Największe zmniejszenie strumienia powietrza można zaobserwować w szybach zlokalizowanych blisko szybu z zabudowanym wentylatorem tłoczącym.



Rys. 4. Schemat przestrzenny analizowanej sieci wentylacyjnej po uruchomieniu podziemnej stacji wentylatorów

Źródło: oprac. własne.

Tab. 4. Wyniki obliczeń strumienia objętościowego powietrza doprowadzanego do kopalni po uruchomieniu podziemnej stacji wentylatorów

Lp.	Nazwa szybu	Strumień objętościowy powietrza doprowadzanego	Udział procentowy w całkowitym strumieniu powietrza doprowadzanego
		m ³ /min	%
1.	SZ1	24 947 24 287	22,9 21,8
2.	SZ2	24 013 21 551	19,4 22,1
3.	SZ3	29 408 19 845	27,0 17,8
4.	SZ4	18 301 38 326	16,8 34,4
5.	SZ5	12 095 7287	11,2 6,6
Całkowity strumień powietrza doprowadzanego		108 764 111 296	100,0 100,0

Źródło: oprac. własne.

Obliczone strumienie objętościowe powietrza doprowadzane do poszczególnych rejonów zestawione zostały w tabeli 5. W tabeli kolorem szarym wpisano wartości uzyskane dla obliczeń przeprowadzonych dla stanu wyjściowego, bez zabudowanych wentylatorów tłoczących. Zabudowa podziemnej stacji wentylatorów pomocniczych spowoduje nieznaczny wzrost całkowitego strumienia powietrza doprowadzanego do kopalni (niespełna o 2,5%). Zmianie ulegnie jednak znacząco rozptył powietrza w sieci. Strumień powietrza doprowadzany do rejonów prowadzonych robót wzrośnie w stosunku do stanu aktualnego i stanowić będzie prawie 80% całkowitego strumienia powietrza doprowadzanego do kopalni. Do komór doprowadzane będzie powietrze o strumieniu ok. 5000 m³/min, co stanowić będzie ok. 4,5% powietrza doprowadzanego do kopalni. W stosunku do stanu aktualnego nastąpi więc zmniejszenie strumienia powietrza doprowadzanego do komór funkcyjnych. Wynika to ze zmniejszenia strumienia powietrza w szbach, przy których są zlokalizowane komory.

Tab. 5. Wyniki obliczeń strumienia objętościowego powietrza doprowadzanego do rejonów eksploatacyjnych po uruchomieniu podziemnej stacji wentylatorów

Lp.	Rejon eksploatacyjny	Strumień objętościowy powietrza	Udział procentowy w strumieniu powietrza doprowadzanego	Potencjał aerodynamiczny	
				Wlot do rejonu	Wlot do rejonu
		m ³ /min	%	J/m ³	
1.	RI	16 962	15,6	-1494	-2689
		16 560	14.9	-1416	-2554
2.	RII	9966	9.2	-2450	-2688
		6860	6,2	-2311	-2545
3.	RIII	5986	5,5	-752	-2095
		5928	5.3	-594	-1912
4.	RIV	8195	7.5	-880	-1090
		5818	5,2	-575	-681
5.	RV	11 934	11,0	-860	-2095
		12 329	11.1	-591	-1912
6.	RVI	11 957	11.0	-615	-1508
		12 136	10,9	-303	-1452
7.	RVII	7071	6,5	-714	-856
		15 906	14.3	462	-503
8.	RVIII	8211	7,5	-714	-1197
		12 911	11.6	462	-262
Razem		80 282	73,8	-	-
		88 448	79,5		

Źródło: oprac. własne.

Obliczone parametry pracy wentylatorów głównego przewietrzania zabudowanych przy szybach wentylacyjnych W1 i W2 przedstawiono w tabeli 6. W tabeli kolorem szarym wpisano wartości uzyskane dla obliczeń przeprowadzonych dla stanu wyjściowego, bez zabudowanych wentylatorów tłoczących. Większy strumień objętościowy oraz wyższe spiętrzenie uzyskiwane będzie na wentylatorach przy szybie W1, podobnie jak w stanie aktualnym. Parametry pracy wentylatorów zabudowanych przy szybie W1 nie ulegną znaczącym zmianom w stosunku do stanu aktualnego. W przypadku wentylatorów zabudowanych przy szybie W2 dojdzie do wzrostu strumienia powietrza odprowadzanego tym szybem, a spiętrzenie wentylatorów przy tym szybie ulegnie znaczącemu zmniejszeniu (o ok. 550 Pa). W sieci dodatkowo pracować będą wentylatory pomocnicze (tłoczące), których wydajność zgodnie z obliczeniami wyniesie ok. 38 300 m³/min, a spiętrzenie ok. 3800 Pa. Zmiana taka spowodowana jest tym, iż na drogach przepływu do tego szybu (w podsieci tego szybu) występują mniejsze opory przepływu powietrza.

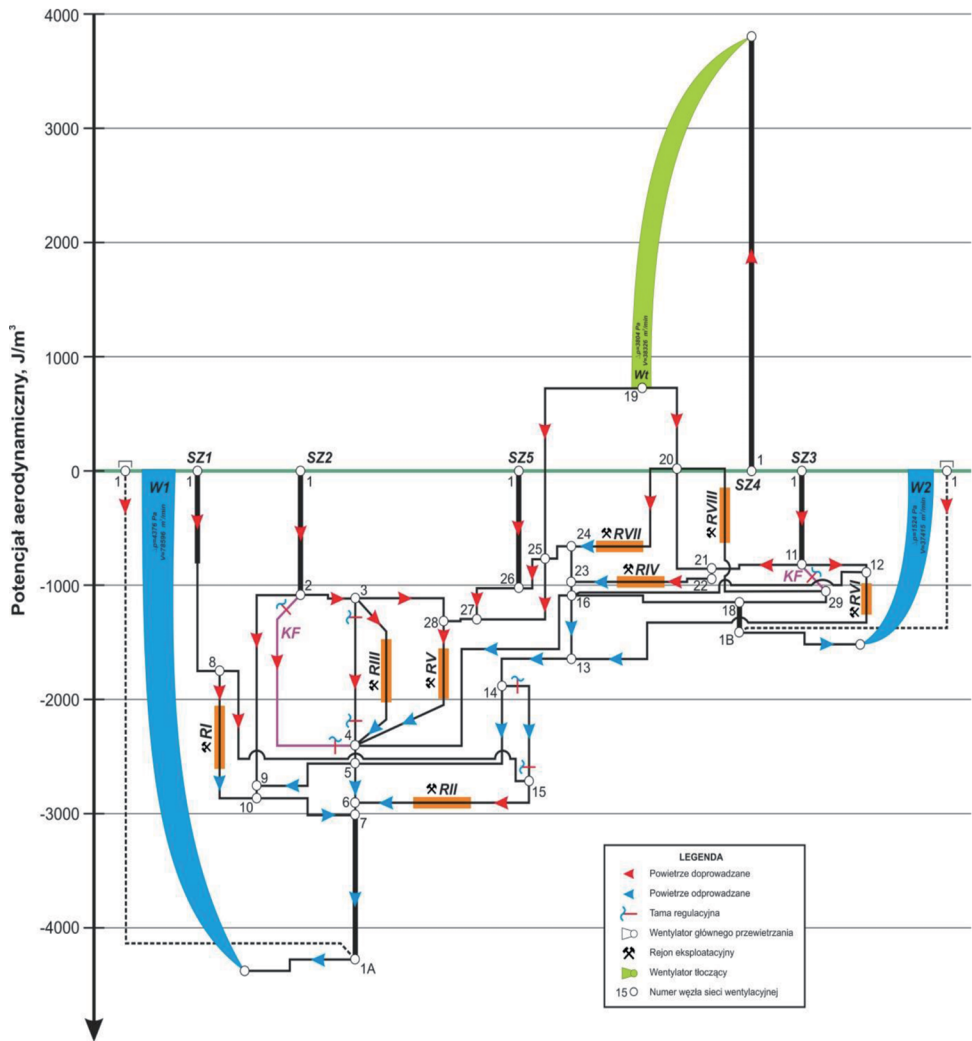
Tab. 6. Obliczeniowe parametry stacji wentylatorów głównego przewietrzania po uruchomieniu podziemnej stacji wentylatorów

Szyb	Strumień objętościowy powietrza			Ciśnienie całkowite		Otwór równoznaczny	
	w szybie	straty	na wentylatorze	w szybie	przed wentylatorem	w szybie	przed wentylatorem
	m ³ /min			Pa		m ²	
W1	74 644	3024	77 668	4369	4470	22,17	23,07
	75 605	2991	78 596	4273	4376	22,70	23,60
W2	34 120	2050	36 170	1996	2102	14,78	15,67
	35 691	1724	37 415	1640	1524	18,16	19,03
Razem	108 764	5074	113 838	-	-	-	-
	111 296	4715	116 011	-	-	-	-

Źródło: oprac. własne.

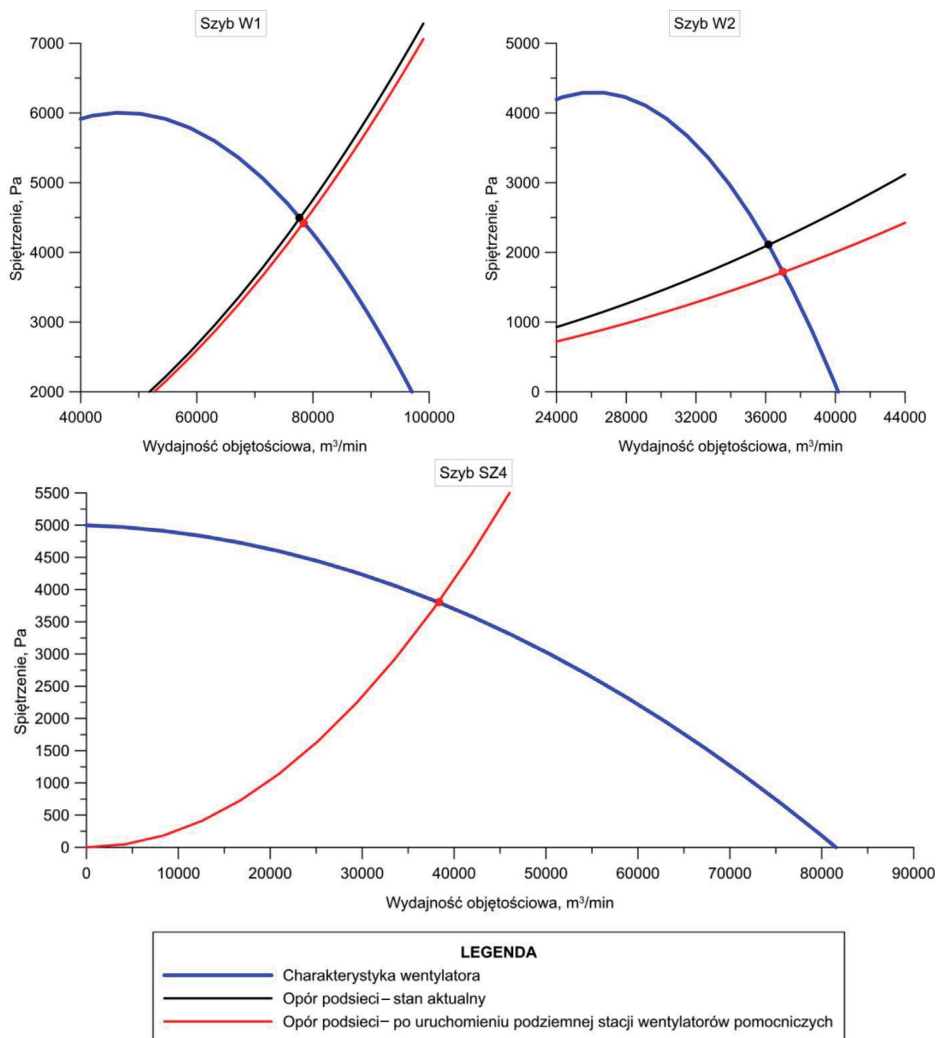
Na rysunku 4 przedstawiono kolorem zielonym obszar oddziaływania wentylatorów tłoczących na sieć wentylacyjną. W tym obszarze sieci wentylacyjnej będą występować dodatkowo wartości potencjałów aerodynamicznych. Na rysunku tym zaznaczono również bocznicę sieci, w których doszło do odwrócenia kierunku przepływu powietrza w stosunku do wyjściowego stanu obliczeń. Przeprowadzona analiza pozwala stwierdzić, że włączenie wentylatorów tłoczących przy szybie SZ4 spowoduje zmianę rozptyłu powietrza w sieci, szczególnie w rejonie szybu SZ4. W pozostałych rejonach wpływ działania tych wentylatorów nie będzie tak znaczący. W szybie wdechowym z zabudowanym wentylatorem uzyskuje się wyższy strumień powietrza. Pomimo tego całkowity strumień powietrza doprowadzanego do kopalni wzrośnie nieznacznie. Jest to wynikiem niewielkich zmian oporu zastępczego podsieci wentylacyjnych obu szybów wydechowych. Zwiększenie strumienia powietrza w szybie SZ4 spowoduje zmniejszenie strumienia w pozostałych szymbach wdechowych. Największe zmiany wystąpią w szybie SZ5, który znajduje się w bliskim sąsiedztwie szybu SZ4. Zwiększając spiętrzenie wentylatora przy szybie SZ4, można się spodziewać nawet zmiany kierunku przepływu w szybie SZ5.

Na rysunku 5 przedstawiono schemat potencjalny sieci wentylacyjnej po włączeniu wentylatora tłoczącego. Na rysunku 6 zaprezentowano natomiast charakterystyki wentylatorów wraz z punktami pracy przed i po włączeniu wentylatorów tłoczących.



Rys. 5. Schemat potencjalny analizowanej sieci wentylacyjnej po uruchomieniu podziemnej stacji wentylatorów

Źródło: oprac. własne.



Rys. 6. Charakterystyki wentylatorów wraz z punktami pracy dla stanu aktualnego i po uruchomieniu podziemnej stacji wentylatorów

Źródło: oprac. własne.

4. Posumowanie

Dla zwiększenia intensywności przewietrzania określonej grupy wyrobisk istnieje możliwość zabudowy podziemnych stacji wentylatorów pomocniczych (tłoczących). Należy się jednak liczyć z możliwością zaburzeń rozptywu powietrza w pozostałych bocznicach sieci wentylacyjnej. W analizowanej sieci wentylacyjnej działanie takie powoduje niewielkie zwiększenie sumarycznego strumienia powietrza doprowadzanego do kopalni.

Zakres zwiększenia strumienia powietrza jest zależny od oporu kopalni i charakterystyk przepływowych wentylatorów przy wszystkich szybach wentylacyjnych.

Efekt stosowania wentylatorów wtłaczających powietrze do sieci wentylacyjnej może nie przynieść korzyści ekonomicznych. W analizowanej sieci wentylacyjnej możliwy jest wzrost strumienia powietrza jedynie w wyrobiskach rejonu szybu wdechowego z wentylatorem tłoczącym. Wzrost intensywności przewietrzania wyrobisk w rejonie tych wyrobisk jest znaczący. Zwiększenie ilości powietrza w oddziałach wydobywczych będzie jednak trudne do uzyskania.

W przypadku podejmowania decyzji o zabudowie podziemnej stacji wentylatorów zasadne jest przeprowadzanie szczegółowej analizy sieci celem określenia prognozowanego wpływu działania takiej stacji na rozptył powietrza w kopalni.

Literatura

- [1] Cross H., *Analysis of Flow in Networks of conduits or Conductors*, Bull. Illinois University Eng. Exp. Station, nr 286, 1936.
- [2] McPherson M. J., *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*, Chapman & Hall, 1993.
- [3] Pawiński J., Roszkowski J., Strzeмиński J., *Przewietrzanie kopalń*, Wydawnictwo „Ślask”, Katowice 1979.
- [4] Szlązak N., Kloc L., *Wpływ ogrzewania powietrza w szybach wdechowych na jego rozptył w sieci wentylacyjnej kopalni węgla*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2004.
- [5] Szlązak N., Zając K., *Ocena możliwości wykonania rewersji wentylacji głównej w kopalniach węgla kamiennego*, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 1998.
- [6] Szlązak N., Obracaj D., Korzec M., *Analysis of connecting a forcing fan to a multiple fan ventilation network of a real-life mine*, „Process Safety and Environmental Protection” 2017, t. 107, s. 468–479.