

Józef Knechtel

WPLYW ZMNIEJSZENIA INTENSYWNOŚCI PRZEWIETRZANIA ODDZIAŁU W OKRESIE PRZERWY W WYDOBYCIU NA TEMPERATURĘ POWIETRZA W ODDZIALE PO WZNOWIENIU WYDOBYCIA

Streszczenie

Przeprowadzono rozważania dotyczące teoretycznej kopalni miedzi o pięciu rejonach wydobywczych (po 3000 t/d), odległych o 3 km od szybów wdechowych. Kopalnia ma trzy szyby wydechowe (wentylacyjne), przez które płynie po 1000 m³/s powietrza. Przy każdym z nich znajduje się stacja wentylatorów głównych o mocy 4,3 MW. Założono, że istnieje możliwość takiej regulacji parametrów punktów pracy wentylatorów głównych, aby do oddziałów wydobywczych w okresie wstrzymania wydobywania dopływało: 5, 10, 20, 50 lub 100% tej ilości powietrza, która płynie podczas normalnego wydobywania.

Wykonano symulacyjne obliczenia przewidywanej temperatury powietrza w okresie wstrzymania wydobywania, przy intensywnościach przewietrzania oddziału: 5, 10, 20, 50 lub 100 m³/s oraz prognozowanej temperatury powietrza w okresie wznowienia wydobywania po jednodniowej przerwie. Dla okresu wydobywania przyjęto intensywność przewietrzania oddziału równą 100 m³/s, a podczas przerwy w wydobywaniu odpowiednio mniejszą.

Z kolei przeanalizowano wpływ zmniejszenia intensywności przewietrzania oddziału w okresie przerwy w wydobywaniu na temperaturę powietrza w oddziale po wznowieniu wydobywania. Stwierdzono, że mniejsza intensywność przewietrzania oddziału w okresie wstrzymania wydobywania wpływa na wyższą temperaturę powietrza w oddziale po wznowieniu wydobywania. Aby uzyskać parametry powietrza takie same jak przy pełnym przewietrzaniu w czasie wstrzymania wydobywania, trzeba zainstalować dodatkową moc chłodniczą. Równocześnie zmniejszenie intensywności przewietrzania pociąga za sobą zmniejszenie kosztów wentylacji. Wykazano, że dla konkretnego przypadku istnieje taka ilość powietrza, przy której łączne nakłady na wentylację i klimatyzację będą najmniejsze, przy zachowaniu prawidłowych warunków klimatycznych w miejscu pracy.

The influence of diminishing of ventilation intensity in mining sections during idle periods on air temperature after production restart

Abstract

A model of a copper mine is considered, having five mining sections, each producing 3000 metric tons of ore per day and situated 3 km away from downcast shafts. There are also three upcast shafts, each of them having a 4.3 MW fan station, with airflow of 1000 m³/s. It is assumed that operation parameters of the fans, and in consequence ventilation intensity in mining sections can be easily adjusted; in this paper we consider the following levels of ventilation intensity in mining sections during idle periods, 5%, 10%, 20%, 50% and 100% of the level at the normal mining activity phase. The assumed ventilation intensity in normal conditions was 100 m³/s and the period of the ventilation halt was 1 day. Calculations of predicted value of temperature of air ventilating mining sections during idle periods and after resuming of production were performed for the following values of airflow: 5 m³/s, 10 m³/s, 20 m³/s and 50 m³/s.

On this basis the influence of diminishing of intensity ventilation on air temperature level after production restart was analyzed. It has been found the lower is the ventilation intensity of a mining section during idle periods (on Sundays) the higher is the air temperature after resuming of exploitation.

In order to compensate for that temperature increase some additional cooling power has to be installed. On the other hand low intensity of ventilation during Sundays results in decreased ventilation cost. It has been demonstrated that for each considered case there is the optimum value of ventilation intensity that secure air parameters required by mining regulation and for which the combined cost of ventilation and air conditioning is minimal.

1. WSTĘP

W głębokich kopalniach węgla i rud panują trudne warunki klimatyczne. Pomimo stosowania intensywnej wentylacji i urządzeń chłodniczych, niejednokrotnie temperatura powietrza mierzona termometrem suchym jest wyższa od 28°C, a czasem dochodzi nawet do 33°C [2, 7, 8]. Na wentylację i klimatyzację kopalń przeznaczają się ogromne sumy pieniędzy. Toteż służby wentylacyjne kopalń starają się należycie je wykorzystać. W miejscu pracy górników muszą być zapewnione, zgodne z obowiązującymi przepisami górniczymi [6], prawidłowe warunki klimatyczne. Z uwagi na duże ilości ciepła jakie wydzielają się w wyrobiskach podczas normalnej pracy, temperatura powietrza w nich jest dużo wyższa w porównaniu z temperaturą w czasie przerw w wydobywaniu (jest praktycznie tylko funkcją temperatury pierwotnej skał). W kopalniach miedzi służby wentylacyjne doszły do wniosku, że nie ma potrzeby stosowania intensywnej wentylacji podczas przerw w wydobywaniu, kiedy w oddziale nie ma ludzi. Zachodzi natomiast pytanie, jaki będzie wpływ zmniejszenia intensywności przewietrzania oddziału podczas przerwy w wydobywaniu na temperaturę powietrza w oddziale po jego wznowieniu.

Zagadnienie to w niniejszym opracowaniu przeanalizowano na podstawie teoretycznej kopalni miedzi o pięciu rejonach wydobywczych odległych o 3 km od szybów wdechowych. Wydobywanie z każdego rejonu wynosi 3000 t/d. Kopalnia ma trzy szyby wdechowe i trzy szyby wydechowe, przez które przepływa po 1000 m³/s powietrza. Przy każdym z szybów wentylacyjnych zabudowana jest stacja wentylatorów głównych o mocy 4,3 MW. Założono, że istnieje możliwość takiej regulacji parametrów punktów pracy wentylatorów głównych, aby do oddziałów wydobywczych w okresie przerwy w wydobywaniu dopływało po: 5, 10, 20, 50 lub 100% takiej ilości powietrza, jaka płynie podczas normalnego wydobywania.

2. INTENSYWNOŚĆ PRZEWIETRZANIA ODDZIAŁU WYDOBYWCZEGO W CZASIE PRZERWY W WYDOBYCIU A TEMPERATURA POWIETRZA W ODDZIALE

W celu określenia wpływu zmniejszenia przewietrzania kopalni podczas przerwy w wydobywaniu na temperaturę powietrza w oddziale wykonano badania numeryczne i pomiary dołowe. W rozważaniach teoretycznych skorzystano z metody prognozowania temperatury powietrza opisanej w pracy [3], w której równania ruchu ciepła z górotworu do powietrza w wyrobisku rozwiązuje się metodą różnic skończonych. Do obliczeń przyjęto następujące założenia: temperatura powietrza świeżego wpływającego do oddziału $t_0 = 30^\circ\text{C}$, – temperatura pierwotna skał $t_{pg} =$

42°C, – długość frontu wydobywczego – 360 m, – pole eksploatacyjne ma trzy pasy o łącznej szerokości 70 m, – współczynnik przewodnictwa cieplnego skał $\lambda_q = 2,5$ W/(m·K) [1], – współczynnik wyrównywania temperatury $a_q = 1 \cdot 10^{-6}$ m²/s [1], – obwód wyrobiska $B = 16,8$ m. Dla uproszczenia obliczeń założono, że w rejonie wydobywczym nie pracują urządzenia chłodnicze.

Wykonano 11 wariantów prognoz klimatycznych dla normalnego wydobywania przy pełnym strumieniu objętości powietrza równym 100 m³/s (przy czym moce dodatkowych źródeł ciepła przyjęto zgodnie z wynikami badań W. Turkiewicza i J. Waclawika [7, 8]), 24-godzinnej przerwy w wydobywaniu, przy alternatywnych strumieniach objętości powietrza płynących do oddziału: $\dot{V}_1 = 5$ m³/s, $\dot{V}_2 = 10$ m³/s; $\dot{V}_3 = 20$ m³/s; $\dot{V}_4 = 50$ m³/s; $\dot{V}_5 = 100$ m³/s, a następnie wznowieniu wydobywania po jednodniowej przerwie, przy intensywności przewietrzania $\dot{V} = 100$ m³/s. W obliczeniach uwzględniono różne strumienie objętości powietrza podczas przerwy w wydobywaniu (5, 10, 20, 50 i 100 m³/s).

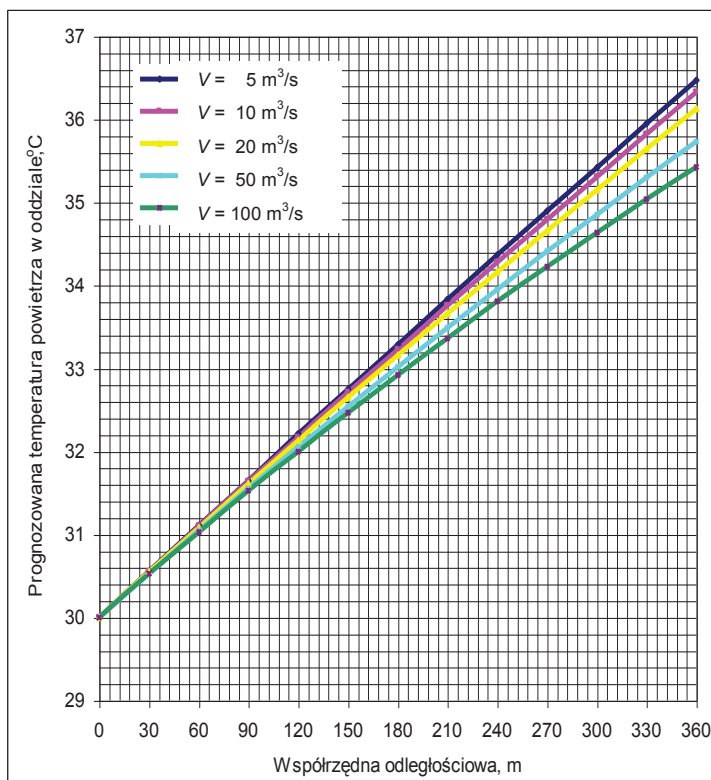
Wyniki obliczeń podano w tabelicy 1 oraz w postaci graficznej na rysunku 1. Stwierdzono, że podczas wydobywania w ciągu tygodnia (nawet przy intensywności przewietrzania równej 100 m³/s), prognozowana temperatura powietrza jest bardzo wysoka i dochodzi do 37°C (jeśli nie zastosuje się urządzeń chłodniczych). Podczas przerwy w wydobywaniu temperatura ta jest dużo niższa (o ponad 5°C przy intensywności przewietrzania równej 100 m³/s i o około 2°C przy intensywności przewietrzania równej 5 m³/s). Temperatura ścian wyrobiska w okresie wydobywania jest nieco wyższa od temperatury powietrza. Podczas przerwy w wydobywaniu jest ona o około 2÷2,5°C wyższa od temperatury powietrza. Po wznowieniu wydobywania prognozowana temperatura powietrza w pobliżu przekroju jego wypływu z oddziału wynosi od 35,4°C (jeśli podczas przerwy w wydobywaniu intensywność przewietrzania oddziału wynosiła 100 m³/s) do 36,5°C (jeśli wspomniana intensywność wynosiła 5 m³/s). Temperatura ścian wyrobiska jest bardziej zróżnicowana. Przy małych intensywnościach przewietrzania podczas przerwy w wydobywaniu jest ona jeszcze wyższa od temperatury powietrza, natomiast przy dużych intensywnościach przewietrzania jest ona niższa od temperatury powietrza. Jest to efekt wychłodzenia skał podczas przerwy w wydobywaniu, przy jednocześnie dużej intensywności przewietrzania. Natomiast wysoka temperatura powietrza wynika głównie z dużych mocy dodatkowych źródeł ciepła (maszyny spalinowe, urządzenia elektryczne). Z tabelicy 1 wynika także, że przy intensywności przewietrzania oddziału równej 5 m³/s różnica temperatury powietrza w okresie po wznowieniu wydobywania i w czasie przerwy w wydobywaniu wynosi 1,4°C. Pomiary wykonane przez kopalniane służby wentylacyjne ZG „Rudna” podczas przerwy w wydobywaniu (przy wyłączonych wentylatorach głównych) i po wznowieniu wydobywania wykazały, że wspomniana różnica jest nieco mniejsza.

Pomiary temperatury powietrza po wznowieniu wydobywania przedstawiono na rysunku 1. Stwierdzono, że maksymalna różnica temperatury wynosi około 1°C. Dla pośrednich wartości strumieni objętości powietrza wspomniana różnica jest odpowiednio mniejsza. Nadmienić należy, że wykonano również obliczenia

Tablica 1. Przebieg prognozowanej temperatury powietrza – t_w i ociosu – t_s w oddziale wydobywczym w funkcji strumienia objętości powietrza płynącego przez oddział podczas jednodniowej przerwy w wydobywaniu oraz w pierwszym dniu po wznowieniu wydobywania

Współrzędna odległościowa	Okres normalnego wydobywania		Okres jednodniowej przerwy										Okres wznowienia wydobywania po jednodniowej przerwie																		
	$V=100 \text{ m}^3/\text{s}$		a					b					c					d					e								
	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$			
0	30,00	31,30	30,00	31,07	30,00	30,96	30,00	30,83	30,00	30,61	30,00	30,45	30,00	30,67	30,00	30,66	30,00	30,59	30,00	30,46	30,00	30,59	30,00	30,46	30,00	30,59	30,00	30,46	30,00	30,39	
30	30,63	31,86	30,25	31,58	30,19	31,43	30,13	31,24	30,08	30,92	30,05	30,68	30,56	31,19	31,10	31,10	30,55	31,12	30,55	31,03	30,87	30,53	31,03	30,87	30,53	31,03	30,87	30,53	30,76		
60	31,25	32,42	30,57	32,10	30,44	31,91	30,31	31,67	30,19	31,24	30,12	30,92	31,11	31,71	31,62	31,62	31,08	31,62	31,08	31,50	31,28	31,03	31,03	31,28	31,03	31,12	31,03	31,12	31,03	31,48	
90	31,86	32,96	30,93	32,61	30,73	32,40	30,53	32,10	30,33	31,57	30,21	31,17	31,65	32,23	31,64	32,11	31,61	31,96	31,61	31,96	31,69	31,69	31,69	31,69	31,69	31,69	31,69	31,69	31,69	31,83	
120	32,47	33,51	31,33	33,13	31,06	32,88	30,79	32,54	30,50	31,92	30,32	31,42	32,21	32,75	32,17	32,61	32,13	32,43	32,13	32,43	32,06	32,06	32,06	32,06	32,06	32,06	32,06	32,06	32,06	32,18	
150	33,07	34,04	31,76	33,65	31,42	33,38	31,07	32,99	30,68	32,27	30,44	31,69	32,75	33,26	32,71	33,11	32,65	32,89	32,65	32,89	32,54	32,54	32,54	32,54	32,54	32,54	32,54	32,54	32,54	32,56	
180	33,66	34,57	32,20	34,16	31,81	33,87	31,38	33,44	30,89	32,63	30,58	31,97	33,29	33,77	33,23	33,60	33,16	33,36	33,16	33,36	33,02	33,02	33,02	33,02	33,02	33,02	33,02	33,02	33,02	33,02	33,07
210	34,24	35,09	32,67	34,68	32,22	34,36	31,71	33,90	31,12	33,00	30,74	32,25	33,83	34,34	33,76	34,10	33,66	33,82	33,66	33,82	33,49	33,49	33,49	33,49	33,49	33,49	33,49	33,49	33,49	33,57	
240	34,82	35,60	33,14	35,18	32,64	34,86	32,07	34,36	31,37	33,38	30,91	32,54	34,37	34,80	34,28	34,59	34,16	34,29	34,16	34,29	33,95	33,95	33,95	33,95	33,95	33,95	33,95	33,95	33,95	34,03	
270	35,39	36,11	33,63	35,69	33,08	35,35	32,44	34,82	31,64	33,76	31,09	32,84	34,90	35,31	34,79	35,08	34,66	34,75	34,66	34,75	34,41	34,41	34,41	34,41	34,41	34,41	34,41	34,41	34,41	34,56	
300	35,95	36,61	34,11	36,19	33,53	35,84	32,82	35,28	31,92	34,15	31,28	33,14	35,42	35,81	35,31	35,57	35,15	35,21	35,15	35,21	34,85	34,85	34,85	34,85	34,85	34,85	34,85	34,85	34,85	35,04	
330	36,51	37,11	34,60	36,69	33,99	36,32	33,22	35,74	32,22	34,54	31,49	33,45	35,95	36,31	35,82	36,06	35,64	35,64	35,64	35,64	35,30	35,30	35,30	35,30	35,30	35,30	35,30	35,30	35,30	35,43	
360	37,06	37,60	35,10	37,18	34,45	36,81	33,63	36,20	32,52	34,93	31,71	33,76	36,47	36,81	36,33	36,55	36,13	36,13	36,13	36,13	35,73	35,73	35,73	35,73	35,73	35,73	35,73	35,73	35,73	35,86	

Intensywność przewietrzania oddziału podczas przerwy w wydobywaniu: a – $V_1 = 5 \text{ m}^3/\text{s}$; b – $V_2 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$; c – $V_3 = 20 \text{ m}^3/\text{s}$; d – $V_4 = 50 \text{ m}^3/\text{s}$; e – $V_5 = 100 \text{ m}^3/\text{s}$



Rys. 1. Zmiany temperatury powietrza w oddziale wydobywczym po wznowieniu wydobywania w zależności od intensywności przewietrzania podczas przerwy w wydobywaniu

Fig. 1. Changes of air temperature in a mining section after production restart depending on the ventilation intensity during the idle period in the production process

symulacyjne prognozowanej temperatury powietrza w drugim dniu po wznowieniu wydobywania. Okazało się, że po dwóch dniach pełnego przewietrzania nie ma praktycznie różnicy czy podczas przerwy w wydobywaniu intensywność przewietrzania oddziału wynosiła 5 czy 100 m³/s, bowiem różnica temperatury wynosi około 0,2°C. Zasadniczy zatem wpływ zmniejszenia intensywności przewietrzania oddziału w okresie przerwy w wydobywaniu na temperaturę powietrza po wznowieniu wydobywania widoczny jest w ciągu pierwszej doby.

3. EKONOMICZNY ASPEKT ZMNIEJSZENIA INTENSYWNOŚCI PRZEWIETRZANIA ODDZIAŁU PODCZAS PRZERWY W WYDOBYCIU

Wyniki rozważań teoretycznych zamieszczone w poprzednim rozdziale, wskazują, że znaczne zmniejszenie intensywności przewietrzania podczas przerwy w wydobywaniu powoduje wzrost temperatury powietrza po wznowieniu wydobywania o około 1°C w stosunku do temperatury powietrza przy niezmiętej intensywności przewietrzania. W przypadku intensywności przewietrzania równej 5 m³/s

prognozowana temperatura powietrza po wznowieniu wydobycia wynosi 36,47°C, a jego stopień zawilżenia (zawartość wilgoci) 0,023 kg pary/kg powietrza suchego. Przy niezmienionej intensywności przewietrzania wymieniona temperatura po wznowieniu wydobycia wynosi 35,43°C, a stopień zawilżenia 0,0217 kg pary/kg powietrza suchego. Chcąc doprowadzić parametry powietrza do wartości dopuszczalnej obowiązującymi przepisami należy odprowadzić nadmiar ciepła i wilgoci z powietrza kopalnianego na zewnątrz rejonu. Nadmiar ten jest równy potrzebnej mocy chłodniczej urządzeń klimatycznych. Korzystając z odpowiednich wzorów termodynamiki [5] oraz rozważań zawartych w pracy [9] można stwierdzić, że różnica potrzebnej mocy chłodniczej dla obu przypadków wynosi 553 kW. Z opracowania [4] wynika, że dzienny koszt 1 kW mocy chłodniczej ziębiarki typu DV-290, pracującej ze sprawnością 90%, wynosi 5,48 zł. Mnożąc tę wartość przez potrzebną dodatkową moc chłodniczą uzyskuje się dodatkowy koszt klimatyzacji wynoszący 3030 zł. O tyle będzie droższa klimatyzacja oddziału w pierwszym dniu po wznowieniu wydobycia. W drugim dniu po wznowieniu wydobycia już nie potrzeba dodatkowych nakładów na klimatyzację, ponieważ wpływ zmniejszenia intensywności przewietrzania podczas przerwy w wydobyciu jest pomijalnie mały.

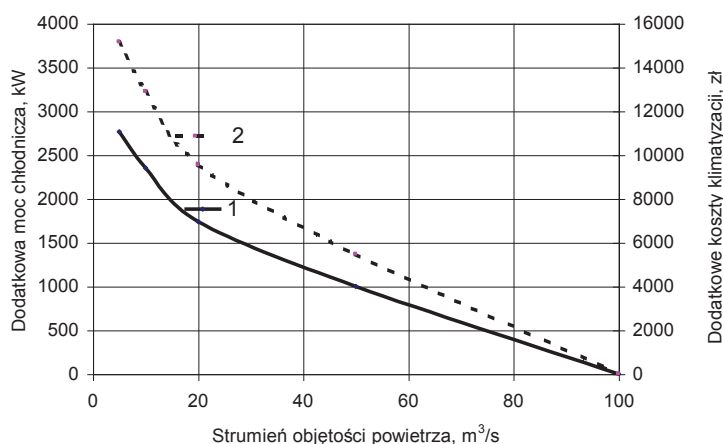
Jeśli w okresie przerwy w wydobyciu do oddziału popłynie 10 m³/s powietrza, wówczas potrzebna dodatkowa moc chłodnicza wyniesie 471 kW, jeśli do oddziału popłynie 20 m³/s, wymieniona moc wyniesie 348 kW, a jeśli 50 m³/s – 200 kW. Prowadząc analogiczne kalkulacje, jak dla strumienia objętości powietrza równego 5 m³/s, dochodzi się do wniosku, że dobowy koszt dodatkowej mocy chłodniczej wyniesie od 2580 zł przy intensywności przewietrzania 10 m³/s do 1096 zł przy intensywności przewietrzania 50 m³/s. Przy intensywności przewietrzania wynoszącej 100 m³/s (czyli takiej jak podczas normalnego wydobycia) nie trzeba będzie ponosić dodatkowych kosztów klimatyzacji.

We wstępie założono, że rozpatrywana teoretyczna kopalnia miedzi ma pięć oddziałów wydobywczych. Zakładając, że w przypadku każdego oddziału należy ponieść dodatkowe koszty na klimatyzację, związane ze zmniejszeniem intensywności przewietrzania w okresie przerwy w wydobyciu, wówczas wymienione koszty należy pomnożyć przez pięć.

Wpływ intensywności przewietrzania oddziału podczas przerwy w wydobyciu na potrzebną dodatkową moc chłodniczą i wzrost kosztów klimatyzacji przedstawiono na rysunku 2. W granicznym przypadku, gdy do oddziału dopływa 5 m³/s powietrza dodatkowa moc chłodnicza, dla wszystkich oddziałów wynosi prawie 2800 kW. Jest to moc chłodnicza, jaką można uzyskać stosując na przykład dziesięć urządzeń chłodniczych typu DV-290 lub LKM2-290 o nominalnej mocy chłodniczej 289 kW. Oczywiście zakłada się, że sprawność tych urządzeń jest wyższa od 95%. Dodatkowe koszty związane z zapewnieniem takiej mocy chłodniczej wynoszą ponad 15 000 zł dziennie.

Zmniejszenie intensywności przewietrzania w okresie przerwy w wydobyciu pociąga za sobą dodatkowe koszty na zwiększenie mocy chłodniczej ziębiarek pracujących w oddziałach. Z drugiej jednak strony ograniczenie w tym czasie intensywności przewietrzania powoduje oszczędność energii elektrycznej potrzebnej

na przewietrzanie. Z opracowania [4] wynika, że cena 1 kWh energii elektrycznej w 1999 roku, w zależności od stosowanego napięcia i okresu poboru mocy (całodobowy, szczyt przedpołudniowy, szczyt popołudniowy, poza szczytem) wynosiła od 11,542 do 29,276 groszy. W rozważaniach przyjęto cenę 1 kWh równą 12 groszy.



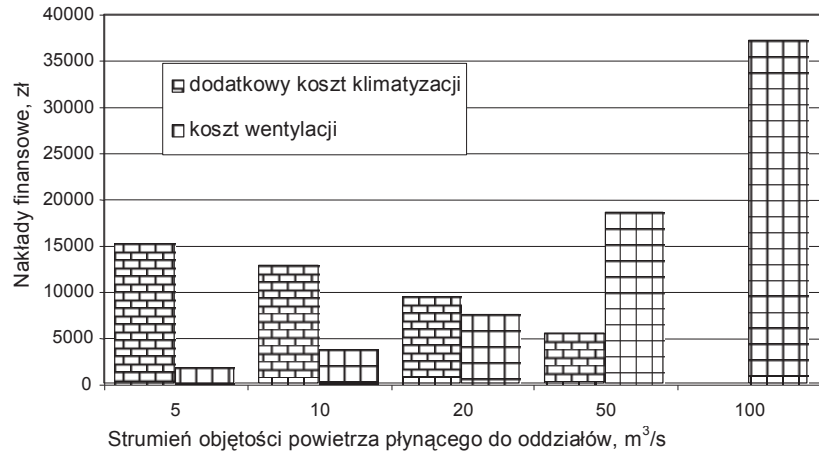
Rys. 2. Wpływ intensywności przewietrzania oddziału na dodatkową moc chłodniczą i wzrost kosztów klimatyzacji: 1 – dodatkowa moc, 2 – dodatkowe koszty

Fig. 2. Influence of ventilation intensity of mining section on additional cooling power and increase of air-conditioning costs: 1 – additional power, 2 – additional costs

Przy pełnej intensywności przewietrzania oddziałów wydobywczych (po 100 m³/s na oddział) do kopalni dopływa 3000 m³/s powietrza świeżego. Wówczas potrzebna moc stacji wentylatorów głównych wynosi (zgodnie z założeniem przyjętym w wstępie) $4,3 \cdot 3 \text{ MW} = 12,9 \text{ MW}$. Mnożąc cenę jednej kilowatogodziny przez łączną moc stacji wentylatorów głównych oraz przez czas przewietrzania uzyskuje się dobowy koszt przewietrzania całej kopalni równy 37 152 zł. Korzystając z przyjętego założenia (w teoretycznej kopalni miedzi o łącznej mocy stacji wentylatorów głównych $N = 12,9 \text{ MW}$ i możliwości płynnej regulacji parametrów punktów pracy wentylatorów), dla intensywności przewietrzania równej 5% wartości maksymalnej, koszt przewietrzania będzie 20 razy mniejszy od kosztu dla maksymalnej intensywności przewietrzania i wyniesie 1857,6 zł. Zatem łączny koszt przewietrzania i koszt dodatkowych nakładów na klimatyzację, w przypadku gdy podczas przerwy w wydobywaniu do oddziału płynie tylko 5 m³/s powietrza wyniesie 1857,6 zł + 3030 zł = 4887,6 zł zamiast 37 152 zł przy intensywności przewietrzania równej 100 m³/s.

Na rysunku 3 w postaci wykresu słupkowego dokonano porównania kosztów wentylacji podczas przerwy w wydobywaniu i dodatkowych nakładów na klimatyzację po wznowieniu wydobywania dla różnych intensywności przewietrzania oddziałów wydobywczych. Wynika z niego, że przy małych intensywnościach przewietrzania dodatkowe nakłady na klimatyzację są wysokie w porównaniu z kosztami wentylacji. W miarę zwiększenia strumieni objętości powietrza płynących do oddziałów maleją

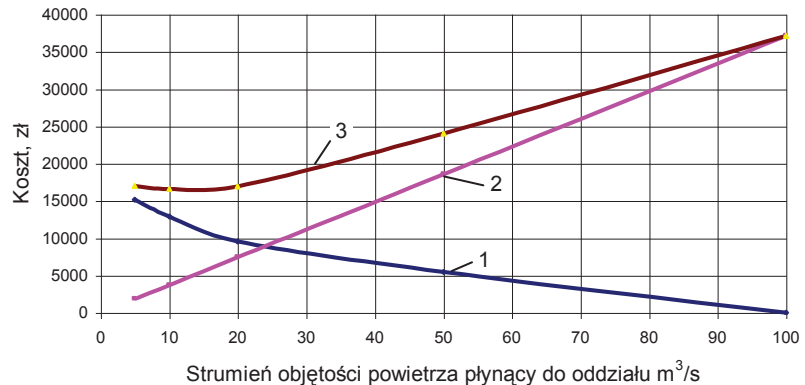
dodatkowe koszty klimatyzacji, a wzrastają koszty wentylacji. Dla maksymalnej intensywności przewietrzania ($\dot{V} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$) dodatkowe nakłady na klimatyzację wynoszą zero, a koszt wentylacji jest bardzo wysoki.



Rys. 3. Porównanie kosztów wentylacji podczas przerwy w wydobywaniu i dodatkowych nakładów na klimatyzację po wznowieniu wydobywania dla różnych intensywności przewietrzania oddziałów wydobywczych

Fig. 3. Comparison of ventilation costs during the idle period in the production process and additional outlays for air-conditioning after production restart for different ventilation intensities of mining

Ekonomiczne skutki ograniczenia intensywności przewietrzania podczas przerwy w wydobywaniu dla teoretycznej kopalni miedzi (gdzie istnieje możliwość płynnej regulacji parametrów stacji wentylatorowej) przedstawiono na rysunku 4. Analizując



Rys. 4. Ekonomiczne skutki ograniczenia przewietrzania podczas przerwy w wydobywaniu dla przypadku teoretycznego (gdzie istnieje możliwość płynnej regulacji parametrów stacji wentylatorowej): 1 – dodatkowe nakłady na klimatyzację, 2 – koszty wentylacji, 3 – łączne nakłady

Fig. 4. Economic effects of ventilation limitation during idle periods in the production process for a theoretical case (if there exists the possibility of continuous regulation of fan station parameters): 1 – additional outlays for air-conditioning, 2 – ventilation costs, 3 – total outlays

przebieg linii charakteryzującej łączne nakłady na klimatyzację i wentylację można stwierdzić, że istnieje pewna ilość powietrza doprowadzana do oddziału wydobywczego, przy której te łączne nakłady są najmniejsze. W przedstawionym na rysunku przykładzie minimum kosztów przypada dla $\dot{V} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$. Z rysunku wynika, że przy projektowaniu klimatyzacji gorącego oddziału należy uwzględnić zarówno koszty klimatyzacji, jak i przewietrzania.

4. PODSUMOWANIE

W polskich kopalniach miedzi panują bardzo trudne warunki klimatyczne. W celu ich poprawy stosuje się intensywną wentylację oraz urządzenia chłodnicze, co pociąga za sobą znaczne nakłady finansowe. Aby ograniczyć koszty przewietrzania w okresie przerwy w wydobywaniu wyłączane są (na 24 godziny) wentylatory główne. Ruch powietrza w kopalni odbywa się pod wpływem ciągu naturalnego. Przy wyłączonych wentylatorach przez kopalnię płynie od kilkunastu do dwudziestu procent tej ilości powietrza, jaka płynie przy pracujących wentylatorach. Podczas pełnego przewietrzania oddziału w czasie wstrzymania wydobywania ($\dot{V} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$) temperatura powietrza po jego wznowieniu będzie o około 1°C niższa od temperatury powietrza w przypadku, gdy intensywność przewietrzania będzie minimalna ($\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$). Zwiększając intensywność przewietrzania oddziału w okresie przerwy w wydobywaniu można zmniejszyć różnicę temperatury (gdy $\dot{V} = 10 \text{ m}^3/\text{s} - \Delta t = 0,9^\circ\text{C}$; gdy $\dot{V} = 20 \text{ m}^3/\text{s} - \Delta t = 0,7^\circ\text{C}$; gdy $\dot{V} = 50 \text{ m}^3/\text{s} - \Delta t = 0,3^\circ\text{C}$). Wpływ zmniejszenia intensywności przewietrzania oddziału podczas przerwy w wydobywaniu na temperaturę powietrza widoczny jest pierwszego dnia po jego wznowieniu. Następnego dnia wspomniana różnica temperatury wynosi mniej niż $0,2^\circ\text{C}$, a więc jest do pominięcia.

Zmniejszenie intensywności przewietrzania podczas przerw w wydobywaniu wymaga zainstalowania dodatkowej mocy chłodniczej pierwszego dnia po jego wznowieniu, przy czym wymieniony wzrost jest odwrotnie proporcjonalny do strumienia powietrza płynącego do oddziału w czasie przerwy w wydobywaniu. Przy strumieniu objętości powietrza $\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$, dla uzyskania takich samych warunków klimatycznych po wznowieniu wydobywania jak przy pełnej intensywności przewietrzania, potrzebna dodatkowa moc chłodnicza wynosi około 550 kW na oddział, przy $\dot{V} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ – około 470 kW, a przy $\dot{V} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ – około 200 kW. Instalacja dodatkowej mocy chłodniczej pociąga za sobą dodatkowe koszty. Dla strumienia objętości $\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ wymienione dodatkowe koszty wynoszą około 3000 zł na oddział, dla $\dot{V} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ – około 2600 zł, dla $\dot{V} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ – około 1100 zł.

Zmniejszenie intensywności przewietrzania w okresie przerwy w wydobywaniu, oprócz zwiększonych nakładów na klimatyzację związane jest z oszczędnością energii elektrycznej zużywanej na przewietrzanie. Dla przykładu teoretycznego omówionego w pracy, przy pełnej wentylacji kopalni w czasie przerwy w wydobywaniu dobowy koszt przewietrzania wynosi około 37 200 zł, a przy wentylacji o intensywności o 50% mniejszej, wymieniony koszt wynosi około 18 600 zł.

Oceniając skutki zmniejszenia intensywności przewietrzania oddziału trzeba również uwzględnić aspekt ekonomiczny. Sumując dodatkowe koszty na poprawę

klimatyzacji z kosztami wentylacji uzyskuje się taką wartość strumienia objętości powietrza, dla której wymienione nakłady są najmniejsze.

Oczywiście zaproponowane w niniejszym artykule sterowanie rozplywem powietrza w celu zmniejszenia nakładów na wentylację jest możliwe w kopalniach niemietanowych. W kopalniach, w których występuje zagrożenie metanowe, nawet niewielkie zmniejszenie intensywności przewietrzania podczas przerwy w wydobywaniu jest bardzo ryzykowne i może doprowadzić do katastrofy.

Literatura

1. Chmura K., Chudek M.: *Geotermo-mechanika górnicza*. Suplement. Mikołów, Wydaw. Księgarnia Nakładowa 2001.
2. Fidos A., Nowysz M.: *Ocena warunków klimatycznych w wyrobiskach eksploatacyjnych oddziału G-11 kopalni „Rudna”*. Materiały konferencyjne: „Wybieranie złóż na dużych głębokościach oraz w trudnych warunkach geotermicznych”. Wrocław, CBPM CUPRUM Sp. z o.o. 2000.
3. Holek S.: *Metoda prognozowania temperatury i wilgotności powietrza w wyrobiskach górniczych z uwzględnieniem przestrzennej i czasowej zmienności czynników*. Materiały z I Posiedzenia Grupy Roboczej nr 1 Międzynarodowego Biura Górniczej Fizyki Ciepłej. Katowice, GIG 1981.
4. Knechtel J.: *Opracowanie rozwiązań obniżających koszty i poprawiających efektywność klimatyzacji w kopalniach*. Dokumentacja o symbolu planistycznym I.6.3 i symbolu komputerowym 11603009-110. Katowice, GIG 1999.
5. Ochęduszek S.: *Termodynamika stosowana*. Warszawa, WNT 1974.
6. Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 14 kwietnia 1995 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Katowice, Wydaw. KADRA 1995.
7. Turkiewicz W.: *Prognoza i zwalczanie zagrożenia klimatycznego w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A.* Materiały konferencyjne: „Najnowsze osiągnięcia w zakresie przewietrzania kopalń oraz zwalczania zagrożeń pożarowych, gazowych i klimatycznych”. Katowice, GIG 1999.
8. Waclawik J., Gajosiński S., Turkiewicz W.: *Bilans cieplny oddziału wydobywczego w kopalni rudy miedzi*. Materiały konferencyjne: „Wybieranie złóż na dużych głębokościach oraz w trudnych warunkach geotermicznych”. Wrocław, CBPM CUPRUM Sp. z o.o. 2000.
9. Waclawik J., Cygankiewicz J., Kuźnik W., Knechtel J.: *Przeprowadzenie badań i ocena efektywności klimatyzacji centralnej KWK „Pniówek” w oparciu o rzeczywiste nakłady inwestycyjne, koszty eksploatacji oraz uzyskane wyniki*. Dokumentacja o symbolu 411 40711-112. Katowice, GIG 2001.

Recenzent: dr inż. Eugeniusz Krause