

Józef KNECHTEL
Główny Instytut Górnictwa, Katowice

BADANIA NAD MOŻLIWOŚCIĄ WYKORZYSTANIA CIEPŁA GEOTERMALNEGO WYNOŠZONEGO Z POWIETRZEM KOPALNIANYM NA POWIERZCHNIĘ

Streszczenie. W badaniach nad możliwością wykorzystania ciepła zawartego w powietrzu kopalnianym do celów gospodarczych przyjęto, że po zakończeniu wydobywania w oddziale ruch powietrza odbywa się pod wpływem energii ciągu naturalnego. Z wariantowych prognoz klimatycznych wynika, że temperatura tego powietrza jest zbliżona do 35 °C. Zaś z obliczeń numerycznych dotyczących wychłodzenia masywu skalnego otaczającego ścianę eksploatacyjną i wyrobiska przyścianowe wynika, że w ciągu 10 lat od czasu zakończenia wydobywania górotwór oddał powietrzu około 18 000 GJ energii. Energia ta jest równoważna kwocie 613 000 zł.

THE INVESTIGATION CONCERNING THE FEASIBILITY OF UTILIZATION OF THERMAL ENERGY CARRIED AWAY BY VENTILATING AIR TO THE SURFACE

Summary. It was assumed that after the exploitation process is phased out the natural ventilation is the main factor causing airflow through a mine ventilation network. From variant calculations it emerged that the temperature of air flowing out from typical a mining region can be as high as 35 °C. From calculations of the cooling down processes it emerged that the potential thermal energy that can be intercepted by ventilating air flowing for 10 years after region closure can be of 18 000 GJ, having commercial value of 613 000 zł.

1. Wstęp

Niektórzy badacze zastanawiają się nad możliwością wykorzystania ciepła wynoszonego z powietrzem z kopalni na powierzchnię do celów gospodarczych, np. w cieplarniach lub

łaźniach. Uważają oni, że temperatura powietrza wypływającego szybami wydechowymi jest dosyć wysoka. Istniejące w Polsce kopalnie o dużym i bardzo dużym zagrożeniu klimatycznym charakteryzują się wysoką intensywnością przewietrzania. Sumaryczny strumień objętości powietrza płynący szybami wentylacyjnymi wynosi 600–800 m³/s, a były przypadki, że przekraczał nawet 1100 m³/s [4]. Przy tak olbrzymich masach powietrza strumień ciepła wynoszony z tym powietrzem powinien być ogromny. Jednak do problemu wykorzystania ciepła, jakie niesie ze sobą powietrze wypływające z kopalni, należy podchodzić ostrożnie. Z dostępnej literatury nie wynika, jak duży jest ten strumień, ani jakich temperatur należy spodziewać się w przekroju wypływu powietrza z dyfuzora. Wiadomo jedynie, że w okresie letnim temperatura ta wynosi 25–26 °C. Należy przy tym zaznaczyć, że gdyby nie działały wentylatory główne, temperatura ta byłaby o około 3 °C niższa. W okresie zimowym natomiast wymieniona temperatura wynosi kilkanaście stopni Celsjusza. Powietrze wypływające z kopalni jest sumą powietrza płynącego z gorących rejonów oraz powietrza płynącego z miejsc chłodniejszych. Płynąc z dołu do góry rozpręża się, przez co jego temperatura obniża się. Obecnie, w związku z restrukturyzacją górnictwa, niektóre kopalnie są zamykane, również kopalnie głębokie o bardzo dużym zagrożeniu klimatycznym (np. KWK Morcinek). Zachodzi pytanie, czy jest możliwość wykorzystania ciepła geotermalnego takiej kopalni.

Dla uzyskania odpowiedzi na postawione pytanie podjęto badania teoretyczne nad oceną możliwości wykorzystania tego ciepła do celów gospodarczych. Z wieloletniej praktyki górniczej oraz z teorii wynika, że im głębsza kopalnia, tym większa energia ciągu naturalnego (depresji naturalnej). W głębokich kopalniach energia ta wynosi 20 % i więcej energii wytwarzanej przez wentylatory główne. W przypadku zakończenia eksploatacji i wyłączenia stacji wentylatorów głównych przez kopalnię powinno zatem płynąć około 20 % tej ilości powietrza, jaka płynęła by w przypadku normalnego funkcjonowania kopalni. Stosując odpowiedni system tam wentylacyjnych, można tak pokierować rozplywem powietrza, żeby płynęło ono tylko do najgorętszych miejsc. Wówczas temperatura powietrza wypływającego z kopalni będzie największa.

W rozważaniach nad możliwością wykorzystania ciepła wynoszonego z powietrzem kopalnianym na powierzchnię ograniczono się do okresu letniego. Z pomiarów wykonanych przez służby wentylacyjne w okresie letnim w latach 1998–2004 na najgłębszych podszybiach szybów wdechowych (w sumie 118 pomiarów) wynika, że temperatura powietrza świeżego w tym okresie wynosi od 16,8 do 27,8 °C, średnio 23,8 °C. Można więc przyjąć, że temperatura powietrza wpływającego do rejonu wynosi około 25 °C. Analiza parametrów punktu pracy 35 stacji wentylatorów głównych, zabudowanych przy głębokich szybach wydechowych wykazała,

że opór aerodynamiczny podsieci, z którą współpracowały wymienione wentylatory, wynosi od 0,01 do 0,387 kg/m⁷. Wartość tego oporu ma wpływ m.in. na strumień objętości powietrza płynący szybem w przypadku, gdy wentylatory główne nie pracują, a ruch powietrza odbywa się pod wpływem energii ciągu naturalnego. Z badań H. Bystronia [1] wynika, że energia ciągu naturalnego w okresie letnim (gdy temperatura powietrza atmosferycznego na powierzchni wynosi 17 °C) wynosi $e_{nv} = 87 \text{ J/m}^3$, a w okresie wiosenno-jesiennym $e_{nv} = 349 \text{ J/m}^3$. Wyliczone dla tych wartości strumienie objętości powietrza wynoszą: około 36 % ilości powietrza płynącego podczas pracy stacji wentylatorów głównych w okresie wiosenno-jesiennym i około 20 % w okresie letnim.

2. Wpływ czasu przewietrzania rejonu wydobywczego pod wpływem energii ciągu naturalnego na temperaturę powietrza w rejonie, w którym zakończono wydobywanie

Wymieniony wpływ postanowiono zbadać numerycznie, wykonując prognozy klimatyczne dla różnych czasów przewietrzania rejonu. Do obliczeń zastosowano metodę opisaną w pracy [3]. Obliczenia wykonano dla typowego rejonu wydobywczego, składającego się z chodnika podścianowego o długości 800 m (w którym zlokalizowano odstawę urobku), ściany eksploatacyjnej o długości 200 m i chodnika nadścianowego o długości 1200 m. Sumaryczna moc urządzeń energomechanicznych w chodniku podścianowym jest równa 800 kW, a w ścianie eksploatacyjnej 1000 kW. Średnie wydobywanie dobowe ze ściany wynosi 5000 t/d. Temperatura pierwotna skał w otoczeniu chodników przyścianowych wynosi 40 °C, zaś w ścianie 44 °C. W okresie prowadzenia eksploatacji przez rejon płynie 25 m³/s powietrza. Z chwilą zakończenia eksploatacji zostają wyłączone wentylatory głównego przewietrzania. Przez rejon płynie powietrze pod wpływem energii ciągu naturalnego w ilości 5 m³/s. Przyjęto, że temperatura powietrza świeżego wpływającego do rejonu jest równa 25 °C. W obliczeniach założono, że nie stosuje się urządzeń chłodniczych. Obliczenia wykonano dla dwunastu wariantów: pełne wydobywanie i pełne przewietrzanie, wstrzymanie wydobywania przy zachowaniu pełnego przewietrzania, wyłączenie stacji wentylatorów głównych i wykonanie prognoz dla następujących czasów po zakończeniu wydobywania: 1 dzień, 1 tydzień, 2 tygodnie, 1 miesiąc, 3 miesiące, 1 rok, 2 lata, 5 lat 10 lat i 20 lat. Wyniki obliczeń podano w tablicy 1. Część wyników podano również w postaci graficznej na rysunku 1. Prognozowana temperatura powietrza jest bardzo wysoka. Już w chodniku podścianowym temperatura powietrza niższa od

28 °C występuje tylko w przypadku zatrzymania wydobycia przy pełnym przewietrzaniu. W ścianie temperatura ta jest wyższa od 33 °C. Dopiero po upływie 3 lat temperatura ta jest niższa od 33 °C. W przekroju wypływu powietrza z rejonu prognozowana temperatura powietrza wynosi od 38,8 °C po pierwszym dniu od zakończenia wydobycia do 34,6 °C po upływie 20 lat od zakończenia wydobycia. Można zatem przyjąć, że temperatura ta w zasadzie jest wyższa od 35 °C. Przyjmując, że wylot z rejonu znajduje się blisko szybu wentylacyjnego można założyć, że na podszybiu szybu wentylacyjnego temperatura powietrza wynosi 35 °C. Zakładając, że szyb jest suchy i nie ma wymiany ciepła pomiędzy ściankami szybu a powietrzem, po uwzględnieniu ujemnej autokompresji, temperatura powietrza wypływającego z szybu na powierzchnię wynosi:

$$t = 35 - \Delta h \frac{g}{c_p},$$

gdzie:

$c_p = 1006 \text{ J}/(\text{kg K})$ – właściwa pojemność cieplna powietrza mierzona przy stałym ciśnieniu,

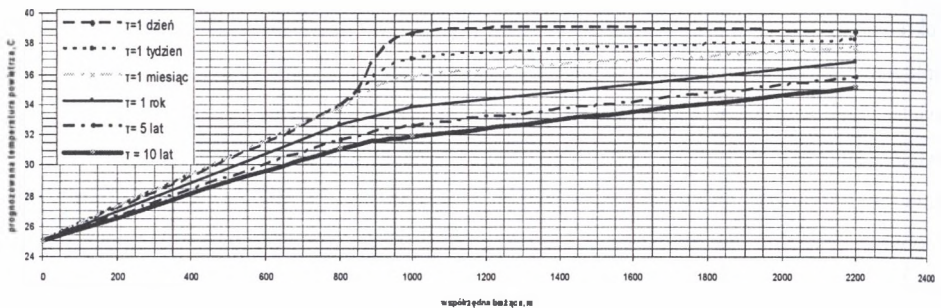
$g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ – przyspieszenie siły ciężkości,

Δh – różnica wysokości geodezyjnych powierzchni i najgłębszego poziomu kopalni, m.

Jeśli głębokość szybu wynosi 1000 m, wówczas temperatura powietrza wypływającego na powierzchnię jest równa:

$$t = \left(35 - \frac{1000 \cdot 9,80665}{1006} \right) \text{C} = 25,3 \text{ °C}$$

Powietrze o takiej temperaturze (zwłaszcza w okresie letnim) trudno wykorzystać do celów energetycznych. Można natomiast rozważyć możliwość schłodzenia powietrza na dole kopalni, a na powierzchnię odprowadzić gorącą wodę, która odbierze ciepło od tego powietrza.



Rys. 1. Wpływ czasu przewietrzania pod wpływem energii ciągu naturalnego na temperaturę powietrza w oddziale, w którym zakończono eksploatację

Fig. 1. Influence of duration of ventilation period induced by natural ventilation on temperature of air flowing across abandoned exploitation zone

3. Wpływ przewietrzania pod wpływem energii ciągu naturalnego na stygnięcie górotworu

Wymieniony wpływ postanowiono oszacować, opierając się na wynikach obliczeń dla masywu skalnego otaczającego wirtualny rejon eksploatacyjny, o którym była mowa w rozdziale 2 niniejszego referatu. W okresie normalnego wydobywania temperatura powietrza zależy od ciepła dopływającego z masywu skalnego oraz ciepła pochodzącego od źródeł technologicznych (napędy przenośników, pomp, kombajnów, transformatorów, kabli elektrycznych, utleniania, gorącego urobku). W tym przypadku temperatura powietrza świeżego wypływającego ze ściany (jak to wynika z tablicy 1) wynosi około 35 °C. Po zakończeniu wydobywania i wyłączeniu stacji wentylatorów głównych jedynym źródłem ciepła jest górotwór (ciepło pochodzące od masywu skalnego oraz ciepło utleniania). Temperatura powietrza zależy wówczas od temperatury ociosu. Temperatura ociosu natomiast zależy od tego, w jakim stopniu jest wychłodzony górotwór. Korzystając z metody obliczeń opisanej w pracy [2] wyznaczono strefy wychłodzenia górotworu przewietrzanego pod wpływem energii ciągu naturalnego w obrębie chodnika podścianowego, ściany eksploatacyjnej i chodnika nadścianowego.

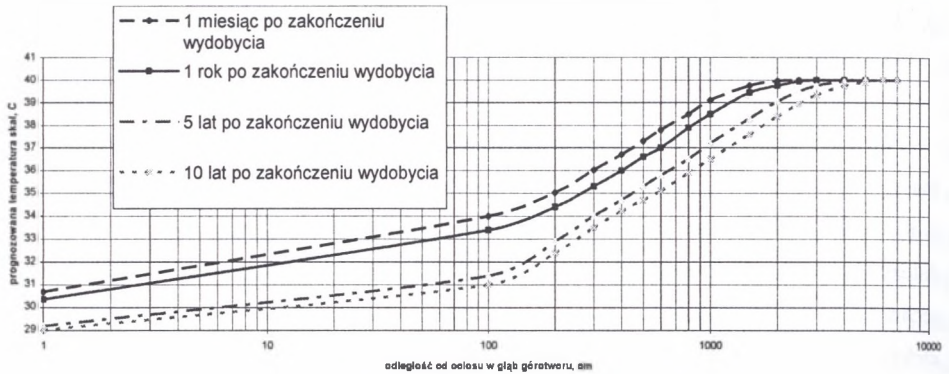
Tablica 1

Wpływ warunków przewietrzania na temperaturę powietrza w oddziale

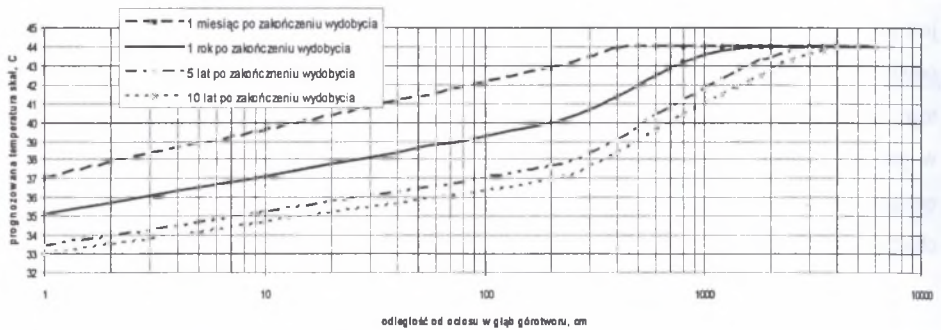
Warunki przewietrzania	Wlot do rejonu	Wlot do ściany	Wylot ze ściany	Wylot z rejonu
wydobycie i pełne przewietrzanie	25,00	30,41	35,06	35,38
wstrzymanie wydobywania i pełne przewietrzanie	25,00	27,87	32,25	32,90
przewietrzanie pod wpływem energii ciągu naturalnego				
1 dzień pzw	25,00	33,88	38,66	38,77
1 tydzień pzw	25,00	33,84	36,92	38,23
2 tygodnie pzw	25,00	33,79	36,32	38,04
1 miesiąc pzw	25,00	33,69	35,74	37,83
3 miesiące pzw	25,00	33,38	34,97	37,49
1 rok pzw	25,00	32,67	33,82	36,81
2 lata pzw	25,00	32,22	33,27	36,40
5 lat pzw	25,00	31,57	32,50	35,75
10 lat pzw	25,00	31,06	31,91	35,18
20 lat pzw	25,00	30,57	31,33	34,56

pzw – po zakończeniu wydobywania

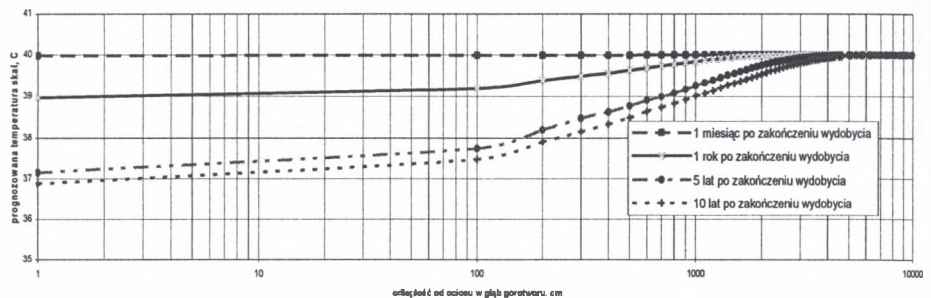
Wyniki badań przedstawiono w sposób graficzny na rysunkach 2, 3 i 4.



Rys. 2. Stygnięcie górotworu otaczającego chodnik podścianowy
 Fig. 2. Cooling down of rock-mass surrounding lower (fresh-air) longwall gate



Rys. 3. Stygnięcie górotworu otaczającego ścianę eksploatacyjną
 Fig. 3. Cooling down of rock-mass surrounding longwall



Rys. 4. Stygnięcie górotworu otaczającego chodnik nadścianowy
 Fig. 4. Cooling down of rock-mass surrounding upper gate of longwall

W miarę upływu czasu strefa wychłodzenia górotworu przesuwa się w głąb masywu. Jednak, nawet po 5 latach w odległości około 50 m od ośrodku jeszcze panuje temperatura pierwotna. Najmniejszy efekt wychłodzenia ośrodku obserwuje się w otoczeniu chodnika podścianowego (rys. 2), a największy w otoczeniu ściany (rys. 3). W chodniku podścianowym główne wychłodzenie górotworu nastąpiło podczas eksploatacji. Wówczas temperatura ośrodku była niższa

od 31 °C (podczas, gdy temperatura pierwotna skał jest równa 40 °C). Z chwilą zakończenia wydobywania i wyłączenia wentylatorów głównych temperatura ociosu w miarę upływu czasu zaczęła spadać aż do wartości 29 °C (po upływie 10 lat). Po upływie tego czasu strefa wychłodzona sięga do 60 m. W otoczeniu ściany eksploatacyjnej z chwilą zakończenia wydobywania temperatura ociosu wynosi około 37 °C (rys. 3). Po wyłączeniu stacji wentylatorów głównych w miarę upływu czasu temperatura ta spada i po roku wynosi około 35 °C, po upływie 5 lat około 33,5 °C, a po upływie 10 lat temperatura ta wynosi około 33 °C (a więc jest niższa od temperatury pierwotnej w ścianie o 11 °C). Strefa wychłodzona w otoczeniu ściany sięga do około 60 m. W otoczeniu chodnika nadścianowego (rys.4) temperatura ociosu spada od wartości 40 °C do 36,9 °C. W okresie 10 lat od zatrzymania wentylacji wymuszonej temperatura ociosu w otoczeniu chodnika podścianowego spada o niespełna 2 °C, w otoczeniu ściany o około 4 °C, a w otoczeniu chodnika nadścianowego o nieco ponad 3 °C. Wychłodzenie ociosu chodnika podścianowego do wartości 40 °C nastąpiło w okresie eksploatacji, kiedy temperatura dopływającego powietrza świeżego była stosunkowo niska (25 °C), a jego strumień objętości był stosunkowo duży (25 m³/s). W rejonie ściany powietrze już było ogrzane i nie było w stanie odebrać więcej ciepła od górotworu. Zasadnicze wychłodzenie rozpoczęło się z chwilą usunięcia źródeł ciepła pochodzących od procesów technologicznych. Z pobieżnego oszacowania wynika, że w okresie 10 lat od wstrzymania eksploatacji górotwór w otoczeniu chodnika podścianowego oddał 10 613 GJ ciepła, w otoczeniu ściany około 2344 GJ, a w otoczeniu chodnika nadścianowego około 5082 GJ – łącznie około 18 039 GJ. Ciepło to jest oddawane powietrzu. Mnożąc tę wartość przez koszt 1 GJ energii cieplnej równy 34 zł/GJ uzyskuje się wartość rynkową wspomnianej energii cieplnej równą około 613 000 zł.

4. Zakończenie

Podczas przewietrzania otaczający maszyn skalny oddaje powietrzu ogromne ilości ciepła. Z pobieżnych rozważań wynika, że w okresie 10 lat po zakończeniu eksploatacji i przewietrzania rejonu pod wpływem energii ciągu naturalnego, z górotworu do powietrza płynie około 18 000 GJ energii cieplnej, której wartość wynosi około 613 000 zł. Jednak zagospodarowanie tego ciepła nie jest takie proste. Jeśli ogrzane przez górotwór powietrze o temperaturze około 35 °C odprowadzimy na powierzchnię, jego temperatura spadnie do 25 °C. Wydaje się, że lepszym rozwiązaniem jest ochłodzenie tego powietrza na dole kopalni i odprowadzenie ciepła kondensacji na powierzchnię z wodą chłodzącą skraplacz. Temperatura

tej wody jest wyższa od 40 °C. Należy również zauważyć, że rejonów takich, o których mowa w referacie, może być kilka. Wówczas efekt związany z odprowadzeniem gorącej wody na powierzchnię może być znaczący. Mianowicie, biorąc pod uwagę, że żywotność przeciętnej ściany wynosi 1 do 1,5 roku można przyjąć, że w ciągu 10 lat liczba takich rejonów, w których zakończono eksploatację, a przewietrzanie odbywa się pod wpływem energii ciągu naturalnego wzrośnie do pięciu. Mnożąc tę liczbę przez 613 000 zł dostajemy kwotę 3 065 000 zł. W rozważaniach przyjmuje się, że rejon te były klimatyzowane. Jeśli założy się, że ziębiarki nie zostały zdemontowane i dalej pracują, wówczas od kwoty 3 065 000 zł należy odjąć koszty pracy ziębiarek. Według R. Ślizienia [5] współczynnik wydajności chłodniczej stosowanych w polskich kopalniach ziębiarek wynosi od 4,02 do 4,57, średnio 4,3. Stąd wynika, że aby otrzymać np. 100 GJ energii należy włożyć 23 GJ energii. Uzyskana kwota wyniesie zatem mniej niż 3 065 000 zł, lecz 2 360 000 zł.

Problem wykorzystania ciepła geotermalnego przekazywanego powietrzu kopalnianemu jest problemem otwartym i wymaga szerszych badań. Wydaje się, że bezpośrednie wykorzystanie ciepła zawartego w powietrzu poprzez wyprowadzenie tego powietrza na powierzchnię jest mało realne, ponieważ powietrze to zanim dotrze na powierzchnię ulega znacznemu ochłodzeniu.

LITERATURA

1. Bystron H.: Ciąg naturalny i jego charakterystyka w podejściach grawimetrycznym ściśliwym i termodynamicznym do wentylacji podziemnej. Przegląd Górniczy nr 1/2003.
2. Holec S.: Prognozowanie temperatury i wilgotności powietrza w wyrobiskach górniczych z uwzględnieniem przestrzennej i czasowej zmienności czynników. Prace Komisji Naukowych PAN-Oddział w Katowicach 1979 z. 4.
3. Holec S.: Opracowanie potencjału ruchu wilgoci i opartych na nim metod prognozowania mikroklimatu wyrobisk. Prace Naukowe GIG, Seria Dodatkowa. Katowice 1990.
4. Knechtel J.: Raport roczny (1999) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Rozdział 5. Zagrożenie klimatyczne. Praca zbiorowa pod kierunkiem W. Konopko, GIG Katowice 2000.
5. Ślizień R.: Wstępne badania sprawności chłodniczej i efektywności ekonomicznej lokalnych urządzeń chłodniczych w kopalni podziemnej. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej. Artykuł 37, str. 463÷471, Zakopane 2004

Recenzent: Dr hab. inż. Marian Kolarczyk, prof. nzw w Pol. Śl.