

Zagrożenie klimatyczne w kontekście zagrożeń naturalnych w kopalniach podziemnych

Omówiono czynniki wpływające na wzrost zagrożenia klimatycznego oraz rodzaje transportu ciepła. Opisano zmianę stanu powietrza związaną z jego jednoczesnym nagrzewaniem i nawilżaniem – entalpię właściwą. Scharakteryzowano rozpoznawanie potencjalnego zagrożenia klimatycznego oparte na najprostszymi sposobach wskazywania temperatury pierwotnej górotworu oraz kryteriach określających poziomy krytyczne, a także na wskaźniku klimatycznym. Przedstawiono – skrótowo – wyniki badań przeprowadzonych na przestrzeni ostatnich 15 lat w rejonach ścian, w trzech różnych okresach, pod kątem występujących tam warunków naturalnych. Na tym tle zobrazowano przyrost procentowy rejonów eksploatacyjnych objętych zagrożeniem klimatycznym. W ostatniej części odniesiono się do badań z roku 2010 w kontekście pozostałych zagrożeń oraz podano podział wszystkich zagrożeń naturalnych pod względem częstości ich występowania. W podsumowaniu zaakcentowano, że za około 5-8 lat częstość występowania zagrożenia klimatycznego wzrośnie i znajdzie się ono w grupie zagrożeń o wysokiej częstości występowania.

1. WPROWADZENIE

Górnictwo węgla kamiennego w Polsce od dłuższego czasu odczuwa skutki coraz głębszej eksploatacji, rocznie zwiększającej się średnio o ok. 8 m, do których należy również coraz częściej występujące zagrożenie klimatyczne. Wiąże się ono z wzrostem temperatury pierwotnej skał, który na określonej głębokości ma wiele przyczyn. Wysokość tej temperatury zdecydowanie bardziej wpływa na poziom zagrożenia klimatycznego niż inne czynniki. Najistotniejsze z nich można podzielić na trzy grupy:

– naturalne, do których należą: temperatura pierwotna górotworu, głębokość zalegania, zawodnienie lub zawilgocenie górotworu,

- górnicze, do których należą: zawodnienie wyrobisk, zawilgocenie powietrza, wielkość otaczających zrobów,
- techniczne, w tym: sposób urabiania, system kierowania stropem, system przewietrzania, intensywność przewietrzania, system odwadniania, moc zainstalowanych urządzeń, stosowanie urządzeń chłodniczych.

Widać z powyższego, że na czynniki naturalne człowiek nie ma wpływu, na czynniki górnicze ma wpływ ograniczony, natomiast na czynniki techniczne – decydujący.

Transport ciepła pomiędzy takimi ośrodkami, jak górotwór oraz powietrze płynące wydrążonym w nim wyrobisku, czyli ośrodkami o różnej temperaturze, może być dosyć zróżnicowany (tab. 1) [7].

Tabela 1.

Sposoby transportu ciepła [7]

Sposób	Mechanizm	Kryterium pojawiania się	Obraz makroskopowy
Przewodnictwo	Chaotyczne ruchy cząsteczek	Występuje przy dowolnym gradientcie temperatur	Nie obserwuje się żadnych szczególnych zjawisk
Konwekcja	Makroskopowy ruch gorących i zimnych części układu spowodowany zazwyczaj różnicami gęstości	Występuje w gazach i cieczach przy dostatecznie dużym gradientcie temperatur	Widoczne strugi, bąbelki itp.
Promieniowanie	Emisja fal elektromagnetycznych przez rozgrzane ciało	Występuje zawsze, ale dużą rolę odgrywa tylko przy dostatecznie wysokiej temperaturze	Świecenie rozgrzanych ciał

Jednak w przypadkach, gdy temperatura pierwotna rozcinanego górotworu przewyższa temperaturę powietrza płynącego wyrobiskiem, dochodzi do jej podwyższenia z uwagi na przepływy nie tylko strumieni ciepła, ale też i wilgoci z górotworu do wyrobiska. Zmiany przy tym zachodzące są określane i obliczane w różny sposób [20, 4, 3, 19, 6, 5], przy czym zasadniczą zmianę stanu powietrza, związaną z jego jednoczesnym nagrzewaniem i nawilżaniem, określa się zależnością, wyrażającą entalpię właściwą – i :

$$i = t_o \cdot c_p + (t_o \cdot c_{pw} + r_w) \cdot X, \quad \text{kJ/kg}, \quad (1)$$

gdzie:

t_o – temperatura sucha powietrza, °C,

c_p – ciepło właściwe powietrza suchego przy stałym ciśnieniu, $c_p = 1,005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$,

c_{pw} – ciepło właściwe pary wodnej przy stałym ciśnieniu, $c_{pw} = 1,86 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$,

r_w – ciepło właściwe parowania wody w temperaturze 0°C, $r_w = 2500 \text{ kJ/kg}$,

X – wilgotność właściwa powietrza wilgotnego, kg/kg.

Intensywność przepływu ciepła z górotworu do wyrobiska charakteryzowana jest gęstością strumienia cieplnego – \dot{q} , którą dla stanów nieustalonych charakteryzuje wzór:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A}, \quad \text{W/m}^2, \quad (2)$$

gdzie:

A – przekrój poprzeczny wyrobiska, m^2 ,

\dot{Q} – strumień ciepła wyrażony jako

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\tau}, \quad \text{J/s} \quad (3)$$

dla: Q oznaczającego ilość ciepła J i τ oznaczającego czas s .

Biorąc to wszystko pod uwagę, można uznać, że zagrożenie klimatyczne, z uwagi na związany z nim dyskomfort cieplny pracownika, jest zagrożeniem bardzo istotnym z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy. Stąd rozpoznawać je należy jeszcze przed rozpoczęciem robót górniczych w nierozpoznanej partii złoża oraz kontrolować podczas prowadzenia robót.

2. ROZPOZNAWANIE POZIOMU ZAGROŻENIA KLIMATYCZNEGO

Chcąc odpowiednio wcześniej zaplanować działania zapobiegające skutkom wysokiej temperatury w nierozpoznanych partiach złoża, dokonuje się wstępnej

oceny poziomu zagrożenia klimatycznego. Można w tym celu wykonać prognozę temperatury pierwotnej górotworu t_{pg} , która zależy od:

- średniorocznej temperatury powietrza t_o na powierzchni ziemi,
- gęstości strumieni ciepła g_1, g_2, \dots, g_i , mierzonych w J/m^2 , wnikających z głębi ziemi poprzez 1, 2 oraz i -tą warstwę do warstw wyższych,
- grubości poszczególnych warstw skalnych z_1, z_2, \dots, z_i , mierzonych w metrach, co obrazuje zachodzący (wg [1]) między nimi następujący związek:

$$t_{pg} = t_o + \frac{g_1 z_1}{g_1} + \frac{g_2 z_2}{g_2} + \dots + \frac{g_i z_i}{g_i}. \quad (4)$$

Można też na tej podstawie (4) potraktować nadkład jako jedną warstwę stratygraficzną, skały karbonu jako drugą, a węgiel jako trzecią oraz uwzględnić zależność:

$$a_i^{df} = \frac{g_i}{\lambda_{gi}}, \quad (5)$$

gdzie:

a_i – współczynnik dla danej warstwy nadkładu,

λ_{gi} – współczynnik przewodnictwa cieplnego skały, w wyniku czego uzyskuje się zależność:

$$t_{pg} = t_o + a_n \cdot z_n + a_k \cdot (z_k - z_w) + a_w \cdot z_w, \quad (6)$$

gdzie:

a_n – współczynnik nadkładu, K/m ,

a_k – współczynnik dla skał karbońskich (bez węgla), K/m ,

a_w – współczynnik dla węgla, K/m ,

z_n – grubość nadkładu nad miejscem, dla którego wyznacza się pierwotną temperaturę skał, m ,

z_k – grubość karbonu nad tym miejscem, m ,

z_w – sumaryczna grubość pokładów węgla nad tym miejscem, m .

Wartości tych współczynników zależą od wielu czynników, m.in. od struktury i składu mineralnego skał, liczby porowatości, gęstości przestrzennej i gęstości masy, stanu higroskopijnego skały, zwiększenia i stopnia zdiagenezowania, tekstury skały i kierunku przenikania ciepła. Współczynnik rośnie również wraz z wzrostem temperatury skał, przy czym maksymalną wartość osiąga, gdy temperatura skał wynosi 45-60°C. Nie jest więc łatwo obliczyć prognozowaną temperaturę.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami [11] wymagane jest rozpoznawanie pomiarami temperatury pierwotnej górotworu [8], co pozwala posłużyć się łatwiejszym sposobem prognozowania temperatury

pierwotnej górotworu dla złoża (skał) nierozpoznano na danej głębokości. Wykorzystuje się do tego wzór na średni stopień geotermiczny Γ_m [m^oC] dla danego poziomu kopalni:

$$\Gamma_m = \frac{z_m - z_0}{t_{pmg} - t_0}, \quad (7)$$

gdzie:

z_m – średnia głębokość obranego poziomu kopalni liczona od powierzchni, m,

z_0 – głębokość strefy neutralnej, zazwyczaj przyjmuje się jako $h_0 = 25$ m,

t_{pmg} – średnia temperatura pierwotna skał dla danego poziomu, °C,

t_0 – średnioroczna temperatura powietrza równa temperaturze skał na głębokości strefy neutralnej, dla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego przyjmuje się $t_0 = 8^\circ\text{C}$.

Znając głębokość poziomu z_m , dla którego obliczana ma być temperatura pierwotna górotworu, i znając Γ_m dla najbardziej zbliżonego poziomu oraz przyjmując, że $t_{pg} = t_{pmg}$, po przekształceniu wzoru (7) otrzymujemy zależność:

$$t_{pmg} = \frac{z_m - z_0}{\Gamma_m} + t_0. \quad (8)$$

Poznawszy w ten sposób określoną temperaturę pierwotną danej części górotworu, możemy zaklasyfikować go do odpowiedniego poziomu krytycznego:

– I PK, gdy $30^\circ\text{C} \leq t_{pg} < 35^\circ\text{C}$,

– II PK, gdy $35^\circ\text{C} \leq t_{pg} < 40^\circ\text{C}$,

– III PK, gdy $t_{pg} \geq 40^\circ\text{C}$.

Dla takich temperatur przepisy [11] wymagają opracowania prognozy warunków klimatycznych oraz ustalenia działań zapewniających utrzymanie właściwych warunków klimatycznych w miejscu pra-

cy. Pomocny w tym względzie jest wskaźnik klimatyczny K , który oblicza się według wzoru:

$$K = \frac{t_{pg} - t_d}{t_d - t_p}, \quad {}^\circ\text{K}_w, \quad (9)$$

gdzie:

t_d – dopuszczalna temperatura powietrza w miejscu pracy załogi bez stosowania skróconego czasu pracy, $t_d = 28^\circ\text{C}$,

t_p – temperatura powietrza na podszybiu danego poziomu, °C.

W zależności od obliczonej wartości należy zaplanować odpowiednie działania (tab. 2).

Korzystanie z wzoru (9) wymaga przyjęcia pewnych założeń, mianowicie:

– $t_{pg} \neq t_d = 28^\circ\text{C}$, ponieważ w przeciwnym przypadku $K = 0$, a takiej wartości kryteria (tab. 2) nie przewidują,

– $t_p < t_d = 28^\circ\text{C}$, ponieważ w przeciwnym wypadku wartość wskaźnika K byłaby albo nie do określenia

– przy $t_p = t_d = 28^\circ\text{C}$ licznik prawej strony wzoru (9) wynosiłby 0, albo określałaby nieprawdę – przy

$t_p > t_d = 28^\circ\text{C}$ wartość wskaźnika $K < 0$, co oznaczałoby (tab. 2) brak zagrożenia klimatycznego

mimo bardzo wysokiej temperatury powietrza na wlocie danego poziomu.

Trzeba przy tym podkreślić, że aktualnie tak wysoka temperatura powietrza wlotowego ($t_p > t_d = 28^\circ\text{C}$)

nie występuje nawet na najgłębszym poziomie eksploatacyjnym w polskich kopalniach – maksymalna temperatura wynosiła $27,4^\circ\text{C}$ [4].

Jednak w niedalekiej przyszłości nie da się tego wykluczyć.

Na pełny komfort pracy w wyrobiskach dołowych wpływają też czynniki związane z klimatyczną jakością powietrza, tj. – oprócz temperatury – wilgotnością, a także z intensywnością odbioru ciepła.

Stąd poziom zagrożenia klimatycznego kontrolowany jest poprzez pomiary tych właśnie parametrów.

Tabela 2.

Zależność podejmowanych działań od poziomu zagrożenia klimatycznego określonego wskaźnikiem klimatycznym

Poziom zagrożenia	Kryteria wskaźnika klimatycznego	Planowane działania
Brak zagrożenia cieplnego	$K < 0$	–
Niewielkie zagrożenie cieplne	$0 < K \leq 0,8$	Przestrzeganie głównych zasad racjonalnej wentylacji
Zagrożenie cieplne	$0,8 < K \leq 1,5$	Udostępnienie i rozcięcie pokładów oraz ich eksploatacja zapewniająca możliwie najmniejsze nagrzanie powietrza świeżego
Duże zagrożenie cieplne	$K > 1,5$	Zastosowanie środków techniczno-organizacyjnych mających na celu zmniejszenie zagrożenia klimatycznego (np. stosowanie skróconego czasu pracy, urządzeń chłodniczych)

Zgodnie z obowiązującymi aktualnie przepisami [11] bezpośrednie pomiary wykonywane są za pomocą kilku przyrządów:

– katatermometru – o wyznaczonej stałej katatermometru F , pozwalającego mierzyć czas τ obniżania się temperatury z 38°C do 35°C , a natężenie (intensywność) chłodzenia K_w oblicza się z zależności:

$$K_w = \frac{F}{\tau}, [\text{mcal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}] \quad (10)$$

– termometru suchego, pozwalającego mierzyć temperaturę t_s .

Stosownie do wyników pomiarów wprowadza się określone rygory pracy (tab. 3), które mają na celu ochronę zdrowia pracowników.

Tabela 3.

Zależność rodzaju prac od warunków cieplnych

Warunki cieplne	Zakres prac	Rygory
$t_s \leq 28^{\circ}\text{C}$	bez ograniczeń	brak
$28^{\circ}\text{C} < t_s \leq 33^{\circ}\text{C}$	bez ograniczeń	czas pracy skrócony do 6 godzin (razem ze zjazdem i wyjazdem na powierzchnię)
$K_w < 11$	bez ograniczeń	

Jeśli pomiary temperatury mierzonej termometrem suchym wykażą, że $t_s > 33^{\circ}\text{C}$, to prace mogą być wykonywane tylko w ramach akcji ratowniczej [12], przy której czas pracy ratownika w aparacie regeneracyjnym uzależniony jest od występujących trudnych warunków mikroklimatu [13], wydatku energetycznego, rodzaju ubrania. W przypadku możliwej pracy bez użycia aparatów regeneracyjnych czas ten może być wydłużony o 25% w stosunku do czasu wyznaczonego dla pracy z użyciem aparatu. Ponieważ dla określenia trudnych warunków mikroklimatu niezbędna jest znajomość wilgotności względnej, to można dokonać jej bezpośredniego pomiaru wilgotnościomierzem lub dokonać pomiarów temperatury t_s i t_w powietrza termometrem suchym i termometrem wilgotnym, a wilgotność względną – wyznaczyć z tablic psychrometrycznych.

Już w niedługim czasie, bo po wejściu w życie nowego rozporządzenia w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych [9] – przygotowywanego na podstawie ustawy *Prawo geologiczne i górnicze* z dnia 9 czerwca 2011 r. [18] – podstawowym kryterium oceny zagrożenia klimatycznego będzie występowanie na stanowisku pracy temperatury zastępczej klimatu wyższej niż 26°C , którą oblicza się będzie według wzoru:

$$t_{zk} = 0,6 t_w + 0,4 t_s - v, \quad (11)$$

gdzie:

t_{zk} – temperatura zastępcza klimatu, $^{\circ}\text{C}$,

t_w – temperatura powietrza kopalnianego, $^{\circ}\text{C}$, zmierzona termometrem wilgotnym lub wyznaczona na podstawie pomiarów temperatury suchej, wilgotności względnej oraz ciśnienia atmosferycznego w miejscu wykonywania pomiaru,

t_s – temperatura powietrza kopalnianego zmierzona termometrem suchym lub czujnikiem pomiarowym, $^{\circ}\text{C}$,

v – prędkość powietrza, wyrażona w m/s, pomnożona przez współczynnik przeliczeniowy wynoszący $1 \text{ s} \times ^{\circ}\text{C}/\text{m}$; jeżeli prędkość powietrza jest większa niż 4 m/s, do obliczeń przyjmuje się wartość 4 m/s.

Pomiary dla wyznaczenia wartości wskaźnika wykonywane będą na stanowisku pracy, przez które rozumie się przestrzeń w podziemnym zakładzie górnictwym. Stanowisko podlegać będzie zaliczeniu do:

- I stopnia zagrożenia klimatycznego, jeżeli temperatura zastępcza klimatu nie jest wyższa niż 30°C ,
- II stopnia zagrożenia klimatycznego, jeżeli temperatura zastępcza klimatu jest wyższa niż 30°C i nie jest wyższa niż 32°C ,
- III stopnia zagrożenia klimatycznego, jeżeli:
 - temperatura zastępcza klimatu jest wyższa niż 32°C ,
 - temperatura powietrza kopalnianego zmierzona termometrem wilgotnym lub wyznaczona na podstawie pomiarów temperatury suchej, wilgotności względnej oraz ciśnienia atmosferycznego w miejscu wykonywania pomiaru jest wyższa niż 34°C ,
 - temperatura powietrza kopalnianego zmierzona termometrem suchym lub czujnikiem pomiarowym jest wyższa niż 35°C .

3. POZIOMY ZAGROŻENIA KLIMATYCZNEGO WYSTĘPUJĄCE W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Potwierdzeniem niekorzystnych zmian w zakresie zagrożenia klimatycznego są analizowane przeze mnie wyniki badań, które w ciągu ostatnich 15 lat miałem okazję organizować i nadzorować. Dotyczyły one rejonów eksploatacyjnych, jako najistotniejszych z punktu widzenia funkcjonowania kopalni.

Pierwsze z wspomnianych badań związane były z moją pracą doktorską [14] i obejmowały rejon 222 ścian zawałowych 9 kopalń Katowickiego Holdingu Węglowego S.A., 7 kopalń i zakładów górniczych istniejącej wówczas Bytomskiej Spółki Węglowej S.A. oraz 4 kopalń (również istniejącej wówczas)

Rudzkiej Spółki Węglowej S.A., w których prowadzono eksploatację w latach 1998-2001. Lokalizacja badanych ścian była zróżnicowana:

- 32 ściany należały do pokładów grupy orzeskiej, o grubości 1,4÷3,3 m,
- 72 ściany – do pokładów grupy rudzkiej, o grubości 0,6÷8,0 m,
- 105 ścian – do pokładów grupy siodłowej, o grubości 1,4÷21,0 m,
- 9 ścian – do pokładów grupy brzeźnej, o grubości 1,3÷2,2 m,
- 4 ściany – do pokładów grupy gruszowskiej (sarnowskiej), o grubości 1,4÷1,6 m.

Eksploatacja 126 ścian odbywała się w pokładach tąpniących, a 96 ścian – w pokładach nietąpniących. Pod względem zagrożenia metanowego badane ściany były dosyć zróżnicowane: 75 ścian eksploatowano w pokładach niemetanowych, 52 ściany – w pokładach zaliczonych do I kategorii zagrożenia metanowego, 38 ścian – do II, 19 ścian – do III, a 38 ścian – do IV kategorii. Z kolei najkrótszy okres inkubacji, wynoszący 21 dni, wyznaczony został dla węgla pokładu 510 kopalni „Kazimierz-Juliusz” i ZG „Brzeziny” oraz pokładu 816 kopalni „Grodziec”. Najdłuższy okres inkubacji, wynoszący 138 dni, wyznaczony został dla pokładu 417/1 kopalni „Bielszowice”. W zdecydowanej większości badanych ścian eksploatowany węgiel był suchy (do 10% wilgotności) – 179 ścian, w 32 ścianach węgiel był wilgotny (10÷25%), a w 11 ścianach był mokry (powyżej 25%). W 179 ścianach strop pokładów eksploatowanych był łatworabowalny, a w 43 ścianach był trudnorabowalny.

Z punktu widzenia zagrożenia klimatycznego istotne było to, że pod względem głębokości 10 ścian zalegało do 300 m, 85 ścian – 300÷600 m, 122 ściany – 600÷900 m i 5 ścian – poniżej 900 m. Zróżnicowanie takiego zalegania odzwierciedlała rozpiętość temperatury pierwotnej górotworu, od 14°C w kopalni „Centrum” na głębokości ok. 300 m do 41°C w kopalni „Śląsk” na głębokości ok. 1040 m. Do poszczególnych Poziomów Krytycznych zaklasyfikowanych było wówczas: do PK-I – 32 ściany (14,4%), do PK-II – 28 ścian (12,6%), a do PK-III – 2 ściany (0,9%). A więc w około 28% ścian występowały warunki odpowiadające zagrożeniu klimatycznemu.

Drugie badania przeprowadzone zostały w 2007 r. podczas realizacji projektu związanego z systemowym monitorowaniem eksploatacji w rejonach eksploatacji podziemnej [16]. Objęto nimi największych producentów węgla kamiennego w Polsce: Kompanię Węglową S.A. – grupującą wówczas 16 kopalń, Katowicki Holding Węglowy S.A. – grupujący 5 kopalń oraz Jastrzębską Spółkę Węglową S.A. – grupującą 5 kopalń. Łącznie uzyskano dane o 166 ścianach, w tym o 53 ścianach z prowadzoną podziemną eksploatacją oraz o 113 ścianach, w których eksploatacja podziemna była planowana. Rozkład tych ścian u poszczególnych przedsiębiorców przedstawiał się następująco: JSW – 14 ścian czynnych i 19 ścian planowanych, KHW – 20 ścian czynnych i 27 ścian planowanych, KW – 19 ścian czynnych i 67 ścian planowanych. Przykłady poziomów zagrożenia klimatycznego występujących ówczesnie pokazuje tab. 4.

Tabela 4.

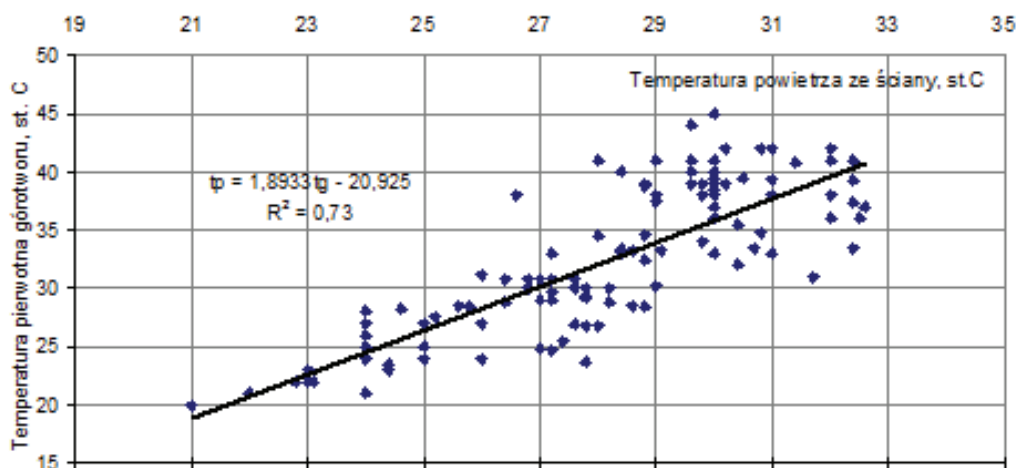
Przykładowe zestawienie wskaźników charakteryzujących poziom zagrożenia klimatycznego

Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.									
Lp.	Charakterystyka zagrożenia	Nr ściany / pokład							
		H-4 / 409/3	24 / 505/2 p.W3	H-2 / 409/3	G-6a / 409/4	G-4 / 410	B-1 / 406/1	D-6 / 409/4	
1	Temperatura pierwotna górotworu [°C]	41	45	41	40	38	38	42	
2	Poziom Krytyczny	III	III	III	II	II	II	III	
3	Wskaźnik klimatyczny <i>K</i>	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K > 1,5$	
Katowicki Holding Węglowy S.A.									
Lp.	Charakterystyka zagrożenia	Nr ściany / pokład							
		731 / 510	558 / 510D	559 / 510D	565 / 510A	507 / 501D	506 / 501D	9b-S / 510	4J / 502
1	Temperatura pierwotna górotworu [°C]	28,5	33,4	33,4	33,4	33,1	33,1	39,3	37,0
2	Poziom Krytyczny	-	I	I	I	I	I	II	II
3	Wskaźnik klimatyczny <i>K</i>	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K > 1,5$
Kompania Węglowa S.A.									
Lp.	Charakterystyka zagrożenia	Nr ściany / pokład							
		4 / 410	803 / 405/2wd	407 / 615	4 / 410	803 / 405/2wd	407 / 615	J-12 / 713/1-2	
1	Temperatura pierwotna górotworu [°C]	37,5	40,8	24	37,5	40,8	24	31	
2	Poziom Krytyczny	II	III	-	II	III	-	I	
3	Wskaźnik klimatyczny <i>K</i>	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K < 0$	$K > 1,5$	$K > 1,5$	$K < 0$	$K > 1,5$	

W kopalniach JSW rzadkością było wówczas występowanie III stopnia zagrożenia tapaniami, natomiast często występował najwyższy poziom zagrożeń metanowego i klimatycznego. W kopalniach KHW często występował najwyższy poziom zagrożeń tapaniami, metanowego, klimatycznego i wybuchem pyłu węglowego, przy zróżnicowanym poziomie zagrożenia

pożarowego. Z kolei w kopalniach KW występowały największe zróżnicowania poziomów zagrożeń. W zakresie zagrożenia klimatycznego zróżnicowania poziomów przedstawiono na przykładach zestawionych w tab. 4.

Skutkiem tego było również duże zróżnicowanie temperatury powietrza w rejonach eksploatacyjnych [17] – rys. 1.



Rys. 1. Wartości temperatury powietrza na wylocie z badanych ścian względem temperatur pierwotnych górotworu

Wynika z tego (rys. 1), że 22 ściany (13,2%) zaklasyfikowane były do PK-I, 23 ściany (13,8%) – do PK-II, a 14 ścian (8,4%) – do PK-III. W sumie w 35,4% rejonów występowały warunki zagrożenia klimatycznego. Nastąpił wzrost o ok. 7%, największy w zakresie PK-III – o 7,5%.

Trzecie badania przeprowadzone zostały w roku 2010 przy realizacji projektu strukturalnego pt. „Informatyczny system wspomaganie kompleksowego zarządzania zagrożeniami górnictwem” – realizowanego w Głównym Instytucie Górnictwa [2]. Dokonano rozpoznania [15] warunków występowania zagrożeń naturalnych w rejonach eksploatacyjnych kopalń węgla kamiennego tych samych przedsiębiorców. Badaniami objęto 176 rejonów eksploatacyjnych, przy czym do analiz wzięto pod uwagę tylko rejon, w którym ruch ściany prowadzony był przez co najmniej 6 miesięcy roku 2009. W sumie było to 109 rejonów, z czego:

- w JSW – łącznie 29 ścian, w tym: KWK „Borynia” – 4 ściany, KWK „Budryk” – 4 ściany, KWK „Jas-Mos” – 6 ścian, KWK „Krupiński” – 4 ściany, KWK „Pniówek” – 6 ścian, KWK „Zofiówka” – 5 ścian,
- w KHW – łącznie 12 ścian, w tym: KWK „Murcki-Staszic” – 4 ściany, KWK „Mysłowice-Wesoła” – 2 ściany, KWK „Wieczorek” – 3 ściany i KWK „Wujek” – 3 ściany,

- w KW – łącznie 68 ścian, w tym: KWK „Bieliszowice” – 4 ściany, KWK „Bobrek-Centrum” – 5 ścian, KWK „Bolesław Śmiały” – 2 ściany, KWK „Brzeszcze-Silesia” – 4 ściany, KWK „Chwałowice” – 4 ściany, KWK „Halemba-Wirek” – 3 ściany, KWK „Jankowice” – 3 ściany, KWK „Knurów-Szczygłowice” – 7 ścian, KWK „Marcel” – 6 ścian, KWK „Piast” – 5 ścian, KWK „Pokój” – 4 ściany, KWK „Rydułtowy-Anna” – 7 ścian, KWK „Sońnica-Makoszowy” – 5 ścian, „ZG Piekary” – 5 ścian, KWK „Ziemowit” – 4 ściany.

W zakresie zagrożenia klimatycznego – podobnie jak poprzednio – występowało duże zróżnicowanie, co pokazane zostało w tab. 5.

Z zestawienia (tab. 5) wynika, że na 109 badanych rejonów zagrożenie klimatyczne nie występowało w 53 rejonach, co stanowi ponad 48,6%, natomiast spośród 56 rejonów (51,4%) PK I występowało w 24 rejonach (22,0%), PK II – w 25 rejonach (22,9%), a PK III – w 7 rejonach (6,4%). Nastąpił więc kolejny procentowy wzrost liczby rejonów zaklasyfikowanych jako zagrożone – aż o 16%.

Pomimo tego, że omówione badania prowadzone były pod różnym kątem, można ich wynikami potwierdzić wzrastający procent rejonów eksploatacyjnych objętych zagrożeniem klimatycznym.

Tabela 5.

Zestawienie rejonów eksploatacyjnych w aspekcie zagrożenia klimatycznego

Lp.	Kopalnia	Zaliczenia rejonów eksploatacyjnych pod względem zagrożenia klimatycznego				
		Niezagrożone	Poziom Krytyczny I	Poziom Krytyczny II	Poziom Krytyczny III	Razem zagrożonych
Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.						
1.	Borynia	-	4	-	-	4
2.	Budryk	2	-	2	-	2
3.	Jas-Mos	2	1	1	2	4
4.	Krupiński	1	1	1	1	3
5.	Pniówek	-	-	5	1	6
6.	Zofiówka	-	-	3	2	5
Suma		5	6	12	6	24
Katowicki Holding Węglowy S.A.						
7.	Murcki-Staszic	2	2	-	-	2
8.	Mysłowice-Wesoła	1	-	1	-	1
9.	Wieczorek	3	-	-	-	0
10.	Wujek	1	1	-	1	2
Suma		7	3	1	1	5
Kompania Węglowa S.A.						
11.	Bielszowice	1	-	3	-	3
12.	Bobrek-Centrum	4	1	-	-	1
13.	Bolesław Śmiały	2	-	-	-	0
14.	Brzeszcze-Silesia	5	-	-	-	0
15.	Chwałowice	4	-	-	-	0
16.	Halemba-Wirek	1	1	2	-	3
17.	Jankowice	3	-	-	-	0
18.	Knurów-Szczygłowice	-	4	2	-	6
19.	Marcel	5	-	1	-	1
20.	Piast	4	-	-	-	0
21.	Pokój	2	2	-	-	2
22.	Rydułtowy-Anna	-	5	2	-	7
23.	Sośnica-Makoszowy	1	2	2	-	4
24.	ZG Piekary	5	-	-	-	0
25.	Ziemowit	4	-	-	-	0
Suma		41	15	12	0	27

4. POZIOM POZOSTAŁYCH ZAGROŻEŃ NATURALNYCH W REJONACH EKSPLOATACYJNYCH

W świetle przedstawionych wcześniej wyników badań w aspekcie zagrożenia klimatycznego można zadać pytanie, jak to zagrożenie przedstawia się na tle innych zagrożeń naturalnych [10] występujących w rejonach eksploatacyjnych. Chcąc odpowiedzieć na to pytanie, wystarczy ograniczyć się do wyników ostatnich badań [15], których – jako jedynych z oma-

wianych – celem było dokonanie rozpoznania spektrum wszystkich zagrożeń naturalnych.

Na podstawie analizy wyników badań prowadzonych pod kątem zagrożenia tąpnięciami można stwierdzić, że w 2009 roku występowało ono w 57 rejonach ścian (tab. 6), co stanowiło 52,3% badanych rejonów, przy czym poziom zagrożenia był zróżnicowany: do I stopnia zagrożenia zaliczone były 34 rejon (31,2%), do II stopnia – 2 rejon (1,83%), a do III stopnia – 21 rejonów (19,3%). Nieco mniej rejonów, bo 52 (47,7%), nie było zagrożonych tąpnięciami.

Tabela 6.

Zestawienie rejonów eksploatacyjnych pod względem zagrożenia tąpnięciami

Liczba rejonów	Zaliczenia rejonów eksploatacyjnych pod względem zagrożenia tąpnięciami				
	Nietąpający	I stopień	II stopień	III stopień	Razem tąpających
Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.					
Suma	21	6	1	1	8
Katowicki Holding Węglowy S.A.					
Suma	3	7	-	2	9
Kompania Węglowa S.A.					
Suma	28	21	1	18	40

Szczegółowa analiza danych pokazała, że występowało duże zróżnicowanie poziomu zagrożenia tapaniami w kopalniach poszczególnych spółek. W takich kopalniach JSW, jak „Budryk”, „Krupiński” i „Pniówek”, oraz KW, jak „Bolesław Śmiały”, „Brzeszcze-Silesia”, „Chwałowice”, „Jankowice” czy „Knurów-Szczygłowice”, badane rejon były nietapące, natomiast w kopalniach „Mysłowice-Wesoła” i „Wieczorek” (KHW) oraz „Bielszowice”, „Bobrek-Centrum”, „Halemba-Wirek”, „Pokój” i „Rydułtowy-Anna” (KW) każdy z badanych rejonów był zaliczony do pokładów tapających. Szcze-

gólnie pod tym względem wyróżniała się kopalnia „Bielszowice”, w której każdy z rejonów zaliczony był do III stopnia zagrożenia tapaniami. Z kolei w stosunku do liczby rejonów eksploatacyjnych poszczególnych przedsiębiorców najwięcej rejonów eksploatacyjnych w rejonach zagrożonych tapaniami było w KHW – 9 na 12 (75,0%), a najmniej w JSW – 8 na 29 (27,6%), natomiast w KW było to 38 na 68 rejonów (55,8%).

Również pod względem zagrożenia metanowego badane rejon eksploatacyjne znacząco się różniły, co ilustruje tab. 7.

Tabela 7.

Zestawienie rejonów eksploatacyjnych pod względem zagrożenia metanowego

Liczba rejonów	Zaliczenia rejonów eksploatacyjnych pod względem zagrożenia metanowego					
	Niemetanowy	I kategoria	II kategoria	III kategoria	IV kategoria	Razem metanowych
Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.						
Suma	2	0	0	3	24	27
Katowicki Holding Węglowy S.A.						
Suma	1	1	4	1	5	11
Kompania Węglowa S.A.						
Suma	15	10	10	17	16	53

Z zestawienia (tab. 7) wynika, że badane rejon dzieliły się na rejon prowadzące eksploatację w pokładach niemietanowych – 18 rejonów, co stanowi 16,5%, oraz metanowych – 91 rejonów, co stanowi 83,5%, przy czym w pokładach zaliczonych do I kategorii zagrożenia metanowego znajdowało się 11 rejonów (10,1%), do II kategorii – 14 rejonów (12,8%), do III kategorii – 21 rejonów (19,3%) i najwięcej, bo 45 rejonów (41,3%) – do IV kategorii.

Charakterystyczne jest to, że w pokładach zaliczonych do IV kategorii zagrożenia metanowego największa liczba rejonów eksploatacyjnych przypadła na JSW – 24 na 29 (82,7%), mniej na KHW – 5 na 12 (41,6%), a najmniej na KW – 16 na 68 (23,5%).

Z analizy przeprowadzonej pod kątem zagrożenia wybuchem pyłu węglowego jednoznacznie wynikało, że występuje ono bardzo często – tylko w dwóch kopalniach KW, tj. w kopalniach „Piast” (5 rejonów) i „Ziemowit” (4 rejon), pokłady zaliczone były do klasy A tego zagrożenia. Oznacza to, że w 92% rejonów zagrożenie to występowało, przy czym w JSW i KHW było to 100% rejonów, natomiast w KW miało to miejsce w 86,7% rejonów (59 na 68).

Analiza warunków pod kątem występowania zagrożenia działaniem pyłów szkodliwych dla zdrowia pokazała, że identyczny, II poziom zagrożenia działaniem pyłów szkodliwych dla zdrowia występował w każdym z badanych rejonów eksploatacyjnych. Było to wynikiem stosowania takich samych techno-

logii urabiania węgla, jak i podobnych jego właściwości w kontekście zawartości wolnej krzemionki (SiO_2).

Z kolei badania rejonów eksploatacyjnych pod kątem zagrożenia wyrzutami gazów i skał pokazały, że w żadnym z rejonów eksploatacyjnych realnie ono nie występowało. Jednak również i w tym przypadku miało miejsce duże zróżnicowanie tych właściwości węgla, które decydują o zaliczeniu pokładu do zagrożonych.

W kopalniach JSW metanonośność węgla w badanych rejonach wahała się od 1,744 (w kop. „Jas-Mos”) do 10,276 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$ (w kop. „Krupiński”), przy czym występował też rejon niemietanowy (w kop. „Budryk”). Drugi ze wskaźników – zwięzłość węgla – wahała się od 0,30 (w kop. „Budryk”) do 1,34 (w kop. Krupiński), natomiast intensywność desorpcji metanu wahała się od 0,06 (w kop. „Jas-Mos”) do 1,56 kPa (w kop. „Krupiński”). Ponieważ w ostatnich latach w kopalniach JSW dochodziło do wyrzutów gazów i skał w wyrobiskach przygotowawczych, nie można wykluczyć wystąpienia w przyszłości realnego zagrożenia w rejonach eksploatacyjnych.

W kopalniach KHW metanonośność węgla w badanych rejonach wahała się od 0,049 (w kop. „Murcki-Staszic”) do 15,862 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$ (w kop. „Wieczorek”), przy czym również występował rejon niemietanowy (w kop. „Murcki-Staszic”). Zwięzłości węgla w większości przypadków nie określano, a maksymalna wartość wynosiła 1,51 (w kop. „Wieczorek”) przy intensywności desorpcji metanu wynoszącej 1,089 kPa.

W kopalniach KW metanonośność węgla w badanych rejonach wahała się od 1,115 (w kop. „Jankowice”) do 13,8 m³CH₄/Mg_{csw} (w kop. „Silesia-Brzeszcze”), przy czym i w tej spółce występowały (jak wcześniej wspomniano) rejonu niemetanowe. Zwięzłość węgla wahała się od 0,58 (w kopalniach: „Bielszowice” i „Sośnica-Makoszowy”) do 4,2 (w kop. „Chwałowice”), z kolei intensywność desorpcji metanu wahała się od 0,1 (w kop. „Marcel”) do 7,9 kPa (w kop. „Chwałowice”).

Bardzo małe zróżnicowanie rejonów eksploatacyjnych występowało pod względem zagrożenia wodnego – zdecydowana większość rejonów, bo 95 na 109 (87,2%) zaliczona została do I stopnia tego zagrożenia, tylko 1 rejon (kop. „Budryk” JSW) nie jest za-

grożony (0,9%), a 13 rejonów zaliczonych jest do II stopnia (11,9%). Można więc uznać, że pomimo niewysokiego poziomu zagrożenia zagrożenie wodne było powszechne – 99,1%.

Badania pokazały też, że żaden z rejonów nie był zagrożony pod względem radiacyjnym.

Ciekawie natomiast przedstawiały się wyniki badań pod względem zagrożenia pożarami endogenicznymi, które to zagrożenie od zawsze towarzyszy eksploatacji pokładów węgla kamiennego. Jest ono powszechnie występującym, jednak najbardziej zróżnicowanym pod względem poziomów. Klasyfikację pokładów węgla, które eksploatowane były w badanych rejonach, do poszczególnych grup samozapalności ilustruje tab. 8.

Tabela 8.

Zestawienie rejonów eksploatacyjnych pod względem zagrożenia pożarowego

Liczba rejonów	Zaliczenia rejonów eksploatacyjnych pod względem zagrożenia pożarowego – samozapalność					
	I grupa	II grupa	III grupa	IV grupa	V grupa	Razem
Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.						
Suma	16	10	3	-	-	29
Katowicki Holding Węglowy S.A.						
Suma	0	1	5	4	2	12
Kompania Węglowa S.A.						
Suma	7	27	11	12	11	68

Wynika z tego, że badane rejonu eksploatacyjne znajdowały się w pokładach zaklasyfikowanych: do I grupy samozapalności – 23 na 109 (21,1%), do II grupy – 38 na 109 (34,9%), do III grupy – 19 rejonów (17,4%), do IV grupy – 16 rejonów (14,6%), do V grupy – 13 rejonów (11,9%). Na 29 rejonów JSW żaden nie był zaklasyfikowany do grupy wyższej niż III, z kolei połowa rejonów kopalń KHW zaklasyfikowana została do grup IV i V, natomiast z kopalń KW do tych grup zaklasyfikowanych było 16,2% rejonów.

5. PODSUMOWANIE

Na poziom zagrożenia klimatycznego wpływa wiele czynników, które można pogrupować jako naturalne, górnicze oraz organizacyjne, przy czym na czynniki naturalne człowiek wpływu nie ma, a na górnicze wpływ ten jest ograniczony.

Podjęcie działań dostosowanych do poziomu zagrożenia klimatycznego wymaga w pierwszej kolejności określenia jego potencjalnego poziomu, w drugiej zaś – ciągłego monitorowania i reagowania na wzrost jego poziomu.

Przedstawione wyniki badań przeprowadzanych w latach 1998-2001 oraz w roku 2007 i roku 2010 – na reprezentatywnej grupie rejonów eksploatacyjnych – pozwoliły dokonać porównania warunków charakteryzujących zagrożenie klimatyczne i stwierdzić, że w ostatnich 15 latach procentowy udział rejonów objętych zagrożeniem klimatycznym wzrósł z 28 do 51%.

Z podziału zagrożeń naturalnych pod względem częstości występowania – dokonanego na podstawie przeprowadzonych w 2010 r. badań warunków występowania zagrożeń naturalnych – wynika, że można je podzielić na cztery grupy.

Pierwsza grupa charakteryzuje się zagrożeniami o częstości występowania wynoszącej 100%, którymi są zagrożenia:

- działaniem pyłów szkodliwych dla zdrowia – 100%,
 - pożarami endogenicznymi – 100%,
- co oznacza, że jest to grupa zagrożeń powszechnie występujących.

Drugą grupę stanowią zagrożenia występujące w zakresie od 60 do poniżej 100% rejonów eksploatacyjnych, a stanowią ją zagrożenia:

- metanowe – 83,5%,
- wybuchem pyłu węglowego – 92,0%,

– wodne – 99,1%,

przez co można ją określić jako grupę zagrożeń o wysokiej częstotliwości występowania.

Trzecią grupę stanowią zagrożenia występujące w co najmniej 30 i nie więcej niż w 60% rejonów, a stanowią ją zagrożenia:

– tąpniętami – 52,3%,

– klimatyczne – 51,4%,

co pozwala określić ją jako grupę zagrożeń o średniej częstotliwości występowania.

Czwartą grupę stanowią zagrożenia rzadko występujące w rejonach eksploatacyjnych, tj. w poniżej 30% rejonów, którą stanowią zagrożenia:

– wyrzutami gazów i skał,

– radiacyjne naturalnymi substancjami promieniotwórczymi,

przez co można ją określić jako grupę zagrożeń o sporadycznej częstotliwości występowania.

Stale zwiększająca się głębokość eksploatacji spowoduje, że za około 5-8 lat procentowy udział rejonów eksploatujących w warunkach zagrożenia klimatycznego wzrośnie na tyle znacząco, że zagrożenie to znajdzie się w grupie zagrożeń o wysokiej częstotliwości występowania.

Literatura

1. Chmura K., Chudek M.: *Geotermomechanika górnictwa*, cz. 1. *Geotermika*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1992.
2. Dokumentacja projektu strukturalnego Nr UDA-POIG.01.03.01-048/08-00 pt. „Informatyczny system wspomaganie kompleksowego zarządzania zagrożeniami górnictwem”. Zadanie 4. „Architektura systemu i jego komponenty”; etap pt. „Opracowanie danych o warunkach naturalnych i zagrożeniach występujących w rejonach ścian kopalń KHW S.A., JSW S.A., KW S.A.”; opracowanie: Domański J., Jakubów A., Szarafiński M., GIG, Katowice 2010, niepublikowana.
3. Holec S.: *Opracowanie potencjału ruchu wilgoci i opartych na nim metod prognozowania mikroklimatu wyrobisk*. W: Prace GIG, Seria Dodatkowa. Katowice 1990.
4. Frycz A.: *Klimatyzacja kopalń*, Wyd. „Śląsk”, Katowice 1981.
5. Knechtel J.: *Wpływ temperatury pierwotnej skał i warunków przewietrzania na strumienie ciepła i wilgoci płynące z górotworu do wyrobiska*. Materiały 10. Sesji Międzynarodowego Biura Termofizyki Górniczej „IBMT 2005”, Gliwice, luty 2005, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2005.
6. Madeja-Strumińska B., Strumiński A.: *Aerodynamika górnictwa*, Wyd. „Śląsk”. Katowice 1998.
7. Mizerski W.: *Tablice matematyczno-fizyczno-astronomiczno-chemiczne*, Wyd. Adamantan, Warszawa 2002.
8. Polska Norma PN- G-04038. Pomiar temperatury pierwotnej.
9. Propozycja rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górnictwa – wg stanu na 31.12.2012 r.
10. *Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 14 czerwca 2002 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górnictwa*. Dz. U. Nr 94, poz. 841 z późn. zm.
11. *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górnictwa*. Dz.U. Nr 139 z 2002 r., poz. 1169 z późn. zm.

12. *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 12 czerwca 2002 r. w sprawie ratownictwa górnictwa*. Dz. U. Nr 94, poz. 838 z późn. zm.
13. *Sposoby prowadzenia akcji ratowniczych w trudnych warunkach mikroklimatu w podziemnych wyrobiskach zakładów górnictwa*, Wyd. CSRG Bytom, luty 2002.
14. Trenczek S.: *Prognoza zagrożenia pożarami endogenicznymi ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego*, Praca doktorska AGH, Kraków 2001.
15. Trenczek S.: *Rozpoznanie spektrum zagrożeń naturalnych występujących w rejonach ścian wydobywczych*. W: *Zarządzanie prewencją zagrożeń górnictwa wspomaganie narzędziami informatycznymi*, red. J. Kabiesz, Wyd. GIG, ISBN 978-83-61126-49-2, Katowice 2012, s.147-154.
16. Trenczek S., Wierziński K., Krzystanek Z., Tejszowski J.: *Zintegrowany system kontrolno-pomiarowy zagrożeń: wentylacyjnego, metanowego i pożarowego, w rejonach ścian wybieranych podziemowo*, cz. II. Dokumentacja Centrum EMAG pracy badawczej nr 309.0016: *Badania wspólne sieci naukowej – Zintegrowany Instytut Naukowo-Technologiczny – etap 7.*, Katowice, grudzień 2007, niepublikowana.
17. Trenczek S., Wierziński K., Krzystanek Z.: *Uwarunkowania ścian wybieranych podziemowo w aspekcie ich monitorowania i zabezpieczanie zalogi*. W: *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko*, Wydanie Specjalne Nr 1/2008, s. 33-52.
18. *Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnictwo*. Dz. U. Nr 163, poz. 981.
19. Waclawik J., Cygankiewicz J., Knechtel J.: *Warunki klimatyczne w kopalniach*, Wyd. PAN, Kraków 1998.
20. Waclawik J.: *Prognoza kopalnianych warunków klimatycznych z uwzględnieniem wpływu wilgoci*. W: *Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo*, z. 33, Kraków 1971.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.