

Rafał Łuczak*

ZWALCZANIE ZAGROŻENIA TEMPERATUROWEGO W WYROBISKACH GÓRNICZYCH CHŁODZIARKAMI POWIETRZA BEZPOŚREDNIEGO DZIAŁANIA TYPOSZEREGU TS**

1. Wstęp

Zagadnienia związane z odpowiednimi warunkami klimatycznymi oraz możliwościami ich poprawy w czasie intensywnego wydobywania, wzrostu głębokości zalegania pokładów i w trudnych okolicznościach geotermicznych są priorytetem i wymagają kompleksowego stosowania wielu środków w celu zapewnienia odpowiednich warunków pracy.

Rozwój techniki chłodniczej oraz wzrost głębokości eksploatacji, a co za tym idzie coraz większy wzrost zagrożeń naturalnych mają wpływ na warunki mikroklimatyczne w podziemnych wyrobiskach. Stosowane do tej pory rozwiązania mające na celu utrzymanie odpowiednich warunków temperaturowych nie zawsze spełniają założone oczekiwania. Odpowiednie warunki panujące w miejscu pracy załogi stwarzane są przez wzrost intensyfikacji przewietrzania wyrobisk przy uwzględnieniu kryteriów technicznych i ekonomicznych. W większości przypadków metody te są niewystarczające i wówczas stosuje się chłodzenie powietrza przez klimatyzację lokalną (pośredniego i bezpośredniego działania), klimatyzację grupową lub centralną. Wybór odpowiedniego rozwiązania sztucznego chłodzenia uzależniony jest od ilości chłodzonego powietrza, warunków technicznych wyrobisk (wybieg wyrobiska), wielkości rejonu eksploatacji, temperatury pierwotnej górotworu oraz możliwości zabudowy systemu klimatyzacji. Rozwój kompleksowych metod chłodzenia powietrza, które zapewniają utrzymanie odpowiednich warunków cieplnych w wielu wyrobiskach jest uzasadniony w związku z właściwymi parametrami powietrza na stanowiskach pracy, ale wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Stosowanie w polskim górnictwie lokalnych urządzeń chłodniczych o działaniu bezpośrednim o mocy chłodniczej 300 i 350 kW jest wiodącym rozwiązaniem uzdatniania powietrza w miejscu pracy. Oprócz wielu zalet tego sposobu zwalczania zagrożenia temperaturowego wymienić

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

** Praca naukowa finansowana ze środków na naukę praca własna numer 10.10.100.383.

należy również wady, jakimi są np. efektywność wykorzystania ciepła, a co za tym idzie mocy chłodniczej. Spełnienie odpowiednich wymagań przy współpracy chłodnicy bezpośredniego działania z wyparną chłodnicą wody przyczynia się do uzyskania wysokiego kryterium efektywności chłodzenia powietrza. W niniejszej pracy zostanie poddana analizie praca chłodnicy bezpośredniego działania TS300 i TS350 zabudowana w wyrobisku górniczym.

2. Stan klimatyzacji kopalń w Polsce

Urządzenia chłodnicze w polskim przemyśle węglowym stosowane są od początku lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku (czeska chłodziarka typu CHDV-50, a później chłodziarki niemieckie WK-120s). Pierwsze urządzenie chłodnicze produkcji polskiej typu GUC-250p zamontowano grudniu 1983 roku w kopalni „Halemba”. W następnych latach do kopalń wprowadzano kolejne polskie urządzenia chłodnicze. W 1993 takich urządzeń było 56 sztuk. Pod koniec ubiegłego wieku zaczęto sprowadzać do kopalń niemieckie ziębiarki: firmy Wende&Malter (typoszeregu LKM) oraz firmy GFW (typoszeregu DV). Chłodziarki te o większej mocy chłodniczej i większej sprawności zaczęły wypierać chłodziarki polskie. Od roku 2000 weszły na rynek nowe polskie chłodnice powietrza firmy TERMOSPEC [6]. Liczba chłodziarek typu TS pracujących w wyrobiskach kopalniowych z roku na rok jest większa [3, 4, 9].

Górnice urządzenia chłodnicze stosowane w kopalniach podziemnych można podzielić ze względu na [3]:

- sposób odbioru ciepła:
 - chłodziarki absorpcyjne;
 - chłodziarki sprężarkowe:
 - o działaniu bezpośrednim,
 - o działaniu pośrednim;
- lokalizację chłodziarki:
 - powierzchniowe,
 - podziemne;
- układy współpracy chłodziarek:
 - lokalne,
 - grupowe,
 - centralne,
 - kombinowane.

Na koniec 2008 roku całkowita zainstalowana moc chłodnicza wynosiła 93,2 MW na co składały się: 60,235 MW sumy mocy 195 lokalnych urządzeń chłodniczych bezpośredniego i pośredniego działania; 9 MW mocy systemów grupowych zainstalowanych w kopalni Borynia, Jas-Mos i Zofiówka; 24 MW mocy chłodniczej systemów klimatyzacji centralnej kopalni Pniówek, Budryk i kopalni rud miedzi Rudna [3, 9].

W roku 2008 w wyrobiskach górniczych zainstalowanych było 187 chłodziarek bezpośredniego działania o sumarycznej mocy chłodniczej wynoszącej prawie 58 MW i 8 chłodziarek (2,32 MW) w kopalni rud miedzi. Chłodziarek pośredniego działania w roku 2008 zainstalowanych było 17 sztuk o mocy chłodniczej 6,37 MW [4].

3. Parametry techniczne i znamionowe chłodziń TS300 i TS350

Chłodziarka TS-300 jest maszyną bezobsługową. Składa się z trzech zasadniczych podzespołów: zespołu maszynowego TS-300/ZM-1, w którego skład wchodzi sprężarka z elektrycznym silnikiem napędowym oraz skraplacz płaszczowo-rurowy, wyposażenie elektryczne i sterujące; parownik TS-300P składający się z węzownicy; chłodnica wyparna wody typu CWW-420 lub CWW-420/1 [1].

Budowa chłodziarki TS 350/1 jest analogiczna jak układu TS300. Stosowane są parowniki bezpośredniego działania o mocy nominalnej 350 kW. W skład chłodziarki powietrza typu TS350/1 wchodzi zespół maszynowy TS-350/ZM-1, parownik i chłodnica wyparna wody typu CWW-460. Odbiór ciepła od wody ze skraplacza gwarantuje wyparna chłodnica wody zabudowana w zużytych prądzie powietrza. Woda chłodząca skraplacz może być dostarczana z rurociągu przeciwpożarowego zabudowanego w wyrobisku [2].

Aby zapewnić parametry znamionowe wydajności chłodniczej, należy dostarczyć do skraplacza określony strumień wody chłodzącej o odpowiedniej temperaturze. Odpowiednio wysoka sprawność wymiany ciepła skraplacza zapewnia wysoki poziom mocy chłodniczej parownika, co bezpośrednio przekłada się na efektywność chłodzenia powietrza w wyrobisku górniczym. W celu osiągnięcia parametrów nominalnych producent podaje, że do zespołu maszynowego wyposażonego w skraplacz należy doprowadzić strumień wody w ilości 18–36 m³/h o temperaturze 28–38°C. W przypadku parowników TS300 i TS350 parametry normatywne powietrza wynoszą odpowiednio: objętościowy strumień powietrza na wlocie równy 10 m³/s, temperatura powietrza na wlocie 32°C o wilgotności względnej 70%, na wylocie 20°C o wilgotności 100% [1, 2].

4. Przeprowadzenie pomiarów parametrów powietrza chłodzonego chłodziarkami TS 300 i TS 350 w warunkach kopalnianych

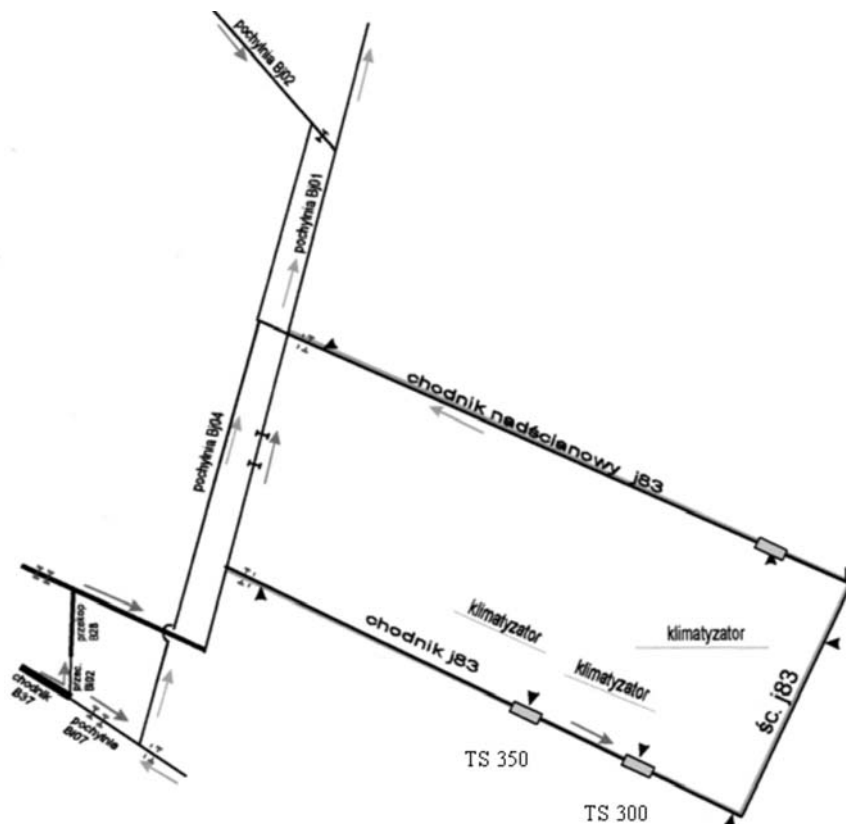
W KWK „Sośnica-Makoszowy” Ruch „Makoszowy” pomiarów dokonano w chodniku w rejonie ściany j83 w pokładzie 407/1, poziom 850 m (umiejscowienie chłodziarki 500 m od wlotu do chodnika i 200 m od ściany, temperatura w wyrobisku $t_s = 28,4^\circ\text{C}$, $t_m = 23,6^\circ\text{C}$).

Schemat rejonu ściany j83 z rozmieszczeniem chłodziarek powietrza TS350 i TS300 podano na rysunku 1 [5].

Pomiarami objęto takie parametry jak:

- temperatura powietrza wg termometru suchego na wlocie do wentylatora, t_{s1} ,
- temperatura powietrza wg termometru wilgotnego na wlocie do wentylatora, t_{m1} ,
- prędkość powietrza na wlocie do wentylatora, V ,
- temperatura powietrza wg termometru suchego na wlocie do parownika, t_{s2} ,
- temperatura powietrza wg termometru suchego na wylocie z parownika, t_{s3} ,
- temperatura powietrza wg termometru wilgotnego na wylocie z parownika, t_{m3} ,
- temperatura wody na wlocie do skraplacza, t_{w1} ,

- temperatura wody na wylocie ze skraplacza, t_{w2} ,
- objęściowe natężenie przepływu wody w skraplaczu, Q_w ,
- bezwzględne ciśnienie powietrza na wlocie parownika, p .



Rys. 1. Schemat rejonu ściany j83 z rozmieszczeniem chłodziarek powietrza [5]

W chodniku j83 zastosowane są dwie chłodziarki powietrza. Pierwsza 200 m od wlotu do wyrobiska to TS350, w odległości 100 m od niej zabudowana jest druga chłodziarka typu TS300. Odległość do ściany od TS300 to 100 metrów [5].

W dniu wykonywania pomiarów na wysokości zespołu maszynowego TS350 odnotowano temperaturę powietrza $t_s = 28,4^\circ\text{C}$ oraz $t_m = 23,6^\circ\text{C}$. Wzrost temperatury spowodowany jest pracą zespołu maszynowego wraz z osprzętem oraz transportem urobku. Świeże powietrze doprowadzone było z pierwszej chłodziarki lutnią elastyczną o średnicy 1000 mm oraz od drugiej chłodziarki do ściany taką samą lutnią. W rozpatrywanym układzie system chłodzenia skraplacza jest tzw. układem otwartym, bez wyparnej chłodziarki wody, a woda do zespołu maszynowego dostarczana jest z systemu przeciwpożarowego zabudowanego w wyrobisku.

4.1. Model algebraiczny zmiany parametrów termodynamicznych chłodzonego powietrza

Wydajności cieplne wymienników chłodziarki – parownika (N_p) i skraplacza (N_s) wyliczono na podstawie zależności [7, 8]:

— moc parownika [kW]:

$$N_p = Q_m \left[C_p (t_{s2} - t_{s3}) + C_{pw} (t_{s2} x_2 - t_{s3} x_3) \right] + Q_m (r_p - C_{ww} t_{s3}) (x_2 - x_3) \quad (1)$$

gdzie:

- Q_m — strumień masowy powietrza suchego [kg/s],
- C_p — ciepło właściwe powietrza suchego przy stałym ciśnieniu [kJ/(kg·K)],
- C_{pw} — ciepło właściwe pary wodnej przy stałym ciśnieniu [kJ/(kg·K)],
- C_{ww} — ciepło właściwe wody [kJ/(kgK)],
- r — utajone ciepło parowania wody [kJ/kg],
- x_2 — wilgotność właściwa powietrza na wlocie do parownika [kg/kg],
- x_3 — wilgotność właściwa powietrza na wylocie z parownika [kg/kg]

— wilgotność właściwa powietrza [kg/kg]:

$$x = 0,622 \frac{p_w}{p - p_w} \quad (2)$$

gdzie:

p_w — ciśnienie cząstkowe pary wodnej [Pa]:

$$p_w = p_{wn} - 6,77 \cdot 10^{-4} \cdot (t_s - t_m) \cdot p \quad (3)$$

p_{wn} — ciśnienie cząstkowe pary wodnej w stanie nasycenia [Pa]:

$$p_{wn} = 610,6 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot t_m}{t_m + 237,29}} \quad (4)$$

t_m — temperatura wg termometru wilgotnego [°C]

— strumień masowy powietrza suchego [kg/h]:

$$Q_m = \frac{Q \cdot \rho}{1 + x_1} \quad (5)$$

gdzie:

ρ — gęstość powietrza na wlocie do wentylatora [kg/m³]

Q — strumień objętościowy powietrza na wlocie do wentylatora [m³/s]:

$$Q = V \cdot F \quad (6)$$

gdzie:

F — pole powierzchni przekroju poprzecznego kanału wentylatora [m²]

— gęstość powietrza na wlocie do wentylatora [kg/m^3]:

$$\rho = \frac{0,003484}{T_{s1}} \cdot (p - 0,3781 \cdot p_w) \quad (7)$$

gdzie:

T_{s1} — temperatura powietrza wg termometru suchego na wlocie do wentylatora [K]

— moc parownika związana z wymianą ciepła jawnego [kW]:

$$N_{pj} = Q_m \left[C_p (t_{s2} - t_{s3}) + C_{pw} (t_{s2} x_2 - t_{s3} x_3) \right] \quad (8)$$

— moc parownika związana z wymianą ciepła utajonego [kW]:

$$N_{pu} = Q_m (r_p - C_{ww} t_{s3}) (x_2 - x_3) \quad (9)$$

— procentowy udział mocy parownika związany z wymianą ciepła jawnego, W_{sk} , [%]:

$$W_{sk} = \frac{N_{pj}}{N_p} \cdot 100\% \quad (10)$$

— moc skraplacza [kW]:

$$N_s = Q_w \cdot \rho_w \cdot C_{ww} (t_{w2} - t_{w1}) \quad (11)$$

gdzie:

ρ_w — gęstość wody, [kg/m^3]

— wilgotność względna powietrza φ :

$$\varphi = \frac{P_w}{p_{wn}(t_s)} \cdot 100\% \quad (12)$$

gdzie:

$p_{wn}(t_s)$ — ciśnienie cząstkowe pary wodnej w stanie nasycenia odniesione do temperatury wg termometru suchego [Pa]:

$$p_{wn} = 610,6 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot t_s}{t_s + 237,29}} \quad (13)$$

Wyznaczone na podstawie pomiarów moce wymienników ciepła oraz parametry powietrza na wlocie i wylocie z chłodnicy zestawiono w tabeli 1 i 2.

TABELA 1

Parametry powietrza oraz chłodnicy powietrza TS350 zabudowanej w wyrobisku górnym KWK „Sośnica-Makoszowy”
Ruch „Makoszowy”

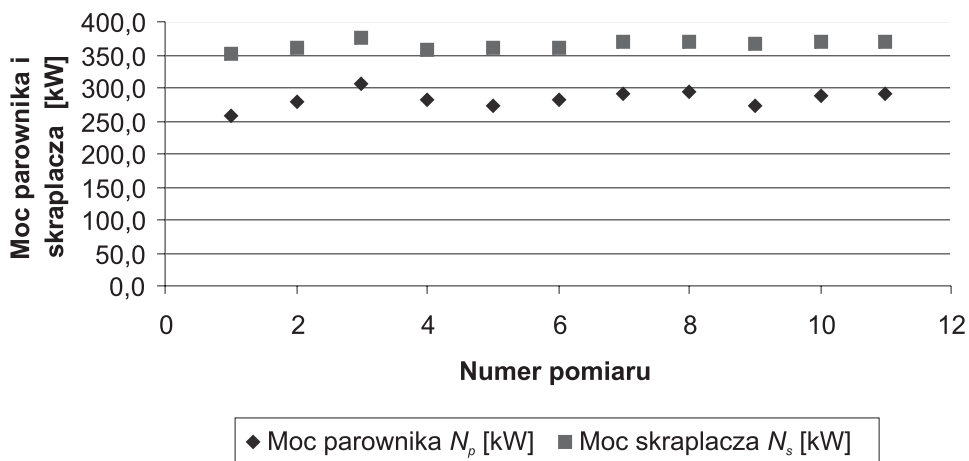
Lp.	t_{s1} [°C]	t_{m1} [°C]	Q [m ³ /min]	t_{s2} [°C]	t_{s3} [°C]	t_{m3} [°C]	p [hPa]	N_p [kW]	N_{pl} [kW]	N_{m} [kW]	Wsk [%]	t_{n1} [°C]	t_{n2}	Q_w [m ³ /h]	N_s [kW]
1	28,4	24,6	544	31,6	20,2	18,6	1062,94	258,0	130,3	127,7	50,5	21,1	28,6	40,2	350,5
2	28,8	25,4	544	31,5	19,8	18,8	1062,94	278,6	133,3	145,3	47,9	21,1	28,6	41,5	361,8
3	28,8	25,2	544	31,7	18,8	17,8	1062,91	305,6	147,3	158,3	48,2	21,0	28,6	42,2	374,3
4	28,8	24,6	544	31,9	18,8	17,8	1062,93	282,5	149,1	133,4	52,8	21,2	28,6	41,5	358,4
5	28,2	24,4	544	31,7	19,4	18,0	1062,82	273,0	140,4	132,5	51,5	21,2	28,6	41,6	359,4
6	28,4	24,0	544	31,7	17,8	17,2	1062,77	281,7	158,5	123,2	56,3	21,2	28,6	41,6	359,4
7	28,6	24,2	544	31,6	17,6	17,0	1062,72	292,3	159,8	132,5	54,7	21,1	28,7	41,9	368,2
8	28,0	24,2	544	31,7	17,6	17,2	1062,70	292,5	160,9	131,5	55,0	21,1	28,7	41,9	368,2
9	27,8	23,8	544	31,8	18,0	17,4	1062,67	273,7	157,1	116,6	57,4	21,1	28,7	41,9	368,1
10	28,0	24,0	544	32,0	17,4	17,2	1062,60	287,7	166,3	121,4	57,8	21,1	28,7	41,9	369,2
11	28,2	24,2	544	31,8	17,4	17,2	1062,57	290,9	164,2	126,6	56,5	21,1	28,7	41,9	369,2

4.2. Analiza przeprowadzonych pomiarów

Pomiary kopalniane wykonywane były w czasie jednej zmiany roboczej, przy współdziałaniu pracowników działu maszynowego KWK „Makoszowy” oraz pracownika firmy Termospec.

Uzyskane z pomiarów *in situ* parametry oraz obliczone moce wymienników ciepła chłodnicy TS350 zawiera tabela 1. Dodatkowo w pracy wyznaczono wilgotność powietrza φ_2 na wlocie do parownika, różnicę temperatury wody Δt_w i strumień masowy wody m_w w skraplaczu, które zilustrowano odpowiednimi wykresami.

Na podstawie uzyskanych pomiarów sporządzono wykresy zależności mocy parownika od parametrów termodynamicznych przepływającego powietrza.



Rys. 2. Zmiana mocy parownika i skraplacza chłodziarki TS350

Jak widać na rysunku 2 moc parownika oscyluje w granicach 258–305,6 kW i jest mniejsza od mocy nominalnej podanej przez producenta. Różnice, nawet znaczne, wynikają z odmienności wartości parametrów nominalnych dla tego urządzenia, w przypadku których producent określił moc nominalną. Obliczone moce skraplacza zmieniają się w przedziale od 350,5 do 374,3 kW. Średnia moc rozpatrywanej chłodnicy wynosi ok. 283 kW przy średniej mocy skraplacza równej ok. 364,2 kW. Przebieg zmian i różnica między mocą skraplacza i parownika średnio mieści się w granicach 68–94 kW.

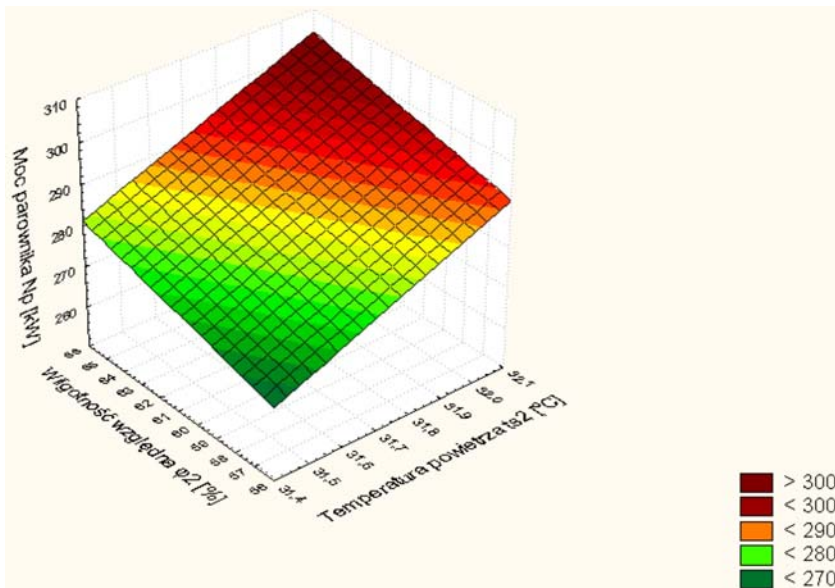
Całkowita moc chłodnicza parownika jest sumą mocy jawnej (chłodzenie powietrza) i utajonej (osuszanie powietrza). W atmosferze kopalnianej, w której występuje wysoka temperatura i wilgotność względna powietrza, udział mocy jawnej stanowi około 50 do 60% mocy całkowitej, pozostała część spożytkowana jest na osuszanie powietrza. Uzyskane wielkości porównywalne są z wielkościami, które można znaleźć w dostępnej literaturze z tego zakresu. Wysoka moc parownika pozwala na ochłodzenie strumienia powietrza od temperatury 31°C – parametr wyższy od temperatury wlotowej do wentylatora, wy-

wołany pracą wentylatora lutniowego WLE 1003B, do temperatury rzędu 17,4°C. Parownik ochładza powietrze w wyrobisku średnio o 14–15°C.

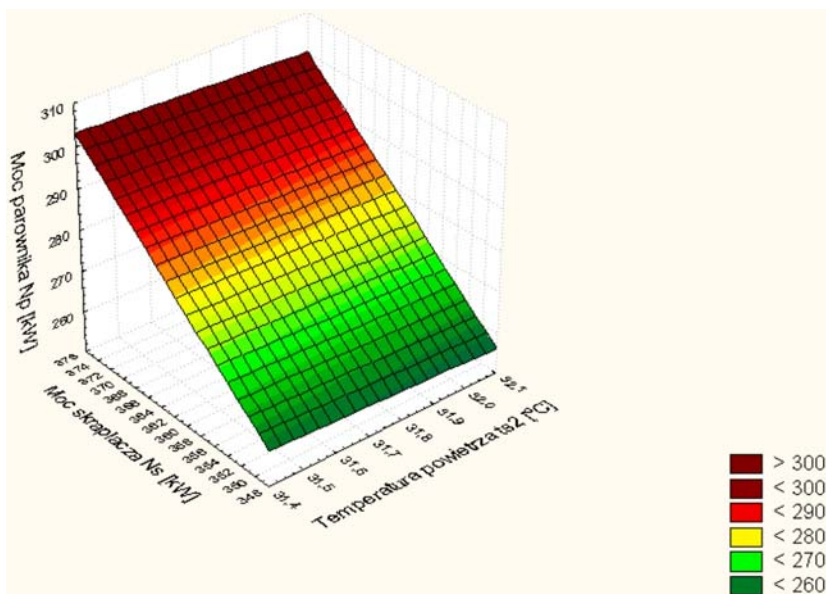
Rysunki 3, 4 i 5 przedstawiają zależności mocy parownika chłodziarki TS350 w funkcji, kolejno: rysunek 3 – temperatury powietrza na wlocie do parownika (uwzględniającej przyrost temperatury wywołany pracą wentylatora lutniowego), wilgotności właściwej tego powietrza, rysunek 4 – temperatury powietrza na wlocie do parownika i mocy skraplacza, rysunek 5 – strumienia masowego wody zasilającego skraplacz i różnicy temperatury wody na wlocie i wylocie ze skraplacza (oznaczonej na rysunku jako Δt_w). Analizując wpływ ww. zmiennych na pracę chłodziarki, można stwierdzić, iż wzrost wilgotności względnej i temperatury powietrza w wyrobisku, wzrost strumienia masowego wody zasilającej skraplacz, od którego uzależniony jest wzrost mocy tego wymiennika ciepła i zwiększenie różnicy temperatury wywołują zwiększenie mocy parownika. Odpowiednio wysoki stopień odbioru ciepła w skraplaczu umożliwia właściwe schłodzenie strumienia powietrza w parowniku.

Wysoka moc zespołu maszynowego zapewnia dobry odbiór ciepła z parownika, co skutkuje niską temperaturą powietrza za chłodziacą. Różnica mocy tych dwóch wymienników świadczy o dużym odbiorze ciepła w parowniku i wysokim strumieniu ciepła ze sprężania. Różnica temperatury wody na zasilaniu i odpływie ze skraplacza w przedziale 7–7,7°C przy wydatku masowym ok. 11–12 kg/s zapewnia dobry odbiór ciepła z chłodziarki.

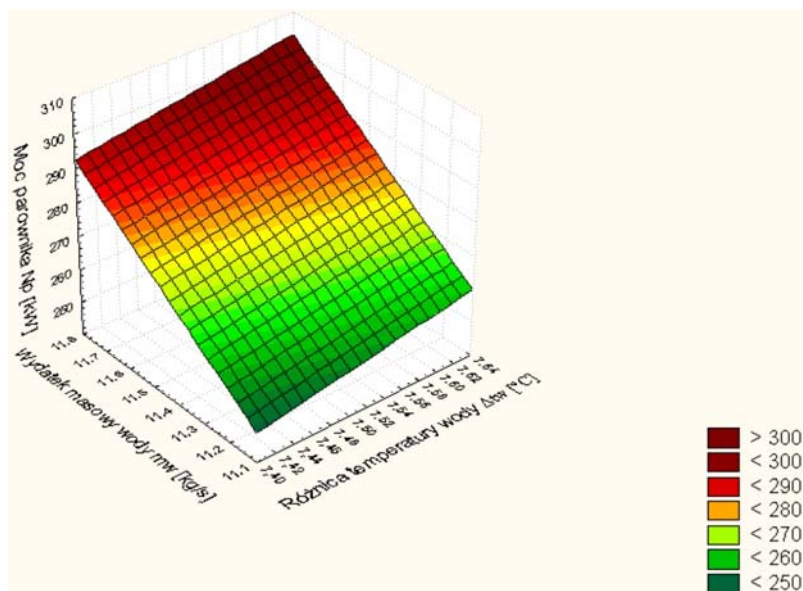
Zsumowane strumienie ciepła odprowadza z układu skraplacz chłodziarki do wody z systemu przeciwpożarowego.



Rys. 3. Zmiana mocy parownika chłodziarki TS350 w funkcji wilgotności względnej i temperatury powietrza na wlocie do parownika



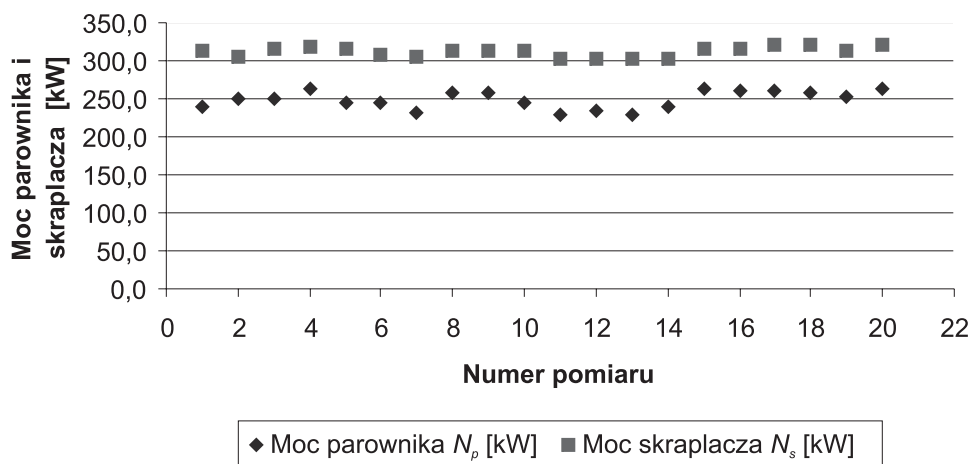
Rys. 4. Zmiana mocy parownika chłodziarki TS350 w funkcji temperatury powietrza na wlocie do parownika i mocy skraplacza



Rys. 5. Zmiana mocy parownika chłodziarki TS350 w funkcji różnicy temperatury i wydatku masowego wody chłodzącej skraplacza

W odległości 100 m od chłodziarki TS350 zgodnie z wybiegiem wyrobiska zabudowana jest chłodziarka TS300. W danej rzędnej kolejnej chłodziarki temperatura sucha w wyrobiska oscyluje na poziomie 22°C. W przypadku chłodnicy TS300 pomiary wykonano podobnie jak dla poprzedniej chłodnicy. Z uwagi na załamanie lutni elastycznej mieszczącej się za parownikiem, transportującej strumień powietrza do ściany j83, pomiarów temperatury suchej i wilgotnej za parownikiem dokonano w dwóch punktach pomiarowych, tj. 1 m za parownikiem i ok. 3 m za parownikiem. W pierwszym punkcie pomiarowym uzyskano temperatury powietrza (wg termometru suchego) rzędu 6,6 do 10°C, natomiast w drugim punkcie, gdzie struga schłodzonego powietrza była ustabilizowana i wymieszana uzyskano temperaturę wyższą o ok. 1,5 do 2°C. Tabela 2 zawiera analizę parametrów powietrza z punktu drugiego, gdyż w punkcie pierwszym występowała duża strefowość i zmienność temperatury.

Chłodnica chłodzi strumień objętościowy powietrza o temperaturze ok. 26°C (temperatura na wlocie do parownika mierzona za wentylatorem), natomiast temperatura w wyrobisku oscyluje w granicach 21–22°C. Uzyskana z pomiarów i obliczeń moc chłodziarki TS300 jest wysoka i mieści się w przedziale 227–264 kW (rys. 6).



Rys. 6. Zmiana mocy parownika chłodnicy TS300

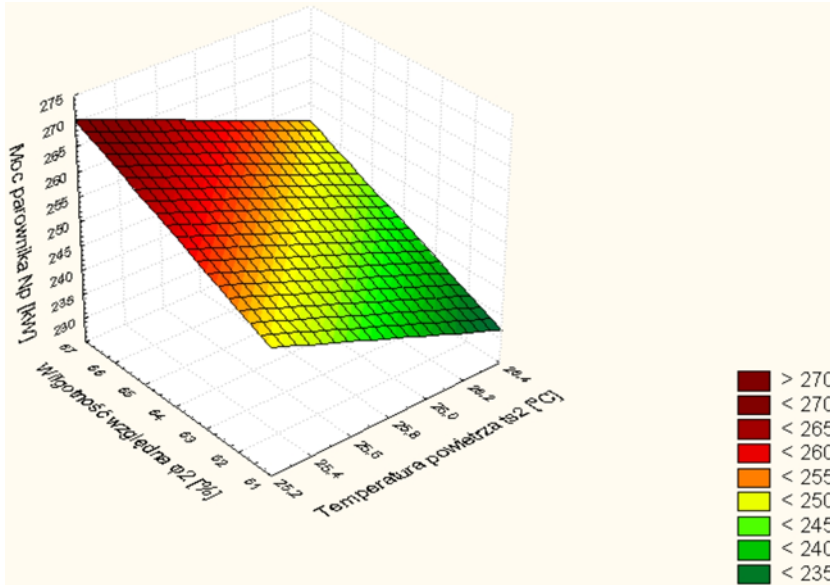
Jest to wynik bardzo dobry zważywszy na moc nominalną chłodnicy. Taka praca urządzenia chłodniczego pozwala na schłodzenie strumienia powietrza do 9–12°C.

Na podstawie uzyskanych pomiarów, analogicznie jak dla chłodziarki TS350, sporządzono wykresy zależności mocy parownika od parametrów termodynamicznych przepływającego powietrza i wody. Rysunki od 7 do 9 przedstawiają zmienność mocy parownika w funkcji temperatury powietrza, wydatku masowego wody chłodzącej skraplacza wody i mocy skraplacza. Analizując poniższe rysunki, zauważa się zasadniczy wpływ tych parametrów na moc parownika. Różnica temperatury wody (Δt_w) na zasilaniu i odpływie ze skraplacza w przedziale 6–7°C przy wydatku masowym wody (m_w) ok. 11,5 kg/s zapewnia dobry odbiór ciepła z chłodnicy.

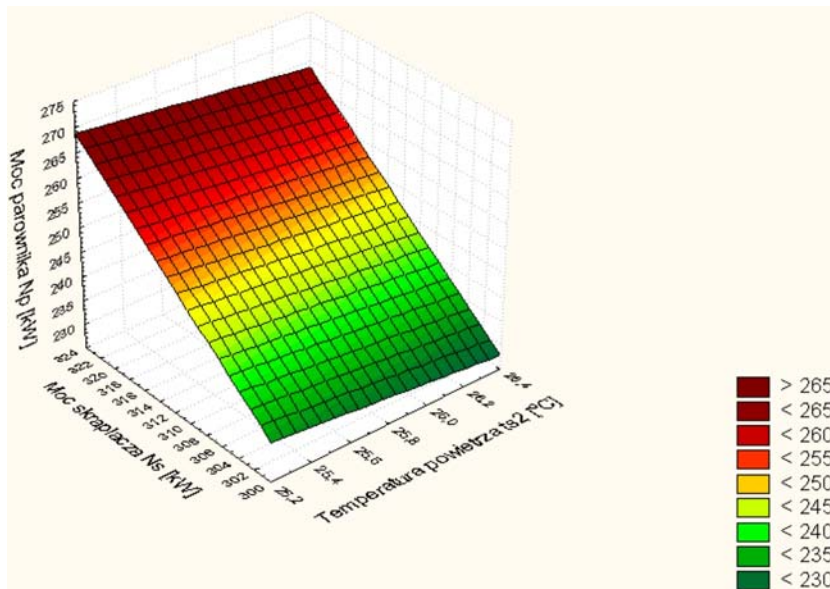
TABELA 2

Parametry powietrza oraz chłodnicy powietrza TS300 zabudowanej w wyrobisku górnym KWK „Sośnica-Makoszowy”
Ruch „Makoszowy”

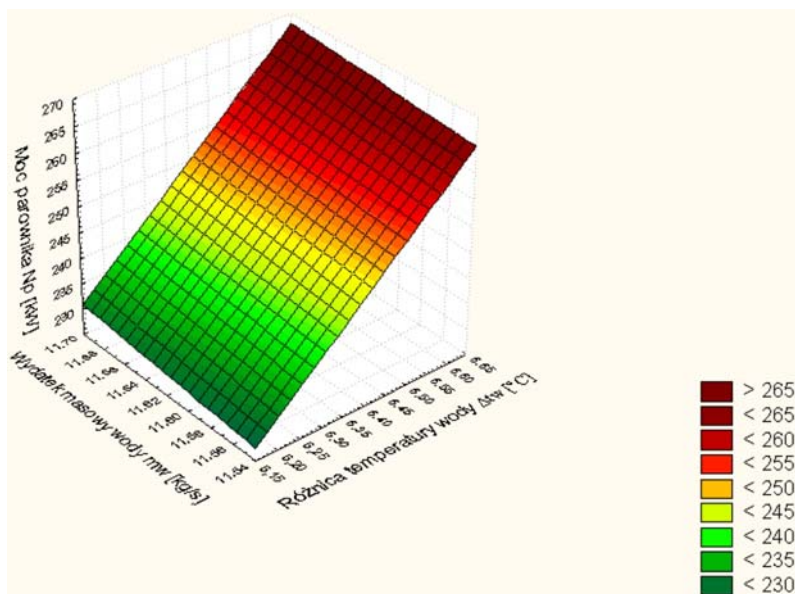
Lp.	t_{s1} [°C]	t_{m1} [°C]	\dot{Q} [m ³ /min]	t_{s2} [°C]	t_{m3} [°C]	p [hPa]	N_p [kW]	N_{bj} [kW]	N_{pu} [kW]	W_{sk} [%]	t_{w1} [°C]	t_{w2} [°C]	Q_w [m ³ /h]	N_c [kW]
1	22,2	19,8	415,0	26,3	11,0	1062,89	238,4	127,2	111,2	53,4	22,1	28,5	42,1	313,5
2	22,2	20,0	415,0	26,1	11,0	1062,89	248,7	132,4	116,3	53,2	22,3	28,6	41,6	305,1
3	22,0	19,6	415,0	26,2	10,6	1062,82	250,9	137,8	113,2	54,9	22,3	28,8	41,6	314,8
4	22,0	20,2	415,0	26,0	10,4	1062,81	264,1	136,9	127,2	51,8	22,3	28,9	41,6	319,7
5	22,0	19,8	415,0	26,2	11,0	1062,84	243,6	133,2	110,3	54,7	22,3	28,8	41,6	314,8
6	22,0	19,6	415,0	26,0	10,8	1062,79	245,3	134,3	111,0	54,7	22,3	28,7	41,6	307,6
7	22,0	19,6	415,0	25,8	11,0	1062,79	231,7	130,7	101,0	56,4	22,3	28,6	42,0	305,6
8	21,8	19,6	415,0	25,8	10,0	1062,69	257,3	139,5	117,7	54,2	22,4	28,8	42,1	313,5
9	21,6	19,4	415,0	25,9	9,8	1062,60	257,7	142,1	115,6	55,1	22,4	28,8	42,1	313,5
10	21,6	19,2	415,0	25,7	10,2	1062,53	244,3	136,9	107,4	56,0	22,4	28,8	41,9	312,1
11	21,6	19,4	415,0	25,6	11,2	1062,52	227,8	127,2	100,6	55,8	22,4	28,6	41,9	302,4
12	21,6	19,4	415,0	25,8	11,2	1062,56	233,5	128,9	104,6	55,2	22,4	28,6	41,9	302,4
13	21,8	19,4	415,0	25,9	11,4	1062,77	228,3	128,0	100,3	56,1	22,4	28,6	41,9	302,4
14	21,6	19,4	415,0	25,9	10,8	1062,79	238,3	133,3	105,0	55,9	22,4	28,6	41,9	302,4
15	21,8	19,4	415,0	25,6	9,8	1062,68	264,2	139,5	124,8	52,8	22,3	28,8	41,9	317,0
16	21,4	19,2	415,0	25,6	9,2	1062,59	260,5	141,2	119,3	54,2	22,2	28,7	41,9	317,0
17	21,2	19,0	415,0	25,5	9,8	1062,65	259,4	138,7	120,7	53,5	22,1	28,7	41,9	321,9
18	21,0	19,0	415,0	25,6	9,2	1062,79	258,7	144,8	113,9	56,0	22,1	28,7	41,9	321,9
19	21,4	19,2	415,0	25,5	9,6	1062,62	252,0	140,2	111,8	55,6	22,4	28,8	41,9	312,1
20	21,0	19,0	415,0	25,4	9,0	1062,51	264,3	144,8	119,6	54,8	22,2	28,8	41,9	321,9



Rys. 7. Zmiana mocy parownika chłodziarki TS300 w funkcji wilgotności względnej i temperatury powietrza na wlocie do parownika



Rys. 8. Zmiana mocy parownika chłodziarki TS300 w funkcji temperatury powietrza na wlocie do parownika i mocy skraplacza



Rys. 9. Zmiana mocy parownika chłodziarki TS300 w funkcji różnicy temperatury i wydatku masowego wody chłodzącej skraplacz

Wysoka moc parownika pozwala na ochłodzenie strumienia powietrza od temperatury 21–22°C – parametr wyższy od temperatury wlotowej do wentylatora, wywołany pracą wentylatora lutniowego WLE 1003B do temperatury rzędu 9–12°C. Średnia moc rozpatrywanej chłodziarki wynosi ok. 248,5 kW przy średniej mocy skraplacza równej ok. 312 kW. Wysoka moc zespołu maszynowego zapewnia dobry odbiór ciepła z parownika, co skutkuje niską temperaturą powietrza za chłodziarką. Jak wynika z rysunku 6 przebieg zmian i różnica między mocą skraplacza i parownika mieści się w granicach 52–74 kW. Strumień ciepła, który odbiera parownik od powietrza, oscyluje w granicach 227–264 kW, obliczone moce skraplacza zmieniają się w przedziale od 302 do 322 kW. Udział mocy jawnej parownika stanowi od 53 do 56,5% mocy całkowitej, co daje od 127 do 149 kW mocy jawnej i odpowiednio od 100 do 127 kW mocy utajonej związanej z osuszaniem powietrza.

Wysoka moc skraplacza, a tym samym wysoka moc parownika, wywołana jest dużym strumieniem wody chłodzącej skraplacz przekraczającej wartości zalecane przez producenta.

Analiza obu chłodziarek pokazuje, że pracują one na parametrach bardzo wysokich, dążących do nominalnych podanych przez producenta. Wysoką sprawność urządzeń zawiązuje się służbom kopalnianym odpowiedzialnym za stan techniczny chłodziarek, odpowiednią dbałość o okresowe przeglądy techniczne, tj. wymianę filtrów, uzupełnianie czynnika roboczego – R407C, właściwe wypoziomowanie urządzenia podczas jego pracy, oraz dostarczenie odpowiednio dużego strumienia wody chłodzącej skraplacz.

Wszystkie przytoczone czynniki wpływają na właściwą i zgodną z przeznaczeniem pracę lokalnych urządzeń chłodniczych, a doprowadzenie powietrza o odpowiedniej tem-

peraturze w rejon eksploatacji pozwala na zbilansowanie wysokich zysków ciepła pochodzących od napędów przenośników ścianowych, podścianowych, pracujących taśmociągów i napędów oraz innych źródeł ciepła.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Na poziom zagrożenia klimatycznego w kopalni wpływa wiele czynników, takich jak: ilości powietrza doprowadzanego do wyrobiska, sposób rozprowadzenia powietrza, intensywność przewietrzania, moc zainstalowana urządzeń energomechanicznych i ich lokalizacja, sposób transportu urobku, zawodnienie wyrobisk oraz wilgotność powietrza. Do poprawy trudnych warunków klimatycznych, oprócz intensywnej wentylacji, stosowane są urządzenia chłodnicze o działaniu lokalnym, systemy grupowe i centralne.

Na koniec 2008 roku całkowita zainstalowana moc chłodnicza w polskich kopalniach węgla i rud miedzi wynosiła 93,2 MW [3]. Ilość chłodnic powietrza bezpośredniego działania wynosiła 195 sztuk [4]. Zwracając uwagę na stosunek mocy zainstalowanej w lokalnych systemach chłodzenia w porównaniu z systemami klimatyzacji grupowej i centralnej, łatwo zauważyć dominację pierwszego rozwiązania, które stanowi istotę pracy. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów parametrów powietrza i mocy wymienników ciepła wchodzących w skład bezpośrednich chłodnic powietrza typoszeregu TS. Pomiary wykonano w wyrobiskach górniczych KWK „Sośnica-Makoszowy” Ruch „Makoszowy” w rejonie ściany j83 w pokładzie 407/1 na poziomie 840 m. Podstawowym kryterium efektywności chłodziarek powietrza jest zakres uzyskiwanych wartości parametrów schłodzonego powietrza, które wynikają z mocy cieplnej parownika. W wyniku procesu parowania i skraplania czynnika chłodniczego dochodzi do transportu strumienia ciepła między wymiennikami [6, 7]. Na skuteczność odbioru ciepła w skraplaczu decydujący wpływ mają parametry wody krążącej w obiegu otwartym bądź zamkniętym, np. z wyparnymi chłodnicami wody. Każda chłodnica cechuje się ściśle określoną mocą nominalną, określaną przez producenta urządzenia. Praktyczne zastosowanie chłodnicy i porównanie rzeczywistej mocy parownika z parametrem nominalnym pozwala, przez bilans cieplny urządzenia, na wskazanie różnic wynikających z innych, niż zakładano, parametrów chłodzonego powietrza, czynnika chłodniczego i wody chłodzącej skraplacz. Podkreślono znaczenie parametrów powietrza i wody, które w znaczący sposób decydowały o uzyskanych mocach chłodniczych.

Wysokie moce parowników chłodziarek TS300 rzędu 227–264 kW i TS350 w przedziale 258–305,6 kW pozwalają na właściwe chłodzenie powietrza w wyrobisku, a odpowiednio wysokie moce skraplaczy pozwalają na odbiór ciepła z chłodnicy. Jak zauważono, udział mocy utajonej (rzędu 40%) w całkowitej mocy chłodniczej parownika jest bardzo wysoki z uwagi na dużą wilgotność powietrza kopalnianego. W sytuacji gdyby wilgotność chłodzonego powietrza była niższa niż w rzeczywistości, to moc urządzenia chłodniczego mogłaby być mniejsza i skuteczność chłodzenia osiągnęłoby się większą. Przy ocenie skuteczności lokalnych urządzeń chłodniczych w kopalniach należy zwrócić uwagę na możliwość odbioru ciepła z chłodnicy powietrza (odpowiednio wysoka różnica temperatury wody w skraplaczu oraz jej ilość), co gwarantuje jej poprawne działanie. Wysoką

sprawność urządzeń zawdzięcza się również służbom kopalnianym odpowiedzialnym za stan techniczny chłodziarek.

Uzyskane z pomiarów *in situ* parametry chłodzenia układu TS350 i TS300 pozwalają na dobrą ocenę pracy lokalnego systemu chłodzenia zapewniającego odpowiednie warunki do pracy załogi w systemie 7,5-godzinnym.

LITERATURA

- [1] Dokumentacja techniczno-ruchowa chłodnicy TS300/1
- [2] Dokumentacja techniczno-ruchowa chłodnicy TS350/P
- [3] *Łuska P., Nawrat S.*: Klimatyzacja kopalń podziemnych, systemy chłodnicze, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 2008
- [4] *Łuska P., Nawrat S., Szlęzak N.*: Klimatyzacja kopalń w Polsce. 5 Szkoła Aerologii Górniczej, Wrocław, 2009
- [5] Materiały udostępnione przez KWK „Sośnica-Makoszowy” Ruch „Makoszowy”
- [6] *Madeja-Strumińska B., Strumiński A., Łuska P.*: Zwiększenie bezpieczeństwa oraz efektywności klimatyzacji wyrobisk górniczych stosujących podziemne urządzenia chłodnicze diagnozowane termowizyjnie, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2006
- [7] *Nowak B., Filek K.*: Chłodzenie powietrza górnicy chłodnicą przeponową o działaniu bezpośrednim. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków, 2002
- [8] *Nowak B., Filek K.*: Lokalne sposoby zwalczania zagrożenia ciepłego w wyrobiskach ścianowych, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 2007
- [9] Raporty roczne o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego, GIG, Katowice, 2008