

*Bernard Nowak\**, *Krzysztof Filek\**, *Piotr Łuska\*\**

## EKSPERYMENTALNE BADANIA PRACY GÓRNICZYCH SPRĘŻARKOWYCH CHŁODZIAREK POWIETRZA WSPÓŁPRACUJĄCYCH Z WYPARNYMI CHŁODNICAMI WODY\*\*\*

---

### 1. Wprowadzenie

Eksploatacja złóż w kopalniach podziemnych wymaga stosowania różnych metod zwalczania zagrożeń naturalnych. Ze względu na to, że metody wentylacyjne nie są w wielu przypadkach wystarczające, zagrożeniu cieplnemu przeciwdziała się coraz częściej przez sztuczne schładzanie powietrza w wyrobiskach. Najczęściej wykorzystywane do tego celu w polskim górnictwie są układy złożone z chłodziarki sprężarkowej i współpracującej z nią wyparnej chłodnicy wody.

Artykuł niniejszy prezentuje dane uzyskane drogą wykonanych w warunkach laboratoryjnych pomiarów. Poddano im dwa układy bezpośredniego chłodzenia powietrza – chłodziarkę typu DV-290 z czynnikiem chłodniczym R22 i z chłodnicą wyparną RK-450 [1] oraz chłodziarkę typu TS-300B z czynnikiem chłodniczym R407C i z chłodnicą wyparną CWW-420 [2].

Najkrócej działanie takiego układu w kopalni opisać można następująco. Powietrze świeże chłodzone jest w parowniku chłodziarki podczas parowania (pod ciśnieniem kilku barów) płynącego w jego rurkach czynnika chłodniczego. Przegrzana para czynnika sprężana jest następnie do wyższego ciśnienia (kilkunastu barów), po czym następuje jej chłodzenie i kondensacja w skraplaczu na skutek oddawania ciepła wodzie chłodzącej. Z kolei woda ta sama ochładzana jest podczas przepływu w rurkach chłodnicy wyparnej, gdzie oddaje ciepło powietrzu zużytemu, głównie na skutek parowania wody zraszającej zewnętrzną powierzchnię jej przepony (rurek) – dzięki temu zraszaniu intensywność wymiany ciepła, a zatem i chłodzenia wody, wyraźnie wzrasta. Transport ciepła odbywa się zatem na drodze: przeznaczone do schłodzenia powietrze świeże, parownik, czynnik chłodniczy, sprężarka, skraplacz, woda chłodząca skraplacz, chłodnica wyparna, powietrze zużyte usuwane z kopalni przez szyb wydechowy.

---

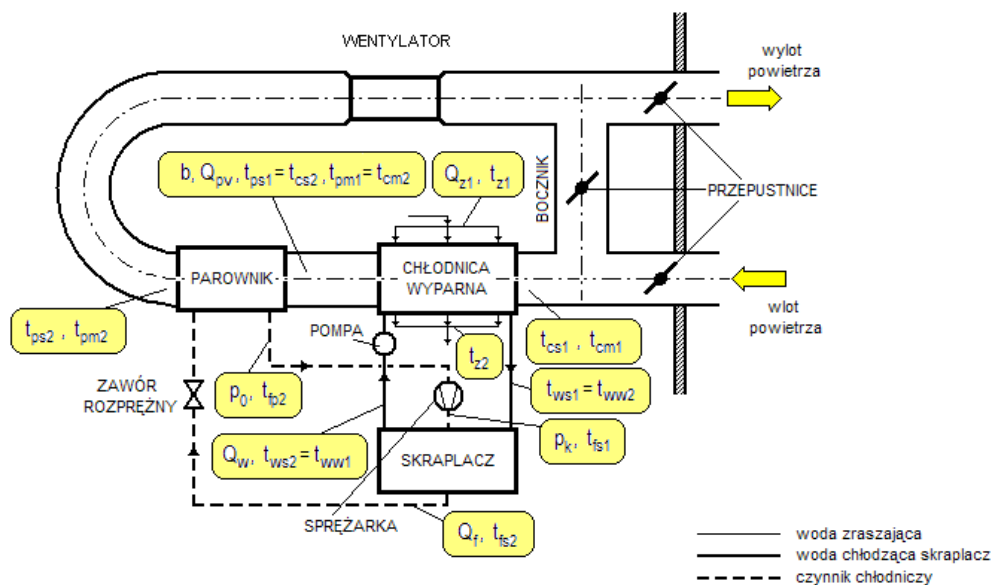
\* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

\*\* „Termospec” Sp. z o.o.

\*\*\* Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt badawczy nr N N524 2169 33

W celu minimalizacji kosztów badań przy równoczesnym utrzymaniu stanu powietrza zbliżonego do warunków kopalnianych, podniesienia jego temperatury i wilgotności na wlocie parownika dokonywano w laboratorium w układzie przedstawionym na rysunku 1 – ten sam strumień powietrza przepływał kolejno przez chłodnicę wody i przez parownik. Jest oczywiste, że podczas normalnej eksploatacji układu chłodzenia taka konfiguracja byłaby bezsensowna (ogrzewanie i nawilżanie, a następnie ochładzanie i odwilżanie tego samego strumienia powietrza).

Powietrze do badań zasysane było przez wentylator z zewnątrz i na zewnątrz później usuwane. W układzie przewidziano jednak połączenie bocznikujące, umożliwiające recyrkulację powietrza.



Rys. 1. Schemat stanowiska laboratoryjnego do badania górniczych chłodziarek powietrza. Zaznaczono miejsca pomiaru poszczególnych wielkości

Badania wykonano w dwóch etapach: wyniki pierwszego z nich (nazywanego dalej badaniami wstępnymi) posłużyły do wyznaczenia współczynników wymiany ciepła i masy w chłodnicach wyparnych, niezbędnych przy weryfikacji matematycznego modelu układu chłodzenia, natomiast etap drugi obejmował badania zasadnicze. Pomiary wstępne przeprowadzono w sześciu wariantach dla obu chłodziarek (warianty od 1 do 6), a pomiary zasadnicze w sześciu wariantach dla chłodnicy DV-290 (warianty od 7 do 12) i w dwunastu wariantach dla chłodnicy TS-300B (warianty od 13 do 18). Miejsca pomiaru poszczególnych parametrów pokazano na rysunku 1.

## 2. Opis eksperymentów

Wykonano pomiary następujących wielkości (indeks 1 – wlot, indeks 2 – wylot):

### Parametry powietrza w parowniku:

- ciśnienie bezwzględne  $b$ , [Pa],
- strumień objętości  $Q_{pv}$ , [m<sup>3</sup>/min],
- temperatura zmierzona termometrem suchym  $t_{ps1}$ ,  $t_{ps2}$ , [°C],
- temperatura zmierzona termometrem wilgotnym  $t_{pm1}$ ,  $t_{pm2}$ , [°C].

### Parametry czynnika chłodniczego w parowniku:

- ciśnienie  $p_0$ , [bar],
- temperatura  $t_{fp2}$ , [°C].

### Parametry czynnika chłodniczego w skraplaczu:

- ciśnienie  $p_k$ , [bar],
- strumień masy  $Q_f$ , [kg/h],
- temperatura  $t_{fs1}$ ,  $t_{fs2}$ , [°C].

### Parametry wody w skraplaczu:

- strumień masy  $Q_w$ , [kg/s],
- temperatura  $t_{ws1}$ ,  $t_{ws2}$ , [°C].

### Parametry wody chłodzonej w chłodnicy wyparnej:

- strumień masy  $Q_w$ , [kg/s],
- temperatura  $t_{ww1}$ ,  $t_{ww2}$ , [°C],  
( $t_{ww1} = t_{ws2}$ ,  $t_{ww2} = t_{ws1}$ ).

### Parametry powietrza w chłodnicy wyparnej:

- ciśnienie bezwzględne  $b$ , [Pa],
- strumień objętości  $Q_{pv}$ , [m<sup>3</sup>/min],
- temperatura zmierzona termometrem suchym  $t_{cs1}$ ,  $t_{cs2}$ , [°C],
- temperatura zmierzona termometrem wilgotnym  $t_{cm1}$ ,  $t_{cm2}$ , [°C],  
( $t_{cs2} = t_{ps1}$ ,  $t_{cm2} = t_{pm1}$ ).

### Parametry wody zraszającej w chłodnicy wyparnej:

- strumień masy  $Q_{z1}$ , [kg/s],
- temperatura  $t_{z1}$ ,  $t_{z2}$ , [°C].

Należy tu zaznaczyć, że w celu uporządkowania powyższego wykazu niektóre wielkości, takie jak ciśnienie powietrza ( $b$ ), objętościowy strumień jego przepływu w parowniku i w chłodnicy wyparnej ( $Q_{pv}$ ) oraz strumień masy wody w skraplaczu i chłodnicy wyparnej ( $Q_w$ ) i jej temperaturę na wlotach i wylotach, podano dwukrotnie – oddzielnie dla każdego z wymienników, którego dana wielkość dotyczy. W podobny sposób pokazano te wielkości w tabelach. Do pomiarów użyte zostały następujące przyrządy: aneroid elektroniczny typu PAE-03, anemometr skrzydełkowy typu  $\mu$ As-4 (strumień objętości powietrza podano jako iloczyn średniej prędkości przepływu i pola powierzchni przekroju przewodu), psychrometry aspiracyjne Assmanna, przepływomierz typu SONO 2000 Danfoss z kompletem termometrów, termometry typu PT-100. Na stanowisku badawczym woda zraszająca nie krążyła w obiegu zamkniętym, lecz pochodziła z sieci wodociągowej – strumień jej przepływu mierzony był zamontowanym przy zaworze wodomierzem.

W tabeli 1 zestawiono dane pomiarowe odnoszące się do parowników, w tabeli 2 – do skraplaczy, a w tabeli 3 – do wyparnych chłodnic wody. Podano w nich też moce cieplne poszczególnych wymienników wyliczone z parametrów powietrza i wody (podane w tabelach 1 i 2 parametry czynnika chłodniczego wykorzystane zostaną później do weryfikacji matematycznego opisu systemu chłodzenia powietrza). Moce parownika ( $N_p$ ), skraplacza ( $N_s$ ) i wyparnej chłodnicy wody ( $N_c$ ) wyrażają następujące zależności (podobnie jak wcześniej indeks 1 – wlot, indeks 2 – wylot) [6, 7]:

$$N_p = Q_p \left[ c_p (t_{ps1} - t_{ps2}) + c_w (t_{ps1} x_{p1} - t_{ps2} x_{p2}) + (r_p - c_c t_{ps2}) (x_{p1} - x_{p2}) \right] \quad (1)$$

$$N_s = Q_w c_c (t_{ws2} - t_{ws1}) \quad (2)$$

$$N_c = Q_p \left[ c_p (t_{cs2} - t_{cs1}) + c_w (t_{cs2} x_{w2} - t_{cs1} x_{w1}) + r_p (x_{w2} - x_{w1}) \right] - c_c (Q_{z1} t_{z1} - Q_{z2} t_{z2}) \quad (3)$$

gdzie:

- $c_c$  — ciepło właściwe wody [J/(kg·K)],
- $c_p$  — ciepło właściwe powietrza suchego przy stałym ciśnieniu [J/(kg·K)],
- $c_w$  — ciepło właściwe pary wodnej przy stałym ciśnieniu [J/(kg·K)],
- $Q_p$  — strumień masy powietrza suchego w parowniku i w chłodnicy wyparnej [kg/s];

przy czym

$$Q_p = \rho Q_{pv} \quad (4)$$

- $\rho$  — gęstość powietrza suchego [kg/m<sup>3</sup>],
- $Q_w$  — strumień masy wody chłodzącej skraplacz (a chłodzonej w chłodnicy wyparnej) [kg/s],
- $Q_z$  — strumień masy wody zraszającej w chłodnicy wyparnej [kg/s],
- $r_p$  — ciepło parowania wody [J/kg],
- $t_{cs}$  — temperatura powietrza w wyparnej chłodnicy wody mierzona termometrem suchym [°C],
- $t_{ps}$  — temperatura powietrza w parowniku mierzona termometrem suchym [°C],
- $t_{ws}$  — temperatura wody w skraplaczu [°C],

$t_z$  — temperatura wody zraszającej w chłodnicy wyparnej [°C],  
 $x_p$  — wilgotność właściwa powietrza w parowniku [kg/kg],

przy czym [4, 5]

$$x_p = \frac{379,8 \cdot 10^u - 4,1161 \cdot 10^{-4} \cdot (t_{ps} - t_{pm}) \cdot b}{b - 610,6 \cdot 10^u - 6,6176 \cdot 10^{-4} \cdot (t_{ps} - t_{pm}) \cdot b} \quad (5)$$

$$u = \frac{7,5 t_{pm}}{t_{pm} + 237,29}$$

$x_w$  — wilgotność właściwa powietrza w chłodnicy wyparnej, określona analogicznie do (5),

$t_{pm}$  — temperatura powietrza w parowniku mierzona termometrem mokrym [°C].

Moc określoną od strony powietrza, zarówno w parowniku jak i w chłodnicy wyparnej, można uznać za sumę mocy jawnej (ochładzania lub ogrzewania powietrza) i mocy utajonej (osuszania lub nawilżania powietrza). Wyrażają się one następująco [3]:

— moc jawna (ochładzania powietrza) w parowniku

$$N_{pt} = Q_p \left[ c_p (t_{ps1} - t_{ps2}) + c_w (t_{ps1} x_{p1} - t_{ps2} x_{p2}) \right] \quad (6)$$

— moc utajona (osuszania powietrza) w parowniku

$$N_{px} = Q_p (r_p - c_c t_{ps2}) (x_{p1} - x_{p2}) \quad (7)$$

— moc jawna (ogrzewania powietrza) w wyparnej chłodnicy wody

$$N_{ct} = Q_p \left[ c_p (t_{cs2} - t_{cs1}) + c_w (t_{cs2} x_{w2} - t_{cs1} x_{w1}) \right] \quad (8)$$

— moc utajona (nawilżania powietrza) w wyparnej chłodnicy wody

$$N_{cx} = Q_p r_p (x_{w2} - x_{w1}) \quad (9)$$

Wyznaczając moc chłodnicy wyparnej, we wzorze (3) pominięto ostatni, reprezentujący zmianę ciepła jawnego wody zraszającej, składnik  $c_c (Q_{z1} t_{z1} - Q_{z2} t_{z2})$ , który jest mały w porównaniu z pozostałymi, a ponadto nie dysponowano wartościami  $Q_{z2}$  (nie mierzono). Dlatego składnik ten nie występuje ani w zależności (8), ani w (9). Natomiast we wzorze (7) pozostawiono niewielki składnik  $Q_p c_c t_{ps2} (x_{p1} - x_{p2})$  związany z entalpią wykropłonej w parowniku wody – przyjęto, że woda ta ma temperaturę równą temperaturze powietrza na wylocie parownika.

W tabelach 1, 2 i 3 podano moc parownika ( $N_p$ ) z podziałem na moc ochładzania ( $N_{pt}$ ) i moc osuszania ( $N_{px}$ ), moc skraplacza ( $N_s$ ) i moc chłodnicy wyparnej ( $N_c$ ) z podziałem na moc ogrzewania ( $N_{ct}$ ) i moc nawilżania ( $N_{cx}$ ). Podstawową dla użytkownika wielkość – moc chłodniczą parownika przedstawiono w postaci wykresów słupkowych na rysunkach 2–6. Rysunki 2 i 3 dotyczą chłodziarki DV-290, a rysunki 4, 5 i 6 chłodziarki TS-300B.

TABELA 1

## Dane pomiarowe parowników

wa- riant	$b$	$Q_{pv}$	$t_{ps1}$	$t_{pm1}$	$t_{ps2}$	$t_{pm2}$	$p_0$	$t_{fp2}$	$N_{pt}$	$N_{px}$	$N_p$
	kPa	m <sup>3</sup> /min	°C	°C	°C	°C	bar	°C	kW	kW	kW
Parownik chłodziarki DV-290											
1	100,5	500	28,8	26,0	19,6	19,4	5,2	11,0	92,1	138,3	230,4
2			29,0	27,8	21,0	21,0	5,3	10,0	81,1	172,9	254,0
3			31,0	28,0	21,6	21,2	5,2	10,5	94,0	160,0	254,0
4			31,2	29,6	22,6	22,6	5,3	10,5	86,9	190,3	277,2
5			32,8	29,4	23,2	23,0	5,5	11,0	95,6	156,7	252,3
6			32,8	30,2	23,8	23,6	5,5	10,5	90,3	177,6	267,9
7	100,2	560	29,0	26,2	20,0	19,8	5,2	11,0	100,6	151,6	252,2
8			29,2	27,8	21,2	21,2	5,3	11,0	90,4	186,8	277,2
9			31,0	28,0	21,8	21,6	5,2	10,5	102,7	167,2	269,9
10			31,0	29,2	23,0	22,8	5,3	11,0	90,4	194,3	284,7
11			32,6	29,0	22,8	22,4	5,4	11,0	109,0	178,2	287,2
12			33,0	30,0	23,6	23,4	5,5	11,5	104,9	189,5	294,4
Parownik chłodziarki TS-300B											
1	100,1	510	29,0	26,2	19,4	19,2	6,2	7,0	97,6	151,4	249,0
2			29,0	28,0	21,2	21,2	6,3	7,0	80,5	180,2	260,7
3			31,0	28,0	21,2	20,8	6,2	7,0	99,6	172,2	271,8
4			31,0	29,6	22,0	22,0	6,4	8,0	92,6	210,9	303,4
5			32,6	29,4	22,0	21,6	6,3	8,5	107,5	198,1	305,7
6			32,8	30,8	23,6	23,6	6,3	8,0	94,3	207,5	301,8
7	101,2	575	29,0	26,0	20,0	19,6	6,3	9,0	104,2	153,9	258,1
8			29,0	27,8	20,6	20,6	6,3	8,5	98,5	209,1	307,6
9			30,8	28,0	21,0	20,6	6,3	8,0	113,6	201,4	315,0
10			31,0	29,4	23,0	23,0	6,4	8,0	93,7	199,1	292,8
11			32,4	29,2	22,6	22,4	6,5	8,0	113,2	191,7	304,8
12			32,6	30,0	23,6	23,4	6,6	9,0	104,6	202,8	307,4
13	100,5	660	29,0	25,8	20,2	19,8	6,2	8,0	116,0	161,0	277,0
14			29,0	27,2	21,0	20,8	6,3	9,0	106,6	204,1	310,7
15			31,0	27,4	21,6	21,2	6,3	7,5	123,5	178,1	301,6
16			31,0	28,8	22,2	22,0	6,4	8,5	116,9	229,2	346,0
17			32,0	28,6	22,6	22,2	6,4	9,0	123,7	199,9	323,6
18			32,0	29,4	23,0	23,0	6,5	8,0	119,0	215,9	334,9

TABELA 2

## Dane pomiarowe skraplaczy

wariant	$p_k$	$Q_f$	$t_{fs1}$	$t_{fs2}$	$Q_w$	$t_{ws1}$	$t_{ws2}$	$N_s$
	bar	kg/h	°C	°C	kg/s	°C	°C	kW
Skraplacz chłodziarki DV-290								
1	17,1	5380	77,0	42,5	15,5	26,0	30,6	298,7
2	16,5	5448	78,0	41,0		27,0	31,8	311,7
3	17,0	5958	78,0	42,0		27,5	32,6	331,2
4	17,5	6137	79,0	43,5		28,0	33,3	344,2
5	17,7	6024	81,0	44,0		28,5	33,6	331,2
6	17,9	6301	82,0	44,5		29,0	34,4	350,7
7	17,0	5739	78,0	42,0	15,0	27,0	32,0	314,3
8	17,0	5982	79,0	42,0		27,5	32,8	333,1
9	17,1	6276	80,0	42,5		28,0	33,5	345,7
10	17,2	6385	80,0	43,0		29,0	34,5	345,7
11	17,5	6411	82,0	44,0		29,5	35,3	346,5
12	18,0	6633	83,0	45,0		30,0	35,9	370,8
Skraplacz chłodziarki TS-300B								
1	17,0	6052	80,0	38,0	15,0	26,5	31,5	314,3
2	17,0	6397	81,0	38,5		27,0	32,2	326,8
3	17,3	6421	80,0	38,5		27,5	33,0	345,7
4	17,4	6916	82,0	39,0		28,0	33,6	352,0
5	17,3	7140	81,0	39,5		28,5	34,5	377,1
6	17,3	7554	82,0	40,0		29,0	35,0	377,1
7	17,4	6206	81,0	37,5	15,0	27,0	32,3	333,1
8	17,4	6658	82,0	38,0		27,5	33,2	358,2
9	17,4	6900	82,0	38,0		28,0	34,0	377,1
10	17,6	7355	83,0	38,5		29,0	35,1	383,4
11	17,7	7491	83,0	38,5		29,5	35,7	389,7
12	17,9	7645	83,0	39,0		30,0	36,3	396,0
13	17,6	6642	82,0	37,5	15,0	27,0	32,8	364,5
14	17,6	7134	83,0	38,0		27,5	33,7	389,7
15	17,7	7551	83,0	38,0		28,0	34,4	402,2
16	17,7	7913	83,0	38,5		29,0	35,6	414,8
17	17,7	7856	83,0	38,5		29,5	36,1	414,8
18	17,8	8028	83,0	39,0		30,0	36,6	414,8

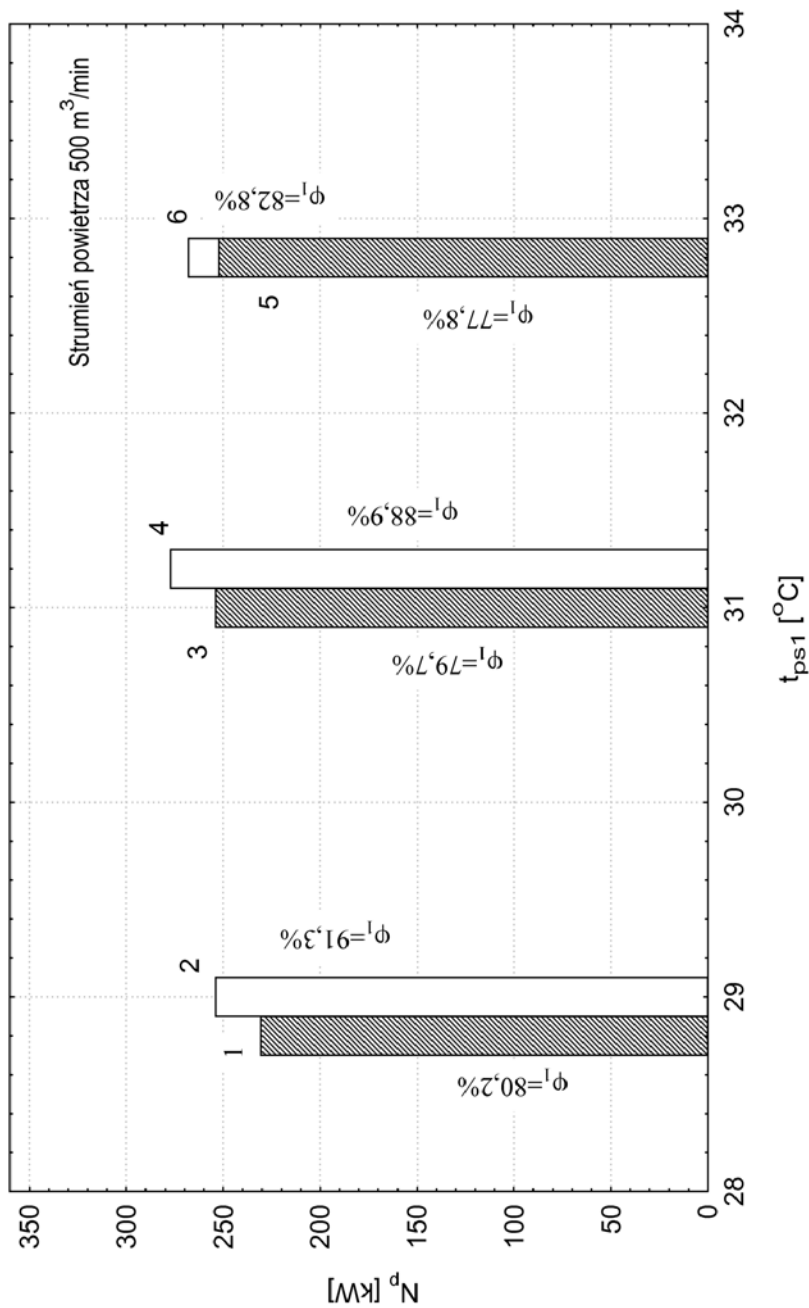
TABELA 3

## Dane pomiarowe chłodnic wyparnych

wa- riant	$Q_w$	$t_{ww1}$	$t_{ww2}$	$b$	$Q_{pv}$	$t_{cs1}$	$t_{cm1}$	$t_{cs2}$	$t_{cm2}$	$Q_{z1}$	$t_{z1}$	$t_{z2}$	$N_{cw}$	$N_{ct}$	$N_{cx}$	$N_c$
	kg/s	°C	°C	kPa	$\frac{m^3}{min}$	°C	°C	°C	°C	kg/s	°C	°C	kW	kW	kW	kW
Chłodnica RK-450 współpracująca z chłodziarką DV-290																
1	15,5	30,6	26,0	100,5	500	23,0	17,8	28,8	26,0	0,18	23,0	28,0	298,7	62,8	222,3	285,1
2		31,8	27,0			24,0	19,4	29,0	27,8	0,19		29,0	311,7	55,6	256,7	312,2
3		32,6	27,5			24,0	19,4	31,0	28,0	0,16		30,0	331,2	75,5	244,1	319,6
4		33,3	28,0			24,2	21,4	31,2	29,6	0,18		30,5	344,2	75,7	251,5	327,2
5		33,6	28,5			24,2	21,4	32,8	29,4	0,19		31,0	331,2	91,2	225,0	316,2
6		34,4	29,0			24,2	21,4	32,8	30,2	0,24		31,0	350,7	92,2	262,8	355,0
7	15,0	32,0	27,0	100,2	560	22,6	18,8	29,0	26,2	0,16	23,0	28,5	314,3	76,2	217,7	293,9
8		32,8	27,5			24,0	20,2	29,2	27,8	0,20		29,2	333,1	63,7	261,1	324,8
9		33,5	28,0			24,0	20,2	31,0	28,0	0,18		30,0	345,7	83,7	249,8	333,5
10		34,5	29,0			27,0	20,8	31,0	29,2	0,24		31,0	345,7	51,8	316,6	368,4
11		35,3	29,5			27,0	20,8	32,6	29,0	0,20		31,6	346,5	68,9	286,7	355,6
12		35,9	30,0			27,6	22,2	33,0	30,0	0,25		32,2	370,8	66,6	282,0	348,7
Chłodnica CWW-420 współpracująca z chłodziarką TS-300B																
1	15,0	31,5	26,5	100,1	510	23,0	17,4	29,0	26,2	0,20	23,0	28,5	314,3	66,3	244,9	311,2
2		32,2	27,0			24,0	19,2	29,0	28,0	0,20		29,0	326,8	56,8	276,5	333,4
3		33,0	27,5			24,0	19,2	31,0	28,0	0,18		30,0	345,7	76,9	255,5	332,4
4		33,6	28,0			24,6	20,8	31,0	29,6	0,24		30,5	352,0	71,4	282,5	354,0
5		34,5	28,5			24,0	20,0	32,6	29,4	0,20		31,0	377,1	94,1	276,7	370,8
6		35,0	29,0			25,8	22,4	32,8	30,8	0,24		32,0	377,1	77,7	277,6	355,3
7	15,0	32,3	27,0	101,2	575	23,0	18,0	29,0	26,0	0,25	22,5	28,5	333,1	74,8	246,6	321,4
8		33,2	27,5			22,2	19,8	29,0	27,8	0,20		29,0	358,2	84,6	261,6	346,2
9		34,0	28,0			24,2	19,0	30,8	28,0	0,18		30,0	377,1	83,1	299,5	382,6
10		35,1	29,0			23,4	20,8	31,0	29,4	0,24		30,5	383,4	94,8	294,9	389,7
11		35,7	29,5			25,6	20,4	32,4	29,2	0,20		31,0	389,7	85,7	305,5	391,1
12		36,3	30,0			24,2	21,4	32,6	30,0	0,25		31,5	396,0	104,2	294,1	398,3
13	15,0	32,8	27,0	100,5	660	23,2	18,3	29,0	25,8	0,16	23,0	29,0	364,5	82,2	261,6	343,7
14		33,7	27,5			23,6	19,2	29,0	27,2	0,22		29,0	389,7	77,9	308,2	386,1
15		34,4	28,0			23,6	19,2	31,0	27,4	0,19		30,0	402,2	104,2	291,3	395,5
16		35,6	29,0			23,8	20,8	31,0	28,8	0,22		31,0	414,8	102,0	307,6	409,6
17		36,1	29,5			25,8	20,8	32,0	28,6	0,24		31,0	414,8	88,6	305,8	394,4
18		36,6	30,0			25,4	22,2	32,0	29,4	0,25		31,5	414,8	93,5	287,9	381,4

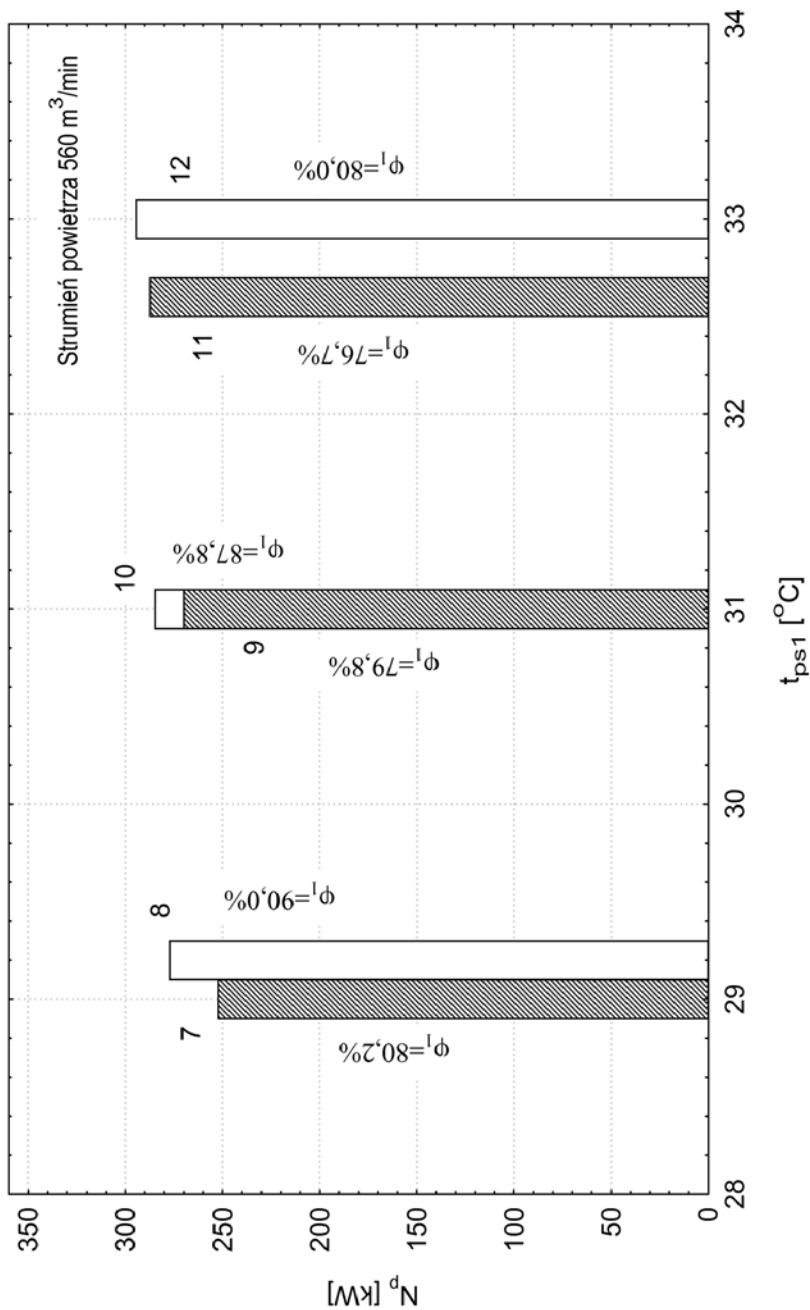


### Moc chłodnicza parownika chłodziarki DV-290



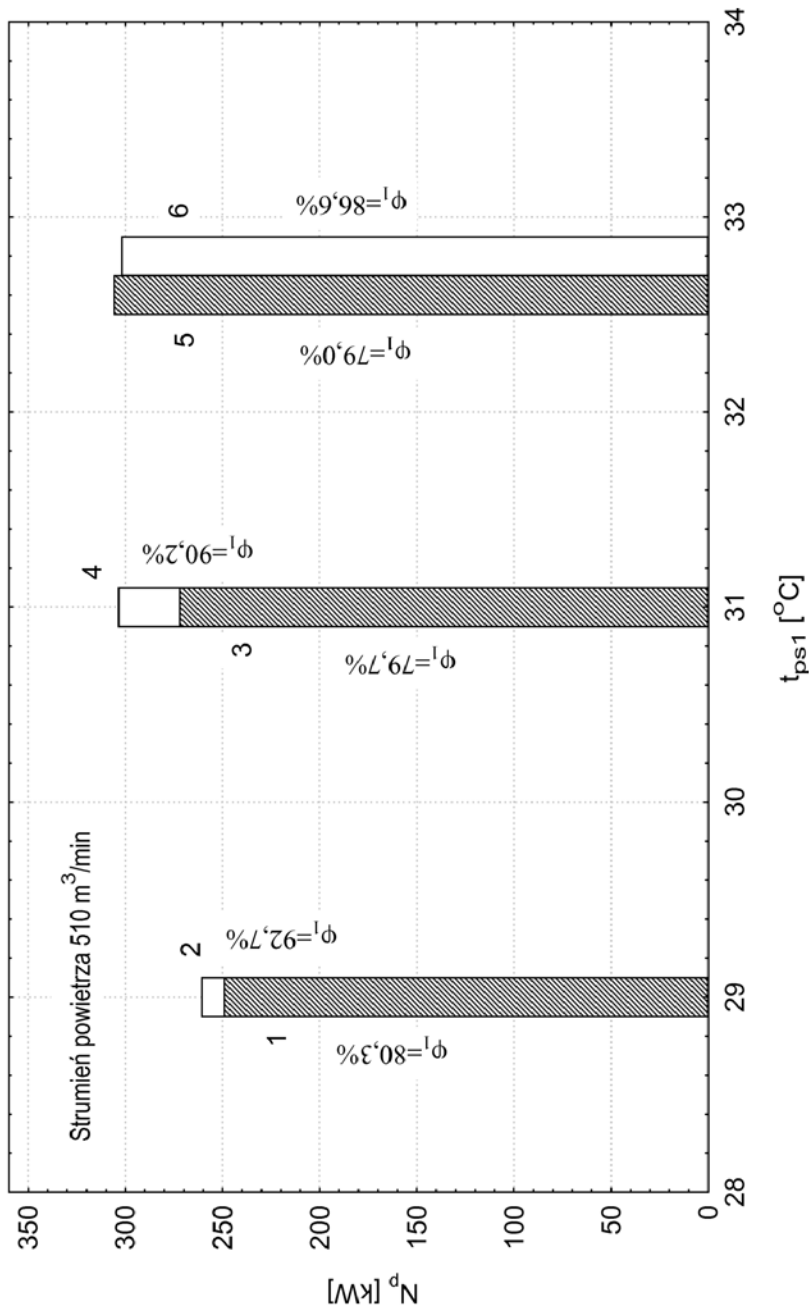
**Rys. 2.** Wyznaczona na podstawie pomiarów moc chłodnicza parownika chłodziarki DV-290 w funkcji temperatury powietrza na wlocie ( $t_{ps1}$ ) przy różnych wartościach wilgotności względnej powietrza na wlocie ( $\phi_1$ ): słupki ciemne – wilgotność mniejsza, słupki jasne – wilgotność większa. Natężenie przepływu powietrza  $Q_{pv} = 500$  m<sup>3</sup>/min. Nanesiono numery wariantów pomiarowych

Moc chłodnicza parownika chłodziarki DV-290



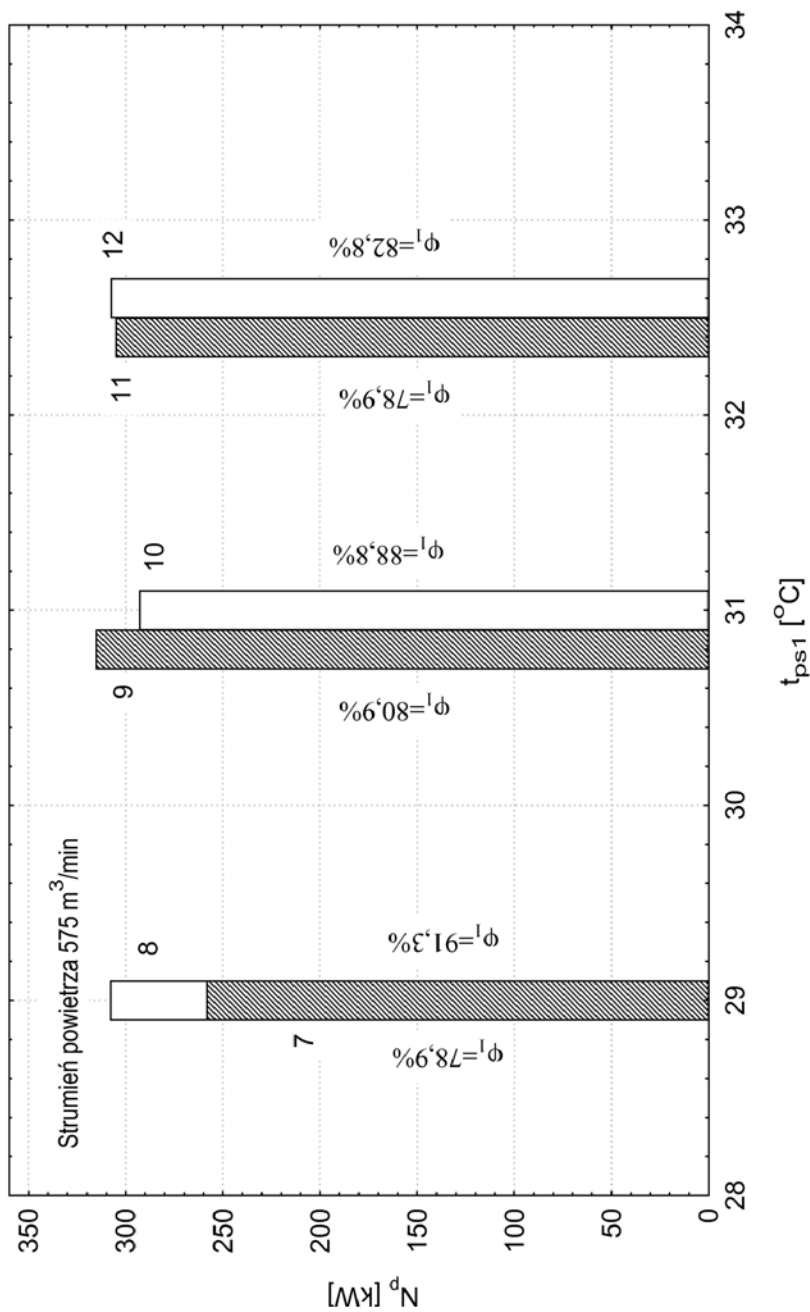
Rys. 3. Wyznaczona na podstawie pomiarów moc chłodnicza parownika chłodziarki DV-290 w funkcji temperatury powietrza na wlocie ( $t_{ps1}$ ) przy różnych wartościach wilgotności względnej powietrza na wlocie ( $\phi_1$ ): słupki ciemne – wilgotność mniejsza, słupki jasne – wilgotność większa. Natężenie przepływu powietrza  $Q_{pv} = 560$  m<sup>3</sup>/min. Nanieśiono numery wariantów pomiarowych

Moc chłodnicza parownika chłodziarki TS-300B



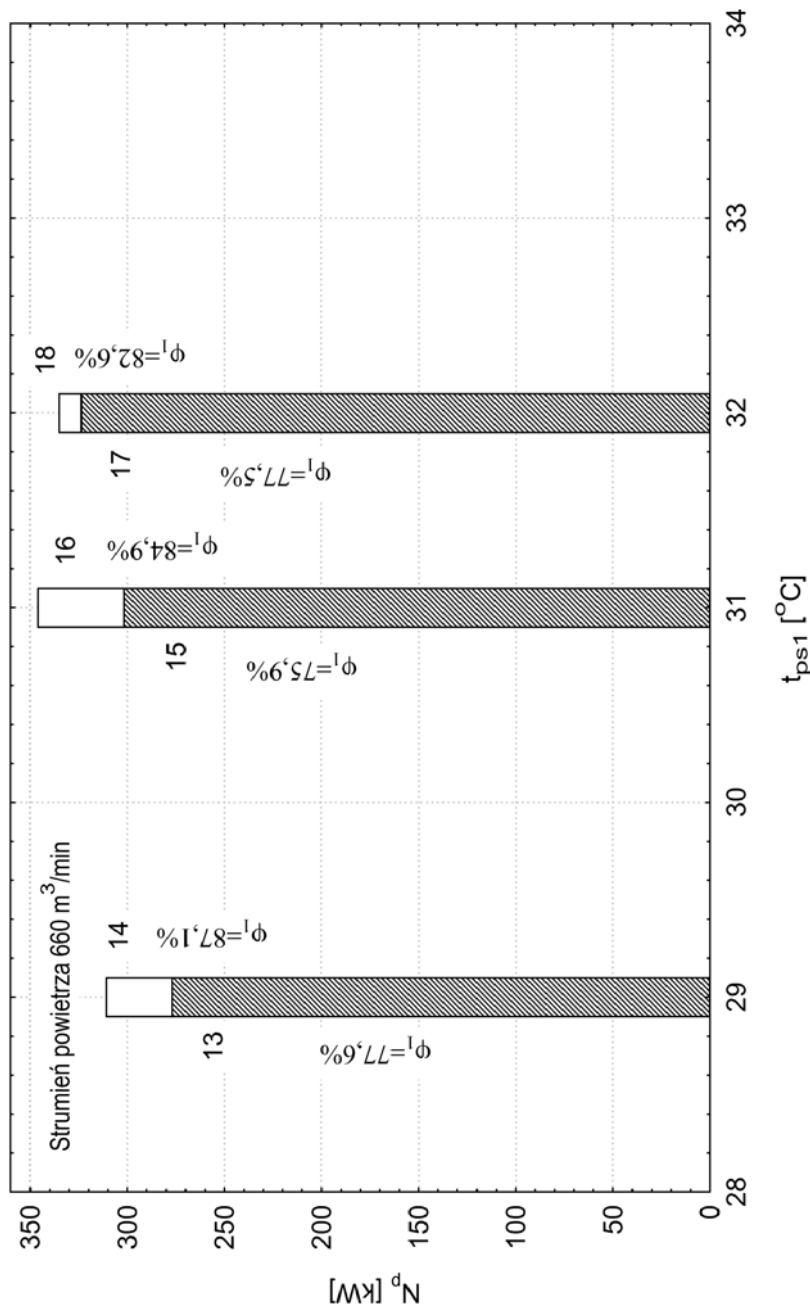
**Rys. 4.** Wyznaczona na podstawie pomiarów moc chłodnicza parownika chłodziarki TS-300B w funkcji temperatury powietrza na wlocie ( $t_{ps1}$ ) przy różnych wartościach wilgotności względnej powietrza na wlocie ( $\phi_1$ ): słupki ciemne – wilgotność mniejsza, słupki jasne – wilgotność większa. Natężenie przepływu powietrza  $Q_{pv} = 500$  m<sup>3</sup>/min. Nanesiono numery wariantów pomiarowych

Moc chłodnicza parownika chłodziarki TS-300B



**Rys. 5.** Wyznaczona na podstawie pomiarów moc chłodnicza parownika chłodziarki TS-300B w funkcji temperatury powietrza na wlocie ( $t_{ps1}$ ) przy różnych wartościach wilgotności względnej powietrza na wlocie ( $\phi$ ): słupki ciemne – wilgotność mniejsza, słupki jasne – wilgotność większa. Natężenie przepływu powietrza  $Q_{pv} = 575 \text{ m}^3/\text{min}$ . Napisano numery wariantów pomiarowych

Moc chłodnicza parownika chłodziarki TS-300B



**Rys. 6.** Wyznaczona na podstawie pomiarów moc chłodnicza parownika chłodziarki TS-300B w funkcji temperatury powietrza na wlocie ( $t_{ps1}$ ) przy różnych wartościach wilgotności względnej powietrza na wlocie ( $\phi_1$ ): słupki ciemne – wilgotność mniejsza, słupki jasne – wilgotność większa. Natężenie przepływu powietrza  $Q_{pv} = 660 \text{ m}^3/\text{min}$ . Naniiesiono numery wariantów pomiarowych

### 3. Podsumowanie

Efektom wykonania omówionej serii badań górniczych chłodziarek powietrza i wyparnej chłodnicy wody jest wiele danych liczbowych obrazujących pracę tych systemów. Analiza wpływu poszczególnych wielkości wejściowych na jakość tej pracy byłaby ułatwiona, gdyby pozostałe wielkości udało się utrzymać na niezmiennym poziomie. Ze względów praktycznych chodzi tu zwłaszcza o temperaturę i wilgotność powietrza na wlocie parownika. Jak widać, na potrzeby eksperymentów udało się osiągnąć tę temperaturę w przybliżeniu na trzech poziomach – około 29°C, około 31°C i około 32,5°C, przy wilgotności względnej na dwóch poziomach – około 80% i około 85–90%. Wartości te można traktować jedynie jako nominalne, rzeczywiste nieco od nich odbiegają w górę lub w dół. Mimo to dane te zawierają w sobie dużo informacji.

W zbadanych przypadkach zmierzona moc chłodnicza parownika ( $N_p$ ) chłodziarki DV-290 osiąga niemal 300 kW (294,4 kW w wariancie 12), a moc parownika chłodziarki TS-300B niemal 350 kW (346,0 kW w wariancie 16), przy większym jednak o 18% nałożeniu przepływu powietrza. Moc ta rośnie przy wzroście strumienia przepływu powietrza oraz jego temperatury i wilgotności na wlocie. Wszelkie odstępstwa od tej zasady, widoczne szczególnie dobrze na wykresach (np. warianty 5 i 6 oraz 9 i 10 dla TS-300B), są efektem działania niedających się w pełni wyeliminować błędów pomiarowych.

Jak widać w tabeli 1, moc parownika związana z wykraplaniem wody z chłodzonego powietrza ( $N_{px}$ ) jest w zbadanych przypadkach zawsze większa od mocy ochładzania powietrza ( $N_{pt}$ ), niekiedy nawet ponad dwukrotnie, co oznacza, że w takim przypadku poniżej 1/3 całkowitej mocy pochłanianie oziębianie powietrza, a ponad 2/3 – jego osuszanie. Przyczyną jest tu duża wilgotność względna powietrza na wlocie.

Moc cieplna skraplaczy ( $N_s$ ) jest zawsze o kilkadziesiąt kilowatów wyższa od mocy parowników, co wiąże się z dodatkową energią wprowadzaną do układu przez sprężarkę. W zbadanych przypadkach zmierzona moc skraplacza chłodziarki DV-290 przekracza 370 kW (370,8 kW w wariancie 12), a moc skraplacza chłodziarki TS-300B osiąga niemal 415 kW (414,8 kW w wariantach 16, 17 i 18).

Moc chłodnicza chłodnicy wyparnej wyznaczona z pomiarów temperatury wody ( $N_{cw}$ ) jest oczywiście równa mocy skraplacza – z uwagi na niewielką odległość w laboratorium chłodnicy wyparnej i skraplacza zmiany temperatury wody w przewodach łączących są pomijalnie małe. W warunkach kopalnianych wartości te mogą się różnić. Moc chłodnicy wyparnej określona z pomiarów parametrów powietrza ( $N_c$ ) niewiele odbiega od określonej z parametrów wody ( $N_{cw}$ , równej mocy skraplacza  $N_s$ ) – największa bezwzględna wartość tej różnicy nie przekracza 6,5% wartości  $N_{cw}$  dla chłodnicy RK-450, pracującej w układzie z chłodziarką DV-290 oraz 8,1% dla chłodnicy CWW-420, pracującej w układzie z chłodziarką TS-300B.

Stosunek utajonej ( $N_{cx}$ ) do jawnej ( $N_{ct}$ ) mocy chłodnicy wyparnej jest wyraźnie większy niż w parowniku. Wielkość ta w zbadanych przypadkach przyjmuje wartości między 2,5 a 6,1 i w dużym stopniu zależy od temperatury i wilgotności powietrza na wlocie chłodnicy.

## LITERATURA

- [1] Dokumentacja techniczno-ruchowa chłodziarki powietrza DV-290. Praca niepublikowana, udostępniona przez „Termospec” sp. z o.o. Żory
- [2] Dokumentacja techniczno-ruchowa chłodziarki powietrza TS-300B. Praca niepublikowana, udostępniona przez „Termospec” sp. z o.o. Żory
- [3] *Filek K., Nowak B.*: Wymiana ciepła i masy w górniczych przepływowych chłodnicach powietrza o działaniu pośrednim. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków, 1999.
- [4] *Frycz A.*: Klimatyzacja kopalń. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1981
- [5] *Häussler W.*: Zastosowanie wykresu i-x w inżynierii sanitarnej. Arkady, Warszawa, 1970
- [6] *Nowak B., Filek K.*: Mathematical description of media parameters changes in the compression refrigerator. Archives of Mining Sciences, 2009, issue 1, vol. 54, s. 13–34
- [7] *Nowak B., Filek K.*: Zmiana temperatury wody chłodzącej skraplacz górniczej chłodziarki powietrza w wentylatorowej chłodnicy wyparnej. „Górnictwo i Geoinżynieria” (kwartalnik AGH) 2010, z. 3, s. 53–75