

Rafał Łuczak*

OCENA JAKOŚCI PRACY CHŁODZIARKI TS300 Z WYKORZYSTANIEM STATYSTYCZNEJ ANALIZY DANYCH**

1. Wstęp

Rozwój kompleksowych metod chłodzenia powietrza, które zapewniają utrzymanie odpowiednich warunków cieplnych w wielu wyrobiskach jest uzasadniony z punktu widzenia właściwych parametrów 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 należy również wady, jaką jest np. efektywność wykorzystania ciepła, a co za tym idzie mocy chłodniczej, związana z potrzebą odprowadzenia strumienia ciepła w inny rejon kopalni.

Spełnienie odpowiednich wymagań przy współpracy chłodnicy bezpośredniego działania z wyparną chłodnicą wody lub innym układem odprowadzania ciepła przyczynia się do uzyskania wysokiej efektywności chłodzenia powietrza [1].

Celem badań jest analiza procesu zmian parametrów powietrza, chłodzonego chłodziarkami bezpośredniego działania typoszeregu TS produkowanych przez firmę Termospec Sp. z o.o, oraz wpływu parametrów tego powietrza na proces jego chłodzenia i moc chłodniczą stosowanej chłodziarki.

O efektywności chłodzenia świadczy uzyskanie niskiej temperatury powietrza za parownikiem i ta efektywność została oceniona w niniejszym artykule jako kryterium statystyczne w postaci równań regresji wielorakiej.

W artykule przedstawiono analizę statystyczną parametrów powietrza i wody oraz na ich podstawie dokonano estymacji parametrów wejściowych parownika i skraplacza.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

** Wykonano w ramach pracy własnej, numer 10.10.100.383

2. Przeprowadzenie pomiarów parametrów powietrza chłodzonego chłodziarkami TS300

Pomiary parametrów powietrza chłodzonego chłodziarkami bezpośredniego działania TS300 przeprowadzono na stacji prób (w ramach pracy własnej numer 10.10.100.383). Pomiarami objęto takie parametry jak [2]:

- 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} ,
- objętościowe natężenie przepływu wody w skraplaczu, Q_w ,
- bezwzględne ciśnienie powietrza na wlocie parownika, p ,
- wilgotność względna powietrza na wlocie do parownika, φ_1 ,
- wilgotność względna powietrza na wylocie z parownika, φ_2 .

W wybranych sesjach pomiarowych zamiast temperatury powietrza wg termometru suchego i wilgotnego zastosowano termohigrometry mierzące temperaturę oraz wilgotność względną powietrza.

W badaniach wykorzystano następujące przyrządy pomiarowe:

- psychroaspiratory Assmana,
- czujniki temperatury typu PT-100 i PT-500 współpracujące z przetwornikami A/C,
- anemometr skrzydełkowy typu μ AS4,
- mikrobarometr typu μ Bar,
- ultradźwiękowy miernik natężenia przepływu i temperatury wody typu SONO 2000 Danfoss,
- termohigrometr T311 oraz termohigrometry HD 2101.2

Na podstawie wykonanych pomiarów obliczono wymagane parametry powietrza i wody przed chłodzeniem i po nim oraz moc parownika i skraplacza. Do analizy statystycznej mocy parownika N_p wykorzystano pięć parametrów, a mianowicie: t_1 [°C] – temperatura powietrza na wlocie do parownika, φ_1 [%] – wilgotność względna powietrza na wlocie do parownika, Q [m³/min] – wydatek objętościowy powietrza na wlocie do parownika, t_{w1} [°C] – temperatura wody na wlocie do skraplacza, Q_w [m³/h] – wydatek objętościowy wody w skraplaczu. Określone w drodze pomiarów i obliczeń parametry zestawiono w tabeli 1. Obliczeń mocy poszczególnych wymienników ciepła dokonano na podstawie modelu matematycznego zawartego w [2]. Pomiarów dokonano dla różnych wydatków objętościowych powietrza na wlocie do chłodnicy od 490 do 660 m³/min, dla temperatury powietrza w zakresie 17,3–33°C i wilgotności względnej od 25%. Wykonano kilka serii pomiarowych z wykorzystaniem urządzeń nowych TS300, każda seria liczyła od kilkunastu do kilkuset pomiarów. Z całego zakresu wyników, jakie otrzymano, wykorzystano tylko te, które najbardziej odpowiadają właściwemu procesowi chłodzenia, wy-

kluczając te, które były związane z szybkim wzrostem temperatury wody w skraplaczu i wyparnej chłodnicy wody, co było bezpośrednią przyczyną braku odbioru ciepła w parowniku [2]. Z uwagi na brak możliwości zwiększenia wilgotności powietrza na wlocie do parownika w okresie wykonywania pomiarów wykorzystano dane z [3,4]. Z uwagi na obszerność danych pomiarowych w tabeli 1 przedstawiono wartości wybranych 20 parametrów, które zostały wykorzystane w analizie statystycznej.

TABELA 1

Wartości parametrów wykorzystanych w analizie statystycznej

Lp.	t_1 [°C]	φ_1 [%]	Q [m ³ /min]	t_{w1} [°C]	Q_w [m ³ /h]	N_p [kW]
1	29,4	41,0	500,4	30,5	36,7	170,0
2	30,2	37,0	500,4	31,2	36,2	163,3
3	31,0	35,1	500,4	32,9	36,7	164,0
4	30,8	38,6	500,4	34,2	36,7	168,0
5	29,5	30,9	520,3	30,5	36,7	169,3
6	29,7	31,3	550,1	30,8	36,7	180,4
7	30,1	30,3	550,4	31,3	36,7	177,4
8	29,7	30,3	551,0	30,7	36,7	175,9
9	30,1	30,7	553,1	31,3	36,7	180,0
10	29,5	30,7	556,0	30,5	36,7	175,3
11	29,0	78,9	575,0	27,0	54,0	258,1
12	31,0	88,8	575,0	29,0	54,0	292,8
13	32,6	82,8	575,0	30,0	54,0	307,4
14	24,0	28,6	618,0	27,9	42,2	205,2
15	25,0	26,4	630,0	29,0	43,3	217,6
16	30,4	34,36	642,1	30,5	36,7	161,7
17	19,0	22,4	648,0	21,6	44,2	203,7
18	27,3	39,2	654,0	31,5	45,4	267,8
19	29,0	77,6	660,0	27,0	54,0	277,0
20	32,0	82,6	660,0	30,0	54,0	334,9

3. Metody statystycznej analizy danych

W celu określenia funkcji najbardziej dopasowanej do uzyskanych pomiarów wykorzystano program *Statistica 8.0*, a jako narzędzia zastosowano model regresji wielorakiej oraz estymację nieliniową metodą quasi-Newtona oraz Hooke'a–Jeevesa przemieszczania układu. Spośród metod stochastycznych i zdeterminowanych wybrano dwie metody zdefiniowane: gradientową i bezgradientową [5].

Metoda quasi-Newtona jest algorytmem znajdowania ekstremów lokalnych funkcji. Metoda ta bazuje na metodzie Newtona znajdowania punktów stacjonarnych funkcji, która zakłada, że funkcja może być lokalnie aproksymowana funkcją kwadratową w otoczeniu optimum. W celu znalezienia punktów stacjonarnych używa pierwszych i drugich pochodnych. W metodzie quasi-Newtona obliczana jest macierz drugich pochodnych, Hessian jest przybliżany przez analizowanie kolejnych wektorów gradientu. Metoda quasi-Newtona jest uogólnieniem metody siecznych znajdowania pierwiastków pierwszej pochodnej [6, 7].

Metoda Hooke'a–Jeevesa przemieszczania układu polega na tym, że w każdej iteracji zostaje zdefiniowany układ punktów przez przesuwanie pojedynczo każdego parametru, tak by zoptymalizować bieżącą funkcję straty. Cały układ punktów zostaje następnie przesunięty w nowe położenie, które jest określone przez ekstrapolację linii ze starego punktu bazowego do nowego punktu bazowego. Długości kroków w tym procesie są stale dostosowywane, tak by synchronizować się w odpowiednim optimum. Metodę tę stosuje się, gdy metoda quasi-Newtona nie daje właściwych ocen parametrów [6, 7].

4. Wyniki i analiza otrzymanych pomiarów

Analiza statystyczna polegała na określeniu najbardziej dopasowanej funkcji regresji obrazującej korelację między sześcioma zmiennymi, tj. zmienną zależną – N_p i pięcioma zmiennymi niezależnymi – t_1 , φ_1 , Q , t_{w1} , Q_w .

W rozpatrywanym modelu zmienną zależną jest moc parownika (N_p) a zmiennymi niezależnymi są temperatura i wilgotność względna powietrza na wlocie do parownika, wydatek objętościowy powietrza chłodzonego, temperatura wody na wlocie do skraplacza oraz wydatek objętościowy wody w skraplaczu. Wzrost wartości takich parametrów jak: t_1 , φ_1 , Q i Q_w powoduje, że moc chłodnicy rośnie. Natomiast współczynnik korelacji przy t_{w1} jest ujemny, co oznacza, że wzrost temperatury wody na wlocie do skraplacza powoduje spadek mocy chłodnicy.

Na podstawie uzyskanych pomiarów wyznaczono równania statystyczne opisujące prace parownika i skraplacza. Metodą regresji wielorakiej oraz dwoma metodami estymacji wyznaczono trzy równania, których współczynniki zostały następnie zmodyfikowane do prostszej postaci. Równania te w ogólnej postaci są następujące:

— regresja liniowa:

$$N = \alpha_1 \cdot t_1 + \alpha_2 \cdot \varphi_1 + \alpha_3 \cdot Q + \alpha_4 \cdot t_{w1} + \alpha_5 \cdot Q_w + \alpha_0$$

— regresja nieliniowa metodą quasi-Newtona oraz Hooke’a–Jeevesa przemieszczenia układu:

$$N = A \cdot t_1^{a_1} + B \cdot \varphi_1^{b_1} + C \cdot Q^{c_1} + D \cdot t_{w1}^{d_1} + E \cdot Q_w^{e_1}$$

gdzie:

$\alpha_0 - \alpha_6$ — współczynniki funkcji regresji liniowej,

A, B, C, D, E — współczynniki funkcji regresji nieliniowej,

a_1, b_1, c_1, d_1, e_1 — wykładniki funkcji regresji nieliniowej.

Dla każdego z trzech otrzymanych równań dodatkowo przeprowadzono skorygowanie wartości współczynników, otrzymując uproszczone formy równań:

1. Regresja liniowa

$$N = 4,24 \cdot t_1 + 0,036 \cdot \varphi_1 + 0,19 \cdot Q - 0,5 \cdot t_{w1} + 6,305 \cdot Q_w - 271,597$$

2. Regresja liniowa ze skorygowanymi wartościami współczynników funkcji

$$N_{sk} = 4,2 \cdot t_1 + 0,04 \cdot \varphi_1 + 0,2 \cdot Q - 0,5 \cdot t_{w1} + 6,3 \cdot Q_w - 271,6$$

3. Regresja nieliniowa metodą quasi-Newtona

$$N = -1032,72 \cdot t_1^{-0,639} + 0,5 \cdot \varphi_1^{0,663} + 3,796 \cdot Q^{0,615} + \\ + 1210,385 \cdot t_{w1}^{-141,688} + 0,146 \cdot Q_w^{1,827}$$

4. Regresja nieliniowa metodą quasi-Newtona ze skorygowanymi wartościami współczynników funkcji

$$N_{sk} = -1032,7 \cdot t_1^{-0,64} + 0,5 \cdot \varphi_1^{0,7} + 3,8 \cdot Q^{0,62} + 0,2 \cdot t_{w1}^{-19,3} + 0,16 \cdot Q_w^{1,8}$$

5. Regresja nieliniowa metodą Hooke’a–Jeevesa przemieszczania układu

$$N_{sk} = -765,545 \cdot t_1^{-0,317} + 78,166 \cdot \varphi_1^{0,065} + 2,488 \cdot Q^{0,667} - \\ - 0,51 \cdot t_{w1}^{0,2} + 2,0165 \cdot Q_w^{1,237}$$

6. Regresja nieliniowa metodą Hooke’a–Jeevesa przemieszczania układu ze skorygowanymi wartościami współczynników funkcji

$$N_{sk} = -765,5 \cdot t_1^{-0,3} + 78 \cdot \varphi_1^{0,07} + 2,5 \cdot Q^{0,67} - 0,5 \cdot t_{w1}^{0,2} + 2,3 \cdot Q_w^{1,2}$$

Uzyskane wyniki obliczeń mocy cieplnej parownika, a także odchyłki bezwzględne i względne od zmierzonej mocy parownika przedstawiono w formie tabelarycznej. Rezultaty otrzymane za pomocą regresji liniowej zestawiono w tabeli 2, natomiast wykresy dopasowania (obserwowane – przewidywane) przedstawiają rysunki.

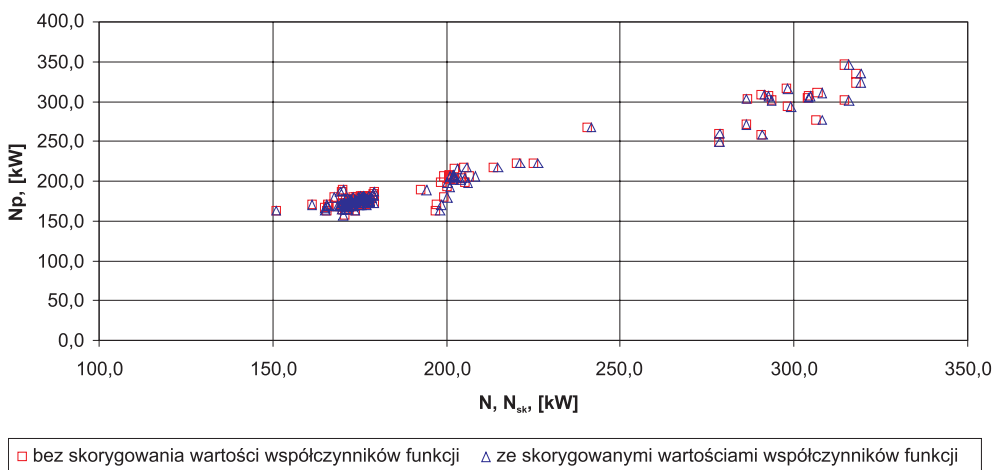
TABELA 2

Wyliczona moc parownika oraz odchyłki od wartości zmierzonych dla regresji liniowej przed zmodyfikowaniem i po zmodyfikowaniu wartości współczynników

Lp.	N_p	N	ΔN	δN	N_{sk}	ΔN_{sk}	δN_{sk}
	kW	kW	kW	%	kW	kW	%
1	170,0	165,8	4,2	2,5	169,6	0,4	0,2
2	163,3	165,5	-2,2	-1,3	169,3	-6,0	-3,7
3	164,0	171,1	-7,1	-4,3	174,8	-10,8	-6,6
4	168,0	169,8	-1,8	-1,1	173,5	-5,5	-3,3
5	169,3	169,6	-0,3	-0,2	173,6	-4,3	-2,5
6	180,4	176,0	4,4	2,4	180,2	0,2	0,1
7	177,4	177,4	0,0	0,0	181,7	-4,3	-2,4
8	175,9	176,2	-0,3	-0,2	180,4	-4,5	-2,6
9	180,0	178,0	2,0	1,1	182,2	-2,2	-1,2
10	175,3	176,4	-1,1	-0,6	180,7	-5,4	-3,1
11	258,1	290,4	-32,3	-12,5	295,1	-37,0	-14,3
12	292,8	298,3	-5,5	-1,9	302,9	-10,1	-3,4
13	307,4	304,3	3,1	1,0	308,8	-1,4	-0,5
14	205,2	200,7	4,5	2,2	205,9	-0,7	-0,3
15	217,6	213,6	4,0	1,8	218,7	-1,1	-0,5
16	161,7	196,7	-35,0	-21,6	197,8	-36,1	-22,3
17	203,7	200,8	2,9	1,4	206,4	-2,7	-1,3
18	267,8	240,3	27,5	10,3	245,7	22,1	8,3
19	277,0	306,5	-29,5	-10,6	312,0	-35,0	-12,6
20	334,9	317,9	17,0	5,1	323,3	11,6	3,5

Zastosowanie równania regresji liniowej pozwoliło uzyskać moce parownika z maksymalną odchyłką bezwzględną wynoszącą 35 kW, co stanowi 21,6% odchyłki względnej od wartości pomiarowej. Współczynnik korelacji wielorakiej dla określonej funkcji jest bardzo wysoki i wynosi 0,98, natomiast siła dopasowania rozkładu wyrażona przez współczynnik determinacji wynosi 0,96, czyli 96% rozrzutu danych wyjaśnione jest daną prostą.

Skorygowanie współczynników funkcji spowodowało nieznaczne zwiększenie wartości maksymalnych odchyłek i wartość maksymalna wynosi 36,1 kW, co stanowi 22,3%. Współczynniki korelacji i determinacji w skorygowanym równaniu nie uległy zmianie. Analizując wszystkie dane, widać, iż pomiarów o większej odchyłce rzędu 20–35 kW jest bardzo mało, są to pojedyncze przypadki, natomiast dominuje dopasowanie, w którym te odchyłki są nieznaczne, a nawet równe 0. Na rysunku 1 przedstawiono zależności mocy parownika w funkcji statystycznej mocy parownika przed modyfikacją i po modyfikacji współczynników równania statystycznego. Jak widać, różnice między tymi parametrami są znikome i punkty na wykresie nakładają się na siebie.



Rys. 1. Współzależność obserwowanych i przewidywanych mocy cieplnych parownika dla regresji liniowej bez skorygowanych wartości współczynników funkcji i z nimi

Wyliczone moce parownika za pomocą regresji nieliniowej metodą quasi-Newtona wraz z odchyłkami względnymi i bezwzględnymi przedstawia tabela 3.

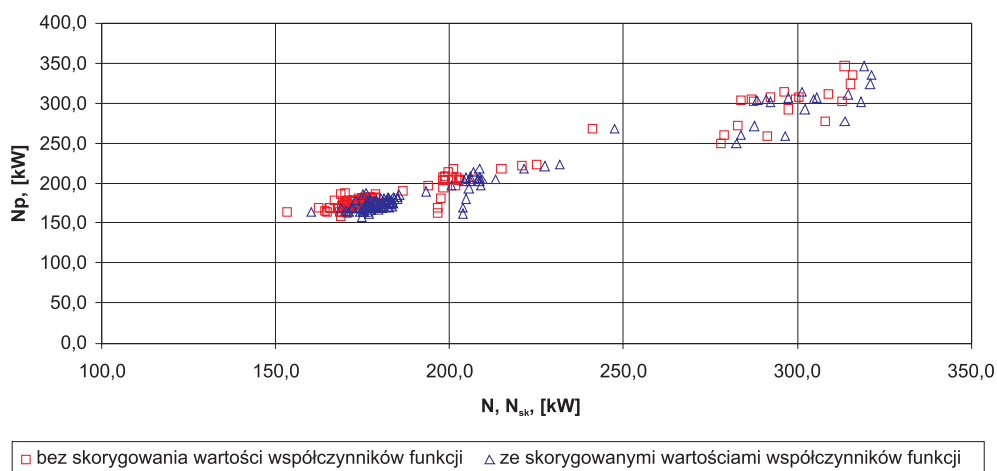
W tym modelu statystycznym uzyskano moce parownika z maksymalną odchyłką bezwzględną wynoszącą 34,7 kW również dla pomiaru 16, co stanowi 21,5% odchyłki względnej od wartości pomiarowej. Współczynnik korelacji wielorakiej dla określonej funkcji jest bardzo wysoki i wynosi 0,97, natomiast siła dopasowania rozkładu wyrażona przez współczynnik determinacji wynosi 0,94, czyli 94% rozrzutu danych wyjaśnione jest daną prostą.

Skorygowanie współczynników funkcji spowodowało nieznaczne zwiększenie wartości maksymalnych odchyłek i dla pomiaru 16 wartość ta wynosi 42,1 kW, co stanowi 26%. Współczynniki korelacji i determinacji w skorygowanym równaniu uzyskały wartość odpowiednio 0,96 i 0,93. Na rysunku 2 przedstawiono zależności mocy parownika w funkcji statystycznej mocy parownika przed modyfikacją i po modyfikacji współczynników równania statystycznego dla modelu quasi-Newtona.

TABELA 3

Wyliczona moc parownika oraz odchyłki od wartości zmierzonych dla regresji nieliniowej metodą quasi-Newtona przed zmodyfikowaniem i po zmodyfikowaniu wartości współczynników

Lp.	N_p	N	ΔN	δN	N_{sk}	ΔN_{sk}	δN_{sk}
	kW	kW	kW	%	kW	kW	%
1	170,0	165,8	4,2	2,5	172,1	-2,1	-1,2
2	163,3	164,8	-1,5	-0,9	171,1	-7,8	-4,8
3	164,0	169,2	-5,2	-3,2	175,4	-11,4	-7,0
4	168,0	169,1	-1,1	-0,7	175,3	-7,3	-4,3
5	169,3	169,3	0,0	0,0	175,6	-6,3	-3,7
6	180,4	176,0	4,4	2,4	182,6	-2,2	-1,2
7	177,4	177,0	0,4	0,2	183,5	-6,1	-3,4
8	175,9	176,1	-0,2	-0,1	182,6	-6,7	-3,8
9	180,0	177,6	2,4	1,3	184,2	-4,2	-2,3
10	175,3	176,7	-1,4	-0,8	183,3	-8,0	-4,6
11	258,1	291,5	-33,4	-12,9	296,4	-38,3	-14,8
12	292,8	297,3	-4,5	-1,5	302,3	-9,5	-3,2
13	307,4	300,5	6,9	2,2	305,4	2,0	0,7
14	205,2	202,8	2,4	1,2	209,2	-4,0	-1,9
15	217,6	214,9	2,7	1,2	221,2	-3,6	-1,7
16	161,7	196,4	-34,7	-21,5	203,8	-42,1	-26,0
17	203,7	198,1	5,6	2,7	204,4	-0,7	-0,3
18	267,8	241,0	26,8	10,0	247,4	20,4	7,6
19	277,0	308,1	-31,1	-11,2	313,7	-36,7	-13,2
20	334,9	315,8	19,1	5,7	321,5	13,4	4,0



Rys. 2. Współzależność obserwowanych i przewidywanych mocy cieplnych parownika dla estymacji quasi-Newtona bez skorygowanych wartości współczynników funkcji i z nimi

Wyliczone moce parownika za pomocą regresji nieliniowej metodą Hooke'a–Jeevesa przemieszczania układu wraz z odchyłkami względnymi i bezwzględnymi przedstawia tabela 4.

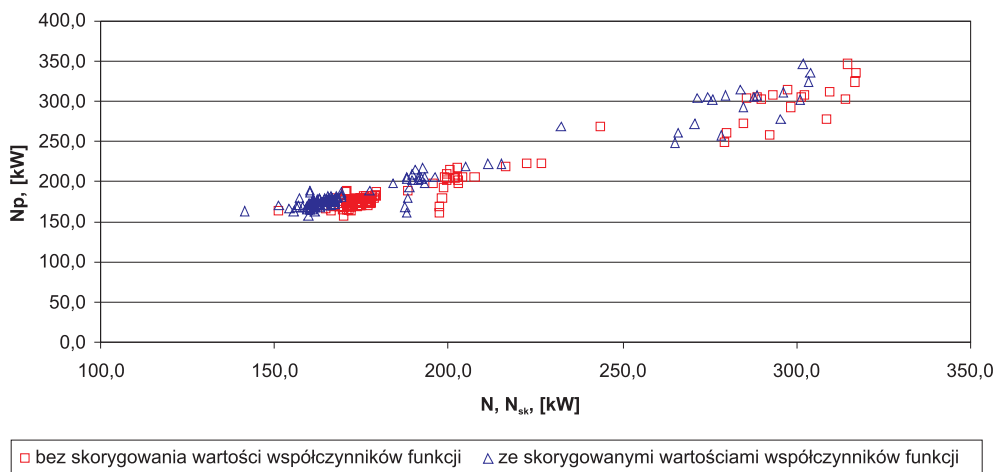
TABELA 4

Wyliczona moc parownika oraz odchyłki od wartości zmierzonych dla regresji nieliniowej metodą Hooke'a–Jeevesa przemieszczania układu przed zmodyfikowaniem i po zmodyfikowaniu wartości współczynników

Lp.	N_p	N	ΔN	δN	N_{sk}	ΔN_{sk}	δN_{sk}
	kW	kW	kW	%	kW	kW	%
1	170,0	167,3	2,7	1,6	158,9	11,1	6,5
2	163,3	166,0	-2,7	-1,7	157,6	5,7	3,5
3	164,0	170,7	-6,7	-4,1	162,2	1,8	1,1
4	168,0	170,8	-2,8	-1,7	162,4	5,6	3,3
5	169,3	169,9	-0,6	-0,4	161,5	7,8	4,6
6	180,4	176,7	3,7	2,1	168,4	12,0	6,7
7	177,4	177,6	-0,2	-0,1	169,4	8,0	4,5
8	175,9	176,7	-0,8	-0,5	168,4	7,5	4,3
9	180,0	178,3	1,7	0,9	170,0	10,0	5,6
10	175,3	177,2	-1,9	-1,1	168,9	6,4	3,7
11	258,1	292,2	-34,1	-13,2	280,5	-22,4	-8,7
12	292,8	298,5	-5,7	-1,9	286,9	5,9	2,0
13	307,4	302,1	5,3	1,7	290,5	16,9	5,5
14	205,2	204,2	1,0	0,5	195,0	10,2	5,0
15	217,6	216,3	1,3	0,6	206,9	10,7	4,9
16	161,7	197,4	-35,7	-22,1	187,7	-26,0	-16,1
17	203,7	199,2	4,5	2,2	189,6	14,1	6,9
18	267,8	243,8	24,0	9,0	234,4	33,4	12,5
19	277,0	308,7	-31,7	-11,4	297,4	-20,4	-7,4
20	334,9	317,2	17,7	5,3	306,0	28,9	8,6

W modelu regresji nieliniowej Hooke'a–Jeevesa przemieszczania układu uzyskano moce parownika z maksymalną odchyłką bezwzględną wynoszącą 35,7 kW również dla pomiaru 16, co stanowi 22,1% odchyłki względnej od wartości pomiarowej. Współczynnik korelacji wielorakiej dla określonej funkcji jest bardzo wysoki i wynosi 0,98, natomiast siła dopasowania rozkładu wyrażona przez współczynnik determinacji wynosi 0,96, czyli 96% rozrzutu danych wyjaśnione jest daną prostą.

Skorygowanie współczynników funkcji spowodowało nieznaczną zmianę wartości odchyłek i dla pomiaru 16 wartość ta spadła do wartości 26 kW, co stanowi 16,1%. Współczynniki korelacji i determinacji w skorygowanym równaniu uzyskały wartość odpowiednio 0,98 i 0,96. Na rysunku 3 przedstawiono zależności mocy parownika w funkcji statystycznej mocy parownika przed modyfikacją i po modyfikacji współczynników równania statystycznego dla modelu Hooke’a–Jeevesa przemieszczania układu.



Rys. 3. Współzależność obserwowanych i przewidywanych mocy ciepłych parownika dla estymacji Hooke’a–Jeevesa przemieszczania układu bez skorygowanych wartości współczynników funkcji i z nimi

W celu porównania poszczególnych metod w tabeli 5 zestawiono współczynniki korelacji (R) oraz moce korelacji (R^2).

TABELA 5

Maksymalne odchyłki bezwzględne i względne oraz współczynniki korelacji i moce korelacji dla poszczególnych równań

Lp.	Rodzaj regresji	R	R^2
1	liniowa	0,98	0,96
2	liniowa ze skorygowanymi wartościami współczynników funkcji	0,98	0,96
3	nieliniowa metodą quasi-Newtona	0,97	0,94
4	nieliniowa metodą quasi-Newtona ze skorygowanymi wartościami współczynników funkcji	0,96	0,93
5	nieliniowa metodą Hooke’a–Jeevesa przemieszczenia układu	0,98	0,96
6	nieliniowa metodą Hooke’a–Jeevesa przemieszczenia układu ze skorygowanymi wartościami współczynników funkcji	0,98	0,96

Uzyskane dopasowania funkcji z bardzo dużym współczynnikiem determinacji (mocy korelacji) oraz małymi odchyłkami względnymi mocy parownika od wartości rzeczywistych (średnia wartość < 5%) wskazują na bardzo dobre odwzorowanie mocy chłodnicy. Wyznaczone równania statystyczne są słuszne w zakresie uzyskanych danych pomiarowych. W wykonanych seriach pomiarowych dominowała niska wilgotność powietrza (~50%), co skutkowało uzyskaniem małych mocy chłodniczych parownika. Powietrze o małej wilgotności właściwej, chłodząc się, ulegało bardzo niewielkiemu osuszaniu. Analizując serie, gdzie wilgotność powietrza wlotowego do parownika była duża (> 80%), stwierdzono, że moc chłodnicy jest wysoka. Można ją było uzyskać przez doprowadzenie do skraplacza znacznego strumienia wody chłodzącej, co znajduje odzwierciedlenie w równaniach statystycznych.

Uzyskane równania statystyczne, w szczególności równanie skorygowane Hooke'a–Jeevesa, pozwalają na modelowanie mocy chłodnicy w zależności od takich parametrów jak: temperatura i wilgotność względna powietrza oraz jego wydatek objętościowy na wlocie do parownika, temperatura i wydatek objętościowy wody na wlocie do skraplacza.

Znajomość parametrów powietrza panujących w miejscu pracy maszyny pozwala na określenie właściwych parametrów pracy chłodnicy i może wpływać na jej odpowiednie umiejscowienie.

5. Podsumowanie i wnioski

Analiza statystyczna stopnia wykorzystania mocy parownika i skraplacza za pomocą programu *Statistica* pozwoliła na wyznaczenie modeli liniowych i nieliniowych funkcji regresji wielorakiej (sześć równań). W zakresie uzyskanych danych pomiarowych równania statystyczne bardzo dobrze odzwierciedlają zakres pracy chłodziarki TS300, co potwierdza odpowiednio wysoka (0,96–0,98) wartość współczynnika korelacji i mocy regresji między zmiennymi. Uzyskane odchyłki względne i bezwzględne mocy statystycznej od rzeczywistej potwierdzają wysokie dopasowanie modelowanych funkcji.

Z uwagi na fakt, iż w przeważającej części eksperymentu wilgotność względna chłodzonego powietrza była mniejsza niż 80%, uzyskano niskie moce parownika wynikające w głównej mierze z wymiany ciepła jawnego. W przypadku powietrza o dużej wilgotności odnotowano wysokie wartości mocy chłodnicy, a także odpowiednio wysoką moc skraplacza i strumień chłodzącej wody, który odgrywa zasadniczą rolę w prawidłowym działaniu chłodziarki.

Z przedstawionej analizy wynika teza, iż znajomość parametrów powietrza poddawane procesowi chłodzenia pozwala na określenie właściwych parametrów pracy chłodziarki, w zakresie przedstawionych wartości. Na uwagę zasługuje zmienność temperatury i wilgotności chłodzonego powietrza oraz wydatek objętościowy wody chłodzącej skraplacza, ponieważ od tych parametrów przede wszystkim zależy praca chłodziarki. Powyższe aspekty będą kontynuowane w celu określenia wpływu całego spektrum zmienności parametrów (w szczególności wilgotności powietrza) na efektywne chłodzenie powietrza.

LITERATURA

- [1] *Łuczak R.*: Zwalczenie zagrożenia temperaturowego w wyrobiskach górniczych chłodziarkami powietrza bezpośredniego działania typoszeregu TS. *Górnictwo i Geoinżynieria* (kwartalnik AGH) 2010, R. 34, z. 3/1
- [2] *Łuczak R.*: Zwalczenie zagrożenia temperaturowego w wyrobiskach górniczych chłodziarkami powietrza bezpośredniego działania typoszeregu TS. Praca własna 10.10.100.383 (praca niepublikowana)
- [3] *Nowak B., Filek K., Kuczera Z., Łuczak R., Ptaszyński B., Życzkowski P.*: Współpraca chłodziarki parowej CWW-420 z chłodziarką TS-300B bez wewnętrznego wymiennika ciepła. *Materiały XIX Szkoły Eksploatacji Podziemnej* 2010
- [4] *Nowak B., Filek K., Kuczera Z., Łuczak R., Ptaszyński B., Życzkowski P.*: Analiza statystyczna jakości pracy chłodziarek TS-300 i DV-290 współpracujących z wyparną chłodziarką wody SCC-420. *Archiwum Górnictwa* 2010
- [5] *Sobczyk M.*: *Statystyka, aspekty praktyczne i teoretyczne*. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin, 2006
- [6] *Stanisz A.*: *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem Statistica Pl na przykładach z medycyny. Tom 2. Modele liniowe i nieliniowe*. Wydawnictwo StatSoft Polska, Kraków, 2007
- [7] <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html> (IX.2010)