

Jacek Bieranowski\*, Andrzej Klonowski\*\*

\*Katedra Elektrotechniki i Energetyki

\*\*Katedra Fizyki i Metod Komputerowych

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

## MODEL SYTEMU SKOJARZONEGO ŹRÓDŁA ENERGII CIEPLNEJ W ZAKŁADZIE PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO

### Streszczenie

W pracy przedstawiono model relacyjny skojarzonego źródła energii wykorzystującego energię odpadową powstającą w układach chłodniczych w zakładach przetwórczych przemysłu rolno-spożywczego. Utworzono zbiór 13 elementów modelu poprzez agregację 21 komponentów systemu. Każdemu elementowi przyporządkowano zbiór cech (np. temperatura, ciśnienie czynnika chłodniczego). Model ten jest etapem szerszej pracy zmierzającej do budowy modelu matematycznego i modelu neuronowego sterowania w celu poprawienia sprawności energetycznej układu chłodniczego.

**Słowa kluczowe:** urządzenia chłodnicze, przemysł rolno-spożywczy, model relacyjny, pompa ciepła

### Wstęp

Wzrastające koszty pozyskania surowców energetycznych oraz zanieczyszczenie środowiska naturalnego stały się przyczyną rosnącego zainteresowania niekonwencjonalnymi źródłami energii, a także wykorzystaniem ciepła odpadowego [Kubski 1997].

W przemyśle spożywczym jest niezbędne stosowanie w procesie technologicznym energii cieplnej jak również procesów chłodzenia. Szczególnie procesy chłodnicze mają istotny wpływ na utrzymanie jakości produkcji na wymaganym poziomie. W odwróconym obiegu Carnota proces chłodzenia sprężonego czynnika chłodniczego odbywa się w skraplaczu. Ciepło skraplania w stosowanych urządzeniach jest rozpraszane do otoczenia. Ponadto tracona jest energia napędowa wentylatorów. Jest oczywiste, że energię tę należy wykorzystać. Temperatura gorącego

czynnika chłodniczego jest niższa od temperatury wody technologicznej i ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki przekazywanie energii cieplnej ze źródła o temperaturze niższej do źródła o temperaturze wyższej jest możliwe, ale wymaga doprowadzenia pewnej ilości energii napędowej, przy czym energia ta jest zużywana do wykonania obiegu chłodniczego, tzn. obiegu Carnota wstecz. Jeśli obieg ten realizujemy w celu ogrzewania, to urządzenie wykonujące ten proces jest pompą ciepła. Skojarzenie pompy ciepła i układu chłodniczego pozwala wykorzystać energię skraplania czynnika chłodniczego. Wydajność pompy ciepła maleje ze wzrostem różnicy temperatur źródła ciepła i wody ogrzewanej. Ciepła woda użytkowa ma najniższą temperaturę spośród wykorzystywanych w zakładzie przetwórczym nośników ciepła (woda technologiczna, para wodna, woda do c.o.). Układ taki tj. połączenie w jeden system chłodzenia i ogrzewania za pomocą pompy ciepła należy do klasy układów skojarzonych.

W pracy podjęto próbę zastosowania modelowania neuronowego do sterowania systemem skojarzonego źródła energii cieplnej w celu zwiększenia jego sprawności. Realizację pracy podzielono na etapy:

1. Identyfikacja systemu skojarzonego źródła energii cieplnej [Krzyżaniak i in. 2005].
2. Model relacyjny systemu [Bieranowski 2003; Bieranowski i in. 1983] skojarzonego źródła energii cieplnej.
3. Model matematyczny systemu [Bieranowski 2003; Bieranowski i in. 1983].
4. Identyfikacja sterowania algorytmicznego systemu skojarzonego źródła energii cieplnej.
5. Model neuronowy sterowania systemem.
6. Akceptacja (weryfikacja) modelu neuronowego.

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane tezy etapu 1 i 2 realizacji pracy.

### **Przedmiot pracy**

Przedmiotem pracy jest system chłodniczy w wybranym zakładzie przemysłu rolno-spożywczego (przetwórstwo drobiu), a w szczególności urządzenia do produkcji „zimna”. Urządzenia te współpracują z pompą ciepła wykorzystującą ciepło odpadowe z tego systemu do podgrzewania ciepłej wody użytkowej.

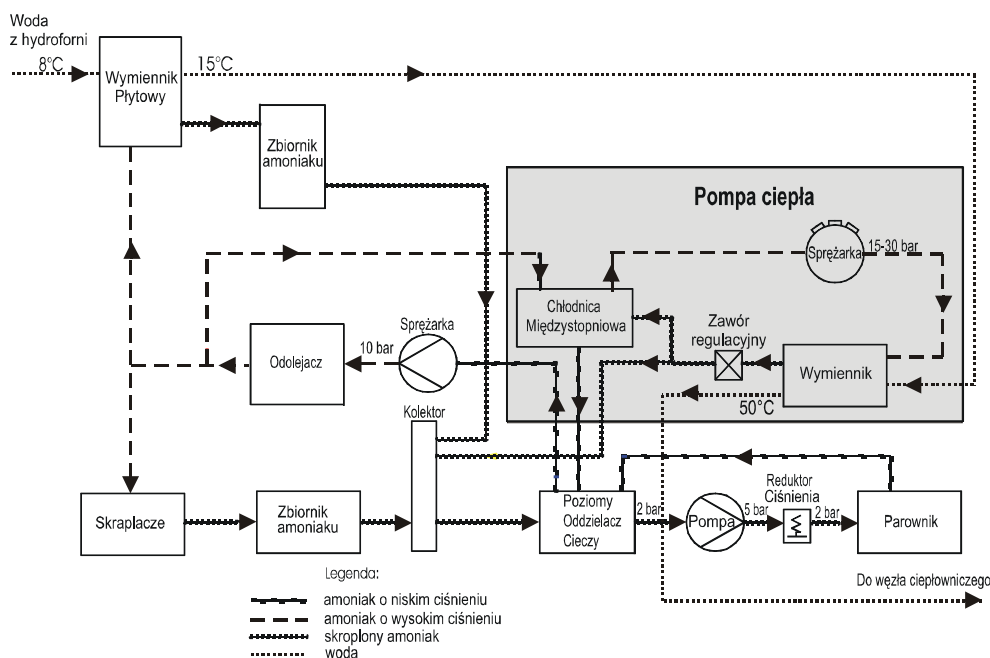
### **Cel pracy**

Celem pracy jest identyfikacja systemu skojarzonego źródła energii cieplnej w wybranym zakładzie przetwórczym przemysłu rolno-spożywczego oraz budowa modelu relacyjnego tego systemu.

## Identyfikacja systemu skojarzonego energii cieplnej badanym zakładzie

Dla będącego przedmiotem pracy systemu nie istnieje dokumentacja techniczna. Dlatego niezbędne było zidentyfikowanie struktury funkcjonalnej systemu w oparciu o przeprowadzoną wizję lokalną. Schemat funkcjonalny systemu skojarzonego źródła energii cieplnej przedstawiono na rys. 1.

Pompa ciepła w tym systemie składa się z pompy właściwej oraz chłodnicy międzystopniowej. Blok pompy ciepła zawiera: sprężarkę trzycylindrową, skraplacz z wymiennikiem ciepła, zawór ciśnieniowy na wyjściu skraplacza oraz układy sterowania, smarowania i chłodzenia sprężarki.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny skojarzonego źródła energii cieplnej w zakładzie przetwórczym przemysłu spożywczego

Fig. 1. Functional diagram of associated heat energy source of a processing plant in the food sector

Gorące pary amoniaku za sprężarkami po przejściu przez odolejacz, kierowane są do skraplaczy i równolegle do chłodnicy międzystopniowej pompy ciepła. Podział między tymi odbiornikami jest określany przez potrzeby chłodni. W chłodnicy międzystopniowej pary amoniaku wtłaczane są pod lustro płynnego amoniaku, a wychodzą gorą naczynia chłodnicy, skąd są zasysane przez sprężarkę pompy ciepła.

Sprężone pary kierowane są do skraplacza, gdzie oddają ciepło ciepłej wodzie użytkowej. Skroplony amoniak dopływa do chłodnicy międzystopniowej po przejściu przez zawór regulacyjny. W tym miejscu zamyka się cykl chłodniczy (cykl Lindego). Nadmiar amoniaku kierowany jest do kolektora ciekłego amoniaku. Woda do pompy ciepła dopływa z płytowego wymiennika ciepła, gdzie jest podgrzewana przez gorące pary amoniaku. Woda użytkowa o temperaturze ok. 8°C pobierana jest z własnego ujęcia głębinowego. W płytowym wymienniku ciepła podgrzewana jest do 20°C [Kozłowski 2000], a następnie w pompie ciepła do ok. 55°C.

### Identyfikacja zbioru komponentów systemu skojarzonego źródła energii

W systemie wyróżniono następujący zbiór komponentów  $\sigma_K$  [Bieranowski 2003; Shannon 1975]:

$$\sigma_K = \{K_1^K, K_2^K, K_3^K, K, K_{21}^K\} \quad (1)$$

gdzie:

- $K_1^K$  – zbiór sprężarek (4 szt. w układzie  $-40^\circ\text{C}$  i 5 szt. w układzie  $-10^\circ\text{C}$ ),
- $K_2^K$  – zbiór skraplaczy (5 szt.),
- $K_3^K$  – zbiór poziomych oddzielaczy cieczy (4 szt.),
- $K_4^K$  – zbiór zbiorników amoniaku (2 szt.),
- $K_5^K$  – zbiór płytowych wymienników ciepła (1 szt.),
- $K_6^K$  – zbiór pomp ciepła (1 szt.),
- $K_7^K$  – zbiór chłodnic międzystopniowych (2 szt.),
- $K_8^K$  – zbiór odolejaczy (1 szt.),
- $K_9^K$  – zbiór parowników,
- $K_{10}^K$  – zbiór pomp amoniaku,
- $K_{12}^K$  – zbiór rozgałęźników,
- $K_{13}^K$  – zbiór przewodów,
- $K_{14}^K$  – zbiór czujników poziomu cieczy,
- $K_{15}^K$  – zbiór czujników temperatury,
- $K_{16}^K$  – zbiór zbiorników oleju,
- $K_{17}^K$  – zbiór pomp olejowych,
- $K_{18}^K$  – zbiór zbiorników cieczy chłodzącej,
- $K_{19}^K$  – zbiór kolektorów,

$K_{20}^K$  – zbiór czujników ciśnienia,

$K_{21}^K$  – zbiór zaworów.

### Zbiór elementów modelu relacyjnego

Zbiór komponentów systemu skojarzonego energii odwzorowano (zagregowano) w zbiór elementów modelu relacyjnego. Operację odwzorowania zrealizowano w taki sposób, aby zmniejszyć moc zbioru komponentów systemu, przy jednoczesnym zachowaniu celu funkcjonowania systemu. Uzyskano następującą postać zbioru elementów modelu relacyjnego systemu

$$\sigma_E = \{K_1^E, K_2^E, K_3^E, K, K_{13}^K\} \quad (2)$$

gdzie:

$K_1^E$  – zbiór sprężarek,

$K_2^E$  – zbiór skraplaczy,

$K_3^E$  – zbiór poziomych oddzielaczy cieczy i zbiorników amoniaku,

$K_4^E$  – zbiór płytowych wymienników ciepła,

$K_5^E$  – zbiór pomp ciepła,

$K_6^E$  – zbiór chłodziń międzystopniowych,

$K_7^E$  – zbiór odolejaczy,

$K_8^E$  – zbiór parowników,

$K_9^E$  – zbiór pomp amoniaku,

$K_{10}^E$  – zbiór przewodów, rozgałęźników, zaworów i kolektorów,

$K_{11}^E$  – zbiór czujników poziomu cieczy, temperatury i ciśnienia,

$K_{12}^E$  – zbiór zbiorników oleju i pomp olejowych,

$K_{13}^E$  – zbiór zbiorników cieczy chłodzącej.

Każdemu elementowi modelu można przyporządkować zbiór cech (atrybutów)  $C_i^n$  charakteryzujących dany element.

$$C_i^n = \langle C_1^n, C_2^n, \dots \rangle \quad (3)$$

gdzie:

$i$  – numer cechy  $n$ -tego elementu.

Dla przykładu zbiór cech charakteryzujących pojedynczą sprężarkę ( $n = 1$ ) ma następującą postać:

$$C_i^3 = \langle C_1^3, C_2^3, C_3^3, C_4^3 \rangle \quad (4)$$

gdzie:

- $C_1^1$  – moc napędowa (kW),
- $C_2^1$  – różnica ciśnień (bar),
- $C_3^1$  – masowy wydatek czynnika (kg/s),
- $C_4^1$  – rodzaj sprężarki (łokowa, śrubowa).

Strukturę relacyjną modelu tworzą wszystkie relacje zachodzące między elementami modelu (zwrotne, przechodnie i symetryczne) opisane na zbiorze  $S_R$

$$S_R \subset K^E \times K^E \quad (5)$$

gdzie:

- $S_R$  – struktura relacyjna modelu,
- $K^E$  – zbiór elementów modelu.

Identyfikacja tej struktury jest niezbędna do realizacji modelu matematycznego systemu. Strukturę relacyjną będącego przedmiotem pracy systemu skojarzonego energii przedstawiono w postaci macierzy zerowej i jedynekowej  $a_{ij}$ , w której 1 oznacza występowanie relacji dowolnego typu, 0 - brak relacji.

	$K_1^E$	$K_2^E$	$K_3^E$	$K_4^E$	$K_5^E$	$K_6^E$	$K_7^E$	$K_8^E$	$K_9^E$	$K_{10}^E$	$K_{11}^E$	$K_{12}^E$	$K_{13}^E$
$K_1^E$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
$K_2^E$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
$K_3^E$	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$K_4^E$	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1
$K_5^E$	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1
$K_6^E$	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
$K_7^E$	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
$K_8^E$	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$K_9^E$	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$K_{10}^E$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$K_{11}^E$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$K_{12}^E$	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
$K_{13}^E$	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1

## **Podsumowanie**

Przedstawiony model relacyjny systemu skojarzonego źródła energii odzyskującego ciepło odpadowe powstające w procesie chłodniczym stanowi pierwszy etap modelowania zmierzającego do budowy modelu matematycznego oraz modelu neuronowego. Zadaniem modelu neuronowego będzie optymalizacja efektywności energetycznej skojarzonego źródła energii: pompa ciepła – skraplacze układu chłodniczego.

## **Bibliografia**

Bieranowski J. 2003. Model systemu utrzymania wybranych maszyn przemysłu rolno-spożywczego. Inżynieria Rolnicza. KTR-PTIR-PAN Warszawa, 1(43) nr 11, s. 32-35.

Bieranowski J., Katewicz Z., Wieremiejczyk W. 1983. Model teoriomnogościowy Zintegrowanego Systemu Obsł. Technicznej. Roczn. Nauk Rol. PAN, s. C. T 75/4. PWN W-wa: 9-23.

Krzyżaniak G., Kłos L. 2005. Oprzyrządowanie pomiarowe instalacji chłodniczych. Chłodnictwo & Klimatyzacja nr 6(87) str. 48-54.

Kozłowski T. 2000. Dokumentacja projektowa instalacji odzysku ciepła. Indykpol S.A. Olsztyn.

Kubski P. 1997. Efektywność termodynamiczna stosowania sprężarkowych pomp grzejących do zagospodarowania niskotemperaturowych zasobów energii odpadowej lub odnawialnej.

IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Mała energetyka-97” Zakopane 97.

Shannon R.E. 1975. System simulation. Prentice Hall, Inc., Eaglewood cliffs, New Jersey.

## **THE MODEL OF AN ASSOCIATED ENERGY SOURCE IN FOOD PROCESSING INDUSTRY**

### **Summary**

There's been presented a relational model of an associated source energy. There is utilized a waste heat coming from refrigerating machines in food processing industry. In this system works a heat pump. A set of 13 elements of a model has been made by aggregation a set of 23 components of the system. The model of the associated source energy included matrix of relations and a set of attributes (temperature, a press of cooling medium). The presented model is the base to make a mathematical model and fuzzy logic neural net model of control system in order to correct thermal efficiency of refrigerating machines.

**Key words:** refrigerating machinery, food industry, relational model, heat pump