

*Jacek Bieranowski, Krzysztof Nalepa
Katedra Elektrotechniki i Energetyki
Uniwersytet Warmińsko Mazurski w Olsztynie*

MODEL RELACYJNY ZINTEGROWANEGO SYSTEMU ENERGETYCZNEGO W WIEJSKIM BUDYNKU MIESZKALNYM

Streszczenie

W pracy przedstawiono abstrakcyjny model relacyjny zintegrowanego systemu energetycznego w wiejskim budynku mieszkalnym. W systemie zintegrowano źródła energii odnawialnej takie jak: kocioł na biomasę, ogniwa fotowoltaiczne, ogniwa paliwowe, elektrownię wiatrową, agregat kogeneracyjny, kolektory słoneczne. Celem działania systemu jest ciągłe dostarczanie energii cieplnej i elektrycznej na potrzeby wiejskiego budynku mieszkalnego. Zidentyfikowano i opisano komponenty oraz relacje między elementami systemu. Praca ta jest wstępem do zbudowania modelu matematycznego i symulacyjnego przedstawianego systemu.

Słowa kluczowe: odnawialne nośniki energii, modelowanie systemów technicznych, zintegrowane systemy energetyczne

Wprowadzenie

Zmniejszanie się zasobów paliw kopalnych pociąga za sobą konieczność poszukiwania alternatywnych metod zaspokojenia potrzeb energetycznych. Wykorzystanie w tym celu odnawialnych nośników energii obarczone jest niedogodnościami wynikającymi z ich specyfiki - źródła odnawialne dostarczają energii w sposób okresowy. Niedogodność tę można zniwelować tworząc Zintegrowany System Energetyczny (ZSE) zapewniający możliwość magazynowania energii i wykorzystania jej w okresach deficytu.

Urządzenia produkujące energię z odnawialnych nośników są drogie. Projektowanie i budowanie systemu energetycznego wiąże się zatem z wysokimi kosztami. Budowanie systemów prototypowych w warunkach rzeczywistych niesie ze sobą ryzyko niepowodzenia, a zatem strat ekonomicznych. Tworzenie abstrakcyjnych

modeli obiektów technicznych i reprezentacja ich w modelu relacyjnym, matematycznym i symulacyjnym, pozwala na prowadzenie analiz i symulacji bez konieczności budowania rzeczywistych obiektów i prowadzenia na nich eksperymentów naturalnych [Bieranowski 2003]. W niniejszej pracy przedstawiono model relacyjny zintegrowanego systemu energetycznego dla wiejskiego budynku mieszkalnego.

Koncepcja funkcjonowania systemu

Koncepcję funkcjonowania systemu zbudowano w oparciu o następujące założenia:

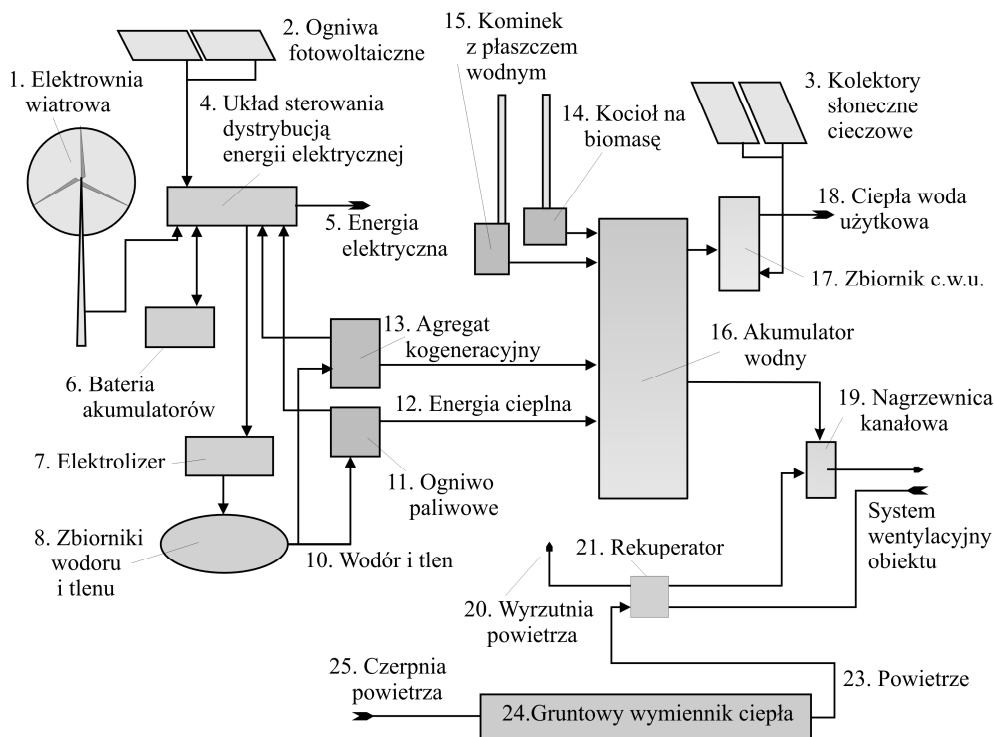
- zapewnienie wysokiego komfortu cieplnego [Fanger 1970],
- produkcja energii cieplnej do ogrzewania pomieszczeń, podgrzewania wody użytkowej, przygotowania posiłków,
- utrzymanie parametrów stanu powietrza – wentylacja centralna z odzyskiem ciepła,
- samoczynna praca niskoenergetyczna w przypadku dłuższej nieobecności użytkowników,
- kominiek grzewczy z płaszczem wodnym i wodnym akumulatorem ciepła,
- zasilanie infrastruktury technicznej otoczenia budynku,
- minimalizacja zużycia energii i kosztów eksploatacji obiektu.

Schemat funkcjonalny tego systemu przedstawiono na rysunku 1. System łączy różne nośniki energetyczne w jedną zintegrowaną całość, zorientowaną na pokrycie potrzeb energetycznych. Nośnikami tymi są: **energia elektryczna** pozyskiwana z elektrowni wiatrowej, ogniw fotowoltaicznych, agregatu kogeneracyjnego lub ogniw paliwowych; **energia cieplna** z kolektorów słonecznych, ciepło wytwarzane w kominie i kotle na biomasę oraz w ogniwach paliwowych i agregacie kogeneracyjnym.

Funkcjonowanie rozpatrywanego obiektu (dom mieszkalny z infrastrukturą techniczną ogrodu) opiera się na wykorzystaniu energii elektrycznej i cieplnej oraz systemu wentylacji. Można więc w systemie wyróżnić trzy podsystemy tworzące ZSE.

Podsystem energii elektrycznej. Energia wytwarzana przez wszystkie urządzenia produkujące energię elektryczną w ZSE trafia do układu sterowania dystrybucją energii elektrycznej (4). Jest to główny element tego podsystemu, odpowiadający za odbieranie energii od urządzeń, które ją wytwarzają i kierowanie jej do bezpośredniego wykorzystania lub akumulacji. Energia elektryczna wytwarzana jest w elektrowni wiatrowej (1), ogniwach fotowoltaicznych (2), agregacie kogeneracyjnym (13), ogniwach paliwowych (11) oraz w przetwornicy napięcia współpracującej z baterią akumulatorów (6). Magazynowanie energii elektrycznej odbywa

się bezpośrednio w baterii akumulatorów elektrolitycznych (6) lub po przetworzeniu w elektrolizerze (7), jako wodór i tlen (8).



Rys. 1. Zintegrowany system energetyczny dla wiejskiego budynku mieszkalnego
Fig. 1. Integrated energy system designed for rural habitable buildings

Podsystem energii cieplnej. Głównym elementem podsystemu energii cieplnej ZSE jest akumulator wodny (16). Tu magazynowana jest energia cieplna wytwarzana w urządzeniach wchodzących w skład systemu – kominiek z płaszczem wodnym (15), kocioł na biomasę (14), cieczowe kolektory słoneczne (3), agregat kogeneracyjny (13), ogniwa paliwowe (11), grzałki elektryczne. Zgromadzona w akumulatorze energia cieplna wykorzystywana jest w ZSE do: ogrzewania pomieszczeń – nagrzewnica kanałowa (19) w wentylacji oraz podgrzewania wody użytkowej – zasobnik c.w.u. (17).

Podsystem wentylacji. Powietrze doprowadzane do budynku przechodzi przez gruntowy wymiennik ciepła (24) a następnie trafia do centrali wentylacyjnej z rekuperatorem (21). Rekuperator umożliwia częściowe odzyskanie ciepła ze

zużytego powietrza, które jest usuwane z budynku. W system wentylacyjny wbudowana jest nagrzewnica kanałowa (19) zapewniająca podgrzewanie powietrza do żądanej temperatury.

Identyfikacja zbioru komponentów systemu

Komponentem systemu przedmiotowego są wszystkie składniki mające wpływ na jego funkcjonowanie [Shanon 1975]. W tym rozumieniu dla systemu, którego koncepcję funkcjonalną przedstawiono powyżej, wyróżniono następujące zespoły funkcjonalne.

Zespół nr 1 - budynek mieszkalny – potrzeby energetyczne: ciepło do ogrzewania, podgrzewania wody użytkowej, przygotowania posiłków, energia elektryczna do zasilania urządzeń wentylacji, oświetlenia, zasilania odbiorników użytkowych,

Zespół nr 2 - infrastruktura techniczna ogrodu – nawadnianie, oświetlenie,

Zespół nr 3 - źródła energii elektrycznej – sieć energetyczna, wiatrak energetyczny, ogniwa fotowoltaiczne, agregat kogeneracyjny, ogniwa paliwowe,

Zespół nr 4 - źródła energii cieplnej – kominiek grzewczy z płaszczem wodnym, kocioł na biomase, grzałki elektryczne (zasilane energią elektryczną pozyskiwaną z wiatraka energetycznego, ogniwo paliwowych, agregatu kogeneracyjnego oraz sieci energetycznej II taryfa), kocioł na biomase, gruntowy wymiennik ciepła, cieczowe kolektory słoneczne,

Zespół nr 5 - akumulacja energii – akumulatory elektrolityczne, elektrolizer w połączeniu z zasobnikiem wodoru i tlenu, zbiornik buforowy o dużej pojemności, zasobnik ciepłej wody użytkowej,

Zespół nr 6 - odbiorniki energii elektrycznej – wentylatory systemu wymiany powietrza, grzałki elektryczne podgrzewające wodę w zbiorniku buforowym, oświetlenie wewnętrzne i zewnętrzne budynku, oświetlenie ogrodu, odbiorniki użytkowe (sprzęt audio i TV, sprzęt GD i kuchenny, elektronarzędzia),

Zespół nr 7 - odbiorniki energii cieplnej – grzejniki ogrzewania promiennikowego i konwekcyjnego, nagrzewnica kanałowa w systemie wentylacyjnym.

Zespoły funkcjonalne składają się z komponentów, zestawionych poniżej.

$\varepsilon^{(i)}_1$ – budynek mieszkalny,

$\varepsilon^{(i)}_2$ – zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania,

$\varepsilon^{(i)}_3$ – zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej,

$\varepsilon^{(i)}_4$ – zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania posiłków,

- $\varepsilon^{(i)}_5$ – zapotrzebowanie na energię elektryczną do oświetlenia,
 $\varepsilon^{(i)}_6$ – zapotrzebowanie na energię elektryczną do zasilania wentylacji,
 $\varepsilon^{(i)}_7$ – zapotrzebowanie na energię elektryczną do zasilania odbiorników użytkowych,
 $\varepsilon^{(i)}_8$ – zapotrzebowanie na energię elektryczną do zasilania narzędzi elektrycznych,
 $\varepsilon^{(i)}_9$ – zapotrzebowanie na energię elektryczną do zasilania sprzętu gosp. domowego,
 $\varepsilon^{(i)}_{10}$ – ogród i otoczenie budynku,
 $\varepsilon^{(i)}_{11}$ – zapotrzebowanie na energię elektryczną do oświetlenia,
 $\varepsilon^{(i)}_{12}$ – zapotrzebowanie na energię elektryczną do zasilania infrastruktury ogrodu,
 $\varepsilon^{(i)}_{13}$ – źródła energii elektrycznej,
 $\varepsilon^{(i)}_{14}$ – ogniwa fotowoltaiczne,
 $\varepsilon^{(i)}_{15}$ – elektrownia wiatrowa,
 $\varepsilon^{(i)}_{16}$ – agregat kogeneracyjny,
 $\varepsilon^{(i)}_{17}$ – ogniwa paliwowe,
 $\varepsilon^{(i)}_{18}$ – źródła energii cieplnej,
 $\varepsilon^{(i)}_{19}$ – cieczowe kolektory słoneczne,
 $\varepsilon^{(i)}_{20}$ – kominiek grzewczy z płaszczem wodnym,
 $\varepsilon^{(i)}_{21}$ – kocioł na biomasę,
 $\varepsilon^{(i)}_{22}$ – agregat kogeneracyjny,
 $\varepsilon^{(i)}_{23}$ – ogniwa paliwowe,
 $\varepsilon^{(i)}_{24}$ – grzałki elektryczne,
 $\varepsilon^{(i)}_{25}$ – nagrzewnica kanałowa w systemie wentylacyjnym,
 $\varepsilon^{(i)}_{26}$ – akumulatory energii,
 $\varepsilon^{(i)}_{27}$ – elektrolityczne akumulatory energii elektrycznej,
 $\varepsilon^{(i)}_{28}$ – elektrolizer w połączeniu z zasobnikami wodoru i tlenu,
 $\varepsilon^{(i)}_{29}$ – akumulator wodny – zbiornik buforowy i zasobnik c.w.u.,
 $\varepsilon^{(i)}_{30}$ – gruntowy wymiennik ciepła,
 $\varepsilon^{(i)}_{31}$ – oświetlenie elektryczne,
 $\varepsilon^{(i)}_{32}$ – elektryczny sprzęt gospodarstwa domowego i maszyny elektryczne.

Zbiór komponentów zintegrowanego systemu energetycznego ZSE przyjmuje następującą postać:

$$\sigma^{(i)} = \{ \varepsilon^{(i)}_1, \varepsilon^{(i)}_2, \varepsilon^{(i)}_3, \varepsilon^{(i)}_4, \varepsilon^{(i)}_5, \varepsilon^{(i)}_6, \varepsilon^{(i)}_7, \varepsilon^{(i)}_8, \varepsilon^{(i)}_9, \varepsilon^{(i)}_{10}, \varepsilon^{(i)}_{11}, \varepsilon^{(i)}_{12}, \varepsilon^{(i)}_{13}, \varepsilon^{(i)}_{14}, \varepsilon^{(i)}_{15}, \varepsilon^{(i)}_{16}, \varepsilon^{(i)}_{17}, \varepsilon^{(i)}_{18}, \varepsilon^{(i)}_{19}, \varepsilon^{(i)}_{20}, \varepsilon^{(i)}_{21}, \varepsilon^{(i)}_{22}, \varepsilon^{(i)}_{23}, \varepsilon^{(i)}_{24}, \varepsilon^{(i)}_{25}, \varepsilon^{(i)}_{26}, \varepsilon^{(i)}_{27}, \varepsilon^{(i)}_{28}, \varepsilon^{(i)}_{29}, \varepsilon^{(i)}_{30}, \varepsilon^{(i)}_{31}, \varepsilon^{(i)}_{32} \} \quad (1)$$

Każdemu komponentowi systemu można przyporządkować zbiór cech (atrybutów). Cechy mogą charakteryzować takie parametry komponentu jak: wydajność, moc znamionowa, napięcie, natężenie prądu, itd. Cechy zbioru $\sigma^{(i)}$ – są utworzone w zbiorze komponentów i tworzą zbiór:

$$C(\varepsilon^{(i)}_j) = \langle C^1_j, C^2_j, \dots, C^N_j \rangle \quad (2)$$

gdzie:

$C(\varepsilon^{(i)}_j)$ – zbiór cech j-tego komponentu

C^n_j – n-ta cecha j-tego komponentu ($n= 1, 2, \dots, N$)

Przedstawiony wyżej zbiór komponentów zintegrowanego systemu energetycznego (ZSE) tworzy spójną całość funkcjonalną. Nie jest jednak znany sposób współpracy ze sobą poszczególnych zespołów roboczych, np. elektrycznego i ciepłego, itp.

Diagram przedstawiony na rys. 2 pokazuje sposób agregacji komponentów systemu, na podstawie którego sformułowano zbiór obiektów głównych oraz wynikający z niego zbiór elementów modelu relacyjnego.

Odwzorowano zbiór $\sigma^{(i)}$ w zbiór obiektów głównych systemu $\sigma^{(g)}$ poprzez agregację komponentów w obiekty o mniejszym stopniu konkretyzacji. Następnie zbiór elementów głównych odwzorowano izomorficznie w zbiór elementów modelu relacyjnego $\sigma^{(e)}$. W wyniku operacji odwzorowania zbioru komponentów w zbiór elementów modelu relacyjnego otrzymano następujący zbiór:

$$\sigma^{(e)} = \{ \varepsilon^{(e)}_1, \varepsilon^{(e)}_2, \varepsilon^{(e)}_3, \varepsilon^{(e)}_4, \varepsilon^{(e)}_5, \varepsilon^{(e)}_6, \varepsilon^{(e)}_7, \varepsilon^{(e)}_8 \} \quad (3)$$

gdzie:

$\varepsilon^{(e)}_1$ – budynek mieszkalny,

$\varepsilon^{(e)}_2$ – infrastruktura techniczna ogrodu,

$\varepsilon^{(e)}_3$ – źródła energii elektrycznej,

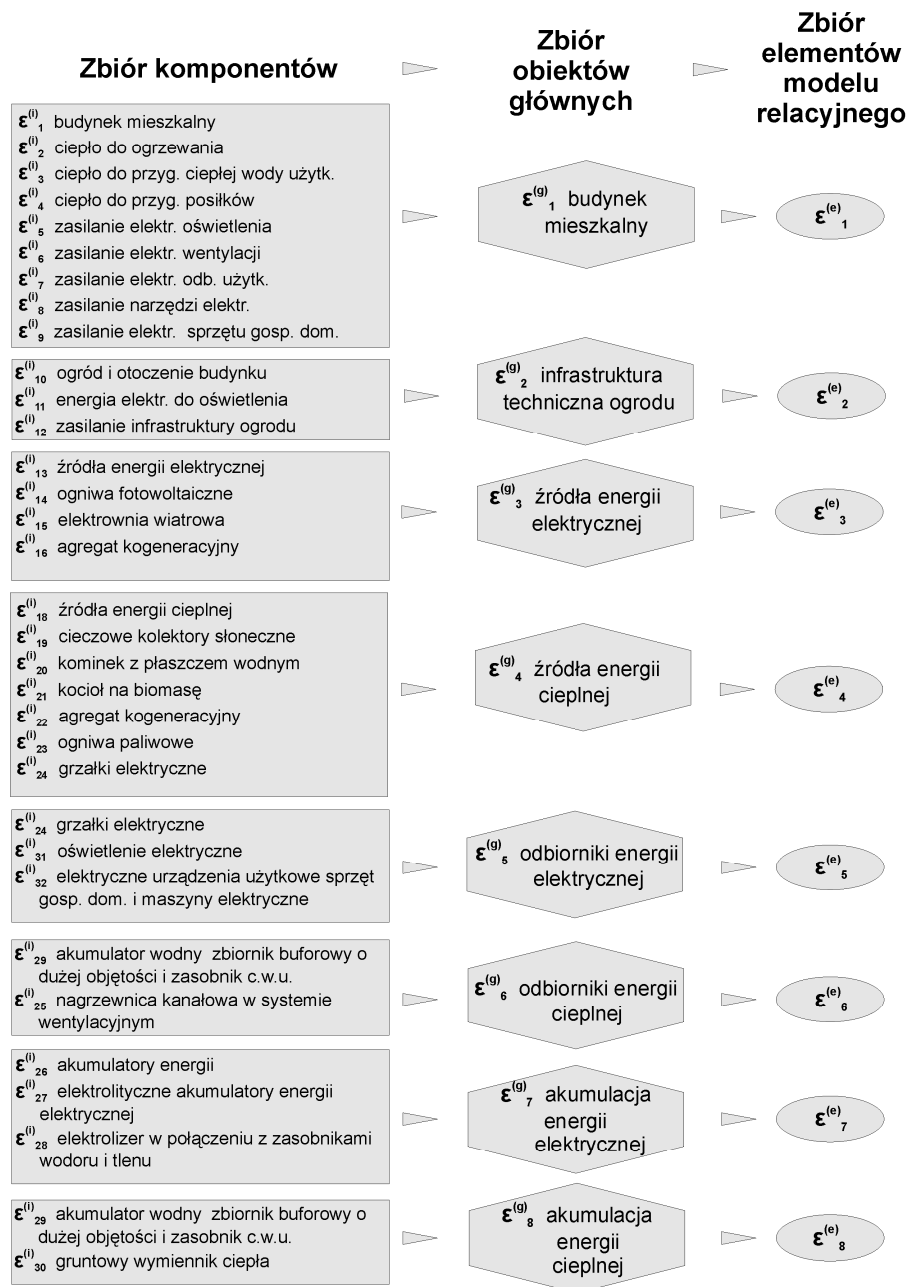
$\varepsilon^{(e)}_4$ – źródła energii cieplnej,

$\varepsilon^{(e)}_5$ – odbiorniki energii elektrycznej,

$\varepsilon^{(e)}_6$ – odbiorniki energii cieplnej,

$\varepsilon^{(e)}_7$ – akumulacja energii elektrycznej,

$\varepsilon^{(e)}_8$ – akumulacja energii cieplnej.



Rys. 2. Konwersja zbioru komponentów w zbiór elementów modelu relacyjnego
 Fig. 2. Conversion component collection to collection of the relational model elements

Zbiór relacji pomiędzy elementami modelu relacyjnego można zapisać w postaci macierzy zerojedynkowej $[a_{ij}]$, gdzie „1” oznacza występowanie relacji dowolnego rodzaju (zwrotna, przechodnia, symetryczna) lub „0” niewystępowanie relacji między danymi elementami modelu.

Wyszczególnienie	$\omega_1^{(e)}$	$\omega_2^{(e)}$	$\omega_3^{(e)}$	$\omega_4^{(e)}$	$\omega_5^{(e)}$	$\omega_6^{(e)}$	$\omega_7^{(e)}$	$\omega_8^{(e)}$
$\varepsilon_1^{(e)}$ – budynek mieszkalny	1	0	1	1	1	1	1	1
$\varepsilon_2^{(e)}$ – infrastr. techn. ogrodu	0	1	1	0	1	0	1	0
$\varepsilon_3^{(e)}$ – źródła energii elektr.	1	1	1	0	1	0	1	0
$\varepsilon_4^{(e)}$ – źródła energii cieplnej	1	0	0	1	0	1	0	1
$\varepsilon_5^{(e)}$ – odb. energii elektr.	1	1	1	0	1	0	1	0
$\varepsilon_6^{(e)}$ – odb. energii cieplnej	1	0	0	1	0	1	0	1
$\varepsilon_7^{(e)}$ – akum. energii elektr.	1	1	1	0	1	0	1	0
$\varepsilon_8^{(e)}$ – akum. energii cieplnej	1	0	0	1	0	1	0	1

Na zbiorze elementów modelu relacyjnego opisano zbiory cech (atrybutów) charakteryzujących każdy element. Liczność zbiorów cech charakteryzujących poszczególne elementy modelu jest różna, począwszy od kilku cech charakteryzujących akumulację ciepła do kilkadziesiątu cech charakteryzujących budynek. Dla przykładu, zbiór atrybutów $C(\varepsilon_8^{(e)})$ wyróżnionego elementu modelu – akumulacja energii cieplnej - jest następujący:

$$C(\varepsilon_8^{(e)}) = \langle C_{e8}^1, C_{e8}^2, C_{e8}^3, C_{e8}^4, C_{e8}^5, C_{e8}^6, C_{e8}^7, C_{e8}^8, C_{e8}^9, C_{e8}^{10}, C_{e8}^{11}, C_{e8}^{12} \rangle \quad (4)$$

gdzie:

- C_{e8}^1 – objętość zbiornika,
- C_{e8}^2 – ciepło właściwe czynnika roboczego,
- C_{e8}^3 – temperatura czynnika roboczego,
- C_{e8}^4 – opór cieplny izolacji akumulatora,
- C_{e8}^5 – temperatura otoczenia,
- C_{e8}^6 – ilość ciepła z kominka,
- C_{e8}^7 – ilość ciepła z kotła na biomasę,
- C_{e8}^8 – ilość ciepła z kolektorów słonecznych,
- C_{e8}^9 – ilość ciepła z agregatu kogeneracyjnego,
- C_{e8}^{10} – ilość ciepła z ogniwo paliwowych,
- C_{e8}^{11} – ilość ciepła pobieranego przez zasobnik c.w.u.,
- C_{e8}^{12} – ilość ciepła pobieranego przez nagrzewnicę kanałową,

Podsumowanie

Przedstawiony model relacyjny zintegrowanego systemu urządzeń energetycznych jest wstępem do opracowania modelu matematycznego. Model matematyczny będzie odwzorowaniem struktur matematycznych w zbiorze elementów i cech elementów modelu relacyjnego opisanych macierzą relacji, opracowany na podstawie przedstawionego powyżej modelu relacyjnego umożliwi badania szczegółowe i analizę systemu energetycznego domu mieszkalnego.

Bibliografia

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

Fanger P.O. 1970. Thermal comfort. Danish Technical Press, Copenhagen.

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

RELATIONAL MODEL OF INTEGRATED ENERGY SYSTEM DESIGNED FOR RURAL HABITABLE BUILDING

Summary

Article contains abstraction relational model of integrated energy system designed for rural habitable buildings. In the system are integrated sources of renewable energy such as: biomass boiler, photo-voltaic cells, fuel cells, wind power plant, cogenerative power plant, solar collectors. The aim of functioning of the system is continuous delivery of thermal and electric energy on needs of rural- habitable buildings. System components and relation between system elements was identified and described. This paper is the prelude of mathematical and simulation model of presented system.

Key words: renewable energy source, system modelling, integrated energy system