

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

MODEL MATEMATYCZNY ZINTEGROWANEGO SYSTEMU ENERGETYCZNEGO W WIEJSKIM BUDYNKU MIESZKALNYM

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań II etapu budowy modelu systemu energetycznego w wiejskim budynku mieszkalnym. Jest to model matematyczny, który został zbudowany na bazie modelu relacyjnego tego systemu. Przedstawiony model matematyczny umożliwia wyznaczenie zapotrzebowania na energię, ilości energii produkowanej w bezpośrednim otoczeniu wiejskiego budynku mieszkalnego oraz możliwości magazynowania nadwyżek energii. Model matematyczny oraz model relacyjny stanowią podstawę budowy modelu symulacyjnego zintegrowanego systemu energetycznego wiejskiego budynku mieszkalnego.

Słowa kluczowe: modelowanie systemów, odnawialne źródła energii

Wykaz oznaczeń

- V – objętość [m^3],
- A – powierzchnia [m^2],
- Q – wartość opałowa [J/m^3 ; J/kg],
- v – prędkość [m/s],
- t – czas [s],
- P – moc [W],
- ΔT – przyrost temperatury [K],
- U – napięcie [V],
- H – pojemność elektryczna baterii akumulatorów [Ah],
- EE_N – nadwyżka energii elektr. [J],
- h – wysokość [m],
- q – ciepło właściwe [$J/(kgK)$],

- η – sprawność,
- W – wskaźnik,
- ρ – gęstość powietrza

Przyjęto ponadto szereg oznaczeń indeksowych, uszczegółwiających dane oznaczenie. Symbol indeksu jest skrótem semantycznym np.:

kog – kogeneracyjny; *rkp* – rekuperator; *fol* – fotowoltaiczny, *osw* – oświetlenie, itd.

Wstęp

Rosnące ceny nośników energii wymuszają poszukiwanie rozwiązań umożliwiających zmniejszenie kosztów eksploatacji budynku mieszkalnego. Obniżenie kosztów eksploatacji budynku można zrealizować poprzez prawidłową konfigurację systemu energetycznego, racjonalizację zużycia energii oraz zmniejszenie strat [Myczko i in. 2005; Chwastek 2002; Idczak i Panek 2005].

Zgodnie z założeniami przyjętymi podczas tworzenia modelu systemu energetycznego wiejskiego budynku mieszkalnego [Bieranowski i Nalepa 2005], rozpatrywany system bazuje na energii wytwarzanej z nośników odnawialnych dostępnych w jego bezpośrednim otoczeniu. System energetyczny budynku składa się z trzech głównych podsystemów:

- podsystemu energii elektrycznej,
- podsystemu energii cieplnej,
- podsystemu wentylacji.

Dodatkowo zintegrowany system energetyczny zawiera podsystem magazynowania energii, który składa się z: układu akumulacji energii elektrycznej (baterie akumulatorów, przetwornica napięcia lub elektrolizer i zbiorniki wodoru i tlenu), układu akumulacji energii cieplnej (zasobniki ciepłej wody użytkowej, zbiorniki akumulujące energię cieplną wytwarzaną w kotłach spalających biomasę lub przez pompę ciepła, gruntowy wymiennik ciepła, który jest źródłem i jednocześnie akumulatorem energii cieplnej).

Istniejąca koncepcja zintegrowanego systemu energetycznego [Bieranowski i Nalepa 2005] wymaga weryfikacji i akceptacji [Powierza 1997; Bieranowski 2003]. Weryfikację tę można zrealizować na gruncie budowy systemu rzeczywistego lub budowy adekwatnego do tego systemu symulatora i badanie jego funkcjonowania.

Proces budowy symulatora realizowany jest w trzech etapach, w oparciu o metodykę podaną przez Jaźwińskiego i in. [1975], Bieranowskiego [2003] oraz Powierzę [1997]:

Etap I – budowa modelu relacyjnego;

Etap II – budowa modelu matematycznego;

Etap III – budowa modelu symulacyjnego.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań drugiego etapu – budowa modelu matematycznego. Model matematyczny zbudowany został w oparciu o model relacyjny systemu przedstawiony przez Bieranowskiego i Nalepę [2005].

Model matematyczny

Model matematyczny można przedstawić jako dwójkę uporządkowaną

$$M^M = \langle E, S^M \rangle \quad (1)$$

gdzie:

E – zbiór elementów modelu relacyjnego,

S^M – struktura matematyczna, zbudowana z funkcji lub innych struktur matematycznych pozwalających na wykonanie obliczeń numerycznych określonych w zbiorze elementów modelu relacyjnego.

Za Bieranowskim i in. [1983] przyjęto definicję charakterystyki matematycznej modelu systemu przedmiotowego. Jest to struktura pozwalająca wyrazić w formie liczbowej (ilościowej) oddziaływania pomiędzy elementami lub cechami elementów badanego modelu przedmiotowego.

Model matematyczny systemu energetycznego w wiejskim budynku mieszkalnym opracowano na podstawie utworzonego wcześniej modelu relacyjnego [Bieranowski; Nalepa 2005]. Model relacyjny systemu jest sformalizowanym zapisem zbioru elementów modelu relacyjnego, relacji występujących w tym zbiorze oraz cech elementów modelu relacyjnego.

Model matematyczny, który jest matematycznym zapisem relacji między elementami i cechami elementów modelu relacyjnego przedstawiono w postaci zbioru charakterystyk matematycznych.

Zbiór klas charakterystyk matematycznych modelu (E_M) podzielono na sześć klas:

$$E_M = \{PE_E, PE_C, ZE_E, ZE_C, AE_E, AE_C\} \quad (2)$$

gdzie:

PE_E – produkcja energii elektrycznej,

PE_C – produkcja energii cieplnej,

ZE_E – zużycie energii elektrycznej,

ZE_C – zużycie energii cieplnej,

AE_E – akumulacja energii elektrycznej,

AE_C – akumulacja energii cieplnej.

Poszczególne klasy charakterystyk matematycznych modelu zdefiniowano następująco:

Klasa charakterystyk PE_E – produkcja energii elektrycznej

$$PE_E = PE_{\text{fot}} + PE_w + PE_{\text{kog}} + PE_{\text{fc}} \quad (3)$$

gdzie:

PE_{fot} – charakterystyka wyznaczania ilości energii produkowanej w ogniwach fotowoltaicznych na podstawie czasu i wskaźnika nasłonecznienia (t_{ns} i W_{ns})

$$PE_{\text{fot}} = W_{\text{ns}} t_{\text{ns}} A_{\text{fot}} \eta_{\text{fot}} \quad (4)$$

PE_w – charakterystyka wyznaczania ilości energii produkowanej w elektrowni wiatrowej o powierzchni czynnej rotora A_w , t_w – średni czas występowania wiatru o prędkości v_w

$$PE_w = \sum_{i=1}^n t_{w_i} v_{w_i} A_w \rho \quad (5)$$

PE_{kog} – charakterystyka wyznaczania ilości energii produkowanej w agregacie kogeneracyjnym

$$PE_{\text{kog}} = V_{\text{kog}} Q_{\text{kog}} \eta_{\text{kog}} \quad (6)$$

PE_{fc} – charakterystyka wyznaczania ilości energii produkowanej w ogniwach paliwowych

$$PE_{\text{fc}} = V_{\text{fc}} Q_{\text{fc}} \eta_{\text{fc}} \quad (7)$$

Klasa charakterystyk PE_C – produkcja energii cieplnej

$$PE_C = PC_{\text{kpc}} + PC_{\text{ib}} + PC_{\text{kog}} + PC_{\text{fc}} + PC_{\text{ks}} + PC_{\text{pc}} + PC_{\text{tkp}} + PC_{\text{wz}} \quad (8)$$

gdzie:

PC_{kpc} – charakterystyka wyznaczania ilości energii produkowanej w piecu kominkowym opalonym paliwem o wartości opałowej Q_{kpc}

$$PC_{kpw} = V_{kpw} Q_{kpw} \eta_{kpw} \quad (9)$$

PC_{kb} – charakterystyka wyznaczania ilości energii produkowanej w kotle na biomasę

$$PC_{kb} = \sum_{i=1}^n P_{kb_i} t_{kb_i} \quad (10)$$

PC_{kog} – charakterystyka wyznaczania ilości energii produkowanej w agregacie kogeneracyjnym wykorzystującym paliwo o wartości opałowej Q_{kog}

$$PC_{kog} = V_{kog} Q_{kog} \eta_{kog} \quad (11)$$

PC_{fc} – charakterystyka wyznaczania ilości energii produkowanej w ogniach paliwowych wykorzystującym paliwo o wartości opałowej Q_{fc}

$$PC_{fc} = V_{fc} Q_{fc} \eta_{fc} \quad (12)$$

PC_{ks} – charakterystyka wyznaczania ilości energii produkowanej w kolektorze słonecznym przy nasłonecznieniu W_{ns} i czasie nasłonecznienia t_{ns} ,

$$PC_{ks} = W_{ns} t_{ns} A_{ks} \eta_{ks} \quad (13)$$

PC_{pc} – charakterystyka wyznaczania ilości energii produkowanej w pompie ciepła

$$PC_{pc} = \sum_{i=1}^n P_{pc_i} t_{pc_i} \eta_{pc} \quad (14)$$

PC_{rkp} – charakterystyka wyznaczania ilości energii produkowanej w rekupe-
ratorze

$$PC_{rkp} = \sum_{i=1}^n V_{poc_i} \Delta T_i q_{poc} \eta_{pc} \quad (15)$$

PC_{wg} – charakterystyka wyznaczania ilości energii produkowanej w wymien-
niku gruntowym

$$PC_{wg} = \sum_{i=1}^n V_{poc_i} \Delta T_i q_{poc} \eta_{wg} \quad (16)$$

Klasa charakterystyk ZE_E - zużycie energii elektrycznej

$$ZE_E = ZE_{rv} + ZE_{gd} + ZE_{ocw} + ZE_w + ZE_{oc} + ZE_{ogr} \quad (17)$$

$$ZE_E = \sum_{i=1}^n P_{rv_i} t_{rv_i} + \sum_{i=1}^n P_{gd_i} t_{gd_i} + \sum_{i=1}^n P_{ocw_i} t_{ocw_i} + \sum_{i=1}^n P_{w_i} t_{w_i} + \sum_{i=1}^n P_{oc_i} t_{oc_i} + \sum_{i=1}^n P_{ogr_i} t_{ogr_i} \quad (18)$$

gdzie:

ZE_{rtv} – charakterystyka wyznaczania ilości energii do zasilania odbiorników RTV,

ZE_{gd} – charakterystyka wyznaczania ilości energii do zasilania odbiorników GD,

ZE_{osw} – charakterystyka wyznaczania ilości energii do zasilania oświetlenia,

ZE_w – charakterystyka wyznaczania ilości energii do zasilania urządzeń wentylacji,

ZE_{ne} – charakterystyka wyznaczania ilości energii do zasilania narzędzi elektrycznych,

ZE_{ogr} – charakterystyka wyznaczania ilości energii do zasilania urządzeń w ogrodzie,

P_x, t_x – moc znamionowa i czas użytkowania mocy znamionowej danego odbiornika.

Klasa charakterystyk ZE_C - zużycie energii cieplnej

$$ZE_C = ZE_{op} + ZE_{cww} + ZE_{pp} \quad (19)$$

gdzie:

ZE_{op} – charakterystyka wyznaczania ilości energii zużywanej do ogrzewania pomieszczeń

$$ZE_{op} = \sum_{i=1}^n A_{po_i} h_{po_i} W_{cwp} \quad (20)$$

ZE_{cww} – charakterystyka wyznaczania ilości energii zużywanej do przygotowania ciepłej wody użytkowej

$$ZE_{cww} = L_{os} W_{cww} \quad (21)$$

ZE_{pp} – charakterystyka wyznaczania ilości energii zużywanej do przygotowania posiłków

$$ZE_{pp} = L_{os} W_{pp} \quad (22)$$

Klasa charakterystyk AE_E - akumulacja energii elektrycznej

$$AE_E = AE_{ba} + AE_{pw} \quad (23)$$

gdzie:

AE_{ba} – charakterystyka wyznaczania ilości energii magazynowanej w bateriach akumulatorów

$$AE_{ba} = \sum_{i=1}^n H_{ba_i} U_{ba_i} \eta_{ba_i} \quad (24)$$

AE_{pw} – charakterystyka wyznaczania ilości energii magazynowanej poprzez przetwarzanie wodoru

$$AE_{pw} = \sum EE_N Q_w \eta_{pw} \eta_{kw} \quad (25)$$

Klasa charakterystyk AE_C - akumulacja energii cieplnej

$$AE_C = AE_{zb} + AE_{zww} \quad (26)$$

gdzie:

AE_{zb} – charakterystyka wyznaczania ilości energii magazynowanej w zbiorniku buforowym

$$AE_{zb} = V_{zb} q_w \Delta T \eta_{zb} \quad (27)$$

AE_{zww} – charakterystyka wyznaczania ilości energii magazynowanej zasobniku ciepłej wody użytkowej

$$AE_{zww} = V_{zww} q_w \Delta T \eta_{zww} \quad (28)$$

Podsumowanie

Znaleziono reprezentację zintegrowanego systemu energetycznego wiejskiego budynku mieszkalnego w modelu relacyjnym oraz modelu matematycznym. Model matematyczny jest oryginalną metodyką identyfikacji zbioru charakterystyk do wyznaczania ilości energii elektrycznej i cieplnej zużywanej w zintegrowanym systemie energetycznym oraz ilości energii, którą można wytworzyć w systemie energetycznym budynku i jego otoczenia lub odzyskać energię odpadową (na przykład z systemu wentylacyjnego). Utworzony model matematyczny jest kolejną konkretyzacją modelu abstrakcyjnego zintegrowanego systemu energetycznego i stanowi podstawę dalszych prac zmierzających do zbudowania modelu symulacyjnego. Model symulacyjny zostanie utworzony przez implementację modelu relacyjnego i matematycznego w programie komputerowym (symulatorze). Symulator umożliwi realizację eksperymentów symulacyjnych z modelem oraz analizę różnych konfiguracji systemów energetycznych wiejskich budynków mieszkalnych bez konieczności budowania systemów rzeczywistych.

Bibliografia

Bieranowski J., Katewicz Z., Wieremiejczyk W. 1983a. Budowa sformalizowanego modelu matematycznego systemu odnowy urządzeń. Rocznik Nauk Rolniczych. PAN, C-T-75/4:24-37. PWN, Warszawa.

Bieranowski J. 2003. Model systemu utrzymania wybranych maszyn przemysłu rolno-spożywczego, *Inżynieria Rolnicza* 1 (43).

Bieranowski J. Nalepa K. 2005. Model relacyjny zintegrowanego systemu energetycznego w wiejskim budynku mieszkalnym. *Inżynieria Rolnicza* 1 (61).

Chwastek M. 2002. Energochłonność wiejskich budynków mieszkalnych na terenie gminy Słomniki, *Inżynieria Rolnicza* 6 (39).

Idczak M., Panek A. 2005. Koncepcja budynku samowystarczalnego energetycznie. *Energetyka* 2/2005.

Jaźwiński J., Pabis St., Wieremiejczyk Wł. 1975. Zasady symulacji systemów technicznych. Symulacyjne metody badań niezawodności systemów technicznych. 1. Materiały na „Szkołę zimową-75” Jaszowiec.

Myczko A., Kreis-Tomczak K., Pawlak S., Rzeźnik W. 2005. Budynek inwentarski z dodatnim bilansem energetycznym. *Inżynieria Rolnicza* 1 (61).

Powierża L. 1997. Zarys inżynierii systemów bioagrotechnicznych. Instytut Technologii Eksploatacji, Politechnika Warszawska. Radom-Płock.

MATHEMATICAL MODEL OF THE INTEGRATED ENERGY SYSTEM DESIGNED FOR RURAL HABITABLE BUILDING

Summary

The mathematical model of the integrated energy system designed for rural habitable buildings has been presented. The model had been done on the base of the relational model of this system. The mathematical model of the integrated energy system gives possibility of the energetic factors calculating as: energy consumption, energy production possibilities, energy accumulation possibilities. The mathematical model common with relational model make the base to building simulation model of the integrated energy system of the rural habitable buildings.

Słowa kluczowe: system modeling, renewable energy sources