

Kamila Kreis-Tomczak, Robert Szulc, Stefan Pawlak, Andrzej Myczko
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa O/Poznań

EKONOMICZNO-ENERGETYCZNE ASPEKTY EKSPLOATACJI DACHU ENERGETYCZNEGO

Streszczenie

Określono wpływ podstawowych parametrów technicznych instalacji i na drodze eksperymentalnej określono, że najwyższą wartość strumienia ciepła (średnio 670 W/m^2) uzyskano dla prędkości przepływu cieczy roboczej wynoszącej 200 l/h. Uzyskane dane po przeprowadzonych badaniach dachu energetycznego w okresie od maja do września 2004 roku potwierdzają przydatność tego rozwiązania w budownictwie inwentarskim.

Słowa kluczowe: energia odnawialna, ogniwa fototermiczne, budynek inwentarski

Wstęp

Aktualna sytuacja na rynku produktów rolnych powoduje, iż możliwości podnoszenia opłacalności produkcji należy upatrywać głównie w obniżaniu i optymalizowaniu nakładów na nią. Dlatego również w budownictwie inwentarskim coraz szerzej stosuje się rozwiązania wpływające na poprawę bilansu energetycznego budynków. Możliwości takie dają między innymi dachy energetyczne (kolektory słoneczne) i pompa ciepła, mogąca pozyskiwać energię z takich źródeł jak głęboka ściółka czy gruntowe wymienniki ciepła. Możliwości pozyskiwania ciepła z głębokiej ściółki zostały już określone przez Nawrockiego [2003].

Przegląd literatury, jeśli chodzi o cieczowe kolektory słoneczne, dostarcza niedostatecznej wiedzy o możliwościach zastosowania takich rozwiązań w warunkach polskich ferm. Niezbędne będzie więc przeprowadzenie badań rozwiązania technicznego dostępnego na rynku holenderskim i przystosowania go do polskich warunków klimatycznych. Kluczowym elementem zapewniającym dużą sprawność całego układu energetycznego budynku inwentarskiego jest odpowiednio zaplanowana instalacja.

Analiza aktualnego stanu zagadnienia w świetle literatury

Studia nad różnymi scenariuszami zmian w energetyce przewidują udział odnawialnych źródeł energii na poziomie 20-50 % w całej światowej produkcji energii do połowy tego stulecia. Na poziomie europejskim scenariusze pokazują, że realnym celem jest udział 15% energii ze źródeł odnawialnych do 2010 roku (Madrid Conference 1994). Technologie pozyskiwania energii z odnawialnych i zastosowanych w rolnictwie źródeł są dziedziną, która ciągle wymaga badań i poszukiwań.. Szacuje się, że aktualnie wykorzystywane odnawialne źródła energii w rolnictwie to mniej niż 5% [Dreszer i in. 2003].

W 1984 roku w IBMER Poznań rozpoczęto badania instalacji do odzysku ciepła z pryzm obornikowych, a w 1993 badania nad odzyskiwaniem ciepła pochodzącego z rozkładu biologicznego ściółki [Myczko 1993]. Wyniki te zostały potwierdzone w badaniach wdrożeniowych na obiektach rzeczywistych przez Nawrockiego i Myczko [1998] w odniesieniu do budynków, w których zwierzęta utrzymuje się na ściółce, oraz przez Piotrkowskiego i Myczko [2002] w odniesieniu do budynków z utrzymaniem zwierząt na rusztach. Prowadzono także badania nad ograniczeniem emisji amoniaku w trakcie pozyskiwania i kumulacji ciepła fermentacyjnego [Nawrocki, Myczko 1998; Hesse i in. 1995]. W pracy Aarninka, Myczko i Karłowskiego [2001] przeprowadzono ocenę potencjalnych możliwości zainstalowania w budynkach dla świń w Polsce i Holandii systemów kumulowania energii przy pomocy pomp ciepła. Uwzględniono wpływy klimatyczne, sporządzono bilans energii oraz oszacowano tempo wdrażania opracowanej technologii. Firma R&R Energy Systems BV [Claesen 1999] jako rozwinięcie tej technologii przedstawiła wyniki prac nad wdrożeniem cieczowych kolektorów słonecznych zintegrowanych z pokryciem dachowym budynku inwentarskiego.

Cel badań

Celem badań modelu dachu energetycznego, wykonanego z paneli wodnych i ogólnodostępnych materiałów poszyciowych i izolacyjnych było określenie wpływu wybranych parametrów roboczych (prędkość przepływu, temperatura wejściowa cieczy roboczej oraz temperatura otoczenia) na ilość pozyskiwanego strumienia ciepła oraz ocena ekonomiczna takiego rozwiązania.

Problemy badawcze

Aby zrealizować założony cel badań, należało odpowiedzieć na pytania, które przyjęto jako problemy badawcze:

1. Jaki wpływ na ilość pozyskanego strumienia ciepła ma zmiana prędkości przepływu oraz temperatury zewnętrzne?
2. Czy opłacalna jest eksploatacja dachu energetycznego?

Metodyka badań

Opis stanowiska

Badania przeprowadzono na modelu dachu wykonanego z czarnej blachy trapezowej, z umieszczonymi pod nią panelami wodnymi o całkowitej długości 7 m. Jednometrowe sekcje paneli wodnych zamocowano w odstępach co 0,08 m. Całość od spodu była zaizolowana watą termoizolacyjną. Całkowita powierzchnia badanego elementu dachowego wynosiła 2,2 m². W doświadczeniu gromadzono i analizowano wyniki dla kątów nachylenia 15° i 30°. Układ zasilający wykonano z izolowanych rur polietylenowych o średnicy wewnętrznej 12 mm. Odległość między punktami pomiaru temperatury i prędkości przepływu a panelem dachowym wynosiła 15 m. Przy stosowanych strumieniach przepływu od 40 do 200 l/h i pojemności 1 mb przewodu doprowadzającego wynoszącej 0,106 dm³, czas przepływu cieczy między dachem i punktami pomiarowymi wynosił od 25 do około 100 sekund.

Skuteczność pochłaniania energii słonecznej przez absorber określana była poprzez analizowanie przyrostu temperatury cieczy cyrkulującej w układzie dach energetyczny – odbiornik, który stanowił schładzalnik wyposażony w wężownicę odbierającą ciepło, wykonaną z rury miedzianej i zanurzoną w cieczy chłodzącej. Utrzymanie stałej temperatury cyrkulującej w układzie kolektora słonecznego cieczy zapewniał sterownik temperatury, którego bezwładność cieplna wynosiła 0,5°C. Jako ciecz obiegową zastosowano wodę z sieci wodociągowej.

Założenia ekonomiczne

Uzyskane wyniki pomiarów strumienia ciepła wykorzystano do bilansu energetycznego dachu obory w warunkach rzeczywistych. Docelowo przewiduje się włączenie dachu wyposażonego w kolektor do zespołu energetycznego całego budynku włącznie z odzyskiem ciepła ze ściółki oraz pompą ciepła i instalacją umożliwiającą oddawanie nadmiaru skumulowanej energii cieplnej do złoza geo-

termalnego. Zależności występujące między poszczególnymi zmiennymi takimi jak powierzchnia, jednostkowa moc dachu energetycznego oraz liczba odwiertów do zmagazynowania energii cieplnej w ciągu roku, można przedstawić wzorem:

$$A_{\text{dach}} = \frac{T \cdot P_{\text{odw}} \cdot n_{\text{odw}}}{P_{\text{dach}}} \quad [\text{m}^2] \quad (1)$$

gdzie:

- A_{dach} – powierzchnia dachu energetycznego [m^2]
- T – czas pracy dachu w roku [h]
- P_{odw} – dyspozycyjna moc w odwiercie [kW]
- P_{dach} – jednostkowa moc dachu energetycznego [kWh/m^2]
- n_{odw} – liczba sond geotermalnych [szt]

Pozwala to w zależności od posiadanych danych i potrzeb na określenie wartości zmiennych parametrów w projektowanym obiekcie. W pierwszym etapie analizy założono że energia cieplna zostanie wykorzystana na podgrzanie wody do temp. ok. 50°C , a następnie dogrzana w myjni do wymaganej temperatury ok. 80°C .

Wyniki pomiarów i analiza ekonomiczna

W oparciu o pomierzone wartości obliczono strumień energii cieplej wg wzoru:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_w \cdot \Delta T \quad (2)$$

gdzie:

- \dot{Q} – strumień energii [J/s, W],
- \dot{m} – strumień cieczy [kg/s],
- c_w – ciepło właściwe cieczy [J/(kg · K)],
- ΔT – przyrost temperatury [K]

Poniżej zamieszczono wyniki analizy pomiarów dla powierzchni dachu $2,2 \text{ m}^2$, co odpowiadało powierzchni 1 m^2 paneli wodnych.

Określenie wpływu prędkości przepływu oraz temperatury zewnętrznej na ilość uzyskanego strumienia ciepła

Stałe parametry doświadczenia:

- temperatura cieczy na wejściu do układu: 14°C , orientacja dachu: kierunek S (południowa), kąt nachylenia dachu 15° .

Do powyższej analizy wybrano wyniki uzyskane w dniach o podobnej charakterystyce nasłonecznienia, ale różnych temperaturach otoczenia. Zmienne doświadczenia stanowiły prędkość przepływu i temperatura otoczenia. Do drugiej grupy zakwalifikowano dane z dni o wyższej średniej temperaturze, pomimo jej zróżnicowania w granicach 27-30°C. W grupie niższych średnich temperatur rozrzut ten kształtował się w granicach od 21 do 27°C.

Tabela 1. Obliczona średnia moc dla niższych temperatur otoczenia przy danym przepływie

Table 1. The calculated average power for lower ambient temperatures and established flow of liquid

Data pomiarów	prędkość przepływu cieczy [l/h]	Średnia temperatura otoczenia [°C]	Średni strumień ciepła (moc) [W]
23.08.2004	40	21,09	413,27
04.08.2004	50	25,23	548,79
05.08.2004	75	26,43	688,98
10.08.2004	100	27,03	807,25
20.07.2004	200	26,99	830,65

Tabela 2. Obliczony średnia moc dla wyższych temperatur otoczenia przy danym przepływie

Table 2. The calculated average power for higher ambient temperatures and established flow of liquid

Data pomiarów	Prędkość przepływu cieczy [l/h]	Średnia temperatura otoczenia [°C]	Średni strumień ciepła (moc) [W]
19.08.2004	40	30,15	506,29
11.08.2004	50	27,04	729,64
09.08.2004	75	27,1	597,69
12.08.2004	100	30,43	750,67
06.08.2004	200	27,71	891,54

W rezultacie przeprowadzonej analizy wariancji dwuczynnikowej bez powtórzeń dla całej populacji danych stwierdzono, że na obliczone wartości strumienia ciepła wpływ mają dwie zmienne, tzn. prędkość przepływu oraz temperatura otoczenia. Dowodzą tego zaobserwowane wartości współczynnika ryzyka błędu „Wartość p”. Wartość tego współczynnika dla wymienionych zmiennych jest mniejsza od 0,05 i wynosi odpowiednio 0,0019 oraz 0,0165. Można zatem stwierdzić, że zmienne te mają statystycznie istotny wpływ na zmienną zależną, czyli na wielkość strumienia ciepła.

Analizując zaobserwowane wartości współczynnika F, który dla parametru „prędkość przepływu” wyniósł 37,93, można wnioskować, że czynnikiem mającym najbardziej istotny wpływ na zmienną zależną jest prędkość przepływu. Największy strumień uzyskanego ciepła stwierdzono dla prędkości przepływu 200 l/h. Wartość współczynnika F=15,73 dla drugiej zmiennej (temperatura otoczenia) również wskazuje na istotność różnic między różnymi wielkościami tej zmiennej.

Analiza opłacalności eksploatacji dachu energetycznego

Poniżej przedstawiono bilans energetyczny oraz analizę kosztów eksploatacji dachu.

Założenia:

- Powierzchnia dachu $P = 51,97$ [m²]
- Jednostkowa moc dachu energet. $q = 451,0$ [W/m²]
- Całkowita moc dachu $Q_{\text{całk.}} = 23,43$ [kW]
- Przy 6 h pracy $Q_{\text{Dz}} = 140,63$ [kWh/Dz] (504,0 [MJ])

Przy założeniu strat na poziomie $h = 12\%$, to

- $Q_{\text{całk.}} = 20,61$ [kW]
 - $Q_{\text{Dz}} = 123,66$ [kWh/Dz]
 - Różnica temp $\Delta T = 14$ K
 - Przepływ $V = 200$ dm³/h
 - Temp wody myjącej $T_1 = 15^\circ\text{C}$, $T_2 = 80^\circ\text{C}$
- $V_{\text{myj}} = 80$ dm³ $V_{\text{Dz}} = 160$ dm³ $V_{\text{całk.}} = 290$ dm³

Przyjmując do analizy jednostopniową pompę ciepłą o mocy ok. 20,0 kW i uwzględnieniu współczynnika COP= 4 będącego stosunkiem energii uzyskanej do włożonej, nakłady energii własnej pompy wyniosą 5 kW. Zakładając, że można uzyskać z jednostopniowej pompy ciepła czynnik energetyczny o temperaturze 50°C konieczne jest podgrzanie wody 106 dm³ do temperatury 80°C. Wymaga to nakładów:

$$Q = 106 \text{ kg} \times 4,18 \text{ kJ/Kg} \times \text{K} \times (80 - 50) \text{ K} \qquad Q = 13,29 \text{ MJ} \quad [3,69 \text{ kWh}]$$

Energia na dogrzanie wody z 50°C na 80°C w myjce dojarni wynosi:

$$E_{\text{grz}} = 3,69 \text{ kWh.}$$

Energia całkowita na podgrzanie wody do mycia instalacji

$$E_c = E_{pc} + E_{grz} \quad (3)$$

$$E_c = 5,0 + 3,69 \text{ kWh}, E_c = 8,69 \text{ kWh}$$

Gdzie:

E_{pc} – energia pobierana przez pompę ciepła,

E_{grz} – energia pobierana przez grzałkę myjni dojarni

Tabela 3. Jednostkowe koszty eksploatacji dachu energetycznego

Table 3. Unit costs of energy roof exploitation.

Dach energetyczny	Koszty utrzymania		Koszty użytkowania		Koszty eksploatacji	
	zł/rok	zł/m ² rok	zł/rok	zł/m ² rok	zł/rok	zł/m ² rok
	1501,97	28,90	1941,81	37,36	3443,78	66,26
Układ złoża geotermalnego	405,86	7,81	1277,76	24,58	30683,62	32,39

Na podstawie analizy kosztów eksploatacji dachu energetycznego stwierdzono iż koszt pozyskania energii wynosi ok. 0,10 zł/1 kWh. Uzyskane wyniki obliczeń energetycznych dachu wymagają uwzględnienia prędkości przepływu cieczy w dachu energetycznym. Jeżeli na 1,6 m² i $\Delta T = 14 \text{ K}$ prędkość przepływu wynosiła $V = 200 \text{ dm}^3/\text{h}$, to aby uzyskać podobne parametry przy wykorzystaniu całej powierzchni dachu na obszarze należałoby zwiększyć prędkość przepływu do 6412 dm³/h (106,6 dm³/min). To z kolei wymaga zastosowania pompy obiegowej większej mocy.

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań i analizy uzyskanych wyników pomiarów można postawić następujące wnioski:

1. Stwierdzono istotny wpływ ($\alpha=0,05$) prędkości przepływu i temperatury zewnętrznej na ilość pozyskanego strumienia ciepła. Najwyższe wartości uzyskano dla przepływu cieczy 200 l/h. Średnia moc dla tego przepływu wyniosła 670 W/m².
2. Moc ciepłą dachu obory w IBMER - Poznań określono na poziomie ok. 21 kW.
3. Koszt pozyskania energii wynosi ok. 0,10 zł/1 kWh
4. Niższa temperatura wejściowa cieczy roboczej wpływała na uzyskiwanie wyższej mocy z ogniwa fototermicznego.

Bibliografia

Claesen R. 1999. Yield calculation for an energy roof under development at R&R Energy Systems BV, The Netherlands.

Kamila Kreis-Tomczak, Robert Szulc, Stefan Pawlak, Andrzej Myczko

Dreszer K., Michałek R., Roszkowski A. 2003. Energia odnawialna – możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. PTIR Warszawa.

Hesse D. 1994. Comparison of different old and new fattening pig husbandries with focus on environment and animal welfare. In: Proc. XII World Congress on Agricultural Engineering, 29.08-01.09.1994, Umweltbelastung, Behandlung, Verwertung. Hrsg: Strauch. Ulmer, Stuttgart, 1997, p. 48-54.

Myczko A. 1993. Kojce zbiorowe z podłożem egzotermicznym w chowie trzody chlewnej. Problemy Inżynierii Rolniczej, Instytut Budownictwa, Mechanizacji I Elektryfikacji Rolnictwa, Komitet Techniki Rolniczej PAN, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Warszawa.

Myczko A. 1996. Nowoczesne rozwiązania techniczne i technologiczne w budownictwie inwentarskim. ODR Ostrołęka. s. 124.

Nawrocki L., Myczko A. 1998. Odzysk ciepła z podłoża tuczarni. Problemy Inżynierii Rolniczej Nr 4/98, s. 125-130, IBMER, Warszawa.

ECONOMICAL AND ENERGY ASPECTS OF EXPLOITATION OF ENERGY ROOF

Summary

The investigation of energy roof model of animal building was done. Research was conducted since May to September of year 2004. The obtained data confirmed that the photo-thermal cells are suitable for animal building which could produce energy for its own requirements. The influence of basic technical parameters was considered, such as liquid velocity in the system and incoming temperature of liquid on stream of heat. It was reported that velocity of liquid and ambient temperature had significant influence on amount of heat stream. The biggest obtained value of heat stream occurred for liquid flow at 200 l/h. The average power gained for that flow was 670 W/m². Lower incoming temperature has allowed to obtain higher power from the roof.

Key words: renewable energy, photo-thermal cells, animal building