

Ogniwa fotowoltaiczne jako alternatywa energii konwencjonalnej w chowie bydła mlecznego

Wojciech Krawczyk

*Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Systemów i Środowiska Produkcji,
32-083 Balice k. Krakowa*

Aktualnym i ważnym zagadnieniem w dziedzinie rolnictwa, jaką jest zootechnika na świecie i w naszym kraju jest zapobieganie szkodliwemu oddziaływaniu intensywnej produkcji zwierzęcej na środowisko naturalne. Prowadzone obecnie badania skupiają się nie tylko na zagadnieniach definiujących stan aktualny, ale także na poszukiwaniu możliwych do zastosowania rozwiązań dotyczących metod redukcji zagrożenia środowiska związanego z rozwojem i doskonaleniem wspomnianej produkcji. Prowadzone badania dotyczą przede wszystkim szkodliwych domieszek gazowych, które są emitowane z ferm zwierzęcych, tj. budynków inwentarskich wchodzących w ich skład oraz miejsc przechowywania odchodów na tych fermach, a także kwestii zawartości związków biogenych w tych odchodach. Uwzględniając problem ochrony środowiska i jego zależności od produkcji zwierzęcej należy stwierdzić, że równie ważnym zagadnieniem jest zużycie energii na fermach zwierzęcych, w budynkach inwentarskich, jak też w stosowanych rozwiązaniach technologicznych i urządzeniach. Zagadnienie to wiąże się bezpośrednio z kwestiami przeciwdziałania zmianom klimatu (Chel i Kaushik, 2011; Weiske i in., 2006). Dotychczas realizowane badania skupiały się raczej na kwestiach mikroklimatu pomieszczeń lub oddziaływania rodzaju ogrzewania na same zwierzęta. Dlatego też, aby badania dotyczące oddziaływania produkcji zwierzęcej na środowisko zyskały pełny wymiar – ich zakres powinien uwzględniać również wspomniane wyżej zagadnienia oszczędności energii.

Współczesna energetyka ciepła, mimo promowania i wdrażania źródeł alternatywnych czy odnawialnych, jest nadal oparta na paliwach kopalnych, co ma szczególnie duże znaczenie w Polsce, w której zasoby np. węgla są jeszcze

stosunkowo duże, powszechnie wykorzystywane i jeszcze długo pozostaną niezastąpione. Natomiast w przypadku mniejszych mocy alternatywne źródła energii coraz szerszym frontem podbijają rynek. Coraz powszechniejsze stają się także specjalistyczne wymienniki i pompy ciepła, rekuperatory i inne urządzenia odzyskujące energię traconą np. w wentylowanym powietrzu.

Słońce jest głównym źródłem energii dla całego życia na Ziemi. Dostarcza ono stały i przewidywalny strumień energii na poziomie maksymalnie 1,35 kW na każdy metr kwadratowy powierzchni planety. Technologia fotowoltaiczna (PV), potrafiąca wykorzystać te wszechobecne zasoby została opracowana w latach 50. XX wieku. Jednak, pomimo inwestowania w badania, mające na celu zwiększenie wydajności oraz znaczną redukcję kosztów, kolektory słoneczne nadal są stosunkowo rzadkim widokiem na dachach domów, a tym bardziej budynków inwentarskich w Europie. Od 2005 r. rozwój europejskiego rynku systemów fotowoltaicznych nabrał jednak dużego tempa. Niekwestionowanym liderem w Europie i na świecie są Niemcy dzięki zainstalowanym 600 MW. Ten wzrost mógłby być jeszcze większy, gdyby nie ograniczenie produkcji globalnej przez ciągły niedobór podstawowego surowca dla większości technologii PV – krzemu. W celu zapewnienia energii odnawialnej energię słoneczną można wykorzystać na dwa sposoby: generowanie elektryczności i podgrzewanie wody. Technologia fotowoltaiczna wykorzystuje materiały półprzewodnikowe, które przenoszą ładunki elektryczne pochłaniając światło. Większość komercyjnych systemów PV bazuje na technologiach krzemowych. Dwie z nich występują w procesach podobnych do stosowanych przy produkcji mikroprocesorów, używając wafli krzemowych o wysokiej czystości. Krzem mono-

krystaliczny jest bardzo wydajny, lecz dość drogi, podczas gdy krzem polikrystaliczny jest tańszy, lecz mniej wydajny i wytwarza mniej mocy na obszar cząstkowy. Opracowano również technologie krzemu cienkowarstwowego, aby zastąpić krzem amorficzny czy mikrokryształiczny w wielkopowierzchniowych płaskich substratach, takich jak szkło.

Równie ważne są systemy ciepłej energii słonecznej, służące do podgrzewania wody w układach centralnego ogrzewania lub chłodzenia. Podgrzewanie wody za pomocą energii słonecznej to w pełni dojrzała technologia. Roczna powierzchnia instalacji słonecznych podgrzewaczy wody w państwach członkowskich Unii Europejskiej wynosi niemal 1,5 mln m². Niektóre kraje europejskie, m.in. Hiszpania nakazały dołączenie ogrzewania słonecznego w nowych i remontowanych instalacjach grzewczych. Technologia ta obejmuje wykorzystanie płaskich paneli przepływowych lub rzędów czarnych rurek z tworzywa sztucznego umieszczanych na południowych połaciach dachów. Takie systemy ogrzewania słonecznego, zaprojektowane dla ciepłej wody i centralnego ogrzewania, pracują w temperaturach do 60°C (Latała, 2010). W Polsce istnieją możliwości wykorzystania energii słonecznej do celów grzewczych zbliżone do występujących w Niemczech, Danii i Wielkiej Brytanii. Nieco lepsze warunki od Polski mają Irlandia, Belgia i Holandia. W odniesieniu do możliwości produkcji energii elektrycznej przy wykorzystaniu zjawiska fotowoltaicznego wszystkie ww. kraje, w tym Polska, mają podobne warunki. Roczna suma całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą na terenie Polski oscyluje wokół 1000 kWh/m² i waha się od 950 do 1250 kWh/m². W Mikołajkach wynosi – około 1068 kWh/m², w Zakopanem – około 1000 kWh/m², w Warszawie – około 962 kWh/m². Suma promieniowania całkowitego przypadająca na miesiące wiosenno-letnie (kwiecień-wrzesień) wynosi średnio dla Polski 775 kWh/m², w miesiącach zimowych – 225 kWh/m². Poza wielkością natężenia promieniowania słońca, ważnym czynnikiem meteorologicznym w przypadku analizy wykorzystania energii słońca jest usłonecznienie, czyli liczba godzin w ciągu roku z bezpośrednio widoczną operacją słoneczną. Średnie usłonecznienie dla Polski wynosi około 1600 godz./rok, z czego 75% czasu przypada na okres wiosen-

no-letni. Dla przykładu, średnie usłonecznienie roczne dla Warszawy wynosi około 1649 godz./rok, dla Paryża około 1840 godz./rok, dla Kopenhagi około 1860 godz./rok.

Łączna moc zainstalowana w systemach fotowoltaicznych w Polsce w 2016 r. wyniosła około 199 MW. Moc instalacji PV według danych URE to ponad 99 MW. Pozostałe 100 MW zainstalowano w mikroinstalacjach podłączonych do sieci ale nie korzystających z systemu zielonych certyfikatów. Głównymi wytwórcami energii w mikroinstalacjach są osoby fizyczne, coraz częściej jednak instalacje takie powstają w przedsiębiorstwach. U osób fizycznych dominują instalacje mniejsze – mikroinstalacje do 10 kW stanowią ponad 90% wszystkich zainstalowanych u osób fizycznych. Z kolei u przedsiębiorców powstają zazwyczaj mikroinstalacje większe – instalacje powyżej 10 kW stanowią około 63% (Raport IEO, 2017). Zwiększanie sprawności, przy jednoczesnym obniżaniu kosztów produkcji ogniw tworzy obecnie realne możliwości wykorzystania ich do produkcji energii elektrycznej (tab. 3). W Polsce praktyczne zastosowanie mogą mieć także kolektory słoneczne płaskie jako źródło ciepła niskotemperaturowego do produkcji ciepłej wody użytkowej i w procesach suszarniczych, np. płodów rolnych.

Moc odnawialnych źródeł energii (OZE) zainstalowanych w Polsce pod koniec 2016 r. wyniosła ponad 8,5 GW. Udział fotowoltaiki – pomimo ciągłego, znacznego wzrostu od 2014 r. – jest nadal znikomy i wynosi zaledwie 2,3% w mocach OZE i 0,5% mocy zainstalowanej w krajowym systemie energetycznym. We wszystkich krajach UE na koniec 2016 r. w fotowoltaice było już 102,5 GW mocy zainstalowanej. Udział Polski jest znikomy i wynosi zaledwie 0,1% (Raport IEO, 2017).

Porównanie potencjału technicznego OZE Polski i wybranych krajów skandynawskich wykazuje, że Polska posiada stosunkowo duże możliwości stosowania OZE. Jednocześnie obserwuje się niski udział energetyki odnawialnej w całkowitej produkcji energii w kraju w stosunku do analogicznych udziałów w Danii i Szwecji. Analiza danych dotyczących procentowego udziału poszczególnych źródeł energii pierwotnej w całkowitej produkcji energii elektrycznej pokazuje, że w większości branych pod uwagę krajów produkcja ta jest oparta o paliwa kopalne.

W Polsce ich udział wynosi ponad 97% (głównie węgiel brunatny i kamienny), w Danii ponad 87% (głównie węgiel kamienny i gaz ziemny), w Republice Czeskiej około 78% (głównie węgiel brunatny i kamienny), w Wielkiej Brytanii około 75% (głównie gaz ziemny i węgiel kamienny), w Niemczech około 60% (głównie węgiel brunatny i kamienny). Na Słowacji i w Finlandii udział paliw kopalnych w produkcji energii elektrycznej kształtuje się na podobnym poziomie (w przypadku Słowacji wynosi on ok. 30%, w przypadku Finlandii ok. 32%). Najmniejszy udział paliw kopalnych w produkcji energii elektrycznej można natomiast zaobserwować w Szwecji (tylko ponad 4%). Spośród analizowanych krajów europejskich tylko w Polsce i w Danii nie ma zlokalizowanych elektrowni jądrowych. W pozostałych krajach energia elektryczna produkowana przy wykorzystaniu energii jądrowej stanowi od około 19% w Republice Czeskiej do około 53% na Słowacji. W Wielkiej Brytanii jest to około 22%, w Niemczech około 31%, w Finlandii ponad 32%, w Szwecji ponad 38%. Niewątpliwie największą produkcją energii elektrycznej z energii jądrowej charakteryzuje się Francja – około 80% całkowitej produkcji (Rogulska i in., 2003).

Odnawialne źródła energii charakteryzują się przede wszystkim wysokimi jednostkowymi nakładami inwestycyjnymi oraz często wysokim stopniem ryzyka związanym z dostępnością produkowanej przez nie energii. Z uwagi na czynniki czysto ekonomiczne można zauważyć, że rezerwa mocy elektrowni systemowych i jednocześnie działania mające na celu obniżenie zużycia energii przy niskim tempie wzrostu gospodarczego w kraju powodują, że rozwój OZE będzie generował dodatkowe koszty związane z likwidacją istniejących źródeł energii. Z drugiej strony niezwykle ważny aspekt stosowania OZE związany z ograniczeniem emisji zanieczyszczeń, w tym emisji gazów cieplarnianych, nie ma należytej wagi przy podejmowaniu decyzji o budowie czy modernizacji źródeł energii w Polsce.

Wspomniana problematyka, poza nielicznymi wyjątkami, nie jest brana pod uwagę w produkcji zwierzęcej. A przecież intensywny chów zwierząt, przy znaczącej skali i koncentracji produkcji, jak każda przemysłowa działalność winien rozwijać metody energooszczędności (Kolano i Stelmach, 2017).

Celem naukowym podejmowanych badań

było określenie możliwości zastosowania alternatywnych źródeł energii wraz z ustaleniem ich efektywności w fermowym chowie bydła mlecznego. Dla osiągnięcia założonego celu niezbędna była realizacja takich zadań, jak:

1. Wykonanie audytu zużycia energii elektrycznej;
2. Określenie faktycznej produktywności zastosowanych na fermie odnawialnych źródeł energii (OZE).

Celem praktycznym podejmowanych badań było uzyskanie informacji o efektywnych możliwościach obniżenia zużycia klasycznej energii elektrycznej i ciepłej w chowie bydła mlecznego.

Material i metody

Material doświadczalny

Doświadczenie przeprowadzono w budynkach, w których utrzymywano 350 krów mlecznych, jałówek i cieląt. Zwierzęta były utrzymywane wolnostanowiskowo w identycznych ogrzewanych i wentylowanych mechanicznie pomieszczeniach. Oświetlenie oraz elementy wyposażenia poszczególnych pomieszczeń, tj. termy, stacja odpajania i dojarka, były wspomagane zasilaniem z fotoogniw. Odpowiednie grupy kontrolne wyposażono w standardowy sprzęt. Zwierzęta żywiono i utrzymywano zgodnie z obowiązującymi normami, przy stałym dostępie do wody.

Układ doświadczenia

W doświadczeniu wykorzystano fotoogniwa o mocy elektrycznej 2,2 kW i napięciu 16 V. Instalacja była wyposażona w licznik energii, konwerter i falownik zmieniające prąd stały w prąd zmienny o napięciu znamionowym 230 V i częstotliwości 50 Hz. System był wyposażony w akumulatory żelowe równoważące nadmiar i niedobór mocy wynikający z nasłonecznienia. Wymienione alternatywne źródła energii zostały użyte do zasilania następujących odbiorników:

- 3 objętościowe ogrzewacze ciepłej wody użytkowej (c.w.u. – bojler) o łącznej pojemności 300 litrów;
- automatyczna stacja odpajania;
- dojarka konwiowa;
- oświetlenie pomieszczeń obory, cielętnika, jałownika i porodówki, wyposażone łącznie w 35 wewnętrznych odbiorników luminescencyjnych (światłówki) o łącznej mocy 2,8 kW oraz 8 zewnętrznych

odbiorników halogenowych o łącznej mocy 2,1 kW.

W trakcie prowadzonych badań zrealizowano 3 zadania:

Zadanie 1.

Wykonano audyt energetyczny fermy bydła mlecznego oraz zmierzono przebieg zewnętrznych warunków nasłonecznienia i przepływ mas powietrza. Zadanie to obejmowało prace związane z oszacowaniem zużycia energii elektrycznej na

poszczególnych etapach produkcji fermy. Badania zrealizowano montując jedno- i trójfazowe liczniki energii w poszczególnych obwodach zasilających pojedyncze elementy technologii, np. oświetlenie, bojler, dojarka itp.

Drugą z rozpatrywanych kwestii było ustalenie wpływu lokalizacji fermy na możliwość pozyskiwania w celach produkcyjnych energii słonecznej jako źródeł alternatywnych. Pomiary realizowano przez okres trzech lat w cyklu ciągłym. Układ zadania 1 ilustruje schemat 1.

Schemat 1. – *Diagram 1.*

Powtórzenie/pora roku <i>Replication/Season of the year</i>	Porodówka, krowy zasuszone, jałówki cielne <i>Calving pen, dry cows, in-calf heifers</i>	Cielętnik-jałownik <i>Calf-heifer house</i>	Krowy mleczne <i>Dairy cows</i>	Pozostałe pomieszczenia <i>Other facilities</i>
	Liczba zwierząt (szt.) – <i>No. of animals (head)</i>			
I. Wiosna/jesień <i>Spring/autumn</i>	80	110	160	X
II. Zima – <i>Winter</i>	80	110	160	X
III. Lato – <i>Summer</i>	80	110	160	X

Zadanie 2.

Wykorzystano fotoogniwa do zasilania oświetlenia pomieszczeń dla bydła mlecznego. Badania objęły możliwość wspomagania zasilania energią elektryczną powstałą w ogniwach fotowoltaicznych oświetlenia pomieszczeń dla krów mlecznych, jałówek i cieląt. Do każdego ze źródeł podłączono poprzez licznik energii sektory utrzymania krów mlecznych, jałówek i cieląt, wyposażone w oświetlenie o łącznej mocy 4,92 kW w postaci 35 lamp świetlówek zamocowanych identycznie pod sufitem i 8 lamp halogenowych zewnętrznych. Pomiaram poddano ilości pobranej energii i efektywność zasilanych odbiorników. Jako układ kontrolny posłużyło oświetlenie zasilane energią pobraną z sieci elektrycznej.

Zadanie 3.

Wykorzystano fotoogniwa do zasilania urządzeń c.w.u. (bojler) oraz urządzeń technologicznych (dojarka, stacja odpajania). Badania realizowane w tym zadaniu dotyczyły możliwo-

ści zasilania energią elektryczną powstałą w fotoogniwach – bojlerów, stacji odpajania i dojarki w pomieszczeniach bydła mlecznego, jałówek oraz cieląt. Pomiaram poddano ilości wytwarzanej energii oraz pobór energii przez urządzenia. Układ zadań 2 i 3 ilustruje schemat 2.



<https://kb.pl/porady/panele-fotowoltaiczne-cena-opłacalność-opinie-najlepsi-producenti>

Schemat 2. – Diagram 2.

Powtórzenie pora roku <i>Replication season of the year</i>	Rodzaj zasilania – <i>Type of power</i>							
	oświetlenie <i>lighting</i>		bojlery <i>boilers</i>		stacja odpajania <i>milk feeding station</i>		dojarka <i>milking machine</i>	
	sieć <i>power grid</i>	fotowoltaic <i>photovoltaic cell</i>	sieć <i>power grid</i>	fotowoltaic <i>photovoltaic cell</i>	sieć <i>power grid</i>	fotowoltaic <i>photovoltaic cell</i>	sieć <i>power grid</i>	fotowoltaic <i>photovoltaic cell</i>
	Liczba zwierząt (szt.) – <i>No. of animals (head)</i>							
I. Wiosna/jesień <i>Spring/autumn</i>	350	350	160	160	30	30	3	3
II. Zima – <i>Winter</i>	350	350	160	160	30	30	3	3
III. Lato – <i>Summer</i>	350	350	160	160	30	30	3	3

Rodzaj danych i sposób ich zbierania:

- pomiary ilości energii elektrycznej zużytej w zasilanych urządzeniach w kWh – elektronicznymi licznikami energii elektrycznej w sposób ciągły,
- pomiary ilości energii cieplnej zużytej w zasilanych odbiornikach w kWh – elektronicznymi licznikami energii elektrycznej w sposób ciągły,
- zewnętrzne warunki klimatyczne na fermie wraz z nasłonecznieniem – elektronicznymi miernikami DeltaOhm w sposób ciągły; pomiary prędkości i kierunku ruchu powietrza na wysokości 15 m, nasłonecznienie na wysokości dachu budynku (7 m).

Sposób opracowania uzyskanych danych:

Zebrań dane opracowano statystycznie przy pomocy metody analizy wariancji.

Wyniki przeprowadzonych doświadczeń i ich uogólnienie

Zadanie 1. Wykonanie audytu energetycznego fermy oraz przebiegu zewnętrznych warunków nasłonecznienia i przepływu mas powietrza.

Uzyskane w zakresie monitoringu warunków pogodowych dane dla miejsca lokalizacji fermy (tab. 1) nie odbiegają zasadniczo od panujących w rejonie Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (Woś, 1996). Średnie roczne sumy opadów wynoszą tutaj około 600–700 mm.

Powietrze jest stosunkowo suche, a najwięcej dni słonecznych występuje późnym latem i wczesną jesienią. Średnia roczna temperatura wynosi około 7°C, z wyjątkiem południowej części wyżyny, gdzie jest ona o 1°C wyższa. Klimat tego obszaru odznacza się cechami kontynentalizmu, które przejawiają się między innymi rzadkim występowaniem dużych amplitud temperatury. Pokrywy śnieżne zalegają tu średnio przez około 80 dni, ale jest to zróżnicowane w skali regionu. Podobnie jak w całej Polsce, dominujące są wiatry zachodnie (ok. 60%). W okresie zimowym warunki pogodowe najczęściej są kształtowane przez niż islandzki oraz wyż arktyczny. W miesiącach letnich są one z kolei wynikiem oddziaływania wyżu azorskiego z powietrzem podzwrotnikowym i wyżu zwrotnikowego znad Afryki. Mierzone średnie prędkości ruchu powietrza na wysokości 15 m nad powierzchnią terenu były większe od 4 m/s, która to wielkość stanowi granicę dla opłacalności pozyskiwania energii wiatrowej. Zachmurzenie jest elementem meteorologicznym, który w istotny sposób kształtuje warunki dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni ziemi. Roczna suma usłonecznienia – rozumiana jako czas, w którym do powierzchni ziemi dociera promieniowanie bezpośrednie – wynosi 1583 godziny. Natężenie promieniowania słonecznego jest tutaj najmniejsze (144,5 W/m²) w styczniu, a największe (337,4 W/m²) w maju. Najwyższym poziomem opadów atmosferycznych na tym terenie cechuje się lipiec, a najniższym luty (tab. 1).

Tabela 1. Średnie parametry pogodowe na obszarze fermy bydła ZD IZ PIB Rudawa
 Table 1. Mean weather parameters in the area of the ZD IZ PIB Rudawa cattle farm

Parametr/miesiąc Parameter/month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Temperatura (°C) Temperature (°C)	-0,7	0,8	4,9	12,9	15,6	18,9	21,5	17,5	12,9	9,1	3,5	0,2
Wilgotność (%) Humidity (%)	73,56	68,68	62,65	60,15	62,67	63,99	60,69	65,46	71,1	73,7	74,2	74,8
Prędkość wiatru (m/s) (h=15 m) Wind speed (m/s) (h=15 m)	5,5	5,0	5,2	5,0	4,9	4,9	4,8	4,5	4,7	5,1	5,2	5,5
Opad (mm) Precipitation (mm)	37,5	29,7	40,2	46,4	53,6	79,2	82,1	72,3	62,4	43,2	42,1	39,2
Natężenie promie- niowania (W/m ²) Intensity of radia- tion (W/m ²)	144,5	182,5	214,0	287,6	337,4	324,8	310,8	309,4	263,4	206,8	164,2	161,4

Na podstawie uzyskanych wyników należy stwierdzić, że warunki pogodowe dla lokalizacji fermy wskazują na celowość instalacji w tym miejscu urządzeń do pozyskiwania odnawialnych źródeł energii, tak wiatru jak i słońca.

Tabela 2. Rozdysponowanie zużycia energii w fermowym chowie bydła mlecznego
 Table 2. Distribution of energy consumption in dairy cattle farming

Rozdysponowanie – Distribution	Średnie zużycie energii (kWh/stanowisko/rok) Mean energy consumption (kWh/stall/year)
Oświetlenie krowy mleczne – Lighting for dairy cows	38,7
Oświetlenie porodówka – Lighting in calving pen	59,8
Oświetlenie cielętnik-jałownik – Lighting in calf-heifer house	30,2
Bojlery obora – Boilers in barn	50,1
Stacja odpajania – Milk feeding station	25,7
Dojarka – Milking machine	12,6

Tabela 3. Efektywny jednostkowy uzysk energii z fotoogniw
 Table 3. Effective energy efficiency per unit from photovoltaic cells

Parametr/Miesiąc Parameter/Month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Fotoogniwo (kWh/dzień) Photovoltaic cell (kWh/day)	2,19	3,40	6,53	8,38	8,19	8,01	8,28	8,09	6,66	4,90	2,68	1,93

Wyniki przeprowadzonego audytu energetycznego fermy przedstawiono w przeliczeniu na stanowisko/rok w tabeli 2. Taki sposób jest ogólnie przyjęty w literaturze przedmiotu oraz wytycznych projektowych dla ferm (Hörndahl, 2008). Pozwala on na porównanie pod względem nakładów różnych obiektów stosujących odmienne technologie. Największe zużycie energii określono w przypadku oświetlenia pomieszczeń oraz zasilania bojlerów.

Wśród obiektów dominuje tu sektor porodu ze zużyciem 59,8 kWh/stanowisko/rok, a wśród

wykorzystywanych urządzeń technologicznych bojlerów (50,1 kWh/stanowisko/rok). Najmniejszym zużyciem energii w przeliczeniu na stanowisko i rok cechuje się oświetlenie pomieszczeń dla cieląt i jałówek (30,2 kWh/stanowisko/rok), a wśród stosowanych urządzeń – dojarka (12,6 kWh/stanowisko/rok) (tab. 2).

Wysokie zużycie energii na oświetlenie w porodówce wynika z konieczności doglądania zwierząt przez obsługę i bezpośredniego powiązania jakości nadzoru z uzyskiwanymi wynikami produkcyjnymi.

Tabela 4. Bilans energii niezbędnej do zasilania systemu oświetlenia, term, dojarki oraz stacji odpajania obory
Table 4. Balance of energy needed to power the lighting system, water heaters, milking machine and milk feeding station in the barn

Miesiąc <i>Month</i>	Zapotrzebowanie (kWh)/stanowisko <i>Requirement (kWh)/stall</i>	Efektywny uzysk energii <i>Effective energy efficiency</i>	Pokrycie <i>Energy Covered</i>	Maks. liczba zasilanych stanowisk <i>Max. number of powered stalls</i>
		Fotoogniwo <i>Photovoltaic cell</i> (kWh)	Fotoogniwo <i>Photovoltaic cell</i> (%)	Fotoogniwo (szt.) <i>Photovoltaic cell (no.)</i>
I	21,1	67,89	321,8	3
II	20,8	95,20	457,7	5
III	19,2	202,43	1054,3	11
IV	17,7	251,14	1418,9	14
V	16,6	253,89	1529,5	15
VI	14,5	240,3	1657,2	17
VII	15,1	256,68	1699,9	17
VIII	15,5	250,79	1618,0	16
IX	16,8	199,80	1189,3	12
X	18,1	151,90	839,2	8
XI	20,4	80,40	394,1	4
XII	21,3	59,83	280,9	3
Średnio <i>Mean</i>	18,09	175,9	1038,4	10

Uzyskane wyniki wskazują na wysokie zużycie energii w fermowym chowie bydła mlecznego. Jest to jednak chów mniej energochłonny niż chów świń i niosek (Bazen i Brown, 2009). Obie te działalności zgodnie z założeniami BAT

muszą stosować specjalne techniki chroniące środowisko naturalne. Jednocześnie widać wyraźnie, że intensywny chów powinien być zainteresowany obniżaniem kosztów zakupu energii oraz stosowaniem alternatywnych jej źródeł.

Zadanie 2 i 3. Wykorzystanie fotoogniw do zasilania oświetlenia pomieszczeń oraz do zasilania urządzeń do przygotowania c.w.u. (bojlerzy) oraz urządzeń technologicznych (dojarka, stacja odpajania).

Zapotrzebowanie energii na oświetlenie pomieszczeń należy do największych pod względem wielkości pozycji wykonanego audytu energetycznego fermy, co potwierdzają także doświadczenia prowadzone na fermach we Włoszech (Ghisellini, 2014; Hold i in., 2016; Murgia i in., 2008), ale nie jest ono znacznie większe od urządzeń technologicznych. Bilans energii niezbędnej do zasilania obu tych systemów wykazuje, że energia pozyskana z fotoogniw mogłaby zasilić średnio maksymalnie 10 takich instalacji (tab. 4). Dla fotoogniw średnie pokrycie wynosi 1038,4% i w okresie od stycznia do grudnia waha się od 321,8 do 280,9%. To właśnie w tych miesiącach nasłonecznienie jest najniższe, przy jednoczesnym wydłużonym czasie używania oświetlenia w budynku.

Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników należy stwierdzić, że możliwość zastosowania odnawialnych źródeł energii w chowie bydła mlecznego jest realną alternatywą dla dotychczasowej praktyki. Po uwzględnieniu całkowitych kosztów zainstalowanej jednostki mocy należy podkreślić ekonomiczną opłacalność takich inwestycji. Ceny systemów fotowoltaicznych wynoszą od 4,4 tys. zł/kW netto za farmę fotowoltaiczną o mocy 1000 kW do 7,5 tys. zł/kW za domową instalację o mocy rzędu 1 kW. Według ankietowanych producentów i dystrybutorów, fotowoltaika będzie rozwijała się najszybciej w sektorze prosumentów biznesowych (moce rzędu do 200 kW), czyli w sektorze przedsiębiorstw (Raport IEO, 2017). Dane IEO wskazują że jest to drugi po osobach fizycznych sektor, w którym fotowoltaika rozwija się najprężniej. Całkowite koszty instalacji OZE są niestety wyższe od deklarowanych przez sprzedawców.

Stosunkowo wysoki koszt np. generatora

wiatrowego, przy jego najwyższej efektywności zastosowania wiąże się z zakupem atestowanego masztu oraz wykonaniem drogiego fundamentowania. Koszt ten szybko spada wraz ze wzrostem mocy generatora, ale ta jest uzależniona od potencjalnej wietrzności na danym terenie (Clarke, 2003).

O ile dla kolektorów solarnych dalszy rozwój technologii nie wniesie już zdecydowanego przełomu (Abu-Zour, 2006), to w przypadku fotoogniw należy liczyć w najbliższym czasie na skokową poprawę sprawności tych urządzeń (Esen, 2004). Jest to związane z zastąpieniem drogiego krzemu – farbami półprzewodnikowymi. Wdrożenie tych rozwiązań obniży koszty instalacji o kilkadziesiąt procent. Zmiany te powinny przynieść również rewizję krajowego programu w zakresie energetyki solarnej. Tym bardziej, że w niedługiej perspektywie rolnictwo przejmie również funkcje przeciwdziałania zmianom klimatu (Bos i in., 2003; Janzen i in., 2005). Takie podejście zgodne jest z założeniami krajowej polityki energetycznej, w tym dywersyfikacją źródeł energii. W końcu, dla samych hodowców istotna wydaje się możliwość ograniczenia kosztów produkcji wołowiny właśnie poprzez ograniczenie nakładów energetycznych (Hörndahl, 2008).

Na podstawie uzyskanych wyników badań można sformułować następujące uogólnienia:

1. Największe nadzieje należy wiązać w przyszłości z zastosowaniem fotoogniw. Już na obecnym etapie mogą one jednak efektywnie wspomagać konwencjonalne źródła energii, nawet w zakresie kilkudziesięciu procent zapotrzebowania mocy czynnej urządzeń;
2. Zastosowanie alternatywnych źródeł energii w chowie bydła mlecznego może wpłynąć na wielkość szacowanych emisji gazów cieplarnianych z całego kraju, liczonych w ramach IPCC. Dodatkowo, obniżeniu mogą ulec koszty chowu bydła mlecznego. Popularyzacja zagadnienia może wpłynąć na wzrost znaczenia OZE w krajowej dywersyfikacji źródeł energii.

Literatura

- Abu-Zour A.M. (2006). New design of solar collector integrated into solar louvers for efficient heat transfer. *Appl. Ther. Eng.*, 26: 1876–1882.
- Bazen E.F., Brown M.A. (2009). Feasibility of solar technology (photovoltaic) adoption: A case study on Tennessee's poultry industry. *Ren. Eng.*, 34: 748–754.
- Bos B., Groot Koerkamp P.W.G., Groenestein K. (2003). A novel design approach for livestock housing based on recursive control with examples to reduce environmental pollution. *Livest. Prod. Sci.*, 84: 157–170.
- Clarke S. (2003). Electricity generation using small wind turbines at your home or farm. *Ca. Min. Agric.*
- Chel A., Kaushik G. (2011). Renewable energy for sustainable agriculture. *Agron. Sustain. Dev.*, 31: 91–118.
- Esen M. (2004). Thermal performance of a solar cooker integrated vacuum-tube collector with heat pipes containing different refrigerants. *Solar Energy*, 76: 751–757.
- Ghisellini P., Protano G., Viglia S., Gaworski M., Setti M., Ulgiati S. (2014). Integrated agricultural and dairy production within a circular economy framework. A comparison of Italian and Polish farming systems. *J. Env. Acc. Manag.*, 2 (4): 372–391.
- Hold M., Graff A., Stumpfenhausen J., Bernhardt A. (2016). Integrated dairy farming – basic requirements for a useful energy distribution in a dairy barn. CIGR-AgEng conference. 26–29.06.2016, Aarhus, Denmark.
- Hörndahl T. (2008). Energy use in farm buildings – A study of 16 farms with different enterprises revised and translated second edition SLU Report, Alnarp.
- Janzen H.H., Angers D.A., Boehm M., Bolinder M., Desjardins R. L., Dyer J.A., Ellert B.H., Gibb D.J., Gregorich E.G., Helgason B.L., Lemke R., Massé D., McGinn S.M., McAllister T.A., Newlands N., Pattey E., Rochette P., Smith W., VandenBygaart A.J., Wang H. (2005). A proposed approach to estimate and reduce net greenhouse gas emissions from whole farms. *Can. J. Soil Sci.*, 86 (3): 401–418.
- Kolano J., Stelmach K. (2017). Analysis of the possibility of using solar energy to power selected measuring drives in agriculture. *J. Ecol. Eng.*, 18 (1): 81–89.
- Latała H. (2010). Wpływ zewnętrznych warunków klimatycznych na efektywność pracy próżniowego kolektora słonecznego. *Inż. Rol.*, 1 (119): 297–305.
- Murgia L., Caria M., Pazzona A. (2008). Energy use and management in dairy farms. *Int. Conf.: Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems*, 15–17.09.2008, Ragusa, Italy.
- Raport IEO (2017). Rynek fotowoltaiki w Polsce. Instytut Energii Odnawialnej, Warszawa.
- Rogulska M., Oniszk-Popławska A., Pisarek M., Wiśniewski G. (2003). State of the art of bioenergy in Poland – barriers and opportunities. *ECBREC*, Warszawa.
- Weiske A., Vabitsch A., Olesen J.E., Schelde K., Michel J., Friedrich R., Kaltschmitt M. (2006). Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. *Agric., Ecos. Environ.*, 112: 221–232.
- Woś A. (1996). Struktura sezonowa klimatu Polski, Bogucki – Wyd. Nauk., Poznań, 146 ss.
- Pakiet statystyczny Statistica 12 PL (Statsoft Inc.), licencja IZ PIB.

PHOTOVOLTAIC CELLS AS AN ALTERNATIVE TO CONVENTIONAL ENERGY IN DAIRY CATTLE FARMING

Summary

The scientific objective of this study was to determine possible sites of energy recovery and alternative energy sources as well as their efficiency in dairy cattle farming. To achieve the set goal, an energy audit of a dairy farm was performed and the use of photovoltaic cells to power the lighting of facilities, boilers, milk feeding stations and a milking machine was determined. During the study, measurements were made of electricity consumption and production, power output of the devices, their quality parameters, and outdoor microclimate. The work was conducted on a farm of 350 dairy cows, heifers and calves kept in a loose-housing system. The experiment used 2.2 kW photovoltaic cells. The above energy sources were used to power the following receivers: lighting of facilities for dairy cows, heifers and calves, as well as boilers, milk feeding stations and a milking machine.

It was concluded from the results that the use of photovoltaic cells at the present stage may effectively contribute to conventional energy sources on a dairy farm.

Key words: ogniwa fotowoltaiczne, bydło mleczne, emisja GHG