

doi:10.15199/48.2025.01.34

Koncepcja autonomicznego systemu utrzymania klimatu w budynkach inwentarskich

Streszczenie. W pracy przedstawiono koncepcję systemu mającego na celu utrzymanie właściwego klimatu w budynkach inwentarskich, wykorzystując do tego energię promieniowania słonecznego. Układ wymuszający ruch powietrza składa się z wentylatora, napędzanego silnikiem DC i modułu fotowoltaicznego sterowanego układem analogowym, co zapewni bezawaryjność działania układu i przyczyni się do obniżenia kosztów ponoszonych na zakup energii elektrycznej.

Abstract. This paper presents the concept of a system aimed at maintaining a proper climate in livestock buildings, using the energy of solar radiation. The system forcing the air movement consists of a DC fan and a photovoltaic module controlled by an analogue system, which ensures failure-free operation of the system and contributes to reduction of the costs incurred for the purchase of electricity (**The concept of an autonomous climate maintenance system in livestock buildings**)

Słowa kluczowe: dobrostan zwierząt, stres cieplny u bydła mlecznego, mieszacze powietrza, silnik BLDC zasilany z fotowoltaiki
Keywords: animal welfare, heat stress in dairy cattle, air mixers, photovoltaic powered BLDC motor

Wprowadzenie

W gospodarstwach rolnych o profilu produkcji zwierzęcej, a w szczególności produkcji mleka istotnym problemem jest utrzymanie dobrostanu zwierząt, a zwłaszcza odpowiednich warunków klimatycznych. Warunki te są trudne do utrzymania w okresie wiosenno-letnim przy wysokich wartościach i długotrwałym napromieniowaniu słonecznym. Mikroklimat obory kształtowany jest przez wiele czynników. Najważniejszymi są parametry powietrza: temperatura, wilgotność względna, prędkość przepływu oraz zanieczyszczenia chemiczne i bakteriologiczne [1,2]. Wraz ze zmieniającymi się podczas poszczególnych pór roku warunkami atmosferycznymi, w oborze wolonostanowskiej silnym wahaniom podlega temperatura powietrza. Temperatura wraz z wilgotnością względną powietrza tworzą różne kombinacje, z których bardzo istotne dla zdrowia krów są m.in. niska wilgotność względna i wysoka temperatura [1-4] a także wysoka wilgotność względna i wysoka temperatura [5]. Występowanie wysokich temperatur i wysokich wilgotności względnych powietrza uniemożliwia odprowadzenie z organizmu krowy nadmiaru ciepła. Doprowadza to do jego kumulacji w organizmach zwierząt i wzrostu ich temperatury ciała, co w efekcie zaburza termoregulację. W wyniku problemów z termoregulacją może dojść do wystąpienia zjawiska stresu cieplnego [1]. Na wystąpienie stresu cieplnego u bydła bezpośredni wpływ mają temperatura i wilgotność, prędkość ruchu powietrza, oraz natężenie promieniowania słonecznego [5]. Wpływ natężenia promieniowania słonecznego i ruchu powietrza został określony we wzorze na LWSI – the Livestock Weather Safety Index. Wykorzystywany był do prognozowania i łagodzenia ciężkich warunków środowiskowych w gospodarstwach prowadzących hodowlę bydła [6]. W odniesieniu do LWSI został opracowany wskaźnik stresu cieplnego THI_{adj} , gdzie prędkość ruchu powietrza jest funkcją natężenia promieniowania słonecznego [7]. Pierwsze objawy stresu cieplnego u bydła to: ospałość, nadmierna potliwość i wydzielanie śliny oraz szybszy oddech, które mogą wystąpić już przy temperaturze niewiele większej od 20°C [8]. Krowy, aby zmniejszyć produkcję ciepła, ograniczają lub całkowicie zaprzestają pobierania paszy, obniża się intensywność pracy żwacza, co wpływa na spadek produktywności mlecznej [9]. Reakcja organizmu krów na stres cieplny przejawia się również w zdrowotności i zdolnościach reprodukcyjnych. W skrajnych warunkach stres cieplny może doprowadzić do śmierci

zwierząt. Skutki stresu cieplnego odczuwają nie tylko zwierzęta, ale również właściciele gospodarstw. Straty finansowe, jakie ponoszą z racji pokrywania kosztów leczenia i mniejszych zysków ze sprzedaży mleka, odniesione do skali całych rejonów dają olbrzymie sumy [8,9]. Ruch powietrza w oborach jest bardzo istotny ze względu na konwekcyjne chłodzenie bydła [10], a w połączeniu z natężeniem promieniowania słonecznego ma bardzo duży wpływ na regulację równowagi termicznej krów [6,7,11]. W celu zapobieżenia skutkom stresu cieplnego stosowane są różne rozwiązania, poprawiające warunki cieplno-wilgotnościowe w oborze. Zalicza się do nich zraszacze niskociśnieniowe, wentylację mechaniczną oraz zacienienia [5]. W Polsce najczęstszym oraz najbardziej efektywnym rozwiązaniem obniżającym temperaturę odczuwalną krów jest stosowanie wentylacji mechanicznej, która w oborach i poczekalniach ma postać mieszaczy powietrza [5,8]. W warunkach wysokich temperatur krotność wymiany powietrza w oborze powinna zagwarantować wilgotność względną powietrza mniejszą niż 80% [10]. Obecnym rozwiązaniem tego problemu są oborowe mieszacze powietrza, w których jest zastosowany wentylator osiowy, osadzony bezpośrednio na wale silnika, lub też napędzany pośrednio poprzez przekładnię. W tych konstrukcjach element napędowy stanowi silnik asynchroniczny zasilany z sieci napięcia przemiennego, natomiast układ sterowania może być manualny lub automatyczny o różnym stopniu złożoności, przy czym w najbardziej rozbudowanych konstrukcjach jest zastosowany falownik zapewniający zmienną wydajność wentylatora w funkcji temperatury, lub temperatury i wilgotności powietrza. Systemy mieszania powietrza o dużej złożoności są najczęściej z góry zaprogramowane zgodnie z przyjętym algorytmem, a ich ponowne przestawienie wymaga serwisu. Ponadto takie systemy są dość drogie tak w montażu jak i eksploatacji i wymagają ciągłego zasilania lub układów podtrzymania zasilania, aby zapewnić pełne bezpieczeństwo ich pracy [12]. Opisane rozwiązanie jest szeroko oferowane przez firmy: Arntjen, DeLaval, Draabe, Big Dutchman, Blattin, Fullwood, WestFalia i inne. Dostępne rozwiązania niezależnie od stopnia złożoności cechuje konieczność zasilania energią z sieci, niezależnie od wybranego rozwiązania, co w przypadku obszarów wiejskich wymusza zastosowanie dodatkowego awaryjnego źródła zasilania w przypadku przerw w dostawie energii.

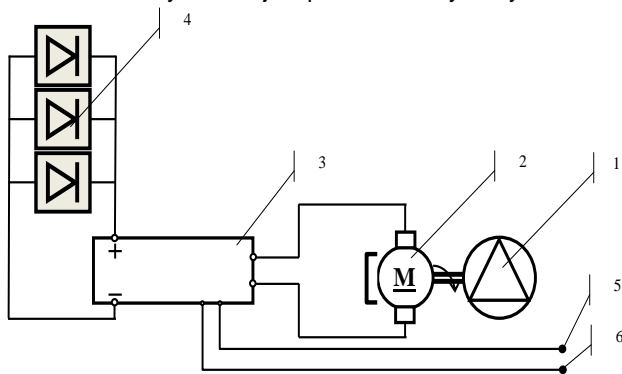
Cel pracy

Celem pracy było opracowanie innowacyjnego rozwiązania z zakresu utrzymania właściwego klimatu w budynkach inwentarskich wykorzystując do tego energię promieniowania słonecznego. Zgodnie z koncepcją system wymuszający ruch powietrza składa się z wentylatora napędzanego silnikiem DC i modułu fotowoltaicznego sterowanego układem analogowym, co ma zapewnić bezawaryjność działania zespołu i przyczynić się do obniżenia kosztów ponoszonych na zakup energii elektrycznej.

Koncepcja układu

Zgodnie z przyjętym celem pracy zespół wymuszający ruch powietrza (oborowy mieszacz powietrza) składa się z klasycznego wentylatora, ale zasilanego silnikiem BLDC (napięcia stałego). Silnik ten jest zasilany bezpośrednio z modułu fotowoltaicznego poprzez prosty analogowy układ sterowania z możliwością zadawania temperatury i wilgotności, przy czym zadawane parametry temperatury czy wilgotności stanowią tylko wartości graniczne pozwalające na bezpośrednie połączenie silnika BLDC z baterią modułów fotowoltaicznych. Natomiast wydajność mieszacza powietrza jest sterowana bezpośrednio ilością energii generowanej przez moduł fotowoltaiczny. Efekt ten zapewnia zależność wprost proporcjonalną pomiędzy wydajnością mieszacza, a natężeniem promieniowania słonecznego (zgodnie z założeniami przedstawionymi przez Madera i in. w pracy [7]), w całym zakresie natężenia promieniowania słonecznego, które z kolei można względnie regulować przez pochylenie baterii modułów fotowoltaicznych. Takie rozwiązanie jest zbieżne z obecnymi zaleceniami dotyczącymi dobrostanu zwierząt [5], gdzie dobrostan jest również zmienną natężenia promieniowania słonecznego [6]. Na podstawie badań własnych moc modułów fotowoltaicznych określana w pikie powinna być większa od 30% do 40% od mocy znamionowej silnika napędzającego wentylator. Zapewni to rozruch mieszacza już przy natężeniu promieniowania słonecznego 130 W/m².

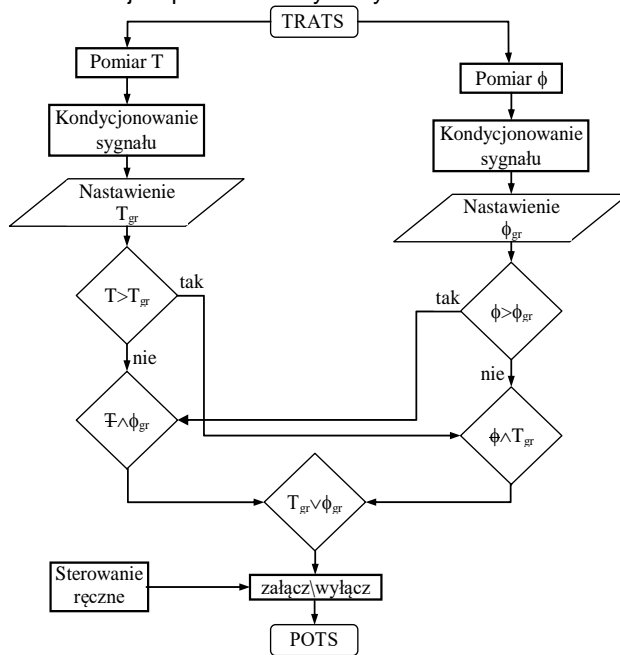
Istotną cechą proponowanego systemu jest jego niezależność od sieci elektrycznej, a w szczególności od możliwych przerw w zasilaniu energią elektryczną co zapewnia mu pełną autonomię pracy i bezawaryjność. Schemat ideowy układu jest przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat blokowy oborowego mieszacza powietrza, 1-wentylator osiowy, 2-silnik BLDC napięcia stałego, 3-sterownik, 4-bateria fotowoltaiczna, 5-rezystancyjny czujnik temperatury, 6-czujnik wilgotności

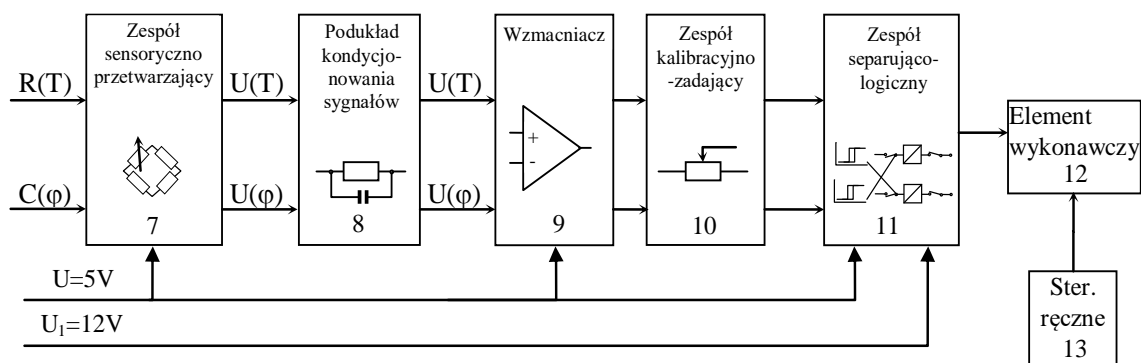
Zgodnie z przedstawionym schematem (rys. 1) wentylator (1) jest napędzany silnikiem napięcia stałego BLDC (2). Natomiast silnik (2) jest zasilany pośrednio przez sterownik analogowy (3) z baterii modułów fotowoltaicznych, przy czym sterownik kontroluje tylko graniczne przekroczenia wartości temperatury i wilgotności powietrza

w oborze. Każde przekroczenie niezależnie od parametru temperatury czy wilgotności, sterownik łączy bezpośrednio silnik BLDC (2) z baterią modułów fotowoltaicznych (4), która jest generatorem energii elektrycznej napięcia stałego. Po zamknięciu obwodu baterii modułów fotowoltaicznych z silnikiem BLDC, sterowanie wydajnością wentylatora jest proporcjonalnie do natężenia promieniowania słonecznego, aż do osiągnięcia mocy znamionowej silnika BLDC co następuje przy gęstości strumienia energii słonecznej powyżej 700 W/m². Sterownik analogowy (3) jest elementem pozwalającym na zadanie wartości granicznych temperatury i wilgotności przy których będzie się załączał wentylator mieszacza, oraz pozwala na kalibrację czujników temperatury i wilgotności. Zadawane wartości temperatury jak i wilgotności wynikają z konfiguracji biernych elementów elektroniki podstawowej i ich ustawień. Algorytm działania sterownika jest przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Algorytm działania sterownika klimatu w oborowym mieszaczu powietrza

Z przedstawionego algorytmu wynika, iż każdy z parametrów - w tym przypadku temperatura i wilgotność jest monitorowany w sposób ciągły. Sygnały informujące o temperaturze czy wilgotności są przetworzone do napięcia w zakresie 0÷5V. W przypadku wystąpienia wysokiego poziomu jednego z sygnałów następuje załączenie oborowego mieszacza powietrza, przy jednoczesnym otwarciu obwodu sygnału drugiego. Ponadto układ mieszacza zawsze można załączyć ręcznie. Stosownie do przedstawionego algorytmu sterowania mieszacza powietrza opracowano układ wykonawczy, dzieląc go na poszczególne zespoły funkcjonalne (rys. 3). Analogowy układ sterowania zawiera półprzewodnikowy sensor temperatury (5) i wilgotności (6) (rys 1). Sensory te są zasilane ze wspólnego źródła (4) - baterii fotowoltaicznej poprzez układ stabilizacji napięcia 5V. Sygnały z czujników temperatury R(T) i wilgotności C(phi) są przetwarzane przez zespół mostków (7) (rys. 3) odpowiednio na sygnały napięciowe temperatury U(T) i wilgotności U(phi), które następnie podlegają procesowi filtracji w zespole kondycjonowania tych sygnałów (8). Tak przygotowana informacja o temperaturze i wilgotności, w postaci napięciowych sygnałów o wartości kilku miliwolt jest wzmacniana przez podukład analogowych wzmacniaczy



Rys. 3. Schemat ideowy sterownika 3

niskoszumowych (9), do wartości $2\pm 4V$. Wykorzystując referencyjny punkt odniesienia na wzmacniaczach wprowadzono zespół dwóch potencjometrów (10), spełniających jednocześnie funkcję kalibracji i zadawania wartości granicznych, przy których będzie włączany wentylator. Przy czym zadawanie tych wartości granicznych odbywało się będzie w oparciu o inne urządzenia mierzące wilgotność i temperaturę w danym punkcie. W przypadku wymagań co do dokładności zadawania wartości granicznych należy wprowadzić potencjometry wieloobrotowe o dużej czułości. W ten sposób przygotowane sygnały są wprowadzone do zespołu separująco-logicznego (11). Zasadniczym elementem tego zespołu jest transoptor logiczny, który spełnia funkcję separatora elektrycznego, elementu wprowadzającego pętlę histerezy, jest on również przetwornikiem sygnałów napięciowych $U(T)$, $U(\varphi)$ na sygnały logiczne $\{0,1\}$. Następnym elementem zespołu separująco-logicznego (11), jest mikroprzełącznik, który załączając styki zwierne linii sygnału $U(T)$, o poziomie wysokim $\{1\}$ daje przejście z napięcia 5V sterującego na napięcie 12 V załączające stycznik główny, przy jednoczesnym rozłączeniu obwodu sygnału $U(\varphi)$, który ma niski poziom $\{0\}$. Analogiczny stan zachodzi na drugim mikroprzełączniku w linii sygnału $U(\varphi)$, gdy wystąpi stan wysoki $\{1\}$ tego sygnału. W ten sposób z zespołu separująco-logicznego (11) zostaje wyprowadzony jeden sygnał 12V, który uruchamia element wykonawczy (12) (stycznik główny). Ponadto element wykonawczy może zostać włączony ręcznie (13) co wyklucza układ sterowania temperaturą lub wilgotnością do momentu wyłączenia sterowania ręcznego. Takie wykonanie układu pozwala na zapisanie parametrów sterowania, w tym przypadku temperatury i wilgotności w podstawowych elementach i ich poziomach nastaw (potencjometrach), co uniezależnia cały mieszacz powietrza do źródła zasilania – baterii modułów fotowoltaicznych, która w okresie braku promieniowania nie zapewnia nawet energii dla podtrzymania układu sterowania.

Podsumowanie

Opracowana konstrukcja autonomicznego mieszacza oborowego została zestawiona w wersji laboratoryjnej celem określenia krytycznych parametrów zespołu wykonawczego (wentylatora z silnikiem BLDZ i modułu fotowoltaicznego) przedmiotowej konstrukcji. Do badań wybrano wentylator osiowy o średnicy 170 mm i mocy 36W przy napięciu nominalnym 24V, oraz panel fotowoltaiczny o powierzchni $0,353m^2$, mocy znamionowej 50W i napięciu obwodu otwartego 22,03 V. Na podstawie zestawionego układu w wersji laboratoryjnej można sformułować następujące wnioski:

1. Uruchomienie wentylatora następowało przy promieniowaniu powyżej $50 W/m^2$, a praca stabilna powyżej $100W/m^2$;

2. Maksymalną moc 31 W wentylator uzyskał przy promieniowaniu $700 W/m^2$;

3. Układ w zakresie wyższego promieniowania utrzymywał bezpieczne parametry (napięcia i prądu) co samoczynnie było regulowane przez charakterystykę pracy panelu PV. Kolejnym etapem badań będzie wykonanie pełnowymiarowego mieszacza powietrza i zainstalowanie go w oborze celem sprawdzenia jego przydatności w warunkach rzeczywistych.

Autorzy: dr hab. inż. Jarosław Knaga, prof. URK Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Inżynierii Bioprocusów, Energetyki i Automatykacji, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: j.knaga@urk.edu.pl; dr inż. Tomasz Szul, prof. URK Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Inżynierii Bioprocusów, Energetyki i Automatykacji, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: t.szul@urk.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Romaniuk W., Overby T. Systems of maintenance of cattle. Reference book. Praca zbiorowa (2005), Duńskie Służby Doradztwa Rolniczego, Warszawa.
- [2] Armstrong D.V. Heat stress interaction with shade and cooling. J. Dairy Sci. (1994), 77: 2044–2050
- [3] West J.W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. J Dairy Sci. (2003), 86: 2131–2144
- [4] Brouček J., Novák P., Vokřálová J., Šoch M., Kišac P., Uhrinčať M. Effect of high temperature on milk production of cows from free-stall housing with natural ventilation. Slovak J. Anim. Sci. (2009), 42 (4): 167–173
- [5] Angrecka S., Herbut P. Prognozowanie możliwości wystąpienia stresu cieplnego u bydła mlecznego. Wiadomości Zootechniczne (2012), 4, 99–105
- [6] Davis S., Mader T. Adjustments for wind speed and solar radiation to the temperature-humidity index. Nebraska Beef Cattle Rep. (2013), 224, 48–51
- [7] Mader T.L., Davis M.S., Brown-Brandl T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. J. Dairy Sci. (2016), 84, 712–719
- [8] Herbut P., Angrecka S. Forming of temperature-humidity index (THI) and milk production of cows in the free-stall barn during the period of summer heat. Anim. Sci. Pap. Rep. (2012), 30, 4, 363–372
- [9] Gantner V., Mijić P., Kuterovac K., Solić D., Gantner R. Temperature-humidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle. Mljekarstvo, (2011) 61 (1), 56–63
- [10] Mitloehner F.J., Swearingen J., Jacobson L., Gooch C.A., Ndegwa P. Husbandry, Housing, and Biosecurity. In: Guide for the care and use of agricultural animals in agricultural research and teaching. Feder. Anim. Sci. Soc. (2009), 14, 16–29
- [11] Eigenberg R.A., Brown-Brandl T.M., Nienaber J.A. Development of a livestock weather safety monitor for feedlot cattle. Appl. Engin. Agricult. (2007), 23 (5), 657–660
- [12] Lis S., Szul T., Krilek J., Melicherčík J., Kuvik T. Assessment of the economic effectiveness of the use of energy storage in a photovoltaic installation operating under the Prosumpt program. Przegląd Elektrotechniczny (2022), 98 (1), 92–95