

MARIAN LIPIŃSKI, ANDRZEJ PRZYBYŁAK

Instytut Inżynierii Biosystemów  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

## ANALIZA AKTUALNYCH MOŻLIWOŚCI TECHNOLOGICZNYCH SYSTEMÓW AUTOMATYCZNEGO MONITORINGU KRÓW

A STUDY OF CURRENT TECHNOLOGICAL CAPABILITIES  
OF SYSTEMS FOR AUTOMATIC COWS' MONITORING

**Streszczenie.** W oborach mlecznych automatycznie mierzy się różne parametry. Umożliwia to prowadzenie precyzyjnej produkcji mleka. Postęp wymaga nowych czujników – biosensorów. Stopień ich złożoności jest bardzo zróżnicowany: od plastrów termochromowych do skomplikowanych urządzeń termowizyjnych lub spektrometrycznych. Celem pracy było dokonanie analizy dostępnych źródeł zawierających informacje o cechach istniejących obecnie na rynku technologii automatycznego monitoringu krów. Miało to służyć zidentyfikowaniu najważniejszych producentów tych urządzeń na świecie oraz rozpoznaniu możliwości wykorzystania nowych technologii monitorujących różne cechy. Źródłami informacji o technologiach automatycznego monitoringu krów były: Internet, materiały informacyjne i reklamowe producentów oraz dane uzyskane na wystawie EuroTier 2014 w Hanowerze. Z analiz wynika, że głównym światowym dostawcą technologii automatycznego monitoringu krów są obecnie Stany Zjednoczone Ameryki Północnej. Biosensory instaluje się najczęściej zewnątrz, na szyjach krów (26%). Około 37% automatycznie monitorowanych cech to aktywność motoryczna zwierząt. Ponad połowa zbieranych informacji jest wykorzystywana w detekcji rui, a 20% systemów monitoringu służy do ostrzegania o mastitis.

**Słowa kluczowe:** technologie automatycznego monitoringu krów mlecznych, biosensor, precyzyjna produkcja mleka

### Wstęp

Rozwój rolnictwa precyzyjnego zaczął się w latach osiemdziesiątych XX wieku, co wyniknęło z rozpoczęcia wdrażania technologii informacyjnych i systemu GPS (Jago

i in., 2013; Bewley, 2013). Jeszcze wcześniej, bo na początku lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku, rozpoczęto prace nad automatyczną identyfikacją krów, która dała podwaliny komputerowym systemom zarządzania stadami. Powstał system RFID (ang. *Radio Frequency Identification*), który ma dziś powszechne zastosowanie, choć nie jest jedyny. Konkurencyjnym rozwiązaniem jest system izraelskiej firmy Afikim, wykorzystujący podczerwień (Uzmay i in., 2010).

Hogeveen i Steeneveld (2013) początków precyzyjnej produkcji mleka dopatrują się również w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku, a zaczątki automatycznej identyfikacji krów i detekcji mastitis lokują w następnym dziesięcioleciu. Rozwój technologii precyzyjnej produkcji mleka opisał też Maltz (2010). Według tego autora jako pierwsi na świecie zbudowali w 1979 roku przechodnią wagę do wielokrotnego, codziennego ważenia krów poruszających się w oborze. W 1992 roku w USA do testowania zapaleń wymion zastosowano pomiary elektroprzewodności mleka i procentowej zawartości w nim laktozy. W 2005 roku rozpoczęto w Izraelu produkcję skutecznych systemów identyfikujących ruję. Nieco później tamże zaistniał na rynku analizator podstawowych składników mleka, mierzący je w trakcie jego wypływu z wymienia. Wtedy też Chagunda i in. (2005) z Danii przedstawili model nowej, biologicznej detekcji mastitis opartej na poziomie enzymu – dehydrogenazy mleczanowej (LDH) w mleku. Obecnie automatycznie są mierzone różne parametry. Archiwizowane są też liczne informacje o krowach. W literaturze pojawiło się nowe pojęcie: biosensor (Bewley i in., 2008).

Bewley (2013) z amerykańskiego Uniwersytetu w Kentucky przedstawił najważniejsze, testowane już parametry. Są to: lokalizacja przestrzenna krów, ich aktywność mobilna, problemy w przemieszczaniu się zwierząt, relacje zachowań: leżenie, poruszanie się, zachowania żywieniowe, ruchy zuchwy i przeżuwanie, masa ciała, detekcja i ocena infekcji związanych z mastitis, obecność krwi w mleku, określanie poziomów składników mleka: tłuszczu, białka, laktozy, mocznika, zmiany poziomu LDH, pomiary liczby komórek somatycznych, elektroprzewodności mleka, jego ilości, natężenia wypływu i czasy oddawania mleka przez ćwiartki, pH żwacza, moment rui, poziom hormonu płciowego progesteronu, temperatura mleka lub ciała (w uchu, żwaczku, pochwie) oraz ocena podeśnięcia w aparatach udojowych. Coffeen (2013) uwypuklił szczególnie duże znaczenie monitoringu związanego ze zdrowiem krów: problemami z ruję, mastitis, chorobami metabolicznymi i kulawiznami.

Mierzonych parametrów ciągle przybywa i z pozytywnym skutkiem można je wykorzystywać w nowoczesnym gospodarstwie prowadzącym precyzyjną, czyli wysoce efektywną produkcję mleka. Kluczowym problemem skutecznego monitoringu krów, jak podaje Clark (2014), są niezawodne czujniki. Pomiary monitorujące mogą być obecnie realizowane z wykorzystaniem licznych i zróżnicowanych technologii.

Postęp w zakresie precyzyjnej produkcji mleka wymusił pokonanie bariery szybkiej interpretacji wyników pomiarów cech mierzonych in-line. Wielka ich liczba wymagała transformacji w postać uogólnioną, łatwą do zrozumienia przez producenta mleka. Niezbędne stało się opracowanie odpowiednich algorytmów i zastosowanie szybkich komputerów. Algorytm tworzy się z wykorzystaniem metod eksploracji danych (ang. *data mining*), takich jak drzewa decyzyjne, średnie kroczące, sieci neuronowe, wielowymiarowe modele regresji i logika rozmyta (Hogeveen i in., 2010).

Na świecie dostępna jest bardzo bogata literatura poświęcona badaniom związanym z technologiami monitoringu krów i precyzyjną produkcją mleka. Jej podsumowania

pod kątem szczegółowej tematyki badawczej dokonali Rutten i in. (2013). Korzystając z bazy Thomson Reuters Web of Science, zanalizowali oni treści zawarte w 126 publikacjach. Okazało się, że 33% opracowań było poświęconych problemom monitoringu płodności, 30% – lokomocji krów, 25% – detekcji mastitis, a 16% dotyczyło metabolizmu. W Polsce zainteresowanie badawcze zagadnieniami precyzyjnej produkcji mleka i biosensorami jest dość ograniczone. Pewne osiągnięcia ma Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (Hoft i Lipiński, 2015; Jędrus i Lipiński, 2010). Impulsem do zajęcia się u nas nowoczesnymi technologiami monitoringu oborowego było amerykańskie opracowanie znalezione przypadkowo na stronach internetowych (<http://www.afsdairy.ca.uky.edu/files/extension...> – materiały opracowane na Uniwersytecie w Kentucky, arkusz kalkulacyjny Microsoft Excel). Wiedza tam zawarta została gruntownie zweryfikowana, uaktualniona, a pomyłki usunięte.

Celem pracy było dokonanie analizy źródeł zawierających informacje o cechach dostępnych obecnie technologii automatycznego monitoringu krów. Miało to służyć zidentyfikowaniu najważniejszych producentów tych urządzeń na świecie oraz rozpoznaniu głównych możliwości wykorzystania nowych technologii monitorujących krowy, ważnych w precyzyjnej produkcji mleka.

## Material i metody

Źródłami informacji o dostępnych na światowym rynku technologiach automatycznego monitoringu krów, będących atrybutami precyzyjnej produkcji mleka, były: Internet, materiały informacyjne i reklamowe producentów oraz dane uzyskane osobiście na wystawie EuroTier 2014 w Hanowerze.

Skupiono się na analizowaniu danych technicznych i technologicznych w aspektach: rozmieszczenia wytwórców systemów monitoringu na świecie i ich potencjału produkcyjnego, miejsc sadwienia biosensorów względem ciał krów i możliwych mierzonych parametrów oraz rozpoznania systemów z biosensorami, pozwalającymi generować sygnały mające dla rolnika znaczenie strategiczne (ruja, mastitis i problemy lokomocyjne zwierząt). W określaniu miejsc umieszczania biosensorów kierowano się nazewnictwem okolic topograficzno-anatomicznych krów: ucho, szyja, kończyna – bez rozdzielania na piersiową lub miedniczą, grzbiet (przy nasadzie ogona), żwacz, pochwa, lub umiejscowieniem w urządzeniach udojowych: aparat udojowy, rurociąg mleczny, dojarnia itp. Lokalizacje występujące incydentalnie pominięto w dalszych dywagacjach.

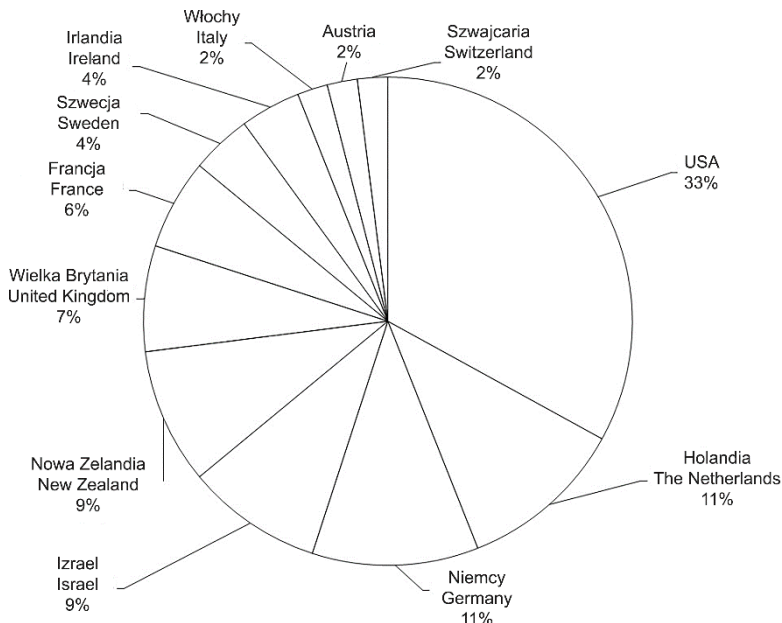
Analizowano częstość wykonywania pomiarów takich parametrów, jak: mobilność oraz lokalizacja przestrzenna krów, masa ich ciała, produkcja mleka, czas doju, prędkość wypływu mleka, składniki chemiczne mleka, symptomy mastitis (obecność krwi w mleku, liczba komórek somatycznych, zawartość dehydrogenazy mleczanowej, elektroprzewodność mleka), sygnały rui (temperatura, aktywność motoryczna krów, w tym objawy kulawizn), informacje o zaburzeniach pokarmowych (pH w żwaczu, poziom mocznika w mleku lub obecność kwasu  $\beta$ -hydroksymasłowego).

Do uogólnień wykorzystano dane dotyczące 54 oferowanych na świecie systemów technologicznych automatycznego monitoringu krów. Systemy te noszą nazwy handlowe: AccuBreed, AfiLab, AfiTag, AfiWeigh, ai24, Alanya Animal Health Monitoring System, Anemon Activity Monitor, Bella Temperature Bolus, CaDDi, Catalyst,

CellSense, CowScout S, DemaTron, farmBolus, FeverTags, Gallagher DairyScale Walk Over Weigh System, HeatPhone, Heatseeker II, Heatwatch II, Herd Companion, Herd Navigator, HR-Tag, IceQube, iNovotec pH Bolus, iVet Birth Monitoring System, Lactivator, MaGiix Rumen Bolus, Metatron Multiple Technologies, Milking Point Technologies, Milpro, MooMonitor, Ovalert, Parlor Companion, ParlorWatch 305, Perfection 3000 Series, Qwes, Rescounter II + Activity Monitoring, SanPhone, Select Detect, SensOor, Sentinel, Silent Herdsman, SMARTBOW-Animal Positioning System, SmartTag Neck, smaXtec pH Bolus, StepMetrix, Tek Vet Health Monitoring System, TempTrack DVM Boluses, ThermoTracker, Track a Cow, VaDia, VelPhone, WellCow Bolus, YieldSense+. Wszędzie w nazwach technologii pominięto występujące czasem na końcach drobne znaczki: ® i ™.

## Wyniki

Najwięcej systemów automatycznego monitoringu krów produkuje się w USA. Tam powstaje 33% urządzeń. Następnymi ważnymi krajami są Niemcy i Holandia. Łącznie te trzy państwa dostarczają na rynek światowy 55% systemów. Liczą się jeszcze Izrael, Nowa Zelandia i Wielka Brytania. O produkcyjnym udziale wybranych krajów można wnioskować z rysunku 1. Zdarza się, że ten sam system monitoringu krów występuje na rynku jednocześnie pod różnymi nazwami i ma kilku producentów (nawet czterech).



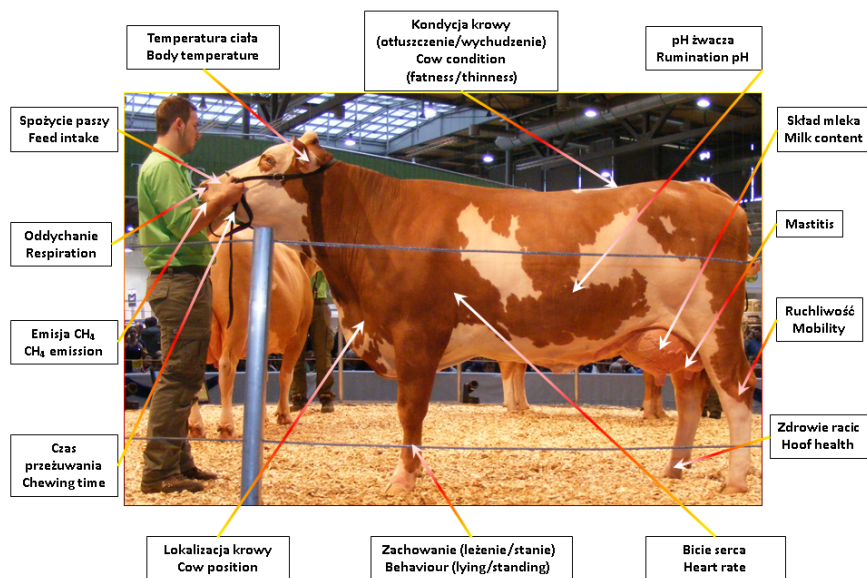
Rys. 1. Potencjał produkcyjny wybranych państw – oferentów systemów automatycznego monitoringu krów

Fig. 1. Production potential of selected countries – tenderers of cows' automatic monitoring systems

Przykładowo system HR-Tag, opracowany w Izraelu przez firmę SCR, występuje pod szyldem amerykańskiej firmy Semex jako ai24, jest też wykorzystywany przez holenderską firmę Lely, gdzie nosi miano Lely-Qwes.

Miejsca rozmieszczenia poszczególnych biosensorów na ciele krowy lub w jej trzewiach przedstawia syntetycznie rysunek 2. Wykorzystaną tam fotografię krowy rasy fleckwih (simentalskiej) wykonano w trakcie pokazu bydła na EuroTier 2014 w Hano- werze. Biosensory lokalizuje się głównie:

- na szyjach krów: 26%
- w aparacie udojowym lub w jego otoczeniu: 24%
- w żwacu: 19%
- na kończynach: 15%
- w lub na uchu: 7%
- w pochwie: 7%



Rys. 2. Topografia rozmieszczania biosensorów do monitoringu krów  
Fig. 2. Deployment of biosensors for cows' monitoring

Inne, incydentalne miejsca umieszczania czujników to przykładowo okolica nasady ogona lub stacja paszowa.

Produkowane obecnie systemy monitoringu krów mogą mieć biosensory do pomiarów pojedynczych cech lub zbierać od razu kilka informacji. Uwzględniając całą populację analizowanych systemów, okazuje się, że biosensory (proste i złożone, traktowane razem) mierzą najczęściej:

- aktywność motoryczną krów: 37%
- temperaturę: 33%

- udoje: 20%
- natężenie wypływu mleka z wymion: 20%
- pH w żwaczu: 11%
- przewodność mleka: 11%

Znacznie rzadziej systemy monitoringu krów mają możliwość mierzenia: barwy mleka w aspekcie obecności w nim krwi, zachowań żywieniowych, poziomu progesteronu i LDH w mleku, liczby komórek somatycznych, podstawowych składników chemicznych mleka (białka, tłuszczu, laktozy, mocznika), czasu oddawania mleka, czasu przeżuwania pasz w pysku i obskakiwania się krów.

Dzięki pracy komputerów sygnały płynące z biosensorów mogą być łączone i przetwarzane w uogólnione informacje. W rezultacie 52% technologii monitoringu krów dostępnych na świecie może przekazywać konkretne, prawie pewne wiadomości o krowach będących w rui, 20% – o zagrożeniu mastitis, a 7% może ostrzegać o kulawiznach – istotnym problemie obór wolnostanowiskowych.

Stopień złożoności biosensorów jest bardzo zróżnicowany – od plastrów termochromowych wykorzystujących zmianę barwy pod wpływem temperatury do złożonych urządzeń termowizyjnych lub spektrometrycznych. Spośród szerokiej oferty rynkowej technologii monitoringu krów można przykładowo wybrać cztery, o odmiennym przeznaczeniu i zróżnicowanej złożoności technologicznej. Najprostszym, ale i ciekawym rozwiązaniem jest pokazany na rysunku 3 iVet Birth Monitoring System z biosensorem



Rys. 3. Biosensor pochwy iVet Birth Monitoring System do ostrzegania o zbliżającym się porodzie (pозyskano z: <http://birth-monitoring.com/>)

Fig. 3. Vaginal biosensor iVet Birth Monitoring System for alerting of upcoming birth (obtained from: <http://birth-monitoring.com/>)

temperaturowym. Jest produkowany w Austrii i służy do zdalnego przekazywania informacji o nadchodzącym porodzie. Biosensor jest wprowadzany zawczasu do pochwy krowy. W początkowej fazie porodu zostaje on wypchnięty na zewnątrz przez rodzącą się cielę. Obniżająca się temperatura biosensora generuje sygnał o bliskim już porodzie. Informacja może dotrzeć do rolnika w formie wiadomości SMS.

Zupełnie innej lokalizacji wymaga biosensor niemieckiej technologii smaXtec pH Bolus. Czujnik jest ampułką, bolusem, wprowadzanym aplikatorem do żwacza, gdzie mierzy pH i temperaturę, emitując na zewnątrz sygnał radiowy. Bateria zapewnia jego działanie przez trzy miesiące. O wymiarach bolusa można wnioskować z rysunku 4, na którym widać biały czujnik trzymany przez pracownika. Ciągły pomiar pH w żwaczu pozwala na bieżąco rozpoznawać zagrożenia chorobami metabolicznymi – kwasicy i zasadowicą, które są skutkami błędów żywieniowych.



Rys. 4. Biosensor żwaczowy do ciągłych pomiarów pH i temperatury – technologia smaXtec pH Bolus (pozyskano z: <http://www.smaxtec-animalcare.com/en/pheasycontrol/bolus.html>)

Fig. 4. Rumen biosensor for constant pH and temperature measurements – smaXtec pH Bolus technology (obtained from: <http://www.smaxtec-animalcare.com/en/pheasycontrol/bolus.html>)

Do detekcji rui i oceny aktywności motorycznej krów służy amerykański system Select Detect z biosensorem montowanym na obroży, z boku szyi. Pokazuje go rysunek 5.

Najbardziej złożoną technologią jest izraelski AfiLab, wykorzystywany do automatycznych, jednoczesnych pomiarów kilku cech mleka podczas dojów kolejnych krów. Multiparametryczny biosensor, wykorzystujący spektrometrię, mierzy zawartości: białka, tłuszczu, laktozy i ocenia barwę mleka pod kątem obecności w nim krwi. Urządzenie dostarcza danych produkcyjnych, a po analizie wyników pomiarów może informować o zagrożeniu mastitis i problemach metabolicznych – kwasicy i ketozie. Przedstawione jest na rysunku 6, pochodzącym z izraelskiej hali udojowej z dojarnią pływakową (Rotaflo).



Rys. 5. Biosensor szyjny Select Detect do rozpoznawania rui i oceny ruchliwości krów (pозyskano z: <http://www.selectsirepower.com/products/select-detect.aspx>)

Fig. 5. Neck biosensor Select Detect for estrus detection and cows' movement monitoring (obtained from: <http://www.selectsirepower.com/products/select-detect.aspx>)



Rys. 6. Multiparametryczny biosensor AfiLab do mierzenia podstawowych składników mleka (fot. M. Lipiński)

Fig. 6. Multi-parametric biosensor AfiLab for measuring basic milk components (photo by M. Lipiński)



## Wnioski

1. Głównym światowym dostawcą technologii automatycznego monitoringu krów są obecnie Stany Zjednoczone Ameryki Północnej.

2. Biosensory instaluje się najczęściej zewnątrz, na szyjach krów (26%). 37% automatycznie monitorowanych cech to aktywność motoryczna zwierząt. Ponad połowa zbieranych informacji jest wykorzystywana w detekcji rui, a 20% systemów monitoringu służy do ostrzegania o mastitis.

## Literatura

- Bewley, J. (2013). New technologies in precision dairy management. *WCDS Adv. Dairy Technol.*, 25, 141–159.
- Bewley, J. M., Einstein, M. E., Grott, M. W., Schutz, M. M. (2008). Comparison of reticular and rectal core body temperatures in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 91, 12, 4661–4672.
- Borchers, M., Bewley, J. (2015). Currently available precision dairy farming technologies. University of Kentucky. Pozyskano z: <http://www.afsdairy.ca.uky.edu/files/extension/decisionaids/PrecisionDairyFarmingTechnology> [dostęp: 3.02.2015].
- Chagunda, M., Friggens, N., Rasmussen, M. (2005). A biological model for detecting individual cow mastitis risk based on lactate dehydrogenase. W: H. Hogeveen (red.), *Mastitis in dairy production. Current knowledge and future solution* (s. 617–621). Wageningen: Wageningen Academic Publishers.
- Clark, J. (2014). University of Kentucky coldstream dairy research farm. Pozyskano z: <http://www.afsdairy.ca.uky.edu/research> [dostęp: 5.10.2014].
- Coffeen, P. (2013). Rest and activity monitoring may hold keys to dairy cow health. *Agri-View*, July 17.
- Hoft, I., Lipiński, M. (2015). Temperatura zewnętrzna a aktywność krów w oborze z precyzyjną produkcją mleka. W: M. Lipiński, J. Przybył (red.), *Aktualne problemy inżynierii biosystemów* (s. 154–170). Poznań: Wyd. UP.
- Hogeveen, H., Kamphuis, C., Steeneveld, W., Mollenhorst, H. (2010). Sensors and clinical mastitis – the quest for the perfect alert. *Sensors*, 10, 9, 7991–8009.
- Hogeveen, H., Steeneveld, W. (2013). Precision dairy farming: how to make it work on the farm. Pozyskano z: <http://www.slideshare.net/henkHogeveen/precision-dairy-farming-how-to-make-it-work-on-the-farm> [dostęp: 2.04.2015].
- <http://www.afsdairy.ca.uky.edu/files/extension/decisionaids/PrecisionDairyTechnologyList.xlsm> [dostęp: 6.09.2014].
- Jago, J., Eastwood, C., Kerrisk, K., Yule, I. (2013). Precision dairy farming in Australasia: adoption, risks and opportunities. *Anim. Prod. Sci.*, 53, 9, 907–916.
- Jędrus, A., Lipiński, M. (2010). Koncepcja monitoringu temperatury ciała cieląt. *Inż. Roln.*, 14, 1(119), 229–234.
- Maltz, E. (2010). Novel technologies: sensors, data and precision dairy farming. W: J. Rodenburg (red.), *Proceedings of the First North American Conference on Precision Dairy Management*. Toronto, Canada (s. 1–15). Toronto.
- Rutten, C. J., Velthuis, A. G. J., Steeneveld, W., Hogeveen, H. (2013). Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *J. Dairy Sci.*, 96, 4, 1928–1952.
- Uzmay, C., Kaya, I., Tömek, B. (2010). Süt sigirciliğinde hassas sürü yönetim uygulamaları. *Hayvansal Üretim*, 51, 2, 50–58.

## A STUDY OF CURRENT TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF SYSTEMS FOR AUTOMATIC COWS' MONITORING

**Summary.** Nowadays, various parameters are automatically measured in dairy barns. It allows the precision dairy farming. The progress requires a new type of sensors, i.e. biosensors. Their complexity is very diversified, from patches to complex thermal or spectrometric devices. The aim of this study was to obtain and examine currently available data on the characteristics of technologies for automatic cows' monitoring. It let to find the major manufacturers of such devices and to recognize the possibilities of using new monitoring technologies. The Internet, communication and advertising materials from manufacturers and data obtained at EuroTier 2014 in Hannover were the main sources of information on technologies for automatic cows' monitoring. The analyses show that the USA is the major global provider of technologies for automatic cows' monitoring. The biosensors are usually externally installed on the cows' necks (26%). The animals' activities constitute 37% of all automatically monitored characteristics. More than half of the gathered information is used in the estrus detection and 20% of the monitoring systems are used as mastitis warning.

**Key words:** technologies for automatic dairy cows' monitoring, biosensor, precision dairy farming

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Marian Lipiński, Instytut Inżynierii Biosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 50, 60-627 Poznań, Poland, e-mail: lipmar@up.poznan.pl*

*Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:*

*23.06.2015*

*Do cytowania – For citation:*

*Lipiński, M., Przybylak, A. (2015). Analiza aktualnych możliwości technologicznych systemów automatycznego monitoringu krów. Nauka Przyr. Technol., 9, 4, #54. DOI: 10.17306/J.NPT.2015.4.54*