

Problemy wdrażania postępu technicznego w rolnictwie na przykładzie robotów udojowych

Marek Gaworski

*Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
e-mail: gaworski@alpha.sggw.waw.pl*

Słowa kluczowe: automatyczny system doju, krowa, postęp, robot udojowy

Wstęp

Wśród tendencji ilustrujących procesy stopniowej substytucji pracy ludzkiej w rolnictwie i jego otoczeniu produkcyjnym ważne miejsce zajmuje dążenie do kompleksowego rozwiązywania problemów obejmujących doskonalenie technicznej infrastruktury gospodarstw rolnych. Przykładem rosnącego zainteresowania kompleksowym ujęciem zagadnień związanych z techniczną obsługą procesów technologicznych w produkcji zwierzęcej jest rozwój konstrukcji urządzeń w pełni automatyzujących dój krów, zaliczanych do ogniw o kluczowym znaczeniu w stopniowym ograniczaniu uciążliwości pozyskiwania mleka.

Idea pełnej automatyzacji doju krów stanowi specyficzną alternatywę dla dotychczasowych metod pozyskiwania mleka w gospodarstwach wielkotowarowych. Realizacja podstawowego celu, jakim jest wyeliminowanie człowieka z procesu bezpośredniej obsługi krów w hali udojowej lub na stanowisku w oborze, implikuje bowiem istotne przewartościowanie zarówno w sferze relacji tworzących układ człowiek – maszyna – zwierzę, jak i w ramach jego poszczególnych elementów składowych [27].

Podjęte w połowie lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia próby nad wypełnieniem luki w kompleksowej automatyzacji doju krów, uwieńczone w 1992 r. zainstalowaniem w gospodarstwie mleczarskim pierwszego dostępnego komercyjnie robota udojowego na świecie, nie stanowią zamkniętego rozdziału. Pokonanie bariery postępu technicznego, związane ze skonstruowaniem sprawnie działającego urządzenia do samodzielnego zakładania kubków udojowych na strzyki wymienia, było bowiem i nadal pozostaje równoznaczne z koniecznością rozwiązania problemów nieobser-

wowanych w wypadku konwencjonalnych metod mechanicznego doju krów. Przykład robotów udojowych jest tym samym doskonałą płaszczyzną do dyskusji, w jakim stopniu zakładane korzyści, wynikające z praktycznej aplikacji postępu technicznego, mogą być ograniczane przez konsekwencje towarzyszące wdrażaniu tego postępu. Pomyślnie wdrażanie procesu robotyzacji doju wymaga w pierwszym rzędzie oceny wzajemnego oddziaływania w obrębie elementów tworzących system pozyskiwania mleka i wynikających stąd konsekwencji [27]. Konsekwencje te, rozpatrywane przez pryzmat aspektów technologicznych, ekonomicznych, etycznych i innych, zaliczają się do istotnych argumentów kształtujących zarówno dynamikę rozpowszechniania danych rozwiązań w praktyce, jak i uzasadniających podejmowanie dalszych badań nad doskonaleniem układu człowiek–maszyna–zwierzę, obejmującego – obok człowieka – robot udojowy i krowę.

W kontekście tak sformułowanego obszaru rozważań, celem podjętego opracowania była wielopłaszczyznowa analiza wdrażania postępu w automatyzacji doju krów, z uwzględnieniem perspektyw stosowania robotów udojowych w wybranych krajach, w tym w Polsce. Źródłem danych i informacji do przeprowadzenia analizy były szczegółowe studia literaturowe oraz obserwacje własne przeprowadzone w wybranych gospodarstwach mleczarskich użytkujących roboty udojowe w Danii i Duńskim Instytucie Nauk Rolniczych w Foulum.

Przesłanki uzasadniające stosowanie robotów udojowych

Aspekty związane z udziałem człowieka w zabiegu doju mechanicznego

Kluczowym inspiratorem postępu technicznego wyrażanego opracowaniem konstrukcji robota udojowego było poszukiwanie możliwości ograniczenia znacznej uciążliwości dotychczasowych konwencjonalnych metod pozyskiwania mleka od krów, obejmujących konieczność bezpośredniego dwu- lub trzykrotnego w ciągu każdego dnia udziału człowieka w obsłudze zwierząt na stanowiskach udojowych. Jak wynika z prowadzonych przez wiele lat badań [16, 32], dój krów zalicza się do prac powodujących niekorzystne obciążenie fizyczne dojarza, prowadząc niejednokrotnie w długim okresie do schorzeń szyi, ramion i pleców. Nie bez znaczenia dla uciążliwości doju są niesprzyjające warunki środowiskowe panujące w miejscu pozyskiwania mleka. Stężenie amoniaku i wilgoci, a także zanieczyszczenia organiczne i nieorganiczne stanowią czynniki ograniczające komfort pracy przy obsłudze krów w czasie doju. Komfort ten może być dodatkowo zakłócany ryzykiem kopnięcia człowieka przez zwierzę. Przykładowo, wypadki pojawiające się w czasie doju i innych zabiegów związanych z obsługą zwierząt w budynkach inwentarskich stanowią ok. 1/4 wszystkich wypadków zawodowych w rolnictwie szwedzkim [15].

Poza możliwościami ograniczenia wymienionych skutków towarzyszących tradycyjnym metodom doju, na robotyzację pozyskiwania mleka patrzy się jednak przede wszystkim przez pryzmat oszczędności nakładów pracy ręcznej. Jak wynika z przykładowych badań [2, 27], użytkowanie robota wspomaganego komputerowym systemem monitorowania stada i kontroli ruchu zwierząt pozwala na zaoszczędzenie w ciągu roku ok. 2/3 czasu w porównaniu z konwencjonalnymi metodami doju mechanicznego. Inne badania modelowe obejmujące wymienione metody doju [25] wskazują natomiast na możliwość zmniejszenia nakładów pracy fizycznej w wypadku stosowania robota udojowego o ok. 30–40%. Dzięki temu stwarza się przesłanki sprzyjające zmniejszeniu obciążenia pracą fizyczną przy bezpośredniej obsłudze krów w gospodarstwie mleczarskim.

Ograniczanie nakładów pracy na dój jest szczególnie istotne w tych regionach, gdzie z jednej strony notuje się wysokie koszty robocizny, z drugiej zaś zmniejszające się zasoby lub wręcz deficyt siły roboczej w rolnictwie. Stąd roboty udojowe stanowią perspektywiczne rozwiązanie dla wielu krajów europejskich i pozaeuropejskich, w których priorytetem staje się poszukiwanie dróg osiągania coraz wyższej wydajności, w tym związanej z obsługą produkcji zwierzęcej, przy jednoczesnym ograniczaniu ponoszonych nakładów energii i czasu na pozyskiwanie mleka w gospodarstwach. Ta charakterystyczna tendencja jest szczególnie widoczna w krajach północnej i zachodniej części Europy, dominujących pod względem liczby (ponad 90%) użytkowanych robotów udojowych na świecie. Przykładowo w Danii, w pierwszej połowie 2002 roku, użytkowano 320 robotów udojowych w 164 gospodarstwach mleczarskich [13]. Natomiast we Włoszech, gdzie obserwuje się znacznie bardziej rozdrobnioną w porównaniu z Danią strukturę produkcji mleka, w analogicznym okresie (I połowa 2002 r.) roboty udojowe były zainstalowane jedynie w 15 gospodarstwach [24].

Aspekty związane z wydajnością mleczną krów

Postęp w automatyzacji doju, poza korzyściami odnoszonymi się do pracy człowieka, przekłada się również na wskaźniki produkcyjne stada krów. Roboty udojowe wprowadzają bowiem nową jakość warunków pozyskiwania mleka w oborach. Zmiany w organizacji obsługi zwierząt i możliwość ich dobrowolnego podchodzenia do stanowiska udojowego stanowią przesłanki do wyrażenia naturalnych potrzeb i zachowań krów związanych z oddawaniem mleka. W efekcie zastosowanie robota udojowego, jak wynika z licznych badań i obserwacji, prowadzi do skrócenia czasu dzielącego kolejne doje, a tym samym wzrostu częstotliwości oddawania mleka przez zwierzęta w ciągu doby. O ile w tradycyjnych technologiach produkcji mleczarskiej dominuje dwukrotny dój w czasie dnia, tak w wypadku stada obsługiwanego robotami liczba dojów w ciągu doby wynosi na ogół 2,5–3,0 na krowę [10].

Zwiększeniu częstotliwości doju towarzyszy wzrost wydajności mlecznej krów. W badaniach eksperymentalnych, przy przejściu z dwukrotnego na trzykrotny dój w ciągu doby, stwierdzono wzrost wydajności mlecznej krów w zakresie 5–25% [6], 6–25% w pełnym okresie laktacji [5]. Natomiast w gospodarstwach francuskich, użytkujących roboty udojowe w okresie ponad dwu lat, wzrost wydajności mlecznej krów wynosił od 3 do 9% [30].

Konsekwencje wdrażania automatycznych systemów doju

Wdrażanie nowoczesnych technologii produkcji mleczarskiej na bazie robotów udojowych implikuje konsekwencje natury socjalnej, technicznej i organizacyjnej, a także przewartościowania w relacjach wiążących elementy układu: człowiek–maszyna–zwierzę.

Aspekty socjalne

Decydując się na wprowadzenie całodobowego systemu doju krów, właściciel gospodarstwa lub personel odpowiedzialny za obsługę produkcji mleczarskiej musi liczyć się z koniecznością pozostawania w stałej, całodobowej gotowości do podjęcia interwencji w wypadku ewentualnych zakłóceń pojawiających się w pracy robota. Wspomniane zakłócenia mogą być spowodowane problemami z założeniem kubków udojowych na strzyki wymienia, czy też zaburzeniami w sprawnym podchodzeniu zwierząt do robota i jego opuszczaniu. Konieczność podejmowania na stanowisku udojowym interwencji, sygnalizowanych przez podręczny sygnalizator dźwiękowy (tzw. pager), może stanowić znaczne utrudnienie w planowaniu zadań roboczych w gospodarstwie, a nawet zakłócać czas przeznaczony na odpoczynek. Dyskomfort spowodowany możliwością pojawienia się w dowolnym czasie sygnału alarmowego ze wspomnianego pagera jest przez wielu producentów mleka uznawany za znacznie większy problem niż obciążenie pracą w tradycyjnych metodach doju [27].

Jednocześnie warto zwrócić uwagę na to, że wdrożeniu nowoczesnych metod doju, opartych na wykorzystaniu robotów, towarzyszy stworzenie jakościowo nowych relacji wiążących człowieka ze zwierzętami w stadzie. Dotychczasowa wykonawcza funkcja spełniana przez człowieka w tradycyjnych systemach doju, a związana z bezpośrednią obsługą krów na stanowiskach udojowych i ewentualnym doprowadzaniem zwierząt na te stanowiska, w wypadku robotów udojowych ulega przewartościowaniu na funkcję nadzorującą. Funkcja ta implikuje wykształcenie i doskonalenie u osoby odpowiedzialnej za obsługę stada tak ważnych umiejętności, jak ocena krów na podstawie określonego zbioru danych, które są gromadzone przez system monitorujący. Dominujący w konwencjonalnych metodach doju bezpośredni kontakt człowieka ze zwierzęciem ulega przekształceniu w kontakt poprzez pośrednie ogniwa, jakimi są wydruki z komputero-

wej bazy danych. Wydruki te, obejmujące dane o jakościowych parametrach mleka, aktywności krów i ich kondycji fizycznej czy też o stopniu wykorzystania dziennej racji paszy treściwej, są źródłem informacji wspomagających producenta mleka w podejmowaniu prawidłowych decyzji związanych z kierowaniem stadem.

W efekcie korzystania z wymienionych – charakterystycznych dla robotów – metod oceny stanu zwierząt znacznemu osłabieniu może ulegać intensywność kontaktów człowieka ze zwierzętami [26], co dla wielu producentów mleka stanowi istotny argument podważający korzyści płynące z wyposażenia gospodarstw w pełni zautomatyzowane systemy doju.

Infrastruktura techniczna

Zainstalowanie robota udojowego wiąże się z koniecznością przebudowy stosowanego w konwencjonalnych technologiach produkcji mleczarskiej typowego układu do gromadzenia i schładzania mleka. Jest to uzasadnione kilkoma czynnikami, z których najistotniejszy to 24-godzinny cykl pozyskiwania mleka i wynikająca stąd gotowość przyjmowania mleka przez schładzalnik w okresie całej doby. Takie wymaganie stoi jednak w sprzeczności z procedurą użytkowania schładzalnika, uwzględniającą konieczność zarezerwowania czasu na opróżnienie zbiornika i jego cykliczne mycie. Stąd w układach do odbioru i schładzania mleka stosuje się przykładowo zestaw dwu zbiorników schładzających, z których jeden (o większej pojemności) stanowi podstawowy rezerwuuar do gromadzenia mleka, zaś drugi (o pojemności ok. 10–15% zbiornika głównego) pełni funkcję bufora na czas opróżniania i mycia zbiornika głównego. Zastosowanie buforowego zbiornika schładzającego jest również istotne z innego powodu, związanego z zasadami zagospodarowania mleka po doju. Warunkiem rozpoczęcia schładzania mleka i uruchomienia mieszadła w wypadku większości konstrukcji schładzalników jest wypełnienie mlekiem co najmniej 10% pojemności zbiornika. Intensywność przepływu mleka pochodzącego z robota udojowego jest jednak na ogół niewystarczająca do tego, by w ciągu dwóch godzin, a więc w czasie, gdy mleko zachowuje swoje naturalne właściwości ograniczające szybki rozwój bakterii, zgromadzić 10% pojemności zbiornika głównego. Stąd zbiornik buforowy o mniejszej pojemności pozwala na zgromadzenie odpowiedniego do podjęcia schładzania wolumenu mleka w krótszym czasie, co tym samym ułatwia spełnienie rygorystycznych wymagań dotyczących zasad jego zagospodarowania po doju [11].

Aspekty organizacyjne

Skuteczna realizacja idei dobrowolnego podchodzenia krów do robota udojowego jest uwarunkowana w wypadku obór utrzymaniem stada w systemie wolnostanowiskowym. Dotyczy to zarówno pomieszczeń inwentarskich z głęboką ściółką, jak i budynków z układem korytarzy gnojowych oraz stanowisk legowiskowych. Zapewnienie możliwości swobodnego poruszania się zwierząt w obrębie kojca jest jednym,

ale nie jedynym warunkiem wysokiej sprawności działania systemu doju z robotem. Czynnikiem o priorytetowym znaczeniu jest bowiem lokalizacja robota w stosunku do infrastruktury pomieszczenia inwentarskiego dla krów, uwzględniająca z jednej strony możliwość bezkolizyjnego ruchu zwierząt dochodzących i odchodzących od robota, z drugiej zaś utrzymanie higieny w trakcie i po zakończeniu doju. Początkowo robot udojowy był ustawiany w bezpośrednim sąsiedztwie powierzchni zajmowanej przez krowy. W późniejszym okresie coraz bardziej rozpowszechnioną tendencją stało się jednak ustawianie robota w oddzielnym miejscu, w pobliżu pomieszczenia przeznaczonego do przechowywania mleka [14]. Rozwinięcie koncepcji oddzielenia miejsca ustawienia robota od kojca zajmowanego przez zwierzęta miało swoje uzasadnienie w stosunkowo niskiej, potwierdzonej wynikami badań [12] aktywności krów przy podchodzenia do robota w wypadku, gdy urządzenie było położone bezpośrednio wewnątrz kojca. Dzięki opracowaniu systemu ścieżek i bramek przejściowych, łączących część pomieszczenia przeznaczoną do odpoczynku krów z korytarzem paszowym i miejscem, gdzie zainstalowano robot, tworzy się przesłanki do tego, by wykorzystując motywację zwierząt do zaspokojenia potrzeb pokarmowych na korytarzu paszowym, doprowadzić równocześnie do ich przejścia przez stanowisko udojowe robota. Ponadto odpowiednie w tym wypadku rozwiązania organizacyjne, przewidujące możliwość pobierania paszy objętościowej bezpośrednio po zakończeniu doju na stanowisku robota, sprzyjają utrzymaniu krów przez określony czas w pozycji stojącej, co ogranicza ryzyko wnikania drobnoustrojów do kanałów strzykowych, pojawiające się w wypadku, gdy krowa bezpośrednio po doju zajmuje pozycję leżącą.

Osiągnięcie wymienionych celów jest równoznaczne z koniecznością przystosowania użytkowej powierzchni budynków inwentarskich do wymagań stawianych przez technologię produkcji mleka z udziałem robotów udojowych. Modernizacja infrastruktury technicznej budynków inwentarskich stanowi tym samym przykład jednego z nieuniknionych skutków towarzyszących wdrażaniu nowoczesnych systemów doju [17].

Złożony problem organizacyjny stanowi również wykorzystanie robota udojowego w połączeniu z pastwiskowym systemem utrzymania krów. Największym problemem, jaki pojawia się w tym wypadku, jest stworzenie odpowiednio silnych bodźców motywujących krowy do tego, by dobrowolnie podchodziły do stanowiska udojowego. Na podstawie wstępnych obserwacji stwierdzono, że pasza treściwa podawana na stanowisku robota nie była w wielu wypadkach wystarczającą zachętą do tego, by krowy dobrowolnie podchodziły do robota. Tym bardziej że w porównaniu z oborą pastwisko dzieli od stanowiska udojowego większa odległość, co dla wielu zwierząt może stanowić dodatkową przeszkodę. Stąd, by rozwiązać problem podchodzenia krów do robota, stosuje się rozwiązanie, w którym zwierzęta pozbawia się na pastwisku wody. Zbiorniki z wodą ustawia się zaś w pobliżu robota w taki sposób, by skorzystanie z wody wymagało przejścia przez stanowisko udojowe, w czym ważną rolę

pełnią jednokierunkowo otwierane bramki przejściowe. W miejscu ustawienia robota, oprócz bramek przejściowych i zbiornika z wodą, instaluje się także stanowiska legowiskowe. Pokryty dachem kojec stanowi tym samym miejsce schronienia dla zwierząt w okresie upałów i nadmiernych opadów.

Szczegółowe badania poświęcone użytkowaniu robotów udojowych pracujących w systemie pastwiskowego utrzymania krów wskazują na kilka charakterystycznych problemów towarzyszących tej formie pozyskiwania mleka w gospodarstwie. Jak wynika z obserwacji [8], funkcjonowanie robotów zależy od stanu pogody (temperatura, ilość opadów) i jakości pastwiska, które wpływają na zachowanie krów i częstotliwość ich podchodzenia do stanowiska udojowego. Takie uwarunkowania wymuszają na obsługującym stado wdrożenie odpowiednich rozwiązań organizacyjnych produkcji mleczarskiej w gospodarstwie, spośród których największą wagę przywiązuje się do metody polegającej na ograniczeniu czasu przebywania zwierząt na pastwisku w ciągu dnia.

Problemy z przystosowaniem krów do nowej formy doju

Przytoczone rozwiązanie łączące działanie robota z pastwiskowym systemem utrzymania krów stanowi doskonały przykład ilustrujący rolę indywidualnych cech zwierząt, ich zachowania i zbioru czynników środowiskowych w kształtowaniu skuteczności wykorzystania robotów udojowych. Znaczenie indywidualnych cech zwierząt jest o tyle istotne, że w dobrowolnym systemie doju to właśnie krowa – a nie człowiek – decyduje o najbardziej korzystnym czasie i częstotliwości oddawania mleka w ciągu doby. W związku z tym wymagane jest stworzenie określonego systemu bodźców sprzyjających samodzielnemu podchodzeniu krów do stanowiska udojowego robota, wśród których najważniejsze miejsce zajmuje odpowiedniej jakości pasza treściwa podawana w zasobniku na stanowisku udojowym.

Dobrowolność w korzystaniu z robota, a także czynnik motywacyjny w postaci paszy prowadzą w wypadku niektórych zwierząt do nadmiernej częstotliwości podchodzenia na stanowisko udojowe, co w konsekwencji ściśle określonych przez komputerowy system monitorujący minimalnych przedziałów czasowych dzielących kolejne doje decyduje o obniżeniu wydajności eksploatacyjnej robota. Każde wejście na stanowisko krowy, która nie zostanie wydojona ze względu na zbyt krótki okres mijający od poprzedniego doju, decyduje bowiem o bezproduktywnym wykorzystaniu robota i obniżeniu jego wydajności. Z drugiej strony część krów, pomimo stworzonego systemu motywacji, wykazuje zbyt niską aktywność w podchodzeniu na stanowisko udojowe, co wymaga podejmowania interwencji przez obsługującego stado. O ile, dzięki komputerowemu systemowi monitorowania stada udało się rozwiązać problem niedopuszczenia do nadmiernej częstotliwości doju, tak nadal wymagane jest prowadzenie prac nad stworzeniem systemu bodźców oddziałujących na te zwierzęta, które wykazują niedostateczną częstotliwość podchodzenia do stanowiska udojowego [10].

W kontekście wspomnianej aktywności krów zwraca się również uwagę na tak istotne cechy związane z zachowaniem, jak nerwowość krów (przejawiająca się przykładowo przestępowaniem z nogi na nogę i zmianą położenia ciała na stanowisku udojowym), która w wypadku robota stanowi przeszkodę niejednokrotnie uniemożliwiającą założenie aparatu udojowego na strzyki wymienia. Problemy z założeniem aparatu udojowego pojawiają się również w wypadku nietypowego kształtu wymienia i innych cech anatomicznych, takich jak nadmierne odchylenie od pionu poszczególnych strzyków. Znacznym utrudnieniem w procedurze działania niektórych modeli układów do lokalizacji strzyków może być także nadmierne owłosienie powierzchni wymienia.

Znaczna część wymienionych cech, a w szczególności nerwowość i nietypowy kształt wymienia decydują o ograniczeniach w adaptacji niektórych krów do obsługi przez robot udojowy, co w przekroju stada może stanowić nawet 5–10% wszystkich zwierząt [1].

Zagadnienia zdrowotności krów i jakości mleka

Dzięki zwiększeniu częstotliwości doju poszczególnych krów w stadach obsługiwanych przez instalację robota stwarza się przesłanki do zredukowania dyskomfortu zwierząt, wynikającego z obciążenia wymienia i jego wiązań gromadzonym w ciągu kilku godzin mlekiem [28]. Z drugiej jednak strony, wydłużony łącznie w ciągu dnia czas doju może prowadzić do powstania dodatkowego obciążenia strzyków i wzrostu niebezpieczeństwa pojawienia się na ich końcówkach schorzeń [22], niejednokrotnie pogłębianych w wyniku przenoszenia bakterii chorobotwórczych między zwierzętami na skutek niedokładnego działania automatycznych urządzeń przygotowujących krowy do doju.

Możliwość przenoszenia infekcji między krowami wynika pośrednio z zasady przygotowywania zwierząt do doju na stanowisku robota. O ile w konwencjonalnych metodach zakres czyszczenia strzyków jest dostosowywany przez dojarza do stopnia ich zabrudzenia, tak instalacja robota nie jest wyposażona w detektory zanieczyszczeń. W związku z tym przyjmowana jest jednolita procedura postępowania przy czyszczeniu wymienia i strzyków, niezależnie od stopnia ich zabrudzenia, co w wielu wypadkach może prowadzić do niedokładnego usunięcia brudu, który przedostaje się do mleka. Potwierdzeniem wspomnianych problemów są przykładowo wyniki badań przeprowadzonych w duńskich gospodarstwach użytkujących roboty udojowe, gdzie stwierdzono negatywny wpływ tej formy doju na stan zdrowotny wymion krów [19].

Poza oceną stanu zdrowotnego wymion krów, istotny nacisk w kontekście użytkowania robotów udojowych kładzie się także na jakość mleka. Zagadnienie jakości jest przedmiotem licznych badań, których wyniki zaliczają się do kluczowych argumentów w dyskusji nad bezpośrednimi efektami wdrażania postępu technicznego w zakresie doju krów, a także perspektywami i celowością rozwoju omawianej formy po-

zyskiwania mleka w gospodarstwach. Jak wynika z przykładowych analiz [9, 18, 31], wprowadzeniu automatycznego systemu doju towarzyszy w wielu gospodarstwach obniżenie jakości pozyskiwanego mleka. Pomimo zwiększenia ogólnej liczby bakterii w mleku, parametr ten nie przekracza jednak dopuszczalnych norm obowiązujących dla surowca dostarczanego do skupu. Równocześnie zwraca się jednak uwagę na to, że obniżenie jakości mleka obserwuje się przede wszystkim w pierwszym kilku-miesięcznym okresie po wprowadzeniu robota udojowego w gospodarstwie, po którym to jakość mleka – wyrażana stopniem jego zanieczyszczenia bakteriami – ulega stopniowej poprawie.

Na tle krytycznej oceny skutków kompleksowej automatyzacji doju krów warto przytoczyć jedną z charakterystycznych cech wyróżniających konstrukcję robotów udojowych w zestawieniu z instalacjami konwencjonalnych systemów pozyskiwania mleka. W odróżnieniu od klasycznego aparatu udojowego, komplet kubków udojowych wchodzących w skład instalacji robota nie jest podłączony do wspólnego kolektora mlecznego, lecz kubki stanowią niepowiązane ze sobą elementy wyposażenia. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe stało się niezależne od siebie zdejmowanie kubków udojowych z poszczególnych strzyków odpowiednio do spadku natężenia przepływu mleka w danych ćwiartkach wymienia. Wynikające stąd korzyści są jednoznaczne. Najważniejsze z nich to bardziej dokładne i wyrównane w stosunku do konwencjonalnych metod opróżnianie ćwiartek wymienia z mleka, trudne do osiągnięcia w wypadku monitorowania natężenia strumienia mleka pochodzącego łącznie ze wszystkich ćwiartek. Znaczenie tego aspektu potwierdzają przykładowe badania [33], w których stwierdzono, że czas doju tylnych strzyków przekraczał o ok. 15% czas opróżniania przednich ćwiartek. W praktyce zwraca się również uwagę na to, że brak bezpośredniego połączenia między kubkami udojowymi w instalacji robota sprzyja ograniczeniu przenoszenia drobnoustrojów chorobotwórczych między ćwiartkami wymienia krowy.

Czynniki określające racjonalność stosowania robotów udojowych

Roboty udojowe na tle kosztów

Wyposażenie gospodarstwa mleczarskiego w robot udojowy wiąże się z koniecznością poniesienia znacznych kosztów inwestycyjnych. Cena jednostanowiskowego robota udojowego kształtuje się na poziomie od ok. 140 tys. do ok. 180 tys. euro [24], na rynku brytyjskim 84–100 tys. GBP [3], na rynku amerykańskim zaś 150–170 tys. USD [7]. Natomiast zainstalowanie w gospodarstwie robota dwu- lub trzystanowiskowego wiąże się odpowiednio z poniesieniem nakładów finansowych rzędu 110 tys. GBP i 135 tys. GBP. Przykładowo, w warunkach amerykańskich rozbudowa

instalacji jednostanowiskowego robota udojowego wiąże się z wydatkiem 55–60 tys. USD za każde dodatkowe stanowisko [7].

Relatywnie najwyższe koszty zakupu pojedynczego modelu robota udojowego wynikają ze znacznych kosztów zainstalowania komputerowego systemu wspomagającego, będącego integralną częścią robota i przetwarzającego zbiór informacji o poszczególnych krowach, warunkach doju i innych parametrach eksploatacyjnych. Ten sam system komputerowy, po niewielkich modyfikacjach, może być jednak przystosowany do obsługi kilku stanowisk udojowych robota, stąd wyposażenie gospodarstwa w każde kolejne stanowisko wiąże się z poniesieniem niższych kosztów, nie wymaga bowiem instalacji dodatkowego oprogramowania. Przykład ten potwierdza znaczenie ważnego aspektu, jakim jest koncentracja stada krów mlecznych. Korzyści wynikające z powiększania stada krów, rozpatrywane przez pryzmat nakładów inwestycyjnych na techniczne wyposażenie gospodarstw, dotyczą tym samym nie tylko producentów w małej skali, ale i gospodarstw o dużym potencjale produkcji.

Dane liczbowe dotyczące rynkowej ceny pojedynczego modelu lub zestawu robotów udojowych niewątpliwie wnoszą istotną informację o potencjalnych możliwościach finansowych wdrażania postępu w automatyzacji doju krów. Tym niemniej perspektywy dynamicznego rozwoju nowoczesnych technologii doju kształtują także inne aspekty ekonomiczne. Zalicza się do nich nakłady inwestycyjne przy zakupie alternatywnych rozwiązań do doju mechanicznego, np. hal udojowych, a także porównawcze koszty pozyskania jednego litra mleka przy wykorzystaniu zróżnicowanych konstrukcyjnie urządzeń technicznych.

Przykładowo, w warunkach amerykańskich cena jednostanowiskowego robota udojowego dla 60–65 krów jest w przybliżeniu równoważna wartości hali udojowej 2×12 o przepustowości 110 krów na godzinę [21]. Wynikające stąd wnioski, potwierdzone rezultatami przykładowych analiz [21], wskazują na porównywalność kosztów robocizny i jednostkowych nakładów inwestycyjnych ponoszonych w gospodarstwach z robotami i halami udojowymi w wypadku obsługi stad krów mlecznych o liczebności nieprzekraczającej 240 sztuk.

Jak wynika z przykładowych analiz porównawczych [29], koszt produkcji jednego litra mleka w gospodarstwach o zbliżonym potencjale produkcji (300 krów o rocznej wydajności 9 tys. litrów) był o ok. 10% wyższy w wypadku użytkowania wielostanowiskowego, odpowiednio dobranego pod względem wydajności robota udojowego w porównaniu z halą udojową (2×12). Analizy przeprowadzone dla amerykańskich warunków produkcji mleka, znacznie różniących się od uwarunkowań europejskich, wskazały natomiast na możliwość ponoszenia znacznie niższych (nawet o kilkadziesiąt procent) jednostkowych kosztów pozyskiwania mleka w gospodarstwach z robotami udojowymi w porównaniu z analogicznymi gospodarstwami (o tej samej obszarze stada), w których krowy są dojone w halach udojowych [20].

Rola koncentracji produkcji mleczarskiej i wydajności mlecznej krów

Poniesienie wysokich nakładów finansowych na wyposażenie gospodarstwa w jedno- lub wielostanowiskowy model robota udojowego implikuje konieczność racjonalnego wykorzystania projektowanej wydajności eksploatacyjnej tego urządzenia.

Do najważniejszych czynników decydujących o wydajności pracy robotów, tj. ilości mleka wydojonego w okresie obliczeniowym, zalicza się dwie charakterystyczne cechy stada obsługiwanych krów: ilościową i jakościową. Pierwsza z wymienionych cech obejmuje liczebność zwierząt w stadzie, natomiast druga takie wskaźniki charakteryzujące krowy, jak: wydajność mleczna; czas doju, będący indywidualną cechą poszczególnych zwierząt; częstotliwość podchodzenia na stanowisko udojowe oraz stan wymienia decydujący pośrednio o sprawności zakładania kubków udojowych na strzyki.

Jak wynika z szeregu obserwacji, pojedyncze roboty udojowe obsługują w praktyce znacznie zróżnicowane pod względem liczebności stada krów. Pojedynczy robot jest przystosowany do dojenja 50–60 sztuk zwierząt. Stosowanie robota udojowego przy zaniżonej liczebności stada, jak wskazują wyniki szczegółowych analiz [3], wiąże się ze znacznym obniżeniem zysków względnych (obliczonych w stosunku do konwencjonalnych systemów doju mechanicznego) towarzyszących użytkowaniu robota udojowego. Zyski te rosną jednak tylko do określonej wielkości stada. Po przekroczeniu obsady 55 krów obserwuje się spadek wspomnianej kategorii zysków w wypadku robota jedno stanowiskowego, spowodowany – jak wskazują autorzy wspomnianych wyżej badań – m.in. coraz dłuższym okresem wyczekiwania krów na dój, a stąd ograniczeniem optymalnych warunków oddawania mleka. Natomiast dla robota dwustanowiskowego wspomniana racjonalna z punktu widzenia danej kategorii zysków liczba krów w stadzie wynosi 95 sztuk.

Drugim obok liczby krów w stadzie czynnikiem o podstawowym znaczeniu dla opłacalności użytkowania robotów udojowych jest wydajność mleczna krów. W opinii wielu specjalistów, jak i bezpośrednio producentów mleka, racjonalny poziom wykorzystania robota, wyrażony ilością wydojonego rocznie mleka – przekracza 500 tys. litrów. Uwzględniając obsadę 60 sztuk w stadzie, warunkiem osiągnięcia takiego poziomu rocznej wydajności robota jest pozyskanie od jednej krowy ok. 8300 litrów mleka w ciągu roku, a więc ilości znacznie przekraczającej średnie wydajności mleczne krów w wielu krajach.

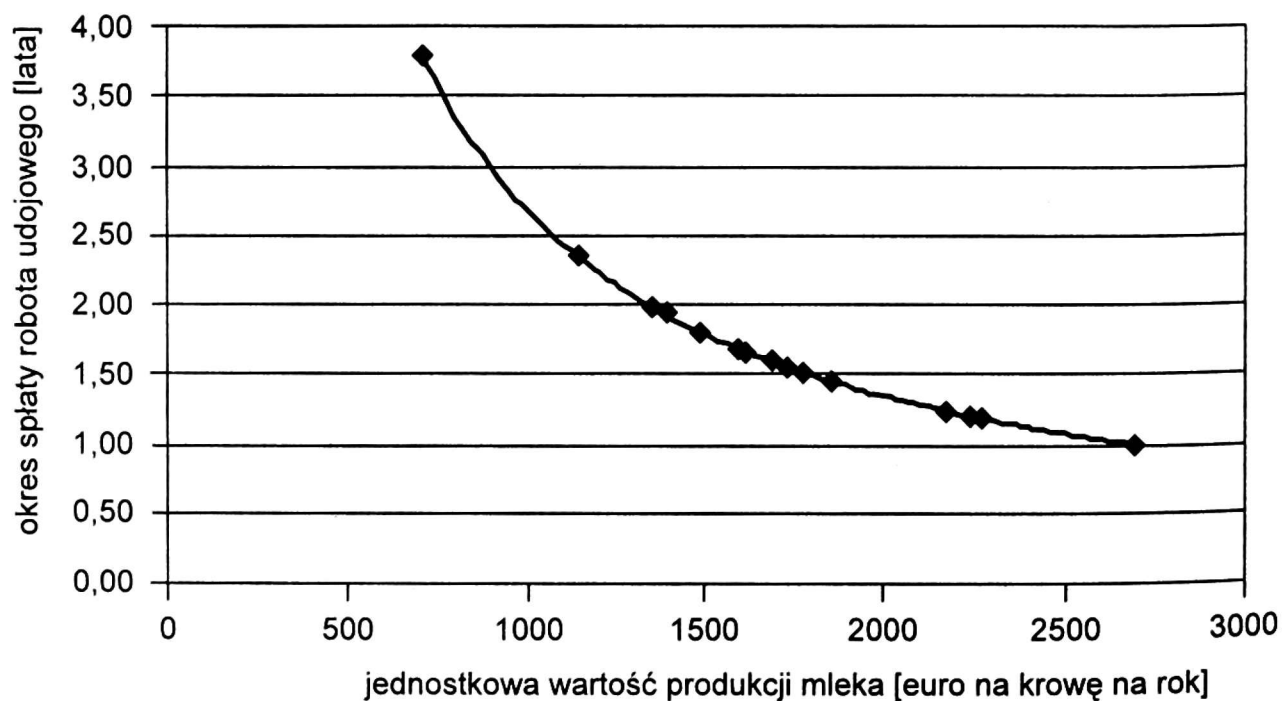
Perspektywy rozpowszechnienia automatycznych systemów doju na przykładzie wybranych regionów Europy

W poszczególnych krajach obserwuje się zróżnicowane warunki wdrażania postępu związanego z robotyzacją doju krów. Potwierdzają to liczne, przytaczane w literaturze przykłady obliczeniowe. Jednym z takich przykładów jest wyrażenie wartości robota udojowego w ilości mleka, jakie trzeba sprzedać, by wyposażyć gospodarstwo w model tego urządzenia. Uwzględniając dla 2001 roku cenę robota udojowego w wy-

Tabela 1. Wskaźniki produkcji mleczarskiej dla wybranych krajów europejskich w 2000 r. w kontekście wyposażenia gospodarstw w roboty udojowe

Kraj	Wydajność mleczna [litry na krowę]	Cena mleka surowego [euro na 100 litrów]	Wartość produkcji [euro na krowę na rok]	Okres spłaty robota [lata]
Austria	4977	27,83	1385,1	1,93
Belgia	5420	27,44	1487,3	1,79
Dania	7272	30,86	2244,1	1,19
Finlandia	6916	32,72	2262,9	1,18
Francja	5844	28,83	1684,8	1,58
Grecja	4756	33,88	1611,3	1,65
Hiszpania	5007	27,05	1354,4	1,97
Holandia	7302	29,63	2163,6	1,23
Irlandia	4191	27,20	1140,0	2,34
Luksemburg	6030	29,30	1766,8	1,51
Niemcy	6157	30,00	1847,1	1,44
Polska	3653	19,26	703,6	3,79
Portugalia	5819	28,97	1685,8	1,58
Szwecja	7748	34,74	2691,7	0,99
Wielka Brytania	6133	26,09	1600,1	1,67
Włochy	5113	33,85	1730,8	1,54

Źródło: Obliczenia własne na podstawie [4] i [23].



Rysunek 1. Okres spłaty robota udojowego w zależności od jednostkowej wartości produkcji mleka dla jego cen w 2000 r.

sokości 300000 DEM, a także ceny płacone producentom za jeden litr mleka w Czechach (7,5 CZK za 1 l) i Niemczech (0,60 DEM za 1 l) obliczono, że w celu sfinansowania zakupu robota czeski dostawca musiałby wyprodukować ok. 740 tys. litrów mleka, niemiecki farmer zaś tylko ok. 500 tys. litrów [29].

Zaprezentowany przykład można uzupełnić o analizę wskaźników uwzględniających aktualny stan gospodarki mleczarskiej w wybranych krajach, w tym potencjał biologiczny krów, wyrażany ich roczną wydajnością mleczną. Zbiór danych do wspomnianej analizy, zestawiony w tabeli 1, wykorzystano przykładowo do obliczenia okresu spłaty pojedynczego robota udojowego (o przyjętej cenie 160 tys. euro) na podstawie dochodów pochodzących ze sprzedaży mleka produkowanego przez stado 60 krów o zróżnicowanej dla poszczególnych krajów wydajności mlecznej osiągniętej w 2000 r. Wartości obliczonej zmiennej przedstawiono na rys. 1 w zależności od rocznej wartości mleka pozyskiwanego od pojedynczej krowy, przyjętej jako charakterystyczna cecha poziomu rozwoju mleczarstwa w danym kraju.

Wyniki porównawczych obliczeń (tab. 1, rys. 1) wskazują na znaczne zróżnicowanie ogólnych uwarunkowań wdrażania robotów udojowych w przyjętych do analizy krajach. W skrajnym wypadku, ponadtrzykrotna różnica w długości okresu spłaty robota udojowego dla porównywanych krajów sugeruje możliwość pojawiania się wielu barier ograniczających praktyczną aplikację najbardziej wyrafinowanych form postępu technicznego w zakresie doju i równocześnie podkreśla rolę zrównoważonego rozwoju poszczególnych ogniw tworzących zintegrowany system gospodarki mleczarskiej. Tym samym celowe jest podejmowanie dalszych zintensyfikowanych prac nad doskonaleniem systemu pozyskiwania mleka w zróżnicowanych uwarunkowaniach otoczenia produkcyjnego.

Literatura

- [1] Armstrong D.V., Daugherty L.S. 1997: Milking robots in large dairy farms. *Comput. and Electron. in Agricult.* 17: 123–128.
- [2] Artmann R., Bohlsen E. 2000. Results from the implementation of automatic milking system (AMS) - Multi-box facilities. W: Hogeveen H., Meijering A. (red.), *Robotic Milking, Proceedings of the international symposium held in Lelystad, The Netherlands, August 17–19, 2000*, Wageningen Pers: 221–231.
- [3] Cooper K., Parsons D.J. 1999. An economic analysis of automatic milking using a simulation model. *J. Agric. Engn. Res.* 73: 311–321.
- [4] Dairy Facts and Figures, 2001 edition; The Dairy Council, London, UK, 2002: 200.
- [5] Erdman R.A., Varner M. 1995. Fixed yield responses to increased milking frequency. *J. Dairy Sci.* 78: 1199–1203.
- [6] Hillerton J.E., Winter A. 1992. The effects of frequent milking on udder physiology and health. W: Ipema A.H., Lippus A.C., Metz J.H.M., Rossing W. (red.). *Proceedings of the*

- International Symposium on Prospects for Automatic Milking. Wageningen, the Netherlands. EAAP Publication 65: 201–212.
- [7] Hoard's Dairyman, Is robotic milking in your future? 2001. 146(3): 93.
- [8] Ketelaar-de Lauwere C.C., Ipema A.H., van Ouwerkerk E.N.J., Hendriks M.M.W.B., Metz J.H.M., Noordhuizen J.P.T.M., Schouten W.G.P. 1999: Voluntary automatic milking in combination with grazing of dairy cows. Milking frequency and effects on behaviour. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 64: 91–109.
- [9] Klungel G.H., Slaughuis B.A., Hogeveen H. 2000: The effect of the introduction of automatic milking on milk quality. *J. Dairy Sci.* 83: 1998–2003.
- [10] Koning K. de, Vorst Y. van der, Meijering A. 2002. Automatic milking experience and development in Europe. The First North American Conference on Robotic Milking, March 20–22, 2002, Toronto, Canada: I1–I11.
- [11] Koning K. de, Verstappen-Boerekamp J., Schuiling E. 2002. Milk cooling systems for automatic milking. The First North American Conference on Robotic Milking, March 20–22, 2002, Toronto, Canada: V25–V35.
- [12] Kremer J.H., Ordolff D. 1992: Experiences with continuous robot milking with regard to milk yield, milk composition and behaviour of cows. W: Ipema A.H., Lippus A.C., Metz J.H.M., Rossing W. (red.), Proceedings of the International Symposium on Prospects for Automatic Milking. Wageningen, The Netherlands, EAAP Publication 65: 253–260.
- [13] Landsbladet, Automatisk malkning ændrer udskiftningen i besætningen. April 25, 2002, Denmark, 2002: 16.
- [14] Lind O., Ipema A.H., de Koning C., Mottram T.T., Hermann H-J. 2000. Automatic milking. *Bulletin of the International Dairy Federation* 348: 3–14.
- [15] Lundqvist P. 1992. Human aspects in automatic milking. W: Ipema A.H., Lippus A.C., Metz J.H.M., Rossing W. (red.). Proceedings of the International Symposium on Prospects for Automatic Milking. Wageningen, the Netherlands. EAAP Publication 65: 414–420.
- [16] Moilanen J., Taattola K. 1992. Effects of improvements in dairy barns on work time and work stress. W: International Conference on Agricultural Engineering, Uppsala, Swedish Institute of Agricultural Engineering: 265–266.
- [17] Parsons D.J., Mottram T.T.F. 2000. An assessment of herd management aspects of robotic milking on UK dairy farms. W: Hogeveen H., Meijering A. (red.), Robotic Milking, Proceedings of the international symposium held in Lelystad, The Netherlands, August 17–19, 2000, Wageningen Pers.: 212–220.
- [18] Pomies D., Bony J. 2000: Comparison of hygienic quality of milk collected with a milking robot vs. with a conventional milking parlour. W: Hogeveen H., Meijering A. (red.), Robotic Milking, Proceedings of the international symposium held in Lelystad, The Netherlands, August 17–19, 2000, Wageningen Pers.: 122–123.
- [19] Rasmussen M.D., Blom J.Y., Nielsen L.A.H., Justesen P. 2001. Udder health of cows milked automatically. *Livestock Prod. Sci.* 72: 147–156.
- [20] Reinemann D.J., Smith D.J. 2000. Evaluation of automatic milking systems for the United States. W: Hogeveen H., Meijering A. (red.), Robotic Milking, Proceedings of the international symposium held in Lelystad, The Netherlands, August 17–19, 2000, Wageningen Pers.: 232–238.
- [21] Rodenburg J. 2002. The economics of robotic milking – good enough to be interesting. *Hoard's Dairyman* 147(5): 181.

- [22] Rossing W., Hogewerf P.H., Ipema A.H., Ketelaar-de Lauwere C.C., de Koning C.J.A.M. 1997. Robotic milking in dairy farming. *Netherl. J. Agric. Sci.* 45: 15–31.
- [23] Rynek Mleka, stan i perspektywy. IERiGŻ, Raport rynkowy nr 21, październik 2001: 31.
- [24] Sangiorgi F. 2002: Robotic milking in Italy: Technical and economical considerations. The First North American Conference on Robotic Milking, March 20–22, 2002, Toronto, Canada: VI66–VI69.
- [25] Schick M., Volet M.R., Kaufmann R. 2000. Modelling of time requirements and milking capacity in automatic milking systems with one or two milking stalls. W: Hogeveen H., Meijering A. (red.), *Robotic Milking, Proceedings of the international symposium held in Lelystad, The Netherlands, August 17–19, 2000*, Wageningen Pers.: 32–37.
- [26] Sonck B.R. 1995. Labour research on automatic milking with a human-controlled cow traffic. *Netherl. J. Agric. Sci.* 43: 261–285.
- [27] Sonck B.R. 1996. Labour organisation on robotic milking dairy farms. Dissertation Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands: 197.
- [28] Spahr S.L., Maltz E. 1997. Herd management for robot milking. *Comput. and Electron. in Agricult.* 17: 53–62.
- [29] Vegricht J. 2002. Study of using automatic milking systems on large dairy farms. *Res. Agric. Engng.* 48(1): 1–6.
- [30] Veysset P., Wallet P., Prognard E. 2001. Automatic milking systems: Characterising the farms equipped with AMS, impact and economic simulations. W: Rosati A., Mihina S., Mosconi C. (red.), *Physiological and Technical Aspects of Machine Milking*. Rome, Italy. ICAR TS 7: 141–150.
- [31] Vorst Y. van der, de Koning K. 2002. Automatic milking systems and milk quality in three European countries. The First North American Conference on Robotic Milking, March 20–22, 2002, Toronto, Canada: V1–V12.
- [32] Vos H.W. 1974. Some ergonomic aspects of parlour milking. *Can. Agric. Engng.* 16(1): 45–48.
- [33] Wendl G., Harms J., Schön H. 2000. Analysis of milking behaviour on automatic milking. W: Hogeveen H., Meijering A. (red.), *Robotic Milking, Proceedings of the international symposium held in Lelystad, The Netherlands, August 17–19, 2000*, Wageningen Pers.: 143–151.

Some problems with implementation of technical progress in agriculture on an example of milking robots

Key words: automatic milking system (AMS), cow, milking robot, progress

Summary

Introduction of new technical equipment and modern technologies in the field of dairy production on the farms, besides many predicted advantages, may be a source of problems related to the system: human–machine–animal.

On the basis of literature review and results of own observations, detailed studies were conducted concerning the consequences and barriers of using milking robots on

dairy farms, against the background of benefits from introduction of automatic milking systems (AMS). Following aspects were considered: technical, technological, economic, social and ethical ones.

Some statistical data were analysed to point out the differences in economic conditions and effectiveness of AMS introduction in selected European countries.