

Znaczenie pasz objętościowych w chowie bydła mlecznego i produkcji mleka – wybrane aspekty

EWA JAKIMIUK

Katedra Prewencji Weterynaryjnej i Higieny Pasz, Wydział Medycyny Weterynaryjnej,
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 13, 10-718 Olsztyn

Otrzymano 30.04.2024

Zaakceptowano 12.07.2024

Jakimiuk E.

Importance of forage in dairy farming and milk production – selected aspects

Summary

Modern agriculture, especially animal production, is undergoing gradual transformation. In the European Union, this transformation is influenced by both legal regulations and principles of a free-market economy. The adverse impact of conventional animal production on the natural environment has prompted actions to protect natural resources and reduce the emission of harmful compounds into water, soil, and the atmosphere. Measures aimed at utilizing feed materials obtained from grasslands in animal nutrition and maximizing the use of rations by animals to limit the excretion of unused nutrients into the environment are particularly important in dairy cattle breeding. Dairy farming and milk production are closely linked to crop production. High-quality roughage is fundamental for meeting the physiological needs of cows. Feed materials obtained from grasslands (permanent and rotational), which influence the quality of the final product (e.g., chemical composition and content of bioactive ingredients in milk), may meet the expectations of processing technologists and consumers. The quality of roughage used to feed high-producing dairy cows can significantly impact the profitability of farms, affecting both the total cost of the feed ration and the health and productivity of animals. The aim of this study is to present the most important factors determining the role of roughage in dairy cattle breeding and milk production.

Keywords: forage quality, dairy cow, nutrition

Akcesja Polski do Unii Europejskiej miała istotny wpływ na restrukturyzację polskiego rolnictwa. Jednym z następstw był wzrost specjalizacji gospodarstw prowadzących chów bydła mlecznego (123, 124, 126). W rolnictwie intensywnym, determinowana postępem hodowlanym oraz technologicznym, zwiększona produkcja mleka stanowi największy udział na rynku (72, 87). Rolnictwo konwencjonalne ukierunkowane na szybki efekt ekonomiczny charakteryzuje się degradującym oddziaływaniem na środowisko naturalne (79, 83). Pomimo tego, z uwagi na jego znaczenie w pokryciu zapotrzebowania na składniki pokarmowe dla stale zwiększającej się populacji ludzkiej stanowi prężnie rozwijającą się gałąź produkcji rolniczej. Zmiany klimatyczne, erozja i degradacja gleb, zaburzenia stosunków wodnych i spadek bioróżnorodności stanowią przesłankę do transformacji dotychczasowych konwencjonalnych systemów produkcji rolnej (58, 85). Zreformowana Wspólna Polityka Rolna Unii Europejskiej, poprzez promowanie strategii umożliwiających zrównoważoną produkcję żywności pochodzenia zwierzęcego, spełniającej oczekiwania (ilościowe, jakościowe) konsumentów, wprowadza

priorytety służące ekologizacji rolnictwa i ochronie środowiska przyrodniczego (80). Promowane nowoczesne strategie organizacyjne oraz innowacje technologiczne mają na celu zwiększenie efektywności produkcyjnej (precyzyjny chów zwierząt – Precision Livestock Farming, inteligentny chów zwierząt – Smart Livestock Farming), poprawę rentowności w produkcji mleka, ale również uwzględniają zagrożenia związane z tym sektorem produkcji rolniczej m.in.: emisją gazów cieplarnianych (10, 20, 44, 63, 103, 112). Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie znaczenia pasz objętościowych we współczesnym chowie bydła mlecznego wraz ze wskazaniem parametrów stosowanych w ocenie ich jakości.

Chów bydła mlecznego jest nierozzerwalnie związany ze skalą i rodzajem produkcji roślinnej (13, 19, 115). W zależności od typu użytkowego oraz grup technologicznych bydło charakteryzuje się specyficznymi wymaganiami pokarmowymi. Zdrowotność, dobrostan i produktywność krów mlecznych w znacznej mierze warunkowane są ilością i jakością pasz objętościowych w dawce pokarmowej. W ujęciu tradycyjnym pasze objętościowe rozgranicza się od pasz treściwych w oparciu

o zawartość (w przeliczeniu na kg suchej masy): energii netto (poniżej 4,1 MJ) oraz włókna surowego (powyżej 18%) (16, 65). Trwałe użytki zielone (TUZ) mogą być istotnym źródłem wartościowych pasz gospodarskich naturalnych (wypas na pastwisku, skarmianie zielonką w oborze) oraz konserwowanych (kiszonka, sianokiszonka, siano, susz). Ich udział w dawce pokarmowej krów mlecznych w zależności od intensywności produkcji może sięgać od 90-100% (system ekstensywny) do 40-50% (system intensywny) (2, 54). Trwałe użytki zielone stanowią wyjątkową uprawę łączącą w sobie cele produkcyjne (pasza, rolnictwo ekologiczne, produkcja biomasy na cele energetyczne) oraz środowiskowe (ochrona gleb, wody, powietrza, krajobrazu, zachowanie bioróżnorodności obszarów rolniczych) (13, 41, 55). Powierzchnia TUZ w Polsce wynosi 3,75 miliona ha, co stanowi 20,1% w całkowitej strukturze użytków rolnych kraju (87). Trwałe użytki zielone zajmują stanowiska, które z uwagi na ukształtowanie terenu lub warunki wodno-glebowe nie kwalifikują się do upraw polowych (113). W skali kraju poziom gospodarowania na TUZ jest zróżnicowany. Regiony, w których prowadzony jest chów bydła mlecznego, charakteryzują się efektywnym (wielkość plonu, jakość pasz roślinnych) gospodarowaniem na TUZ, w innych na skutek ograniczenia lub zaniechania użytkowania następuje degradacja zbiorowisk trawiastych (mało wartościowe trawy, chwasty wypierają z runi wartościowe gatunki traw i roślin zielarskich). W warunkach dużego oddalenia TUZ od budynków inwentarskich, niedostatecznego ich arealu lub niskiej wartości pokarmowej rośliny pastewne uprawiane na gruntach ornych (użytki przemienne) pokrywają zapotrzebowanie krów mlecznych na pasze objętościowe (11). Najczęstszym uzupełnieniem bazy paszowej pozyskiwanej z TUZ są mieszanki roślin bobowatych i traw oraz zasiewy traw na gruntach ornych. Użytkowanie gruntów ornych w celu produkcji roślin pastewnych jest zjawiskiem niepożądanym ekonomicznie z uwagi na wzrost kosztów produkcji zwierzęcej oraz nieracjonalnym z uwagi na pastewne wykorzystanie terenów uprawnych (58).

O sposobie wykorzystania zielonki (spasanie, koszenie) decyduje szereg czynników (118). Jednym z najbardziej istotnych jest system utrzymania oraz żywienia zwierząt. Wypas zwierząt na pastwisku jest efektywnym sposobem eksploatacji użytków zielonych podczas okresu wegetacji roślin. Prawidłowy harmonogram wypasu oraz dobrze przygotowane pastwisko pozwalają na uzyskanie wysokich plonów wartościowej zielonki i korzystnie wpływają na produkcję mleka (42). W przypadku chowu krów mlecznych (rolnictwo konwencjonalne) zdecydowana większość użytków zielonych w warunkach krajowych wykorzystywana jest kośnie przede wszystkim jako źródło surowca do przygotowania pasz konserwowanych (kiszonki, sianokiszonki, siano, susz). Kluczowe znaczenie dla jakości pozyskanego surowca roślinnego ma stadium dojrzałości roślin oraz skład botaniczny. Na stopień

wykorzystania składników pokarmowych przez zwierzę wpływa również przebieg procesu konserwacji, który może zmieniać nie tylko wartość pokarmową i odżywczą, ale także higieniczną pasz konserwowanych (45, 92).

Wpływ pasz objętościowych na fizjologię trawienia krów mlecznych

Na całym świecie przeżuwacze wykorzystują różnorodne nisze ekologiczne. Typ i właściwości paszy są jednymi z kluczowych czynników kształtujących behawior zwierząt oraz fizjologię trawienia (23). W toku ewolucji trawożerne przeżuwacze, przedstawicielem których są m.in. współczesne krowy, zaadaptowały się do efektywnego wykorzystywania energii i białka zawartych w paszach roślinnych. Przystosowania te dotyczyły m.in. specyfiki budowy i funkcjonowania przewodu pokarmowego (107). Budowa anatomiczna wielokomorowego żołądka, jego rozmiar i aktywność motoryczna w połączeniu z beztlenową aktywnością symbiotycznych mikroorganizmów zasiedlających przedżołądki pozwoliły przeżuwaczom na wykorzystanie jako źródła energii węglowodanów strukturalnych (22). Specyfika pobierania pokarmu (częstotliwość, ilość) oraz znaczący udział polisacharydów ściany komórkowej ulegających degradacji przy udziale mikrobioty żwacza spowodował, że istotnym elementem w zwiększeniu efektywności wykorzystania pasz roślinnych jest nie tylko przeżuwanie, ale również stratyfikacja treści pokarmowej w żwaczu (93). Wykształcenie czynnościowej struktury, tzw. maty żwaczowej, umożliwiło rozdział treści pokarmowej na frakcje charakteryzujące się odmienną kinetyką pasażu w zależności od rozmiaru i ciężaru właściwego cząstek (23, 64). Liczebność, wzajemne proporcje oraz aktywność mikrobioty są niezbędne dla uzewnętrznienia się potencjału genetycznego krowy w odniesieniu do produkcji mleka. Mikroorganizmy zasiedlające żwacz, za pośrednictwem związków powstających podczas ich metabolizmu, oddziałują na funkcjonowanie organizmu krowy, a wszelkie zaburzenia w symbiotycznej interakcji między mikroorganizmami żwacza a organizmem krowy skutkują pogorszeniem zdrowotności i produktywności zwierząt (73, 74, 120). Współczesna metodologia badań (zestaw zaawansowanych technik molekularnych) w połączeniu z zaawansowanymi analizami bioinformatycznymi do opracowania danych biologicznych („meta-omics”) pozwalają na pełniejsze zrozumienie zależności zarówno w odniesieniu do struktury i funkcji mikrobiomu, jak również interakcji z organizmem krowy w zależności od różnych warunków środowiskowych (30, 53, 119). Badania nad mikrobiomem żwacza oprócz aspektu poznawczego mają istotne znaczenie praktyczne nie tylko w kontekście zdrowia i wydajności zwierząt, ale również w perspektywie poprawy efektywności wykorzystania dawki pokarmowej, np. przy ograniczeniu metanogenezy (7, 71, 109).

Zbyt niski udział pasz objętościowych w dawce lub niewłaściwa ich struktura fizyczna wpływają niekorzystnie na szereg aspektów związanych z behawiorem, zdrowotnością i produktywnością krów mlecznych. Liczne studia literaturowe przedstawiają wpływ i znaczenie pasz objętościowych w odniesieniu do: dobrostanu (uzewnętrznienie się zachowań typowych dla tego gatunku zwierząt np. przeżuwanie), ryzyka wystąpienia schorzeń metabolicznych (m.in.: kwasica, ketoza), zmian w wydajności oraz podstawowym składzie chemicznym mleka (np. zmiany w zawartości tłuszczu) (56, 65, 75, 77, 101, 105).

Wpływ pasz objętościowych na skład i przydatność technologiczną mleka

Jakość i skład chemiczny mleka wzbudzają duże zainteresowanie, z różnych pobudek, wśród producentów mleka (cena skupu), technologów (koszty i efektywność przerobu) oraz konsumentów (względy dietetyczne) (15, 26). Mleko i otrzymywane z niego produkty są dobrym źródłem podstawowych składników pokarmowych o wysokiej wartości odżywczej dla człowieka (1). Mleko może być także cennym źródłem składników bioaktywnych należących do frakcji tłuszczowej (kwasy tłuszczowe, witaminy rozpuszczalne w tłuszczach, β -karoten, fosfolipidy, sfingomieliiny), wodno-białkowej (kazeina, białka serwatkowe, peptydy, aminokwasy) oraz przeciwutleniaczy (70). Zawartość składników w mleku kształtowana jest przez czynniki genetyczne (specyficzne dla gatunku i rasy krów), fizjologiczne (numer laktacji, etap laktacji, stan zdrowia i odżywienia zwierząt) oraz środowiskowe (m.in. żywienie, system utrzymania, higiena i system doju) (29). Technologia chowu bydła mlecznego (pastwiskowy vs. alkierzowy) oraz sposób żywienia krów (wypas, dawka tradycyjna, dawka pełnoporcjowa – TMR) mają znaczący wpływ na ilość i charakter składników bioaktywnych w mleku (3). Wypasanie zwierząt na pastwisku, skarmianie zielonki lub bardzo dobrej jakości pasz objętościowych konserwowanych (siana, kiszonki z traw, motylkowatych) pozytywnie wpływa na ilość składników bioaktywnych głównie frakcji tłuszczowej w mleku (15). W przypadku frakcji tłuszczowej podkreśla się zwiększony udział kwasów tłuszczowych wielonienasyconych (WNKT), w tym z rodziny n-3 oraz pożądany stosunek frakcji n-3 do n-6 w puli lipidów mleka, jak również zwiększoną zawartość naturalnych izomerów trans kwasów tłuszczowych (o udowodnionym działaniu prozdrowotnym) m.in.: sprzężonego kwasu linolowego lub kwasu wakcenowego (28, 91). Na transfer pożądanych składników bioaktywnych m.in.: antyoksydantów z tłuszczu pasz objętościowych do mleka decydujący wpływ mają czynniki związane z jakością pasz objętościowych. Zielonki lub otrzymywane z nich siano i kiszonki mogą być cennym źródłem składników funkcjonalnych w mleku, m.in. witamin A, E oraz β -karotenu (70). Retinol, tokoferole zawarte w paszach objętościowych

stanowią ochronę dla WNKT w mleku. Pozwalają na zachowanie wysokiej aktywności biologicznej WNKT, nie wpływając przy tym negatywnie na parametry organoleptyczne mleka (smak, zapach). Przystawalność naturalnego β -karotenu z roślin jest znacznie wyższa w porównaniu do jego formy syntetycznej stosowanej do suplementacji dawki pokarmowej (68). Zawartość składników bioaktywnych w paszy, którą otrzymuje zwierzę, zależy od jego koncentracji w roślinie oraz zakresu degradacji podczas zbioru, konserwacji i przechowywania. Zarówno w rolnictwie ekologicznym, jak i konwencjonalnym żywienie krów mlecznych opiera się na całorocznym wykorzystaniu kiszzonek i/lub sianokiszzonek. Jakość higieniczna materiału wyjściowego (ilość, skład mikroflory epifitycznej), sposób jego przygotowania do zakiszania, przebieg procesu konserwacji – to główne czynniki kształtujące wysokość ryzyka związanego z kiszonkami jako źródłem zanieczyszczeń chemicznych i mikrobiologicznych w dawce pokarmowej (108, 117, 122). Nieprawidłowy przebieg procesu zakiszania stwarza ryzyko niekorzystnego oddziaływania kiszzonek na mleko (cechy sensoryczne, stabilność i przydatność technologiczna) oraz zagrożenie dla zdrowia ludzi (12, 97). Komponenty kiszzonek wpływające na zapach, smak i kolor mleka oraz otrzymywanych z niego produktów, to szeroka grupa związków (węglowodory, terpeny, karotenoidy, alkohole, aldehydy i ketony, kwasy, estry i związki siarki) (60, 61). Do mikroorganizmów, które są szczególnie niebezpieczne i związane ze środowiskiem kiszzonek, zalicza się niektóre bakterie należące do rodziny *Enterobacteriaceae* (*E. coli* 0157), bakterie kwasu octowego (*Acetobacter* spp.), bakterie z rodzaju *Clostridium* spp. (*C. tyrobutyricum*, *C. butyricum*, *C. sporogenes*, *C. bifermentans*), *Bacillus* spp. oraz *Listeria* spp., drożdże (*Candida* spp., *Hansenula* spp., *Saccharomyces* spp.) oraz pleśnie (*Penicillium* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Mucor* spp.) (33, 62). Obecność i rozwój niepożądanego mikroflory w kiszonkach wpływa na kierunek fermentacji, a tym samym na ilość i rodzaj związków chemicznych powiązanych z aktywnością metaboliczną danej grupy mikroorganizmów (np. bakterie z rodzaju *Clostridium* spp. – aminy biogenne, grzyby pleśniowe – mikotoksyny) (95). Skutkuje to pogorszeniem wartości pokarmowej i odżywczej kiszzonek, ale również ogranicza ich wykorzystanie ze względu na zmniejszoną trwałość (np. niska stabilność tlenowa) (45).

Wpływ pasz objętościowych na opłacalność produkcji mleka

Chów bydła mlecznego oraz produkcja mleka stanowią jedną z najważniejszych gałęzi produkcji rolniczej w skali kraju. Udział produkcji mleka w produkcji towarowej w Polsce wynosi około 20%. W 2023 r. w Polsce wyprodukowano 14,8 mln litrów, co stanowiło około 9,7% produkcji mleka w UE (87). Skala chowu krów dostosowywana jest do możliwości

paszowych gospodarstwa oraz wymogów rentownej produkcji (43). Koszty pasz należą do najważniejszych bezpośrednich kosztów produkcji mleka i silnie korelują z wynikami ekonomicznymi osiąganymi przez gospodarstwa (27, 116), stąd doskonalenie technologii produkcji pasz pozyskiwanych z użytków zielonych (trwałych, przemennych) może istotnie przyczynić się do poprawy rentowności gospodarstw (8, 36, 121). W intensywnym chowie wysokoprodukcyjnych krów mlecznych nie ma możliwości pokrycia zapotrzebowania produkcyjnego przy użyciu dawki skomponowanej jedynie z pasz objętościowych (86). Procentowy udział pasz objętościowych i treściwych w suchej masie dawki pokarmowej może się zmieniać w zależności od: dostępności i przydatności ziemi do produkcji pasz w danym gospodarstwie, warunków klimatycznych, jak również dostępności pasz alternatywnych lub produktów ubocznych. Pomimo pozytywnego oddziaływania na mleczność, wysoki udział pasz treściwych (60-70% w suchej masie dawki) może wpływać niekorzystnie na rentowność produkcji mleka nie tylko z uwagi na zwiększenie kosztów bezpośrednich (zwiększony udział pasz treściwych własnych i z zakupu), ale również zwiększonego odsetka krów brakowanych ze stada z uwagi na pogorszenie zdrowia i wskaźników płodności (86, 94). Jakość pasz objętościowych wpływa na podstawowy poziom produkcji (wydajność mleczna krów w oparciu o dawki składające się wyłącznie z pasz objętościowych), co przekłada się na oszacowanie wysokości kosztów wynikających z konieczności wprowadzenia do dawki materiałów i/lub dodatków paszowych uzupełniających ewentualne niedobory ilościowe lub jakościowe składników pokarmowych (106, 125). Przy niskiej jakości pasz objętościowych zrównoważenie deficytu energii lub białka przez dodatek paszy treściwej może prowadzić do zachwiania struktury dawki i zaburzeń w trawieniu oraz wpływać niekorzystnie na opłacalność dawki pokarmowej (116).

W analizie finansowej gospodarstwa rolnego, plon otrzymany z użytków zielonych może być ujęty jako surowiec zwierzęcy (mleko) lub bezpośrednio traktowany jako uprawa towarowa (produkcja siana, kiszzonek) na sprzedaż. Koncentracja chowu bydła oraz zmiany klimatyczne przyczyniają się coraz częściej do niedoborów pasz gospodarskich i konieczności ich zakupu na rynku. Wskaźnik względnej wartości paszy (Relative Forage Value, RFV) opracowany przez American Forage and Grassland Council (88) oraz wskaźnik względnej jakości paszy (Relative Forage Quality, RFQ) opracowany przez Moore'a i Undersandera (78) stosowane są w ocenie wartości rynkowej pasz objętościowych. Ocenę tę przeprowadza się w oparciu o parametry określające wielkość ich pobrania przez zwierzęta oraz współczynniki strawności. System RFQ dzięki wprowadzeniu do obliczeń współczynników strawności włókna neutralno-detergentowego w warunkach *in vitro* (*in vitro* NDF digestibility, IVNDFD) oraz równania sumy

strawnych składników odżywczych (Total Digestible Nutrients – TDN) przewyższa ograniczenia RFV, wynikające w szczególności z niskiej przydatności do porównywania różnych gatunków/rodzin roślin oraz niemożności aktualizacji równań predykcyjnych wobec opracowanych algorytmów.

Parametry wykorzystywane w ocenie jakości pasz objętościowych

Postęp hodowlany, początkowo ukierunkowany na cele produkcyjne (wydajność mleka, zawartość białka), uzewnętrznił się przede wszystkim dzięki poprawie warunków żywienia i utrzymania krów mlecznych (9, 69, 94). TUZ charakteryzują się jednak labilną produktywnością, a otrzymane z nich materiały paszowe zmienną wartością pokarmową. Skład botaniczny runi (gatunki, odmiany roślin), potencjał plonotwórczy siedliska (warunki klimatyczne, glebowe), zabiegi pratotechniczne to główne czynniki mające istotny wpływ na jakość otrzymanych pasz (8, 39, 41). Wieloparametrowa ocena jakości pasz jest podstawą dobrego zarządzania żywieniem. Z uwagi na zmienność składu chemicznego materiały paszowe pochodzenia roślinnego wymagają okresowej oceny ich jakości (84). W zależności od przewidywanego sposobu wykorzystania (wypas, konserwacja) ocena jakości pasz objętościowych może być przeprowadzona przy użyciu odmiennego zakresu parametrów. Główne kategorie laboratoryjnych analiz pasz objętościowych wykonywane są z wykorzystaniem metod chemicznych, mikrobiologicznych oraz enzymatycznych. Do oceny zawartości poszczególnych składników pokarmowych mogą być stosowane metody wagowe (oddzielenie frakcji na drodze chemicznej lub enzymatycznej od innych składników paszy) oraz metody rozdzielcze (np. chromatograficzne, kolorymetryczne), które umożliwiają bezpośrednie oznaczenie pojedynczych związków wchodzących w skład danej frakcji (obliczenie całkowitej zawartości składnika pokarmowego jako sumy poszczególnych związków) (6, 25). Laboratoryjne analizy chemiczne (tzw. chemia mokra) z uwagi na ich prostotę, ekonomiczność oraz dokładność nadal stanowią podstawę, jak również są metodami odwoławczymi w ocenie wartości pokarmowej pasz. Jakość pasz objętościowych przekłada się na produktywność zwierząt (24). Smakowitość paszy jest powiązana z licznymi cechami roślin (np.: zapach, smak, konsystencja, wilgotność, wysokość i gęstość runi, stopień kolonizacji przez mikroorganizmy), które wpływając na jej akceptowalność przez zwierzęta, oddziałują na szybkość i ilość pobieranego pokarmu (18, 51). W przypadku konserwacji zielonek poprzez zakiszanie zbyt niska zawartość kwasu mlekowego, nieprawidłowe wzajemne proporcje kwasów fermentacyjnych (mlekowego, propionowego, octowego, masłowego) lub znacząca obecność produktów degradacji składników pokarmowych (np. amin biogennych), może negatywnie wpływać na skład chemiczny. Efektem pogorszenia jakości paszy mogą być również

niekorzystne zmiany w jej smakowitości, co przekłada się na pobranie dawki pokarmowej przez krowy (52, 57). Ocena wskaźników przebiegu fermentacji oraz jakości mikrobiologicznej otrzymanych kiszzonek to parametry wzajemnie się uzupełniające i w znacznym stopniu powiązane ze składem mikroflory epifitycznej. Skład tej mikroflory może być w niekorzystny sposób modyfikowany poprzez wykorzystanie w nawożeniu obornika lub gnojowicy oraz nieprawidłowo wykonane zabiegi pratotechniczne (76). Do czynników, które mogą niekorzystnie wpłynąć na pobranie pasz objętościowych, należą również związki antyżywniowe (np. alkaloidy, garbniki, cyjanoglikozydy, taniny, saponiny). Obecność i stężenia tych związków różnią się w zależności od składu botanicznego (np. występowanie chwastów) i mogą być powiązane z czynnikami środowiskowymi (stres biotyczny, abiotyczny) (104).

W podstawowej analizie składu chemicznego parametrem ocenianym każdorazowo jest zawartość wody w paszy. Zawartość wilgoci w paszach objętościowych jest jedną z najbardziej zmiennych miar. Informacja na temat wilgotności paszy jest konieczna nie tylko w odniesieniu do normowania dawki pokarmowej, ale wpływa również istotnie na przydatność surowca do konserwacji, jego podatność na zmiany fizykochemiczne podczas przechowywania oraz na biodostępność składników pokarmowych. W podstawowej analizie paszy opracowanej w połowie XIX w. przez Henneberga i Stohmanna składniki paszy dzieli się na grupy związków wykazujących pewne wspólne cechy. Białko ogólne (surowe), tłuszcz surowy, włókno surowe, popiół surowy, to zasadnicze składniki pokarmowe, których procentowy udział określa się w analizie weendeńskiej. W każdej z tych frakcji znajdują się związki, które pomimo posiadanych cech wspólnych, różnią się istotnie zarówno pod względem właściwości fizykochemicznych, jak również oddziaływania fizjologicznego. Ten aspekt ma szczególne znaczenie w odniesieniu do frakcji białek i węglowodanów. Aktualny stan wiedzy nt. kinetyki procesów trawienia i pasażu w przedżołądkach, subfrakcji ww. składników pokarmowych nie pozwala na miarodajną ocenę jakości paszy w oparciu o zakres oferowany przez analizę weendeńską (90, 98). Oznaczanie zawartości węglowodanów, zwłaszcza frakcji budującej ścianę komórkową roślin, budzi wiele wątpliwości w podstawowej analizie. Węglowodany strukturalne to niejednorodna grupa związków organicznych zróżnicowana pod względem zakresu i szybkości degradacji w przedżołądkach (49, 59). Podczas analizy włókna surowego, w zależności od rodzaju i stadium wegetacji rośliny, znaczna część składników strukturalnych ściany komórkowej może ulec rozpuszczeniu (21-68%), co skutkuje przypisaniem jej do związków bezazotowych wyciągowych. Efektem może być trudny do oszacowania błąd podczas określania współczynników strawności oraz wartości energetycznej materiału paszowego. Z uwagi na te ograniczenia do określenia zawartości węglowodanów

w paszach roślinnych stosowanych w żywieniu była powszechnie wykorzystuje się metodę detergentową wraz z jej modyfikacjami (metoda detergentowo-enzymatyczna) (99). Opracowana przez van Soest i współpracowników metoda dzięki doborowi odczynników oraz sekwencyjności w oznaczeniu pozwala na określenie zawartości wszystkich komponentów strukturalnych ściany komórkowej oraz niewęglowodanowych związków inkrustujących lub adkrustujących. Włókno neutralno-detergentowe (NDF) jest polecanym parametrem jakości szczególnie w przypadku materiałów paszowych, w których zawartość węglowodanów strukturalnych (celulozy, hemiceluloz) oraz ligniny wzrasta wraz z dojrzałością roślin. Ze względu na wolniejsze tempo fermentacji tych związków w żwaczu oraz konieczność ich dłuższego przeżuwania frakcja NDF powiązana jest ze zdolnością pobrania paszy (efekt wypełnienia żwacza) (82). Ilość energii w dawce jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na wydajność krów mlecznych. Dokładne i precyzyjne przewidywanie całkowitej zawartości NDF, a także szybkości i zakresu jego degradacji w żwaczu jest ważne przy generowaniu ilościowych sumarycznych równań wartości energetycznej paszy (34). Ocenę zawartości potencjalnie strawnej frakcji NDF przeprowadza się w warunkach *in vitro* lub *in situ*. W celu określenia zawartości najmniej strawnych składników ścian komórkowych, w metodologii detergentowej, określa się również zawartość włókna kwaśno-detergentowego (ADF). Zawartość ADF (celuloza, lignina, białko nierozpuszczalne w kwaśnym detergentcie, kutyna, garbniki, woski, krzemionka) jest statystycznie powiązana ze strawnością NDF i dawki pokarmowej. Kolejne etapy analizy chemicznej pozwalają na ilościowe określenie frakcji węglowodanów rozpuszczalnych w neutralnym detergentcie: niewłóknistych (non-fibrous carbohydrates, NFC), nieskrobiowych (non-starch polysaccharides, NSP); rozpuszczalnych w wodzie (water soluble carbohydrates, WSC) oraz rozpuszczalnych w etanolu (ethanol soluble carbohydrates, ESC). Podział węglowodanów na ww. frakcje umożliwia dokładniejszą charakterystykę paszy pod względem jej oddziaływania na: przemiany w żwaczu i profil powstających lotnych kwasów tłuszczowych oraz podatność na zakiszanie i wartość energetyczną (46, 47).

Trudności w optymalnym zbilansowaniu białka w dawkach pokarmowych dla wysokoprodukcyjnych krów mlecznych spowodowane są m.in. ilościowym i jakościowym zróżnicowaniem zapotrzebowania produkcyjnego krowy w stosunku do zapotrzebowania mikroorganizmów żwacza na ten składnik pokarmowy (5). Tradycyjne metody oceny wartości pokarmowej białka pasz nie pozwalają na uwzględnienie dynamiki przemian związków azotowych w żwaczu (81, 98). Przez dekady ocena zawartości białka surowego (metoda Kjeldahla) i strawności (z różnicy między zawartością białka ogólnego i azotu nierozpuszczalnego

w pepsynie) stanowiły podstawę w ocenie wartości odżywczej białka. Oznaczany metodą Kjeldahla azot całkowity jedynie w 60-80% wchodzi w skład białka właściwego, pozostałą część stanowią azot niebiałkowy (non-protein nitrogen, NPN) oraz azot niedostępny. Nadmierna podaż w dawce pokarmowej związków azotowych o dużej biodostępności dla mikroorganizmów żwacza (azot amonowy zawarty w zielonkach podczas wczesnych faz wegetacji lub niskiej jakości kiszonkach) lub równoczesny niedobór węglowodanów łatwo fermentujących w żwaczu znajduje odzwierciedlenie w niskiej efektywności wykorzystania azotu pokarmowego zarówno do syntezy białka mikrobiologicznego, jak i białka mleka (14, 21, 110). Niekorzystne następstwa dotyczą zarówno pogorszenia opłacalności produkcji (wydalanie azotu pokarmowego w moczu – azot mocznikowy), zwiększonej emisji gazów cieplarnianych (przekształcanie związków azotu wydalanych w moczu do podtlenków azotu), jak również pogorszenia wskaźników płodności, wydajności i zdrowotności zwierząt (wysokie stężenia azotu mocznikowego we krwi) (17, 31, 114). W przypadku pasz objętościowych w stanie świeżym, czynniki genetyczne, warunki środowiskowe podczas wegetacji, stadium dojrzałości roślin, nawożenie mogą wpływać na zawartość azotu frakcji nieproteinogennej (4). Dodatkowo technologia i przebieg procesu konserwacji mogą znacząco wpływać na zwiększenie zawartości NPN w kiszonkach i sianokiszonkach (66). Zawartość azotu amonowego w kiszonkach jest jednym z istotnych wskaźników aktywności proteolitycznej: enzymów roślinnych i mikroflory epifitycznej (tlenowa faza zakiszania) oraz niepożądanych drobnoustrojów proteolitycznych m.in. *Clostridium* spp. podczas beztlenowej fazy zakiszania (50, 95, 102). Nadmierna proteoliza prowadzi do wzrostu pH (pogorszenie stabilności kiszonki) oraz przyczynia się do obecności w zakiszczonym materiale toksycznych związków np. amin biogennych, które negatywnie wpływają na pobranie paszy oraz zdrowotność zwierząt.

Nieprawidłowy przebieg procesu zakiszania, prowadzący do nadmiernego wzrostu temperatury w zakiszczonym surowcu, może także skutkować znaczącym wzrostem ilości białka zdegradowanego termicznie (35, 37, 38, 67, 89). Metoda detergentowa w połączeniu z metodą Kjeldahla pozwala na ocenę ilości azotu nierozpuszczalnego w kwaśnym detergencie (acid detergent insoluble nitrogen, ADIN), który w następstwie kowalencyjnego wiązania się azotu z aminokwasów z resztami cukrowymi polisacharydów ściany komórkowej rośliny (reakcja Maillarda) staje się niedostępny zarówno dla mikroorganizmów żwacza, jak również nie podlega trawieniu i wchłanianiu w jelicie cienkim krowy (99).

Ważnym parametrem w ocenie jakości pasz objętościowych konserwowanych na drodze zakiszania są informacje na temat zawartości popiołu surowego oraz popiołu nierozpuszczalnego w kwasie solnym.

Technologia zbioru oraz przygotowania zielonek do zakiszania (podsuszanie) może zwiększać ilość niepożądaną (ze względu na kierunek fermentacji) i/lub potencjalnie patogennej mikroflory jako efekt zanieczyszczenia zielonki glebą lub nawozami organicznymi (33, 48, 111).

Współczesny chów bydła mlecznego oraz produkcja mleka stanowią wielopłaszczyznowy i jeden z najbardziej skomplikowanych obszarów w towarowej produkcji zwierzęcej. Zarówno fizjologia trawienia, jak również czynniki związane z wartością pokarmową i odżywczą powodują, iż pasze otrzymywane z użytków zielonych powinny stanowić podstawę w żywieniu krów mlecznych. Kluczowym dla osiągnięcia zamierzonych przez producenta celów produkcyjnych, ekonomicznych oraz środowiskowych są wysoka jakość i optymalna zawartość składników pokarmowych w paszach objętościowych. W zależności od zakresu parametrów poddanych analizie ocena jakości pasz objętościowych może stać się źródłem informacji nieodzownych do: zwiększenia efektywności wykorzystania paszy (w oparciu o jej rzeczywistą wartość pokarmową); powiązania produktywności zwierząt z charakterystyką paszy oraz optymalizacji wartości odżywczej nowych odmian roślin. Wybrane wskaźniki jakości mogą być również wykorzystane w procesie diagnostycznym występujących w stadzie problemów zdrowotnych lub określaniu wartości rynkowej pasz objętościowych.

Piśmiennictwo

1. Adamska A., Rutkowska J.: Nieparzyste i rozgałęzione kwasy tłuszczowe w tłuszczu mlecznym – charakterystyka i właściwości prozdrowotne. Post. Hig. Med. Dosw. 2014, 68, 998-1007.
2. Aditya S., Qumar M., Karimy M. F., Pourazad P., Penagos-Tabares F., Wulansari N.: High-grain feeding contributes to endotoxin contamination in dairy milk. Toxicon 2024, 241, 107659.
3. Alothman M., Hogan S. A., Hennessy D., Dillon P., Kilcawley K. N., O'Donovan M., O'Callaghan T. F.: The "grass-fed" milk story: Understanding the impact of pasture feeding on the composition and quality of bovine milk. Foods 2019, 8, 350.
4. Attwood G. T.: The contribution of plant-derived proteinases to the breakdown of fresh pasture protein in the rumen. Br. J. Nutr. 2005, 93, 4, 421-423.
5. Bach A., Calsamiglia S., Stern M. D.: Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 2005, 88, Suppl 1, E9-21.
6. Barbosa M. M., Detmann E., Valadares S., Filho C., Detmann K. S. C., Franco M. O., Batista E. D., Rocha G. C.: Evaluation of methods for the quantification of ether extract contents in forage and cattle feces. An. Acad. Bras. Cienc. 2017, 89, 2, 1295-1303.
7. Barrett K., Lange L., Børsting C. F., Olijhoek D. W., Lund P., Meyer A. S.: Changes in the metagenome-encoded CAZymes of the rumen microbiome are linked to feed-induced reductions in methane emission from Holstein cows. Front. Microbiol. 2022, 13, 855590.
8. Barszczewski J., Wasilewski Z., Wróbel B.: Ocena prądotęchnicznych wskaźników intensywności gospodarowania na trwałych użytkach zielonych w systemie konwencjonalnym. Woda, Śr., Obsz. Wiej. 2013, 13, 3, 43, 5-22.
9. Berry D. P.: Breeding the dairy cow of the future: What do we need? Anim. Prod. Sci. 2015, 55, 7, 823-837.
10. Bianchi M. C., Bava L., Sandrucci A., Tangorra F. M., Tamburini A., Gislon G., Zucali M.: Diffusion of precision livestock farming technologies in dairy cattle farms. Animal 2022, 16, 11, 100650.
11. Borowiecki J.: Mieszkanki roślin motylkowych z trawami w polowej produkcji pasz. Post. Nauk Rol. 2000, 47, 1, 83-94.
12. Borreani G., Ferrero F., Nucera D., Casale M., Piano S., Tabacco E.: Dairy farm management practices and the risk of contamination of tank milk from *Clostridium* spp. and *Paenibacillus* spp. Spores in silage, total mixed ration, dairy cow feces, and raw milk. J. Dairy Sci. 2019, 102, 8273-8289.
13. Bórawski P., Gotkiewicz W., Beldycka-Bórawska A., Szymańska E., Brelik A., Harper J., Dunn J.: Changes in grassland and their impact on milk production in

- Poland in the context of environmental protection. *Pol. J. Environ. Stud.* 2020, 29, 2, 1567-1578.
14. Broderick G. A.: Desirable characteristics of forage legumes for improving protein utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 1995, 73, 9, 2760-2773.
 15. Brodziak A., Wajs J., Zuba-Ciszewska M., Król J., Stobiecka M., Jańczuk A.: Organic versus conventional raw cow milk as material for processing. *Animals* 2021, 11, 10, 2760.
 16. Brzóska M., Śliwiński B.: Jakość pasz objętościowych w żywieniu przeżuwaczy i metody jej oceny Cz. I. Charakterystyka pasz objętościowych i mierniki jej jakości. *Wiad. Zootech.* 2011, 2, 11-23.
 17. Butler W. R., Calaman J. J., Beam S. W.: Plasma and milk urea nitrogen in relation to pregnancy rate in lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 1996, 74, 858-865.
 18. Cannas A., Mereu A., Decandia M., Molle G.: Role of sensorial perceptions in feed selection and intake by domestic herbivores. *Ital. J. Anim. Sci.* 2009, 8, 2, 243-251.
 19. Chabuz W., Litwinczuk Z., Teter W., Stanek P., Brodziak A.: Pokrycie potrzeb pokarmowych i koszty produkcji mleka w gospodarstwach o różnych systemach zywienia krów. *Rocz. Nauk. Pol. Tow. Zootech.* 2012, 8, 2, 27-39.
 20. Chase L. E., Fortina R.: Environmental and economic responses to precision feed management in dairy cattle diets. *Agriculture* 2023, 13, 5, 1032.
 21. Chen P., Li Y., Wang M., Shen Y., Liu M., Xu H., Ma N., Cao Y., Li Q., Abdelsattar M. M., Wang Z., Hou Z., Ren S., Hu L., Liu L., Gao Y., Li J.: Optimizing dietary rumen-degradable starch to rumen-degradable protein ratio improves lactation performance and nitrogen utilization efficiency in mid-lactating Holstein dairy cows. *Front. Vet. Sci.* 2024, 11, 1330876.
 22. Cholewińska P., Górniak W., Wojnarowski K.: Impact of selected environmental factors on microbiome of the digestive tract of ruminants. *BMC Vet. Res.* 2021, 17, 1-10.
 23. Clauss M., Hummel J.: Physiological adaptations of ruminants and their potential relevance for production systems. *R. Bras. Zootec.* 2017, 46, 7, 606-613.
 24. Coleman S. W., Moore J. E.: Feed quality and animal performance. *Field Crops Res.* 2003, 84, 1-2, 17-29.
 25. Collings G. F., Yokoyama M. T.: Analysis of fiber components in feeds and forages using gas liquid chromatography. *J. Agric. Food Chem.* 1979, 27, 2, 373-377.
 26. Coulon J. B., Pradel P., Verdier I.: Effect of forage type on milk yield, chemical composition and clotting properties of milk. *Le Lait* 1995, 75, 6, 513-521.
 27. Czarnota P.: Koszty produkcji mleka w gospodarstwach wyspecjalizowanych w chowie bydła mlecznego w Polsce. *Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. Agrobiz.* 2009, 11, 1, 72-78.
 28. Davis H., Chatzidimitriou E., Leifert C., Butler G.: Evidence that forage-fed cows can enhance milk quality. *Sustainability* 2020, 12, 9, 3688.
 29. Dewhurst R. J., Shingfield K. J., Lee M. R. F., Scollan N. D.: Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 2006, 131, 3-4, 168-206.
 30. Dixit S., Kumar S., Sharma R., Banakar P. S., Singh M., Keshri A., Tyagi A. K.: Rumen multi-omics addressing diet-host-microbiome interplay in farm animals: A review. *Anim. Biotechnol.* 2023, 34, 7, 3187-3205.
 31. Doreau M., Ferlay A., Rochette Y., Martin C.: Effects of dehydrated lucerne and soya bean meal on milk production and composition, nutrient digestion, and methane and nitrogen losses in dairy cows receiving two different forages. *Animal* 2014, 8, 3, 420-430.
 32. Driehuis F.: Silage and the safety and quality of dairy foods: a review. *Agric. Food Sci.* 2013, 22, 16-34.
 33. Franco M., Tapio I., Huuskonen A., Rinne M.: Fermentation quality and bacterial ecology of red clover dominated silage modulated by different management factors. *Front. Anim. Sci.* 2022, 3, 1080535.
 34. Gallo A., Moschini M., Cerioli C., Masoero F.: Use of principal component analysis to classify forages and predict their calculated energy content. *Animal* 2013, 7, 6, 930-939.
 35. Garcia A. D., Olson W. G., Otterby D. E., Linn J. G., Hansen W. P.: Effects of temperature, moisture, and aeration on fermentation of alfalfa silage. *J. Dairy Sci.* 1989, 72, 1, 93-103.
 36. Gawel E., Grzelak M.: Postęp biologiczny i technologiczny w produkcji paszy z roślin bobowatych drobnonasiennych i mieszanek bobowato-trawiatych. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 2019, 60, 14, 37-59.
 37. Goering H. K., Gordon C. H., Hemken R. W., Waldo D. R., Van Soest P. J., Smith L. W.: Analytical estimates of nitrogen digestibility in heat damaged forages. *J. Dairy Sci.* 1972, 55, 9, 1275-1280.
 38. Goering H. K., Van Soest P. J., Hemken R. W.: Relative susceptibility of forages to heat damage as affected by moisture, temperature, and pH. *J. Dairy Sci.* 1973, 56, 1, 137-143.
 39. Golińska B., Vishwakarma R., Brophy C., Goliński P.: Positive effects of plant diversity on dry matter yield while maintaining a high level of forage digestibility in intensively managed grasslands across two contrasting environments. *Grass and Forage Sci.* 2023, 78, 4, 438-461.
 40. Goliński P., Bailey J., Crespo D. G., van den Pol A., Lind V., Mosquera-Losada M. R., Reheul D.: Sustainable grassland production by increased functional group diversification. *EIP-AGRI*, 2016.
 41. Goliński P., Joks W.: Właściwości chemiczne i biologiczne traw a produkcja biogazu. *Łąkarstwo w Pol.* 2007, 10, 37-47.
 42. Goliński P., Sobolewska P., Stefańska B., Golińska B.: Virtual fencing technology for cattle management in the pasture feeding system – A review. *Agriculture* 2022, 13, 1, 91.
 43. Golaś Z.: Uwarunkowania rentowności produkcji mleka w gospodarstwach mlecznych krajów Unii Europejskiej. *Zag. Ekon. Rol.* 2017, 3, 352, 19-40.
 44. González L. A., Kyriazakis I., Tedeschi L. O.: Review: precision nutrition of ruminants: Approaches, challenges and potential gains. *Animal* 2018, 12, 246-261.
 45. Gordo A., Hernando B., Artajona J., Fondevila M.: In vitro study of the effect of ensiling length and processing on the nutritive value of maize silages. *Animals* 2023, 13, 3, 344.
 46. Hall M. B.: Challenges with nonfiber carbohydrate methods. *J. Anim. Sci.* 2003, 81, 3226-3232.
 47. Hall M. B., Hoover W. H., Jennings J. P., Miller-Webster T. K.: A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. *J. Sci. Food Agric.* 1999, 79, 2079-2086.
 48. Hartinger T., Kube K., Gresner N., Südekum K. H.: Varying ensiling conditions affect the fermentation quality and abundance of bacterial key players in lucerne silages. *J. Agric. Sci.* 2020, 158, 4, 297-303.
 49. Hatfield R. D., Ralph J., Grabber J. H.: Cell wall structural foundations: Molecular basis for improving forage digestibilities. *Crop Sci.* 1999, 39, 1, 27-37.
 50. Herremans S., Decruyenaere V., Beckers Y., Froidmont E.: Silage additives to reduce protein degradation during ensiling and evaluation of in vitro ruminal nitrogen degradability. *Grass Forage Sci.* 2019, 74, 1, 86-96.
 51. Horadagoda A., Fulkerson W. J., Nandra K. S., Barchia I. M.: Grazing preferences by dairy cows for 14 forage species. *Anim. Prod. Sci.* 2009, 49, 7, 586-594.
 52. Huhtanen P., Khalili H., Nousiainen J. I., Rinne M., Jaakkola S., Heikkilä T., Nousiainen J.: Prediction of the relative intake potential of grass silage by dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 2002, 73, 2-3, 111-130.
 53. Islam M., Lee S.-S.: Recent application technologies of rumen microbiome is the key to enhance feed fermentation. *J. Life. Sci.* 2018, 10, 1244-1253.
 54. Jankowska-Huflejt H.: Rolno-środowiskowe znaczenie trwałych użytków zielonych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2007, 1, 23-34.
 55. Jankowska-Huflejt H., Domański J. P.: Aktualne i możliwe kierunki wykorzystania trwałych użytków zielonych w Polsce. *Woda, Śr., Obsz. Wiej.* 2008, 8, 31-49.
 56. Jenkins T. C., McGuire M. A.: Major advances in nutrition: impact on milk composition. *J. Dairy Sci.* 2006, 89, 4, 1302-1310.
 57. Jovaišienė J., Bakutis B., Baliukonienė V., Matusevičius P., Lipiński K., Antoszkiewicz Z., Fijałkowska M.: Biogenic amines and mycotoxins concentrations in baled silage from organic and conventional farms. *Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.* 2017, 69, 269-277.
 58. Józwiak W., Mirkowska Z., Sobierajewska J., Zieliński M., Zietara W.: Environmental, climate, and economic aspects of dairy cow farming. *Zag. Ekon. Rol.* 2023, 376, 3, 26-46.
 59. Jung H. G., Allen M. S.: Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 1995, 73, 9, 2774-2790.
 60. Kalac P.: Carotenoids, ergosterol and tocopherols in fresh and preserved herbage and their transfer to bovine milk fat and adipose tissues: A review. *J. Agrobiol.* 2012, 29, 1, 1.
 61. Kalac P.: The effects of silage feeding on some sensory and health attributes of cow's milk: A review. *Food Chem.* 2011, 125, 2, 307-317.
 62. Kapturowska A. U., Zielińska K. J., Stecka K. M.: Evaluation of raw milk quality in connection with roughages quality in selected organic farms. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 2012, 57, 3, 194-197.
 63. Kaur H., Kaur G., Gupta T., Mittal D., Ali S. A.: Integrating omics technologies for a comprehensive understanding of the microbiome and its impact on cattle production. *Biology* 2023, 12, 9, 1200.
 64. Kennedy P. M., Murphy M. R.: The nutritional implications of differential passage of particles through the ruminant alimentary tract. *Nutr. Res. Rev.* 1988, 1, 189-208.
 65. Klebaniuk R., Grela E. R., Bąkowski M., Zajac M., Olcha M.: Behawioralne następstwa nieprawidłowego żywienia bydła. *Prz. Hod.* 2016, 2, 9-14.
 66. Kohn R. A., Allen M. S.: Effect of plant maturity and preservation method on in vitro protein degradation of forages. *J. Dairy Sci.* 1995, 78, 7, 1544-1551.
 67. Kosolapov V. M., Khudyakova K. K., Kosolapova V. G.: Evaluation of cereal forages and forages from them according to the content of protein insoluble in acid detergent. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2021, November, 901, 1, 012028.
 68. Krzyżewski J., Strzałkowska N., Bagnicka E., Józwiak A., Horbańczuk J. O.: Wpływ antyoksydantów zawartych w tłuszczu pasz objętościowych na jakość mleka krów. *Żywn. Nauka Technol.* Jakość 2012, 3, 82, 35-45.
 69. Kuczaj M.: Wyniki krzyżowania bydła czarno- i czerwono-białego z rasą holendersko-fryzyjską w Polsce w latach 1991-1999. *Med. Weter.* 2001, 57, 437-440.
 70. Kuczyńska B., Nałęcz-Tarwacka T., Puppel K.: Bioaktywne składniki jako wyznacznik jakości prozdrowotnej mleka. *Med. Rodz.* 2013, 1, 11-18.
 71. Li Y. Q., Xi Y. M., Wang Z. D., Zeng H. F., Han Z.: Combined signature of rumen microbiome and metabolome in dairy cows with different feed intake levels. *J. Anim. Sci.* 2020, 98, 3, skaa070.

72. Litwińczuk Z., Barłowska J., Król J., Brodziak A., Matwijczuk A., Kowal M.: Skład chemiczny oraz przydatność technologiczna mleka w zależności od fazy laktacji oraz systemu żywienia krów. *Med. Weter.* 2015, 71, 4, 231-235.
73. Liu K., Zhang Y., Yu Z., Xu Q., Zheng N., Zhao S., Huang G., Wang J.: Ruminal microbiota-host interaction and its effect on nutrient metabolism. *Anim. Nutr.* 2021, 7, 1, 49-55.
74. Liu L., Wu P., Guo A., Yang Y., Chen F., Zhang Q.: Research progress on the regulation of production traits by gastrointestinal microbiota in dairy cows. *Front. Vet. Sci.* 2023, 10:1206346.
75. Mansbridge R. J., Blake J. S.: Nutritional factors affecting the fatty acid composition of bovine milk. *Br. J. Nutr.* 1997, 78, 1, 37-47.
76. Martens W., Böhm R.: Overview of the ability of different treatment methods for liquid and solid manure to inactivate pathogens. *Bioresour Technol.* 2009, 100, 22, 5374-5378.
77. Maxin G., Rulquin H., Glasser F.: Response of milk fat concentration and yield to nutrient supply in dairy cows. *Animal* 2011, 5, 8, 1299-1310.
78. Moore J. E., Undersander D. J.: Relative Forage Quality: An alternative to relative feed value and quality index, [in:] *Proc. Florida Ruminant Nutrition Symposium*, January 10-11, University of Florida, Gainesville 2002, 16-31.
79. Morey L., Bach A., Sabria D., Riau V., Fernández B., Terré M.: Effectiveness of precision feeding in reducing N excretion in dairy cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2023, 304, 115722.
80. Musiał K., Szumiec A.: Istota Zielonego Ładu we Wspólnej Polityce Rolnej 2021-2027 – wyzwania dla rolnictwa w aspekcie ochrony środowiska i przyrody. *Wiad. Zootech.* 2021, 3, 3-14.
81. Nadeau E., Englund J. E., Gustafsson A. H.: Nitrogen efficiency of dairy cows as affected by diet and milk yield. *Livest. Sci.* 2007, 111, 1-2, 45-56.
82. Oba M., Allen M. S.: Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2007, 90, 3, 589-596.
83. Oenema O., de Klein C., Alfaro M.: Intensification of grassland and forage use: driving forces and constraints. *Crop & Pasture Sci.* 2014, 65, 524-537.
84. Piccioli-Cappelli F., Calegari F., Calamari L., Bani P., Minuti A.: Application of a NIR device for precision feeding in dairy farms: Effect on metabolic conditions and milk production. *Ital. J. Anim. Sci.* 2019, 18, 1, 754-765.
85. Pitta D., Indugu N., Narayan K., Hennessy M.: Symposium review: Understanding the role of the rumen microbiome in enteric methane mitigation and productivity in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2022, 105, 10, 8569-8585.
86. Pytlewski J., Antkowiak I., Idkowiak K., Skrzypek R.: Analiza opłacalności produkcji mleka w latach 2001-2012 na przykładzie RSP „Przyszłość” z uwzględnieniem zmiany systemu utrzymania krów. *Nauka Przyr. Tech.* 2014, 8, 1, 3.
87. Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2023. Główny Urząd Statystyczny, ISSN 2080-8798.
88. Rohweder D. A., Barnes R. E., Jorgensen N.: Proposed hay grading standards based on laboratory analysis for evaluating quality. *J. Anim. Sci.* 1978, 47, 747-759.
89. Ruppel K. A., Pitt R. E., Chase L. E., Galton D. M.: Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. *J. Dairy Sci.* 1995, 78, 1, 141-153.
90. Russell J. B., O'Connor J. D., Fox D. G., Van Soest P. J., Sniffen C. J.: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *J. Anim. Sci.* 1992, 70, 11, 3551-3561.
91. Rutkowska E., Tambor K., Rutkowska J., Stolyhwo A.: Charakterystyka prozdrowotnych kwasów tłuszczowych tłuszczu mlecznego. *Probl. Hig. Epidemiol.* 2015, 96, 2, 377-386.
92. Santos M. C., Kung L.: Effects of spoiled silages on animal performance, [in:] *International Symposium on Forage Quality and Conservation. Proceedings* 2011, 2, 1-10.
93. Schulze A. K. S., Weisbjerg M. R., Storm A. C., Nørgaard P.: Forage fiber effects on particle size reduction, ruminal stratification, and selective retention in heifers fed highly digestible grass/clover silages. *J. Anim. Sci.* 2014, 92, 6, 2511-2521.
94. Skarżyńska A.: Wpływ wydajności mlecznej krów na opłacalność produkcji mleka. *Zag. Ekon. Rol.* 2012, 1, 90-111.
95. Składanka J., Adam V., Doležal P., Nedělník J., Kizek R., Linduskova H., Nawrath A.: How do grass species, season and ensiling influence mycotoxin content in forage? *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2013, 10, 11, 6084-6095.
96. Składanka J., Adam V., Zitka O., Mlejnkova V., Kalhotka L., Horky P., Konecna K., Hodulikova L., Knotova D., Balabanova M., Slama P., Skarpa P.: Comparison of biogenic amines and mycotoxins in Alfalfa and Red Clover fodder depending on additives. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14, 4, 418.
97. Składanka J., Nedělník J., Adam V., Doležal P., Moravcová H., Dohnal V.: Forage as a primary source of mycotoxins in animal diets. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2011, 8, 1, 37-50.
98. Sniffen C. J., O'Connor J. D., Van Soest P. J., Fox D. G., Russell J. B.: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 1992, 70, 11, 3562-3577.
99. Soest P. J., van, Mason V. C.: The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. *Feed Sci. Technol.* 1991, 32, 1-3, 45-53.
100. Soest P. J., van, Robertson J. B., Lewis B. A.: Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 1991, 74, 10, 3583-3597.
101. Stauder A., Humer E., Neubauer V., Reisinger N., Kaltenegger A., Zebeli Q.: Distinct responses in feed sorting, chewing behavior, and ruminal acidosis risk between primiparous and multiparous Simmental cows fed diets differing in forage and starch levels. *J. Dairy Sci.* 2020, 103, 9, 8467-8481.
102. Steidlová S., Kalac P.: The effects of lactic acid bacteria inoculants and formic acid on the formation of biogenic amines in grass silages. *Arch. Anim. Nutr.* 2004, 58, 3, 245-254.
103. Sun H. Z., Plastow G., Guan L. L.: Invited review: Advances and challenges in application of feedomics to improve dairy cow production and health. *J. Dairy Sci.* 2019, 102, 7, 5853-5870.
104. Suterska A. M., Zielińska K. J., Fungowski R. A., Stecka K. M., Miecznikowski A. H., Kupryś M. P.: Effect of the selected strains from *Lactobacillus* genus on the limitation of mould and ochratoxin A contamination of silage from meadow sward. *J. Res. Appl. Agric. Engng.* 2009, 53, 125-130.
105. Sutton J. D.: Altering milk composition by feeding. *J. Dairy Sci.* 1989, 72, 10, 2801-2814.
106. Święcicki W. K., Surma M., Koziara W., Skrzypczak G., Szukala J., Bartkowiak-Broda I., Zimny J., Banaszak Z., Marciniak K.: Nowoczesne technologie w produkcji roślinnej – przyjazne dla człowieka i środowiska. *Pol. J. Agron.* 2011, 7, 102-112.
107. Tarso S. G. S. de, Oliveira D., Afonso J. A. B.: Ruminants as part of the global food system: How evolutionary adaptations and diversity of the digestive system brought them to the Future. *J. Dairy Vet. Anim. Res.* 2016, 3, 5, 00094.
108. Tava A., Biazzi E., Ronga D., Pecetti L., Avato P.: Biologically active compounds from forage plants. *Phytochem. Rev.* 2022, 1-31.
109. Torres Manno M. A., Gizzi F. O., Martín M., Espariz M., Magni C., Blancato V. S.: Metagenomic approach to infer rumen microbiome derived traits of cattle. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2023, 39, 9, 250.
110. Tremblay G. F., Bélanger G., McRae K. B., Michaud R.: Proteolysis in alfalfa silages made from different cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 2001, 81, 4, 685-692.
111. Vuković A., Milenković B., Lalević D., Barać S., Biberdžić M., Đokić D., Stanisavljević R.: Nutritional value and chemical composition of corn silage depending on cutting height and forage losses. *Rom. Agric. Res.* 2024, 41, 55-66.
112. Walczak J.: Precyzyjny chów bydła mlecznego. *Wiad. Zootech.* 2018, 3, 3-10.
113. Wasilewski Z.: Stan obecny i kierunki gospodarowania na użytkach zielonych zgodnie z wymogami wspólnej polityki rolnej. *Woda, Śr., Obsz. Wiej.* 2009, 9, 2, 26, 169-184.
114. Weiss W. P., Willett L. B., St-Pierre N. R., Borger D. C., McKelvey T. R., Wyatt D. J.: Varying forage type, metabolizable protein concentration, and carbohydrate source affects manure excretion, manure ammonia, and nitrogen metabolism of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2009, 92, 11, 5607-5619.
115. Winnicki S., Jugowar J. L.: Intensywność produkcji mleka a środowisko naturalne. *Woda, Śr., Obsz. Wiej.* 2014, 14, 1, 45, 121-128.
116. Wojtyra B.: Porównanie wyników produkcyjno-ekonomicznych gospodarstw wyspecjalizowanych w produkcji mleka w zależności od udziału pasz z zakupu stosowanych w żywieniu krów. *Rocz. Nauk. Ekonom. Rol. Rozw. Obsz. Wiej.* 2009, 96, 3, 236-243.
117. Wróbel B.: Zagrożenia zwierząt i ludzi toksynami grzybów pleśniowych zawartych w paszach i żywności. *Woda, Śr., Obsz. Wiej.* 2014, 47, 159-176.
118. Wróbel B., Zielewicz W., Staniak M.: Challenges of pasture feeding systems – opportunities and constraints. *Agriculture* 2023, 13, 5, 974.
119. Xie Y., Sun H., Xue M., Liu J.: Metagenomics reveals differences in microbial composition and metabolic functions in the rumen of dairy cows with different residual feed intake. *Anim. Microbiome* 2022, 4 (1), 19.
120. Xue M. Y., Sun H. Z., Wu X. H., Liu J. X., Guan L. L.: Multi-omics reveals that the rumen microbiome and its metabolome together with the host metabolome contribute to individualized dairy cow performance. *Microbiome* 2020, 8, 64.
121. Zielewicz W., Swędryński A., Dobrzyński J., Swędryńska D., Kulkova I., Wierchowski P. S., Wróbel B.: Effect of forage plant mixture and biostimulants application on the yield, changes of botanical composition, and microbiological soil activity. *Agronomy* 2021, 11, 9, 1786.
122. Zielińska K. J., Stecka K. M., Kupryś M. P., Kapturowska A. U., Miecznikowski A. H.: Ocena stopnia skażenia bakteriami potencjalnie patogennymi runi łąkowej i gleb nawożonych płynnymi nawozami organicznymi. *J. Res. Appl. Agric. Engng.* 2011, 56, 4, 212-215.
123. Ziętara W.: Ekonomiczne i organizacyjne problemy produkcji mleka przy wysokiej wydajności mlecznej krów. *Rocz. Nauk. Ekonom. Rol. Rozw. Obsz. Wiej.* 2007, 93, 2, 27-36.
124. Ziętara W.: Stan i kierunki rozwoju gospodarstw nastawionych na produkcję mleka w Polsce. *Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. Agrobiz.* 2010, 12, 3, 432-437.
125. Ziętara W., Adamski M.: Competitiveness of the Polish dairy farms at the background of farms from selected European Union countries. *Probl. Agric. Econ.* 2018, 354, 1, 56-79.
126. Ziętara W., Mirkowska Z.: Concentration of dairy cow breeding and competitiveness of Polish farms specialized in milk production. *Annals PAAAE XXV.* 2023, 2, 168-181.

Adres autora: dr n. wet. Ewa Jakimiuk, ul. Oczapowskiego 13, 10-718 Olsztyn; e-mail: ewa.jakimiuk@uwm.edu.pl