

OCIEPLENIE KLIMATU I JEGO WPŁYW NA ROZRÓD BYDŁA MLECZNEGO

Andrzej Max

Wydział Medycyny Weterynaryjnej SGGW

78



Negatywny wpływ nadmiernie wysokich temperatur na rozród i wydajność bydła mlecznego jest od dawna znany. Problematyka ta jest szeroko poruszana na łamach polskich portali i czasopism hodowlanych (1, 20, 22) i weterynaryjnych (10, 14, 15, 17, 21). Współcześnie coraz większą uwagę przyciągają szeroko rozpowszechniane informacje na temat zmian klimatycznych, a niektóre bazujące na nich rozwiązania wzbudzają gorące dyskusje nie tylko fachowców, ale także polityków i publicystów prezentujących odmienne, a czasem nawet przeciwstawne stanowiska w tym zakresie. Istotne wydaje się zatem pytanie czy zmiany klimatyczne wymagają perspektywiczne-

go spojrzenia wraz z przygotowaniem długofalowej strategii. Niniejszy artykuł nawiązuje do wcześniejszej publikacji (21) i jest jej kontynuacją i poszerzeniem.

Czy globalne ocieplenie jest faktem czy fikcją?

Historia klimatu Ziemi jest bardzo złożona, kształtowała się bowiem wraz z rozwojem i przemianami na planecie podczas długich okresów liczonych w milionach lat, jak eony, ery, okresy i epoki. Obecnie trwająca era kenozoiczna liczona od 66 mln lat wstecz do współczesności jest związana z dynamicznymi zmianami klimatycznymi, umożliwiającymi powstanie i rozwój życia.

W dziejach Ziemi występowały okresy znacznego ochłodzenia (złodowaceń), jak również ocieplenia. Wśród bardziej znanych jest ocieplenie rzymskie (250 p.n.e. - 400 n.e.) lub średniowieczne (lata 900 - 1300), kiedy to możliwa była uprawa cytrusów i winorośli w dalekiej północy wysuniętych regionach, jak np. Wyspy Brytyjskie. Te zjawiska nie miały jednak zasięgu globalnego, a regionalny (półkula północna).

Zmiany klimatyczne na długich i krótkich ośiach czasu są więc czymś znanym i niekwestionowanym, jednak tempo tych zmian w kierunku ocieplenia w ostatnich stuleciach i dekadach uległo drastycznemu przyspieszeniu. Jako główną przyczynę podaje się rozwój przemysłu i inne for-

Climate warming and its impact on dairy cattle reproduction

Based on climatological observations, continued global warming is predicted. Consequences of high THI in summer include disturbances in food intake, metabolism, milk production, and reproduction. In particular, these include silent heat, lower fertilization rates, embryo mortality, and abnormal placental formation. To reduce heat stress, reorganization of housing, feeding, and breeding practices is proposed. Breeding and genetic interventions aim to improve heat tolerance and resilience in dairy herds.

Keywords: climate warming, dairy cattle, reproduction, heat tolerance.



my działalności ludzi. Wraz z nastaniem ery przemysłowej (głównie od połowy XIX wieku) doszło do znacznego wzrostu stężenia gazów cieplarnianych w atmosferze, co zwiększa przyrosty temperatury. Za prace nad modelowaniem zmian klimatycznych, wpływem człowieka na globalne ocieplenie i wykorzystanie w tym zakresie teorii układów złożonych w roku 2021 nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki otrzymali Syukuro Manabe, Klaus Hasselmann i Giorgio Parisi.

Rycina 1 przedstawia rozkład dobowych anomalii temperaturowych w czasie ostatnich 85 lat. Anomalią temperatury nazywa się odchylenie jej wartości mierzonej w konkretnej dobie od średniej wieloletniej wyliczonej dla tego samego

dnia roku. W cytowanym zestawieniu anomalie porównano do okresu lat 1991-2020. Jak widać, w latach wcześniejszych nietypowe temperatury dobowe miały kierunek ujemny (anomalie ujemne), natomiast w ostatnich latach były to anomalie dodatnie, co wskazuje na tendencję wzrostową temperatury (13).

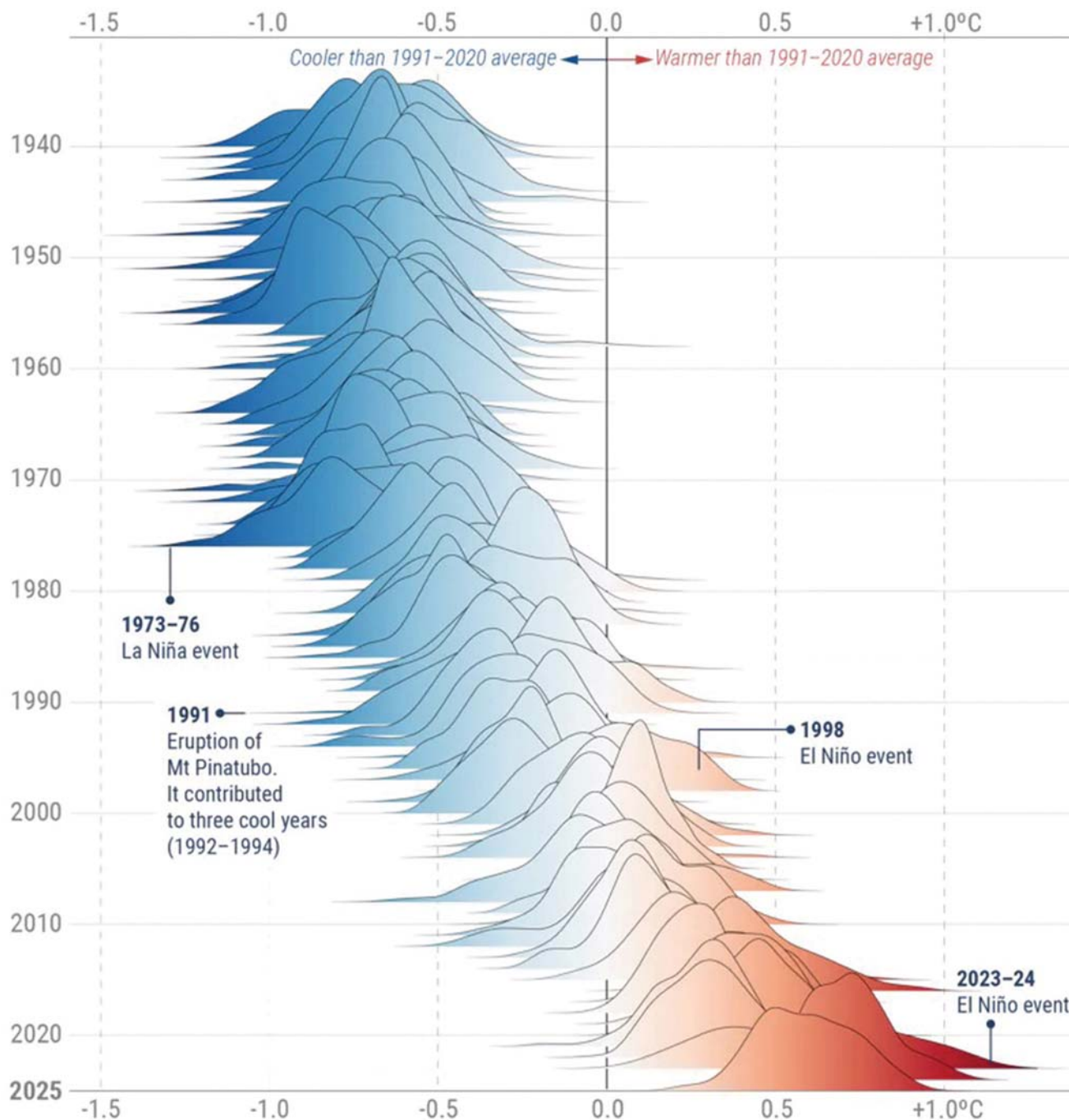
Według niektórych opinii aktualna epoka geologiczna – holocen – trwająca od ok. 11700 lat, cechująca się dość stabilnym klimatem, powinna zakończyć się formalnie w połowie wieku XX, od kiedy nastąpiło wielkie przyspieszenie wzrostu populacji ludzi, urbanizacji, industrializacji, zużycia paliw kopalnych, radioaktywności itp. Z uwagi na zależność tych zmian od aktywności ludzkiej

Paul Crutzen, holenderski noblista, zaproponował, aby dalszą część tej epoki nazwać oficjalnie antropocenem. Wniosek w tej sprawie został jednak w 2024 roku odrzucony przez Międzynarodową Unię Nauk Geologicznych (IUGS – ang.: International Union of Geological Sciences), w której Polska jest reprezentowana przez kilka jednostek, w tym Komitet Nauk Geologicznych PAN.

Istnieją też teorie (mniej liczne) przeczące przewidywanemu dalszemu globalnemu ociepleniu (ang.: global warming denial). Jedną z nich zasada się na obserwacjach cyklicznych zmian klimatu, z okresami ocieplenia i ochłodzenia. Przywoływane jest tu zjawisko znane jako Wielkie Minimum Słoneczne (ang.:

2025 continues the shift towards higher global temperatures

Distribution of daily global surface air temperature anomalies (°C) from 1940 to 2025



*The height of each curve is proportional to the number of days experiencing a given temperature anomaly

Data: ERA5 • Reference period: 1991–2020 • Credit: C3S/ECMWF



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



IMPLEMENTED BY



Ryc. 1. Rozkład dobowych anomalii temperatury globalnej od 1940 do 2025 roku (13).

Grand Solar Minimum). Powodem jego jest okresowo obniżona aktywność Słońca związana ze zmniejszeniem jego rotacji, objawiająca się między innymi częściowym zanikiem widocznych plam słonecznych, a skutkująca obniżaniem się

temperatury na Ziemi. Spektakularnym przykładem jest Minimum Maundera – obserwowane w latach 1645–1717, co czasowo wiązało się ze znacznym ochłodzeniem zwanym „małą epoką lodową” (ang.: Little Ice Age – LIA), która nastą-

piła po okresie średniowiecznego optimum klimatycznego (27). Długotrwałe fluktuacje temperaturowe, będące pochodną cykli solarnych, niezwiązane z działalnością człowieka zdają się także potwierdzać wyniki zapisów z 5 stacji po-

miarowych na półkuli północnej z okresu 200 lat, a także dwa zrekonstruowane długoterminowe zapisy roczne, (ze stalagmitu i ze słoju drzew), których długość wynosi około 2000 lat (18). Powyższe i im podobne wyjaśnienia nie są jednak obecnie powszechnie uznawane za wystarczające i w pełni uzasadnione dla wykluczenia antropogenicznego ocieplania się klimatu.

Temperatury w Polsce

Niezależnie od zmian globalnych, ich kierunku i stopnia nasilenia jawi się problem natury praktycznej, a mianowicie upały występujące latem w naszej szerokości geograficznej. Jednak lato 2025 (kiedy to średnie temperatury mieściły się w wartościach typowych dla tego okresu) oraz ostatnia wyrazista zima mogą wzbudzać wątpliwości co do postępującego ocieplenia klimatu. Warto więc sięgnąć do obserwacji długoterminowych. Na przykład w drugiej połowie XX wieku zanotowano w Polsce wzrost temperatury o 0,2°C na dekadę oraz wzrost liczby i długości fal upałów (19). Zmiany średnich temperatur latem (czerwiec – sierpień) w Polsce na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci ilustruje ryc. 2 (12). W przedstawionych okresach czasowych średnia temperatura wzrosła o 1,4°C. Wyraźnie wzrosła przy tym roczna liczba dni upalnych, z temperaturą maksymalną przekraczającą +30°C. O ile było ich średnio 3,5 w przedziale czasu 1961–1990, to w latach 2011–2020 już 10,4 czyli trzykrotnie więcej. Jednocześnie spada liczba dni z temperaturą średnią dobową poniżej 0°C oraz dni mroźnych, ze średnią temperaturą dobową poniżej -10°C. Podobne zależności zanotowano także z zimie (grudzień – luty; ryc. 3), kiedy to, pomimo dużej zmienności będącej pochodną położenia geograficznego, w tych samym przedziale średnia temperatura wzrosła o 1,7°C (12). Jeżeli nawet tendencja wzrostowa temperatur uległaby zahamowaniu lub osłabieniu, to i tak pozostałby problem upałów, kiedy to w niektórych rejonach Polski temperatury w najcieplejszych okresach (zwłaszcza w lipcu) potrafią przekraczać 35°C, co powoduje znaczny dyskomfort zwierząt, szczególnie tych pozbawionych możliwości swobodnego przemieszczania się w poszukiwaniu chłodu.

Wpływ stresu cieplnego na rozród

Truizmem jest stwierdzenie, że jest to wpływ negatywny. Do istotnych zaburzeń

może dojść latem, szczególnie w najcieplejszych miesiącach (lipiec – sierpień), przy dłużej trwających upałach i po przekroczeniu granicznych wartości. Rozród może być upośledzony na różnych etapach; wymienia się mianowicie: problemy manifestacji rui (cicha ruja), zaburzenia owulacji, gorszą jakość gamet męskich i żeńskich (obniżona zapłodnialność), obumieralność zarodków, między innymi z powodu rozchwiania mechanizmu macicznego rozpoznawania ciąży, deficytu progesteronu i niekorzystnych zmian środowiska jajowodu i macicy. Rzutuje to także na obniżenie skuteczności procedur wspomaganego rozrodu/przenoszenia zarodków (15), co niedawno potwierdzono w badaniach *in vitro* (28). Jeżeli stres termiczny występuje w okresie wysokiej ciąży, wówczas zwiększa się ryzyko nieprawidłowości w strukturze łożyska, skutkujących skróceniem ciąży, niższą masą urodzeniową cieląt i obniżoną laktacją (25).

Postępowanie

Postępowanie mające na celu ograniczenie negatywnych skutków wysokiej temperatury środowiska i zapobieganie im obejmuje zarówno działania doraźne, podejmowane podczas zagrożenia upałami, jak też dalekosiężne strategie zmierzające do ochrony i modernizacji stad krów mlecznych przy jednoczesnym zachowaniu ich produktywności.

Monitorowanie stada

Monitorowanie stanu fizjologicznego i zdrowotnego krów pozwala na szybkie wychwycenie zmian i daje możliwość wczesnego reagowania. W Polsce dostępne są różne systemy, w których indywidualne czujniki są najczęściej w postaci kolczyków lub obroży. Dostarczają one informacji o aktywności (zachowaniu się) krów, pobieraniu paszy, przeżuwanu, wydajności mlecznej i pośrednio pomagają w wykrywaniu rui oraz ocenie zdrowia i dobrostanu. Inną formą są bolusy dożwaczowe monitorujące temperaturę wewnętrzną, pH żwacza, aktywność krowy i przeżuwanie w czasie rzeczywistym. Wśród systemów są takie współpracujące z aplikacją mobilną na poziomie telefonów/smartfonów z dostępem do raportów, alertów i powiadomień, co umożliwia stałą kontrolę nad stadem, w tym w sytuacjach zagrożenia stresem cieplnym. Pomocnym narzędziem jest także analiza mleka mająca znaczenie w ocenie stanu metabolicznego i zdrowotnego, w tym re-

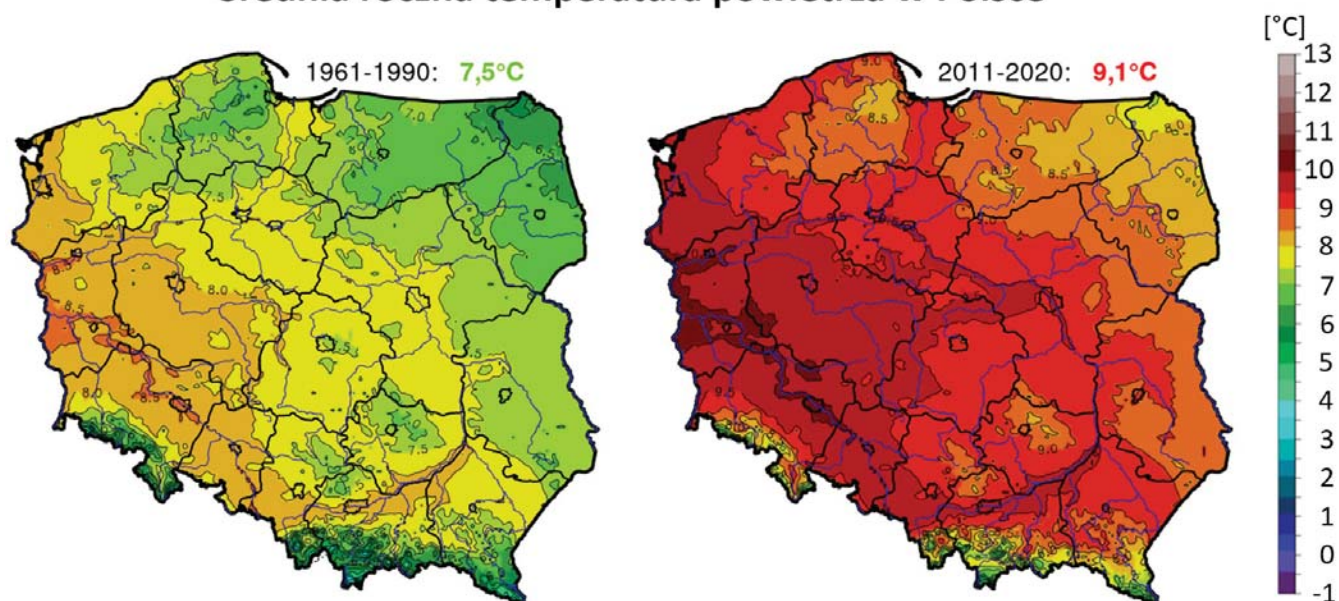
akcji na przegrzanie. Jedną z przydatnych metod jest spektroskopia w zakresie średniej podczerwieni (MIR – ang. Mid-Infrared Spectroscopy), nie tylko jako miernik składników mleka takich jak białko, tłuszcz czy laktoza, ale także innych substancji i ich frakcji mających znaczenie w ocenie stanu zdrowia krów. Analiza widma MIR mogłaby być też pomocna w selekcji zwierząt podatnych i opornych na stres cieplny. Badania w tym zakresie wykonują specjalistyczne laboratoria mleczarskie, także mobilne – z dojazdem do gospodarstw.

Rola wskaźnika THI

Wysoka temperatura powietrza jest głównym czynnikiem odpowiedzialnym za stres cieplny. Za graniczną przyjmuje się 21°C, zwłaszcza gdy nie spada poniżej tej wartości w porze nocnej (9). Nie jest to jednak czynnik jedyny. Wskaźnikiem służącym ocenie stopnia szkodliwego przegrzania środowiska zwierząt jest poza temperaturą powietrza także jej stosunek do aktualnej wilgotności, wskazywany powszechnie jako najbardziej miarodajny dla oceny ryzyka stresu cieplnego u krów, określany skrótem THI (ang. temperature humidity index) (25). Do jednoczesnych pomiarów temperatury i wilgotności służą urządzenia zwane termohigrometrami. W ofercie rynkowej jest kilka modeli takich czujników. Wśród nich są wersje z wyświetlaczem pokazujące wartości obu parametrów oraz już obliczony indeks THI. Ryc. 4 przedstawia liczbowe wartości wskaźnika w powiązaniu ze stresem u krów. Według tego modelu przekroczenie indeksu 71 może wiązać się z pewnymi konsekwencjami zdrowotnymi. Działania doraźne zmierzają do ograniczenia niekorzystnych skutków wysokiej temperatury, w tym przez fizyczną modyfikację środowiska i obniżanie temperatury samych zwierząt. W tym celu stosuje się wydajne systemy wentylacyjne i zraszacz niskociśnieniowe (na krowy) i wysokociśnieniowe – chłodzące powietrze (8). Oczywiście, a zarazem kluczowe znaczenie ma zapewnienie zwierzętom osłony przed promieniami słonecznymi (zacienienie) i swobodnego dostępu do wody, najlepiej chłodnej.

Warto też pamiętać o tym, że zwierzęta przebywające w warunkach przegrzania mają zmniejszone łaknienie, co przekłada się na pobieranie niewystarczającej ilości paszy, co z kolei skutkuje chociażby spadkiem mleczności. W okresie upałów zaleca się więc zmianę pór karmienia

Średnia roczna temperatura powietrza w Polsce



Ryc. 2. Średnie roczne temperatury powietrza w Polsce latem w latach 1961–2020 według danych IMGW (12).

na czas, kiedy jest chłodniej, a przy żywieniu w systemie TMR podzielenie dziennej dawki na kilka mniejszych porcji, z naciskiem na późne popołudnie/wieczór, aby trawienie odbywało się w porze nocnej (21). Wskazana też jest zmiana struktury dawki pokarmowej, między innymi przez zwiększenie koncentracji energii (dodatki tłuszczowe) i poprawę strawności (kiszonki wysokiej jakości), dodatki buforów i antyoksydantów (11).

Strategie w hodowli i rozrodzie

Transformacja hodowli bydła mlecznego powinna zmierzać w kierunku zrównoważonego rozwoju przy uwzględnieniu aspektów środowiskowych, społecznych i ekonomicznych. W tym obszarze mieszczą się między innymi strategie przeciwdziałania stresowi cieplnemu. Wykazano między innymi, że krowy wyselekcjonowane pod kątem lepszej termooporności mogą przynieść korzyści zarówno zyskom gospodarstwa, jak i kształtowaniu środowiska w warunkach zmiany klimatu (26). Stwierdzono na przykład wysoką ujemną korelację między wartościami wskaźnika ekonomicznego i wskaźnika węglowego u krów ($\rho = -0,72$). Porównywanie krów pod względem wskaźnika węglowego przypadającego na zwierzę może, wraz ze wskaźnikiem ekonomicznym, pomóc w zmniejszeniu śladu węglowego produkcji mleka (2). Zwraca się też uwagę na zintegrowane systemy w zakresie hodowli zwierząt i wykorzystania pasz, po-

nieważ skupienie się wyłącznie na hodowli zwierząt gospodarskich o niskim śladzie ekologicznym może zniweczyć korzyści środowiskowe wynikające z uprawy wybranych roślin pastewnych. Przedstawiono projekt optymalizacji selektywnej hodowli zwierząt gospodarskich w powiązaniu z uprawą trawy życicy w celu ograniczenia wpływu produkcji mleka na środowisko poprzez połączenie analizy środowiskowej oceny cyklu życia i uczenia maszynowego. Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA, ang. life cycle assessment) jest jedną z technik zarządzania szacującą wpływ szeroko pojętego badanego procesu na środowisko według międzynarodowych norm ISO 14040/14044. Wykazano, że optymalny ideotyp (ideotyp jest teoretycznym modelem rośliny uprawnej o idealnie dobranych cechach morfologicznych i fizjologicznych, zaprojektowany w celu maksymalizacji plonu w określonych warunkach środowiskowych) życicy zidentyfikowany dla systemów mleczarskich opartych na trawie może zmniejszyć potencjał globalnego ocieplenia o 36,7 %, a także poprawić inne wskaźniki środowiskowe, co można uzyskać przy użyciu narzędzi uwzględniających właśnie wspomnianą analizę (23).

Współcześnie zwraca się uwagę na równowagę różnych elementów w kompleksowo widzianej globalnej produkcji mleczarskiej, od hodowli bydła mlecznego począwszy. W szczególności analizowane są czynniki oddziałujące na środowisko naturalne, wykorzystanie zasobów, ochrona bioróżnorodności, ale

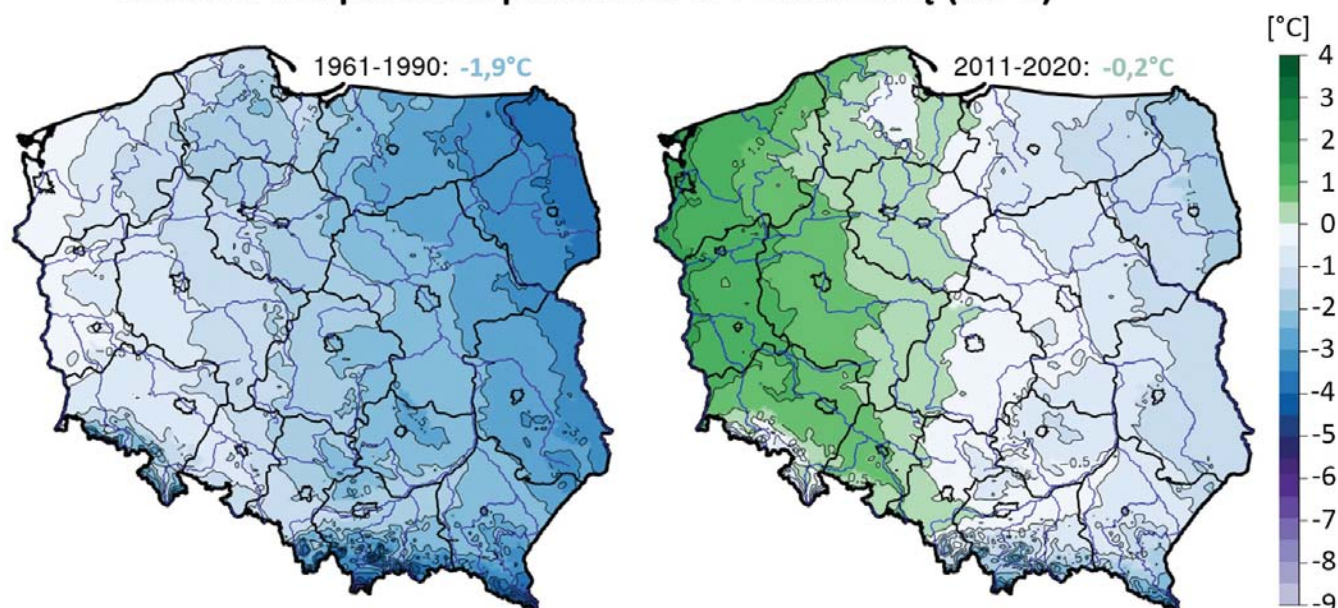
także preferencje konsumentów oraz aspekty ekonomiczne, takie jak strategie optymalizacji wydajności, redukcji kosztów i zwiększenia konkurencyjności rynkowej (4, 16).

W organizacji rozrodu w niektórych obiektach rezygnuje się z unasieniania krów (zwłaszcza wysokowydajnych) podczas istniejących lub przewidywanych wysokich temperatur. Można korzystać z metod pomocniczych takich jak stosowanie hormonów usprawniających owulację i czynność ciała żółtego (GnRH, hCG) lub suplementację progesteronem (15). W celu utrzymania ciągłości produkcyjnej, po zakończeniu fali upałów przydatna może być synchronizacja rui z unasienianiem podczas obserwowanych objawów lub w stałym terminie, zależnie od użytej metody (np. 24). Są to jednak procedury doraźne, warto więc koncentrować się na metodach perspektywicznie oferujących korzyści w zakresie ochrony przed negatywnymi skutkami przegrzania w stadach krów mlecznych. Dostosowanie stada do zwiększonej termotolerancji może przybrać dwa podstawowe kierunki, jakimi są selekcja zwierząt w obrębie rasy oraz wprowadzenie genów warunkujących oporność na stres cieplny przez krzyżówki międzyrasowe (15).

Selekcja

Selekcja miałaby na celu wybranie do dalszej hodowli zwierząt wykazujących cechy lepszego dostosowania do warunków klimatycznych. W tym celu poszukuje się

Średnia temperatura powietrza w Polsce zimą (XII-II)



Ryc. 3. Średnie roczne temperatury powietrza w Polsce zimą w latach 1961–2020 według danych IMGW (12).

miarodajnych wskaźników na podstawie których można rozróżnić wrażliwość na przegrzanie. Wśród nich wymienia się parametry kliniczne, takie jak temperatura wewnętrzna (odbytnicza, pochwo-wa), częstotliwość oddechów, skala ślinienia, dobrowolna ekspozycja na promienie słoneczne. Jednym ze wskaźników biochemicznych mogą być białka szoku cieplnego (zwłaszcza HSP70) wykazujące polimorfizm, umożliwiające wybór wariantu związanego z termopornością (3, 7).

Krzyżówki międzyrasowe

Najbardziej popularne w Polsce krowy mleczne rasy holenderskiej wykazują niższą tolerancję na wahania temperatury niż inne rasy mleczne (25). Kolejną możliwością oddziaływania genetycznego są zatem krzyżówki międzyrasowe z wykorzystaniem do kojarzenia zwierząt o właściwościach wysokiej tolerancji na stres cieplny. Wchodzą tu w grę lokalne rasy (rodzime) pochodzące z obszarów strefy subtropikalnej/tropikalnej. Pożądaną w tym względzie cechą charakteryzującą się na przykład krowy w typie zebru (*Bos indicus*). Domieszka ich genów w stadach krów mlecznych uchodzi za opłacalną i skuteczną w warunkach klimatu tropikalnego (6).

W fermach bydła mlecznego kluczową dla ich dochodowości jest wydajność mleczna powiązana z adekwatnym poziomem reprodukcji. Zatem selekcja i modyfikacja genetyczna nie powinny w znacznym stopniu zaburzać tych pod-

	Wilgotność względna powietrza [%]										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
22	64	65	66	66	67	68	69	69	70	71	72
23	65	66	67	67	68	69	70	71	72	73	73
24	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75
25	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
26	67	69	70	71	72	73	74	75	77	78	79
27	68	69	71	72	73	74	76	77	78	79	81
28	69	70	72	73	74	76	77	78	80	81	82
29	70	71	73	74	76	77	78	80	81	83	84
30	71	72	74	75	77	78	80	81	83	84	86
31	71	73	75	76	78	80	81	83	85	86	88
32	72	74	76	77	79	81	83	84	86	88	90
33	73	75	77	79	80	82	84	86	88	90	91
34	74	76	78	80	82	84	85	87	89	91	93
35	75	77	79	81	83	85	87	89	91	93	95
36	75	78	80	82	84	86	88	90	93	95	97
37	76	79	81	83	85	87	90	92	94	96	99
38	77	79	82	84	86	89	91	93	96	98	100
39	78	80	83	85	88	90	92	95	97	100	102
40	79	81	84	86	89	91	94	96	99	101	104

Legenda:

	brak stresu cieplnego
	łagodny stres cieplny
	umiarkowany stres cieplny
	ciężki stres cieplny
	śmierć krów

Ryc. 4. Wartości THI dla bydła mlecznego z określonymi poziomami stresu cieplnego; Angreka i Herbut 2012 za Armstrongiem 1994 (1).

stawowych funkcji. Przydatne byłyby więc rozwiązania, które przy ograniczeniu niekorzystnego wpływu wysokich temperatur zapewnią pożądany poziom produkcyjności stada. Takim kierunkiem jest poszukiwanie wariantów genowych warunkujących termotolerancję i wpro-

wadzenie tych alleli rasom bydła nieprzystosowanym do ciepłego klimatu.

Stwierdzono dominującą mutację genu receptora prolaktyny, warunkującą bardzo krótką i gładką sierść, cieńszą skórę, a przez to skuteczniejsze oddawanie ciepła oraz lepszą tolerancję na wysokie

temperatury. Z wariantem tym (w bydlęcym chromosomie 20) jest związany fenotyp o nazwie Slick, występujący w naturze u kilku ras bydła, w tym Senepol, Carora i Criollo Limonero. Metodami krzyżowania wprowadza się ten zmutowany gen (*PRLR* p. L462*) do populacji bydła mlecznego w celu poprawy termotolerancji. Inseminując krowy holsztyńskie nasieniem rasy Senepol od połowy lat 80. ubiegłego wieku na Uniwersytecie Florydy otrzymano linię Slick Holstein, a jej wykorzystanie może być w warunkach narażenia realną alternatywą w łagodzeniu negatywnych skutków stresu cieplnego (5). Czy podobna modyfikacja genetyczna polskich stad bydła mlecznego byłaby pożądana i skuteczna – pozostaje na razie pytaniem otwartym.

Podsumowanie

Wieloletnie obserwacje klimatologiczne wskazują postępujące ocieplenie. Także w klimacie umiarkowanym zauważa się wzrost temperatury powietrza w tempie szybszym niż cykliczne zmiany klimatu w przeszłości. Niezależnie od globalnych prognoz, także w Polsce nasilające się letnie fale upałów stanowią ryzyko obniżonej wydajności, problemów zdrowotnych i niepowodzeń reprodukcyjnych u bydła mlecznego. W celu ograniczenia skutków stresu cieplnego podejmuje się działania doraźne prowadzące do zmniejszenia wskaźnika THI, reorganizację żywienia i reprodukcji. Perspektywicznie rozważane są kompleksowe strategie uwzględniające czynniki klimatyczne, środowiskowe, hodowlane i ekonomiczne. Możliwe jest także wprowadzanie do stad krow mlecznych modyfikacji genetycznych warunkujących zwiększoną termotolerancję. ●

”

Wysoka temperatura powietrza jest głównym czynnikiem odpowiedzialnym za stres cieplny. Za graniczną przyjmuje się 21°C, zwłaszcza gdy nie spada poniżej tej wartości w porze nocnej (9).

Piśmiennictwo

1. Angrecka S., Herbut P.: Prognozowanie możliwości wystąpienia stresu cieplnego u bydła mlecznego. „Wiadomości Zootechniczne, R. L” 2012, 4, 99-105.
2. Bell M. J.: Breeding a sustainable future for milk production. „npj Sustain. Agric.” 2024 2, 18, doi.org/10.1038/s44264-024-00025-1.
3. Bhat S., Kumar P., Kashyap N., Deshmukh B., Dige M. S., Bhushan B., Chauhan A., Kumar A., Singh G.: Effect of heat shock protein 70 polymorphism on thermotolerance in Tharparkar cattle. „Vet. World”, 2016, 9, 113-117.
4. Brkić I., Puvača N.: Economic and ecological sustainability of dairy production. „J. Agron. Technol. Eng. Manag.”, 2024, 7 (3), 1088-1104.
5. Contreras-Correa Z. E., Sánchez-Rodríguez H. L., Arick M. A. 2nd, Muñoz-Colón G., Lemley C. O.: Thermotolerance capabilities, blood metabolomics, and mammary gland hemodynamics and transcriptomic profiles of slick-haired Holstein cattle during mid lactation in Puerto Rico. „J. Dairy Sci.”, 2024, 107 (6), 4017-4032.
6. Habimana V., Nguluma A. S., Nziku Z. C., Ekine-Dzivenu C. C., Morota G., Mrode R., Chenyambuga S. W.: Heat stress effects on milk yield traits and metabolites and mitigation strategies for dairy cattle breeds reared in tropical and sub-tropical countries. „Front. Vet. Sci.” 2023, doi: 10.3389/fvets.2023.1121499.
7. Hassan F. U., Nawaz A., Rehman M. S., Ali M. A., Dilshad S. M. R., Yang C.: Prospects of HSP70 as a genetic marker for thermo-tolerance and immuno-modulation in animals under climate change scenario. „Anim. Nutr.”, 2019, 5 (4), 340-350.
8. <https://ekrowa.pl/wiedza/ograniczanie-skutkow-upalow-u-bydla-mlecznego/>.
9. <http://extension.psu.edu/animals/beef/news/2015/heat-stress-and-beef-cattle>.
10. <https://holstein.pl/konsekwencje-stresu-cieplnego-sa-dlugotrwale/>.
11. <https://holstein.pl/strategia-ograniczania-stresu-cieplnego/>.
12. <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/zmiana-klimatu-w-polsce-na-mapkach-468>.
13. <https://naukaoklimacie.pl/wykres-na-dzis/rozklad-dobowych-anomalii-temperatury-globalnej-od-1940-do-2025-roku>.
14. <https://vetbulans.pl/stres-cieplny-u-bydla-czyli-wplyw-wysokiej-temperatury-na-krowy-mleczne/>.
15. Jaśkowski J. M., Urbanik K., Olechnowicz J.: Stres cieplny u krow – zaburzenia płodności i ich profilaktyka. „Życie Wet.”, 2005, 80 (1), 18-21.
16. Józwiak W., Mirkowska Z., Sobierajewska J., Zieliński M., Ziętara, W.: Środowiskowe, klimatyczne i ekonomiczne aspekty chowu krow mlecznych. „Zagadnienia Ekonomiki Rolnej”, 2023, 376 (3), 26-46.
17. Kołacz R.: Wpływ przewidywanych zmian klimatycznych na zdrowie i dobrostan bydła, świń oraz drobiu. „Życie Wet.”, 2026, 101 (1), 62-71.
18. Lüdecke H.-J.: Long-term instrumental and reconstructed temperature records contradict



- anthropogenic global warming. „ArXiv”, 2011, <https://arxiv.org/abs/1110.1841>.
19. Marosz M., Wójcik R., Biernacik D., Jakusik E., Pilarski M., Owczarek M., Miętus M.: Zmienność klimatu Polski od połowy XX wieku. Rezultaty projektu Klimat. „Prace i Studia Geograficzne”, 2011, 47, 51-66.
 20. Max A.: Stres cieplny u bydła i jego wpływ na płodność. „Bydło”, 2015, 10 (7), 67-70.
 21. Max A.: Czy wysokie temperatury są zagrożeniem dla bydła w Polsce? „Mag. Wet.”, 2019, 28 (256), 68-74.
 22. Max A.: Przyczyny obumieralności zarodków u bydła zależne od czynników środowiskowych. „Bydło”, 2011, 6 (6), 28-29.
 23. Ndlovu N., Styles D., Kafunah J., Narayanan M., Quiroz L. F., Gondalia N., Brychkova G., McKeown P. C., Spillane C.: Optimizing selective breeding of livestock and forage crops to reduce the environmental impacts of grass-based dairy production by combining life cycle assessment and machine learning. „Sci. Total Environ.”, 2025, doi: 10.1016/j.scitotenv.2025.180615.
 24. Pereira M. H., Rodrigues A. D., Martins T., Oliveira W. V., Silveira P. S., Wiltbank M. C., Vasconcelos J. L.: Timed artificial insemination programs during the summer in lactating dairy cows: comparison of the 5-d Cosynch protocol with an estrogen/progesterone-based protocol. „J. Dairy Sci.”, 2013, 96, 6904-6914.
 25. Rosa D. R. D., Ferreira N. C. R., Oliveira C. E. A., Moreira A. N. H., Battisti R., Casaroli D., Barbari M., Bambi G., Andrade R. R.: Climate Change and State of the Art of the Sustainable Dairy Farming: A Systematic Review. „Animals (Basel)”, 2025, 15, doi: 10.3390/ani15202997.
 26. Shi R.: Transforming dairy cattle breeding for sustainability: Integrating disciplinary methods to mitigate environmental impacts and to improve resilience <https://research.wur.nl/en/publications/transforming-dairy-cattle-breeding-for-sustainability-integrating/>
 27. Vaquero, J., Sánchez-bajo, F. & Gallego, M. A Measure of the solar rotation during the Maunder Minimum. „Solar Physics” 2002, 207, <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1016262813525>.
 28. Wrzecińska M.: Wpływ stresu i wybranych czynników środowiskowych na wskaźniki reprodukcyjne i produkcyjne bydła. Rozprawa doktorska. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, 2024.

Andrzej Max, e-mail: landrzejmax@wp.pl