

*Vladmir Šleger, Pavel Neuberger*

## **MOŻLIWOŚCI EWAPORACYJNEGO CHŁODZENIA OBÓR W DANYM REJONIE**

### **Streszczenie**

Przy ocenie, czy efektywne jest wykorzystanie chłodzenia powietrza w stajni przez parowanie w danym rejonie, należy znać szczegółowe długoterminowe dane meteorologiczne. Jednakże czasem potrzebne dane są z różnych powodów niedostępne. W artykule jest wypróbowana metoda generowania sztucznego szeregu dziennych maksymalnych temperatur powietrza z miesięcznych średnich. Przy odchyleniu standardowym  $\sigma$  (°C), stwierdzonym przy pomocy statystycznej analizy dostępnych danych, i średniej spodziewanej temperaturze  $t_{oc}$  (°C), określonej przez wyznaczenie sinusoidy przez dwanaście, ewent. dwie miesięczne średnie maksymalnych temperatur, szukana maksymalna dzienna temperatura powietrza w dzień (d) jest określona wzorem  $t_{c(d)} = t_{oc(d)} + 0,65 \cdot (t_{c(d-1)} - t_{oc(d)}) + \sigma_{(d)} \cdot n \cdot \sqrt{1 - 0,65^2}$  (°C), gdzie  $n$  (-) jest przypadkową liczbą z szeregu, który ma normalny rozkład, średnią wartość 0 i odchylenie standardowe 1. Tą metodą był generowany trzydziestoletni szereg wartości dla stacji klimatologicznej Mošnov (49,69° s.š., 18,12° v.d., 251 m n.p.m.). Obliczone wartości są porównane z wartościami zmierzonymi. Bardziej odpowiedni jest szereg danych generowany z 12 miesięcznych średnich, chociaż szereg danych z 2 średnich wystarczyłoby do oceny efektywności chłodzenia.

Z wyników modelowania rozwoju klimatu wynika, że około roku 2050 maksymalna temperatura powietrza w czerwcu, ewent. lipcu, ewent. w sierpniu podwyższy się o 1,8 K, ewent. 2,3 K, ewent. 3,2 K przy spełnieniu pesymistycznego scenariusza wzrostu emisji gazów cieplarnianych i o 0,7 K, ewent. 0,8 K, ewent. 1,2 K przy spełnieniu optymistycznego scenariusza. Na podstawie tych wartości stworzono szeregi danych dla okresu około roku 2050. Stwierdzono, że liczba dni, kiedy maksymalna dzienna temperatura powietrza będzie przekraczać 27°C,

może się w miesiącach letnich zwiększyć nawet dwukrotnie. Jeżeli zastosowane jest chłodzenie przez parowanie z 80% wydajnością adiabaticzną i maksymalnym nawilżeniem 75%, ewent. 80%, można wysokie temperatury powietrza wyeliminować.

Z 92 dni w miesiącach letnich zainstalowane urządzenie do chłodzenia przez parowanie przy temperaturze rozruchu 26 °C, ewent. 24 °C byłoby w danym rejonie eksploatowane przez 25,2 dnia, ewent. 41,8 dnia w obecnym czasie, 32,2 dnia, ewent. 49,5 dnia w przyszłości przy optymistycznym wariacie rozwoju i 45,6 dnia, ewent. 61,9 dnia przy spełnieniu pesymistycznego scenariusza. Ilość wody, która powinna być wyparowana przez urządzenie do powietrza wentylacyjnego w celu osiągnięcia wymaganych zmian, może wzrosnąć z obecnej wartości 5,4 g·m<sup>-3</sup> aż do 6,3 g·m<sup>-3</sup> w okresie przyszłym. Wyniki można wykorzystać przy projektowaniu efektywnego urządzenia chłodzącego w stajniach na danym terytorium.

## WSTĘP

Poważnym problemem hodowli zwierząt w stajni w letnich miesiącach jest stres termiczny. Negatywne następstwa stresu termicznego dla zwierząt są dobrze udokumentowane już w starej literaturze, np. u świń [Mount 1968], u drobiu grzebiącego [Deaton et al. 1968]. Prewencje, wczesne odkrywanie i zmniejszanie następstw stresu termicznego jest wciąż przedmiotem szczegółowych badań. Christianson et al. (1982) proponują wzór do obliczenia górnej granicy optymalnej temperatury powietrza  $t_{mez}$  (°C) dla świń jako funkcji ciężaru zwierzęcia  $m_z$  (kg) w postaci:  $t_{mez} = 34,7 - 0,33 \cdot m_z^{0,72}$ . Massabie et al. [1996] podają, że przy stanie powietrza powyżej optymalnej wartości każde podwyższenie temperatury o 1 °C oznacza obniżenie przyrostów świń w tuczeniu o 25 g·dzień<sup>-1</sup>·sztukę<sup>-1</sup>. Reakcje świń na stopniowo podwyższającą się temperaturę powietrza badają Huynh et al. [2005]. Straty, które następują przy podwyższonej temperaturze powietrza w kurniku do hodowli niosek, obliczają szczegółowo Timmons i Gates [1988]. Podają standardowe wartości przyrostów, nieśności, ciężarów jaj, zużycia paszy i padania w zależności od wieku niosek przy 21 °C oraz wzory empiryczne do obliczenia zmian tych standardowych parametrów w zależności od rosnącej temperatury powietrza. Z wzorów wynika, że przy podwyższeniu temperatury o 5 °C np. znoszenie jaj obniża się w przybliżeniu o 4%. Teeter i Belay [1996] opisują zbiorczo różne sposoby ograniczania stresu termicznego u brojlerów.

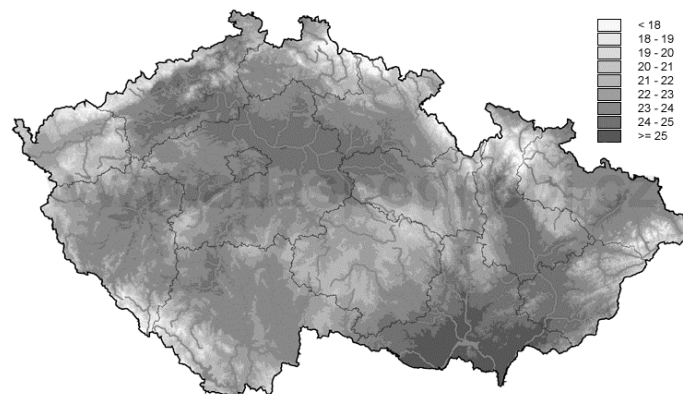
Jedną z dróg złagodzenia następstw stresu termicznego u zwierząt jest zastosowanie odpowiednio zaprojektowanego chłodzenia

przez parowanie. Przewidywane następstwa chłodzenia przez parowanie powietrza w stajni na danym terytorium można określić na podstawie długotrwałych szczegółowych danych meteorologicznych. Rozwój klimatu w przyszłości przewiduje się przy pomocy modeli matematycznych. Podczas gdy na bilans cieplny zwierząt przeżywających spodziewane zmiany nie powinny mieć dużego wpływu, u świń i drobiu sytuacja jest odwrotna [Turnpenny et al. 2000]. Prawdopodobieństwo wystąpienia i zwiększonej częstotliwości ekstremalnych temperatur nawet przy lekkim podwyższeniu średnich wartości temperatury znacząco rośnie [Brázdil et al. 1995]. Fakty te wskazują na rosnące znaczenie chłodzenia przez parowanie powietrza w stajniach nawet w klimacie umiarkowanym.

#### **OBECNY STAN BADAŃ I CEL ARTYKUŁU**

Przy podejmowaniu decyzji o instalacji kosztownego urządzenia chłodzącego należy brać pod uwagę lokalne warunki klimatyczne. Większy procent stajni wyposażonych w chłodzenie przez parowanie np. w USA w porównaniu z RC nie jest następstwem postępu technicznego. Należy sobie uświadomić, że najbardziej na północ wysunięta część USA leży na szerokościach geograficznych zgodnych z najbardziej na południe wysuniętą częścią RC. Według publikacji [Seedorf et al. 1998], która zajmuje się oceną temperatury i wilgotności powietrza w latach 1993 do 1995 w 329 stajniach w Anglii, Holandii, Danii i Niemczech, w krajach tych niebezpieczna sytuacja z winy wysokiej temperatury wystąpiła tylko wyjątkowo, w stajni, gdzie była równocześnie stwierdzona niedostateczna wentylacja.

Zmierzone i obserwowane wartości podstawowych elementów meteorologicznych w okresie 1961 ÷ 2000 na terytorium RC są opracowane w literaturze, np. [Květoň 2001]. W roku 2006 wyjdzie szczegółowy atlas klimatu Republiki Czeskiej sporządzony według danych z lat 1961 ÷ 2000. Wybrana mapa z tej publikacji z miesięczną średnią dziennych maksimumów temperatury w lipcu w różnych rejonach RC znajduje się na rysunku 1. Najnowsze dane można znaleźć w biuletynach specjalistycznych Dzienny przegląd pogody i Miesięczny przegląd pogody wydawanych przez Czeski Instytut Hydrometeorologiczny oraz na stronach internetowych niektórych stacji klimatologicznych.



**Rysunek 1.** Miesięczna średnia dziennych temperatur maksymalnych (°C) w RC (lipiec 1961÷2000)

Z uwagi na rosnące stężenie gazów cieplarnianych przede wszystkim CO<sub>2</sub> w atmosferze spodziewana jest globalna zmiana klimatu. Nikt jednak na razie nie potrafi określić zakresu i następstw tej zmiany. Nie można ustalić rozwoju emisji CO<sub>2</sub> i nie można także jednoznacznie stwierdzić wrażliwości klimatu na zwiększone stężenie gazów cieplarnianych. Dlatego sporządzono kilka różnych grup scenariuszy SRES (Special Report on Emission Scenarios) A1, A2, B1, B2, w których są zawarte warianty rozwoju zmierzającego do wyrównania różnic między krajami bogatymi a biednymi oraz rozwoju zmierzającego do świata bardzo heterogenicznego [Kalvová et al. 2002].

W światowych centrach modelowania klimatu stworzono kilka globalnych modeli klimatycznych, za pomocą których na podstawie wyżej wymienionych scenariuszy emisji przewiduje się zmiany klimatu i ich następstwa. Chodzi np. o modele HadCM2 i HadCM3 (Hadley Centre for Climate Prediction and Research) w Wielkiej Brytanii, modele ECHAM3 i ECHAM4 (Deutsches Klimarechenzentrum) w Niemczech itd. Wyjścia z tych modeli klimatycznych są dostępne na adresie: <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk>.

Wadą wymienionych globalnych modeli przy ich aplikacji w warunkach terenu urozmaiconego jest zbyt ogólne rozróżnienie przestrzenne. Procesy fizyczne, które są uzależnione od charakteru powierzchni ziemi i które uczestniczą w tworzeniu klimatu lokalnego, mogą być znacznie zniekształcone. Również rozróżnienie czasowe jest dość ogólne, dostępne szeregi mają przeważnie tylko miesięczny krok. Dlatego czasem przygotowywane są syntetyczne szeregi czasowe

dziennych lub także godzinowych wartości zmiennych klimatycznych liczone przez generatory stochastyczne [Dubrovský 1997].

Regionalny model klimatyczny dla RC na razie nie istnieje. W roku 2000 w procesie zaleconym przez Międzyrządową Komisję do spraw zmian klimatycznych (Intergovernmental Panel on Climate Change) stworzono na podstawie globalnych modeli kilka wariantowych scenariuszy zmiany klimatu na terytorium RC. Jako okres referencyjny do oceny zmian wybrano okres 1961 ÷ 1990. Światowa Organizacja Meteorologiczna uważa ten okres za okres normalny i jest on oznaczany jako stan obecny. Po rozległych testach wyjść zostały wybrane modele ECHAM4 i HadCM2. Obliczone zmiany temperatury, do których dojdzie w Republice Czeskiej do roku 2050 (tab. 1 i 2), są podane dla dwóch granicznych scenariuszy emisji: relatywnie optymistyczny B1 przy uwzględnieniu niskiej wrażliwości i pesymistyczny A2 przy wysokiej wrażliwości klimatu (Kalvová et al., 2002).

**Tabela 1.** Przyrost średniej temp. dziennej (K)

model	ECHAM4		HadCM2	
	SRESB1	SRESA2	SRESB1	SRESA2
czerwiec	0,7	2,0	0,7	1,8
lipiec	1,1	2,9	0,8	2,2
sierpień	1,3	3,6	1,1	2,9

**Tabela 2.** Przyrost maks. temp. dziennej (K)

model	ECHAM4		HadCM2	
	SRESB1	SRESA2	SRESB1	SRESA2
czerwiec	0,7	1,9	0,7	1,8
lipiec	1,1	3,0	0,8	2,3
sierpień	1,4	3,9	1,2	3,2

Pomimo niepewności regionalnych prognoz przyszłego ocieplania i znacznych różnic między poszczególnymi modelami ich wnioski są zgodne w tym, że wzrost letniej temperatury nad kontynentami klimatu umiarkowanego będzie większy niż podwyższenie globalnej rocznej średniej temperatury powietrza.

Celem pracy jest zweryfikowanie możliwości zastosowania sztucznie generowanych wartości dziennej maksymalnej temperatury powietrza z miesięcznych średnich przy ocenie wpływu chłodzenia przez parowanie w miejscach, gdzie nie są dostępne bardziej szczegółowe dane lub konieczna jest znajomość dłuższego czasowego szeregu danych. Określa się, przez ile dni maksymalna temperatura powietrza nie chłodzonego i chłodzonego przekracza wybrane wartości, czas eksploatacji urządzenia chłodzącego i zużycie wody do chłodzenia przez parowanie. Według optymistycznego i pesymistycznego wariantu rozwoju emisji gazów cieplarnianych przewiduje się, jak wyniki stwierdzone dla stanu obecnego zmienią się w przyszłości.

W niektórych rejonach klimatycznych w interesie zapobiegania nieuzasadnionym instalacjom były już publikowane prace na analogiczne tematy:

Lucas et al. [2000] ocenia możliwości chłodzenia powietrza przez parowanie przy stresie termicznym świń w Portugalii. Do dyspozycji mają godzinowe zapisy temperatury i wilgotności z czterech stacji klimatologicznych w jednym rejonie za trzy lata. Stwierdzone są średnie liczby godzin za rok, kiedy zmierzona temperatura powietrza bez zastosowania chłodzenia i obliczona temperatura po ochłodzeniu przy pomocy urządzenia ze zwilżaną powierzchnią aktywną mają wartości z wybranych przedziałów temperatur. Z wyników widać, że okres stresu termicznego można pokonać, jeżeli do dyspozycji jest urządzenie chłodzące z wydajnością adiabatyczną 80%.

Huhnke et al. [2004] stwierdzają na podstawie meteorologicznych godzinowych danych za 7 lat z 17 miejsc w Oklahomie ogólne liczby godzin za rok, kiedy doszło do korzystnej kombinacji temperatury i wilgotności powietrza. W celu określenia efektu chłodzenia przez parowanie w danym rejonie obliczają, o ile dzięki chłodzeniu ta liczba godzin mogłaby się zwiększyć.

Bridges et al. [2001] opracowali meteorologiczne dane za 22 lata (1978 ÷ 1999) w różnych rejonach USA (Kentucky, Północna Karolina, Oklahoma). Przy pomocy modelowego obliczenia środowiska stajni i jego wpływu na użytkowość świń ustalali wpływ chłodzenia przez parowanie i daty rozpoczęcia tuczenia świń (16.4., 6.5., 26.5., 15.6. i 5.7.) na zyski i zwrotność inwestycji. Zastosowanie chłodzenia było zawsze rentowne, jednakże zysk zmniejszał się wraz z późniejszą datą rozpoczęcia tuczenia i był różny w różnych rejonach klimatycznych. Maksymalne zwiększenie średniego zysku dzięki chłodzeniu (\$8,12/świnia/rok) osiągnięto w Oklahoma City przy rozpoczęciu

tuczania 16.4., minimalne (\$0,41/świnia/rok) w Grayson (Kentucky) przy rozpoczęciu tuczania 5.7.

Silva et al. [2005] na podstawie dziennych danych meteorologicznych i prostego modelu bilansu cieplnego badali, jak się zmieniają warunki termiczne w obiektach do hodowli brojlerów w południowo-wschodniej Brazylii pod warunkiem, że zostanie zastosowane chłodzenie przez parowanie. Obliczenia powinny służyć jako podstawa przy podejmowaniu decyzji o instalacji urządzenia chłodzącego.

## MATERIAŁY I METODY

W RC zakup szczegółowych danych meteorologicznych jest pod względem finansowym trudny. Dlatego została wypróbowana metoda generowania sztucznego szeregu dziennych danych z na bieżąco dostępnych średnich wartości miesięcznych. Ten sposób postępowania ma również inne zalety. Generować można znacznie dłuższe szeregi danych, niż szeregi zmierzone, i wykazać tak wahania klimatu, które w krótszym zmierzonym szeregu nie występują.

Do generowania maksymalnej dziennej temperatury powietrza są zastosowane następujące wzory i procesy.

$$t_{e(d)} = t_{oc(d)} + 0,65 \cdot (t_{e(d-1)} - t_{oc(d)}) + \sigma_{(d)} \cdot n \cdot \sqrt{1 - 0,65^2} \text{ (}^\circ\text{C)}, \quad (1)$$

gdzie  $t_{e(d)}$  ( $^\circ\text{C}$ ) jest szukaną maksymalną dzienną temperaturą określonego dnia  $d$ ,  $t_{oc(d)}$  ( $^\circ\text{C}$ ) jest spodziewaną średnią wartością tego samego dnia stwierdzoną przez wyznaczenie sinusoidy

$a \cdot \sin(d \cdot \frac{\pi}{180} + b) + c$  przez dostępne 12 wartości miesięcznych śred-

nich dziennych maksimów temperatury za okres 1961 ÷ 1990 [Květoň 2001],  $a$ ,  $b$ ,  $c$  są to parametry sinusoidy stwierdzone przy pomocy funkcji regresji sinfit w programie Mathcad,  $d$  jest kolejnym dniem w roku o 360 dniach,  $t_{e(d-1)}$  ( $^\circ\text{C}$ ) jest to maksymalna dzienna temperatura powietrza poprzedniego dnia,  $\sigma_{(d)}$  ( $^\circ\text{C}$ ) jest to odchylenie standardowe spodziewanej wartości średniej w dniu  $d$  wyprowadzone w postaci  $\sigma_{(d)} = 4,58 - 0,016 \cdot t_{oc(d)}$  przy pomocy statystycznej analizy zmierzonych dziennych maksimów za 30 lat normalnego okresu 1961 ÷ 1990 na 28 stacjach w RC, gdzie były do dyspozycji zmierzone dane,  $n$  (-) jest przypadkową liczbą z szeregu, który ma normalny rozkład, wartość średnią 0 i odchylenie standardowe 1.

Temperatura  $t_{oc(d)}$  została ustalona również drugim, uproszczonym sposobem, tj. tylko z 2 miesięcznych średnich maksymalnych dziennych temperatur: największej  $t_{max}$  (°C) i najmniejszej  $t_{min}$  (°C) według równania

$$t_{oc(d)} = \left( \frac{t_{max} - t_{min}}{2} \right) \cdot \left( 1 + \sin\left( (d - 100) \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right) + t_{min} \text{ (°C)} \quad (2)$$

Obydwoma sposobami został wygenerowany trzydziestoletni szereg danych dla stacji klimatologicznej Mošnov (49,69° s.š., 18,12° v.d., 251 m n.p.m.), gdzie były równocześnie do dyspozycji w formie elektronicznej dane maksymalnej dziennej temperatury powietrza określone według termometru ekstremalnego w latach 1961 do 1990, i została przeprowadzona analiza wygenerowanych i zmierzonych danych. Zastosowane wartości wstępne dla tej stacji są podane w tabeli 3.

**Tabela 3.** Miesięczne średnie dziennych maksimum temperatury za okres 1961÷1990

miesiąc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
średnia dziennych maksimum temperatury (°C)	$t_{min}$ 0,4	2,8	7,7	13,5	18,9	21,9	$t_{max}$ 23,6	23,4	19,4	14,0	6,7	2,0

U wybranego trzydziestoletniego szeregu wygenerowanych danych, który bardziej odpowiadał rzeczywistym wartościom, zostały stwierdzone średnie liczby dni w miesiącach letnich (czerwiec, lipiec, sierpień), kiedy maksymalna dzienna temperatura powietrza  $t_e$  jest równa lub przekracza 20, 21, ... 36 °C. Ustalono, ile razy takie sytuacje wystąpią we wszystkich 30·92 dniach, a wyniki były dzielone przez 30. Parametry powietrza zewnętrznego są uważane za zgodne z parametrami powietrza wstępującego do nie chłodzonej stajni i w taki sposób są również prezentowane w wynikach.

Aby było można porównać obecne warunki klimatyczne z przyszłymi, konieczne było stworzenie odpowiadającego szeregu spodziewanej przyszłej maksymalnej dziennej temperatury za okres tej samej długości. Ze scenariusza rozwoju klimatu został wybrany scenariusz HadCM2 SRESB1 z niską czułością (oznaczony jako optymistyczny) i scenariusz HadCM2 SRESA2 z wysoką czułością (oznaczony jako pesymistyczny). W tabeli 2 są w ostatnich dwóch kolum-



nach podane rozważane addytywne zmiany maksymalnej dziennej temperatury, tj. wartości, o które wzrosnie maksymalna dzienna temperatura według podanych scenariuszy rozwoju w okresie około roku 2050.

Jeżeli przewiduje się instalację urządzenia do chłodzenia przez parowanie na wejściu powietrza do stajni, temperatura powietrza zewnętrznego  $t_e$  jest równocześnie uważana za temperaturę na wejściu do urządzenia. Każdej temperaturze można przyporządkować odpowiadającą wilgotność powietrza według wzoru [Chyský, Hemzal 1993]

$$x_e = 5,8 \cdot (1 + \operatorname{tgh}(0,05 \cdot (t_e - 10))) \text{ (g} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}, \quad (3)$$

gdzie  $x_e$  ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) jest to obliczeniowa wilgotność właściwa powietrza zewnętrznego odpowiadająca temperaturze  $t_e$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Temperatura  $t_A$  powietrza po zmianie jest obliczana pod warunkiem dwóch różnych sposobów wykorzystania urządzenia chłodzącego. W obydwu przypadkach rozważana wydajność adiabatywna (rzeczywiste ochłodzenie powietrza do maksymalnie możliwego) wynosiła  $\eta_{\text{ad}} = 80\%$ , co stanowi wydajność osiąganą np. u dysz wysokociśnieniowych przy ciśnieniu wody przed dyszami 5 MPa [Bottcher et al. 1991], u urządzenia z rotującymi pierścieniami lub ze zwilżaną powierzchnią aktywną przy grubości warstwy zwilżanej 100 mm i prędkości przepływu powietrza  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  [Liao, Chiu 2002].

W jednym przypadku przewidywany był rozruch chłodzenia przy temperaturze  $t_e \geq 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , więc za temperaturę  $t_A$  na wyjściu z urządzenia jest przy  $t_e < 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$  uważana temperatura  $t_e$  nie zmienionego powietrza zewnętrznego. Jeżeli przy wyższych temperaturach urządzenie pracuje, została dopuszczona maksymalna wilgotność względna po zmianie  $\phi_{\text{Amax}} = 80\%$ . Jeżeli urządzenie z daną wydajnością adiabatywną  $\eta_{\text{ad}}$  było zdolne zwilżyć powietrze przy pewnych warunkach  $t_e$ ,  $x_e$  do wyższej wilgotności, chłodzenie zostaje zatrzymane i wydajność nie jest całkowicie wykorzystana.

W drugim przypadku przewidywany był rozruch urządzenia dopiero przy temperaturze  $t_e \geq 26^{\circ} \text{C}$  a maksymalna dopuszczalna wilgotność względna powietrza na końcu procesu wynosiła  $\phi_{\text{Amax}} = 75\%$ .

Do oceny wpływu chłodzenia powietrza w danym rejonie przez parowanie zostały stwierdzone średnie liczby dni w miesiącach letnich, kiedy temperatura powietrza  $t_A$  na wyjściu z urządzenia chłodzącego jest równa lub przekracza 20, 21, ... 36 $^{\circ} \text{C}$  w obecnym i w przy-

szłym okresie około roku 2050 przy założeniu optymistycznego i pesymistycznego wariantu rozwoju. Parametry powietrza na wyjściu z urządzenia chłodzącego są uważane za zgodne z parametrami powietrza wchodzącego do chłodzonej strefy zwierząt i w taki sposób są prezentowane również w wynikach.

Zużycie wody w urządzeniu chłodzącym na zasadzie parowania jest określone z równania

$$\rho_p = (x_A - x_e) \cdot \rho_{sv} \quad (\text{g} \cdot \text{m}^{-3}), \quad (4)$$

gdzie  $\rho_p$  ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) jest to szukana ilość wody w gramach, którą należy odparować do  $1 \text{ m}^3$  powietrza wentylacyjnego w celu realizacji procesu w urządzeniu chłodzącym,  $x_A$  ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) wilgotność względna powietrza na wyjściu z urządzenia odpowiadająca temperaturze  $t_A$ ,  $x_e$  ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) wilgotność względna powietrza na wejściu do urządzenia odpowiadająca temperaturze  $t_e$ ,  $\rho_{sv}$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) gęstość suchego powietrza przy temperaturze na wejściu  $t_e$ . Ze wszystkich obliczonych wartości zostały wybrane i podane w wynikach tylko dane maksymalne dla obydwu sposobów wykorzystania urządzenia chłodzącego. Wartości te są istotne przy wymiarowaniu konkretnego urządzenia chłodzącego, przy określeniu liczby dysz rozpryskujących, jednostek z rotującymi tarczami, rozmiarów zwilżanych powierzchni itp.

## WYNIKI I DYSKUSJA

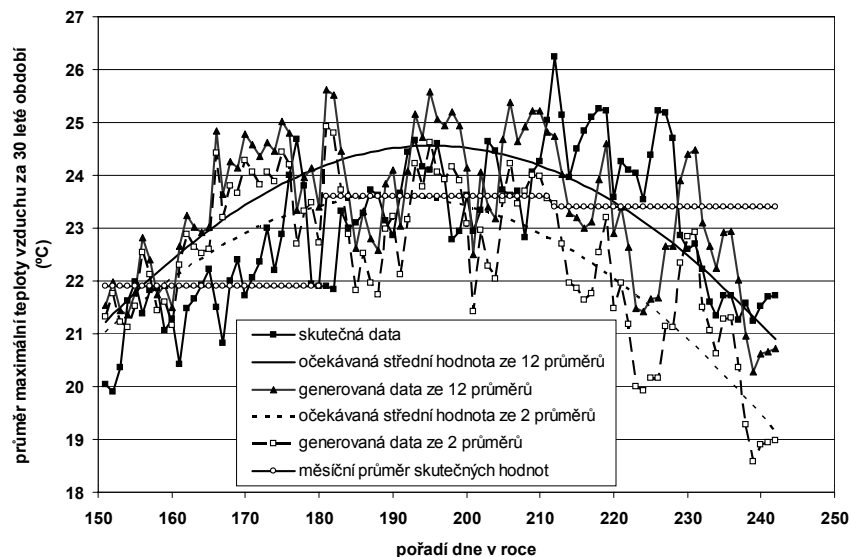
Na rysunku 2 jest przedstawiona trzydziestoletnia (1961 ÷ 1990) średnia maksymalnej dziennej temperatury powietrza w poszczególnych dniach letnich miesięcy. Porównywane są rzeczywiste wartości z wartościami sztucznie wygenerowanymi.

[*Opisy na rysunku*]:

– *pionowo*: średnia maksymalnej temperatury powietrza za okres trzydziestoletni,

– *w ramce*: dane rzeczywiste; spodziewana przeciętna wartość z 12 średnich; wygenerowane dane z 12 średnich; spodziewana przeciętna wartość z 2 średnich; średnia miesięczna wartości rzeczywistych,

– *pod rysunkiem*: kolejność dnia w roku.



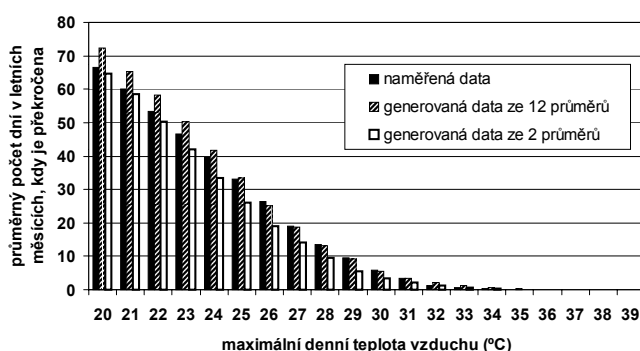
**Rysunek 2.** Porównanie rzeczywistych i wygenerowanych danych – średnia maksymalnej dziennej temperatury

Wymienionym miesięcznym średnim wartości rzeczywistych a więc i rzeczywistym danym bardziej odpowiadają wartości wygenerowane z 12 miesięcznych średnich (tab. 3). Jeżeli jako wartości wyjściowe do generowania dziennych danych zostały zastosowane wyłącznie 2 miesięczne średnie, maksymalna w lipcu i minimalna w styczniu, wyniki są zdumiewająco dobre w pierwszej połowie lata, w drugiej połowie generowane dane są niższe niż rzeczywiste. Porównanie miesięcznych średnich i odchyłeń standardowych znajduje się w tabeli 4.

**Tabela 4.** Średnie miesięczne i odchylenia standardowe

miesiąc	dane rzeczywiste		dane wygenerowane z 12 średnich		dane wygenerowane z 2 średnich	
	średnia (°C)	odchylenie standardowe (°C)	średnia (°C)	odchylenie standardowe (°C)	średnia (°C)	odchylenie standardowe (°C)
czerwiec	21,9	1,1	23,3	1,2	22,8	1,1
lipiec	23,6	0,8	24,3	1,0	23,3	0,9
sierpień	23,4	1,5	22,7	1,2	21,1	1,3

Na rysunku 3 znajdują się średnie liczby dni w letnich miesiącach normalnego okresu, kiedy zostały przekroczone wymienione wartości maksymalnej dziennej temperatury. Dla temperatury powyżej 25° C dane wygenerowane z 12 średnich miesięcznych dają wyniki bardzo zbliżone do rzeczywistości, dlatego dane te są stosowane we wszystkich następujących obliczeniach.

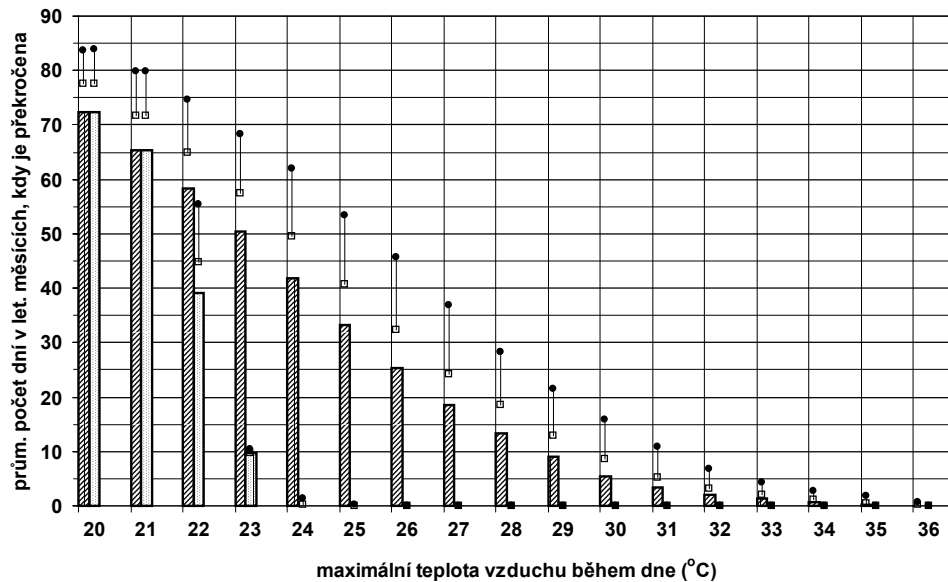


**Rysunek 3.** Porównanie rzeczywistych i wygenerowanych danych – liczba dni z wysokimi temperaturami


[Opisy na rysunku]:

- *pionowo*: średnia liczba dni w miesiącach letnich, kiedy jest przekroczone,
- *w ramce*: zmierzone dane; wygenerowane dane z 12 średnich; wygenerowane dane z 2 średnich,
- *pod rysunkiem*: maksymalna dzienna temperatura powietrza (°C).




Przewidywane wpływy chłodzenia przez parowanie w danym rejonie przy dwóch różnych trybach pracy urządzenia znajdują się na rys. 4 i 5. Tryb pracy umożliwiający wyższą wilgotność względną byłby odpowiedniejszy np. w hodowli świń do tuczenia (rys. 4), tryb z niższą maksymalną wilgotnością ale wyższą temperaturą rozruchu do hodowli drobiu grzebiącego (rys. 5). Na rysunkach jest podany także przewidywany stan około roku 2050 przy wariacie optymistycznym i pesymistycznym rozwoju emisji gazów cieplarnianych. Temperatury powyżej 27 °C powinny według pesymistycznego wariantu rozwoju być w przyszłości przekroczone w ponad dwukrotnej liczbie dni. Przy zastosowaniu chłodzenia przez parowanie można te niekorzystne temperatury niezawodnie wyeliminować.



Legenda do rysunków 4 i 5:

-  wstęp do strefy pobytu zwierząt w przypadku chłodzenia powietrza danym urządzeniem ( $\eta_{\text{ad}} = 80\%$ ,  $t_{\text{spuštění}} \geq 24$  °C,  $\varphi_{\text{max}} = 80\%$ )

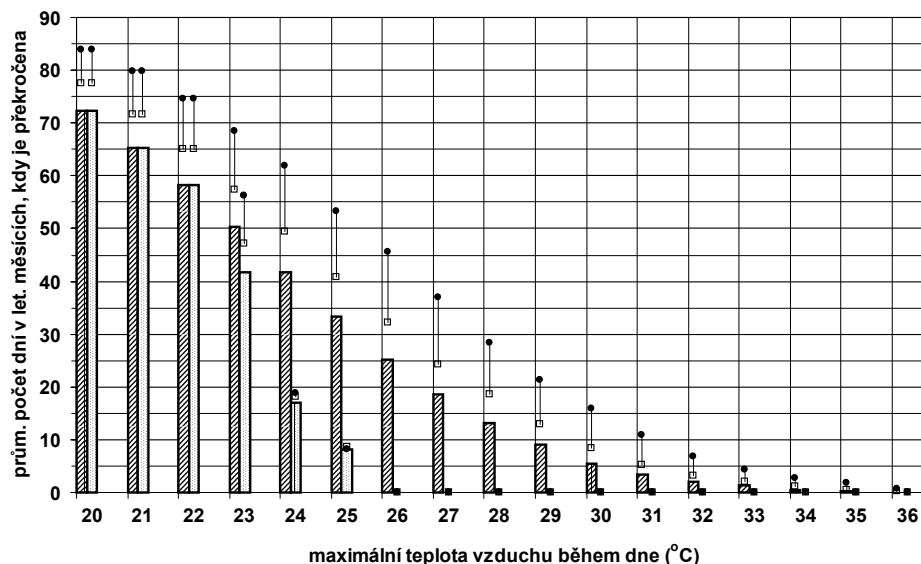
---

-  wstęp do nie chłodzonej stajni (parametry powietrza zewnętrznego)
-  wartości około roku 2050 przy optymistycznym wariacie rozwoju (HadCM2 SRESB1)
-  wartości około roku 2050 przy pesymistycznym wariacie rozwoju (HadCM2 SRESA2)

[Opisy na rysunku 4, 5]:

- *pionowo*: średnia liczba dni w miesiącach letnich, kiedy jest przekroczona,
- *pod rysunkiem*: maksymalna temperatura powietrza w ciągu dnia (°C)

**Rysunek 4.** Wpływ chłodzenia przez parowanie przy niższej temperaturze rozruchu



**Rysunek 5.** Wpływ chłodzenia przez parowanie przy wyższej temperaturze rozruchu

W tabeli 5 są podane liczby dni, w których chłodzenie by pracowało ( $t_e \geq 26 \text{ }^\circ\text{C}$ , ewent.  $t_e \geq 24 \text{ }^\circ\text{C}$ ), i maksymalna ilość wody, którą urządzenie do parowania powinno odparować do powietrza wentylacyjnego.

**Tabela 5.** Parametry robocze urządzenia chłodzącego

	okres obecny		optymistyczny rozwój		pesymistyczny rozwój	
	$\varphi_{\max}$ (%)	75	80	75	80	75
liczba dni eksploatacji (-)	25,2	41,8	32,2	49,5	45,6	61,9
zużycie wody ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	5,4	5,5	5,6	5,7	6,3	6,3

## ZAKOŃCZENIE

Dzienne dane maksymalnej temperatury powietrza wygenerowane według podanych procesów nadają się do oceny możliwości chłodzenia przez parowanie w danym rejonie. Lepsze wyniki dają dane wygenerowane z 12 miesięcznych średnich, chociaż 2 miesięczne

średnie zalecone w publikacji [Gates, Timmons 1988] są również wystarczające. Chłodzenie przez parowanie będzie mieć swoje znaczenie w strefie klimatu umiarkowanego przede wszystkim przy spełnieniu pesymistycznego scenariusza rozwoju emisji. Wyniki można wykorzystać przy projekcie efektywnego urządzenia chłodzącego w stajniach na danym terytorium.

## BIBLIOGRAFIA

- Bottcher R. W., Baughman G. R., Gates R. S. *Characterizing efficiency of misting systems for poultry*. Transactions of the ASAE. 1991, 34(2), s. 586–590. ISSN 0001-2351.
- Brázdil, R., Rožnovský, J. *Następstwa możliwej zmiany klimatu dla rolnictwa w Republice Czeskiej – Terytorialne studium zmiany klimatu, Element 2*. 1. wyd. Praga: Czeski Instytut Hydrometeorologiczny, 1995, s. 140. ISBN 80-85813-26-2.
- Bridges T. C., Turner L. W., Gates R. S. et al. *Assessing the benefits of misting-cooling systems for growing/finishing swine as affected by environment and starting date*. ASAE Annual Meeting, 2001, paper number 014027.
- Christianson L., Hahn G. L., Meador N. *Swine performance model for summer conditions*. International Journal of Biometeorology, 1982, 26, s. 137–145. ISSN 0020-7128.
- Chyský, J., Hemzal K. et al. *Wentylacja i klimatyzacja*. 3. wyd. Brno: BOLIT – B press, 1993, s. 560, ISBN 80-901574-0-8.
- Deaton J. W., Reece F. N., Vardaman T. H. *The effect of temperature and density on broiler performance*. Poultry Science, 1968, 47, s. 293–300. ISSN 0032-5791.
- Dubrovský M. *Creating daily weather series with use of the weather generator*. Environmentalmetrics, 1997, 8, s. 409–424. ISSN 1180-4009.
- Huhnke R. L. Mc Cowan L. C., Meraz G. M. et al. *Using evaporative cooling to reduce the frequency and duration of elevated temperature/humidity indices in Oklahoma*. Applied Engineering in Agriculture, 2004, 20(1), s. 95-99. ISSN 0883-8542.
- Huynh T. T. T., Aarnink A. J. A., Verstegen M. W. A. *Reactions of pigs to a hot environment* [in:] *Proceedings of the Seventh International Symposium*. Beijing: ASAE, 2005. ISBN 1-892769-48-4.
- Kalvová, J., Kašpárek, L., Janouš, D. aj. *Scenariusze zmiany klimatu na terytorium Republiki Czeskiej i przewidywania następstw zmiany klimatycznej dla trybu hydrologicznego, sektor rolnictwa, sektor gospodarki leśnej oraz na zdrowie ludzi w RC*. 1. wyd. Praga: Czeski Instytut Hydrometeorologiczny, 2002, 158 s. ISBN 80-86690-01-6.
- Květoň V. *Normy temperatury powietrza na terytorium Republiki Czeskiej w okresie 1961–1990 i wybrane charakterystyki temperatury okresu 1961–2000*. 1. wyd. Praga: Czeski Instytut Hydrometeorologiczny, 2001, s. 217, ISBN 80-85813-91-2.
- Liao Ch., Chiu K. *Wind tunnel modeling the system performance of alternative evaporative cooling pads in Taiwan region*. Building and Environment, 2002, 37, s. 177–187. ISSN 0360-1323.

- Lucas E. M., Randall J. M., Meneses J. F. Potential for evaporative cooling during heat stress periods in pig production in Portugal (Alentejo). *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2000, 76, s. 363–371. ISSN 0021-8634.
- J. Massabie P., Garnier R., Le Dividich J. *Ambient temperature influence on performances of fattening pigs fed ad libitum* [in:] *Journées de la Recherche Porcine en France*. Paris: Institut Technique du Porc, 1996, s. 189–194.
- Mount L. E. *The Climatic Physiology of the Pig*. 1st ed. London: Arnold, 1968, s. 271, ISBN 0713141409.
- Seedorf J., Hartung J., Schroeder M. *Temperature and moisture conditions in livestock buildings in Northern Europe*. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1998, 70, s. 49–57. ISSN 0021-8634.
- Silva M. P., Baęta F. C., Tinôco I. F. F. et al. *Evaluation of the evaporative cooling usage potential for the southeast region of Brazil with a simplified model for the estimation of the energy balance in sheds for broiler chickens* [in:] *Proceedings of the Seventh International Symposium*. Beijing: ASAE, 2005. ISBN 1-892769-48-4.
- Teeter R. G., Belay T. *Broiler management during acute heat stress*. *Animal Feed Science and Technology*, 1996, 58, s. 127–142. ISSN 0377-8401.
- Timmons M., Gates R. S. *Predictive model of laying hen performance to air temperature and evaporative cooling*. *Transactions of the ASAE*, 1988, 31(5), s. 1503-1509. ISSN 0001-2351.
- Turpenney J. R., Wathes C. M., Clark J. A. et al. *Thermal balance of livestock*. 2. Applications of a parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 101, s. 29–52. ISSN 0168-1923.

Ing. Vladimír Šleger, CSc., Ing Pavel Neuberger  
 Technická fakulta ČZU v Praze, 165 21 Praha Suchbátka, Czech Republic  
 e-mail: sleger@tf.czu.cz

Recenzent: Prof. dr hab. Jerzy Gruszczyński



## USE OF EVAPORATION COOLING OF STABLE AIR IN THE GIVEN TERRITORY

### SUMMARY

When assessing whether it is effective to use evaporation cooling of air in a stable in a particular area, it is essential to have available long-term meteorological data. However, sometimes such data is for various reasons not available. This paper tests a method of generating an artificial series of daily maximum air temperatures from monthly averages. With standard deviation  $\sigma$  (°C) determined from a statistical analysis of available data and a median expected temperature  $t_{oc}$  (°C) obtained from fitting a sine curve through twelve and two monthly average maximum temperatures, respectively, the sought maximum daily air temperature in day (d) is determined from the function

$$t_{e(d)} = t_{oc(d)} + 0.65 \cdot (t_{e(d-1)} - t_{oc(d)}) + \sigma_{(d)} \cdot n \cdot \sqrt{1 - 0.65^2} \text{ (°C)},$$

where  $n$  (-) is a random number from a series which has a normal distribution, median value 0 and standard deviation 1. Using this method, a thirty-year series of values was generated for the Mošnov Weather Station (longitude 49.69° N, latitude 18.12° E, elevation 251 m above mean sea level). The computed values are compared with measured values. The series generated from 12 monthly averages gave better results, although the series from 2 averages would do the job for assessing cooling efficiency.

Results of a climatic development model show that around year 2050 the maximum air temperature in June, July and August will increase by 1.8 K, 2.3 K and 3.2 K, respectively, assuming a pessimistic scenario of the growth in greenhouse gas emissions, or by 0.7 K, 0.8 K and 1.2 K, respectively, assuming an optimistic scenario. Based on these values, a series of data was generated for the period around year 2050. It shows that the number of days on which the maximum air temperature will exceed 27°C in summer months may as much as double. If evaporation cooling is used with 80% adiabatic efficiency and maximum humidification 75% or 80%, the high air temperatures can be eliminated.

Of the 92 days of summer months, installation of evaporation cooling equipment with starting temperature 26°C and 24°C, respectively, would in the modelled area run at present 25.2 days and 41.8 days, respectively, and in the future 32.2 days and 49.5 days at the optimistic development variant, and 45.6 days and 61.9 days, respectively, allowing for the pessimistic scenario. Quantity of water which the equipment must be able to evaporate into the ventilation air in order to achieve the desirable effect can increase from the present value of 5.4 g/m<sup>3</sup> to as much as 6.3 g/m<sup>3</sup> in the future period. The results can be used when designing efficient cooling equipment in stables in the given territory.