

METODIKA NÁVRHU SYSTÉMŮ PŘÍMÉHO ADIABATICKÉHO CHLAZENÍ

MATHEMATICAL CALCULATIONS OF DIRECT ADIABATIC AIR- COOLING SYSTEMS

Šleger, V., Neuberger, P.

Technical Faculty of the Czech Agricultural University in Prague Kamýcká 129, 165 21
Praha 6 – Suchbátka Tel.: +420 2 24383186, e-mail: sleger@tf.czu.cz, neuberger@tf.czu.cz,
Czech Republic

Abstract

Installation of direct adiabatic air-cooling systems in animal housings raises a problem of correct determination of the volume of water used by the system. The paper presents mathematical calculations which enable to simulate the conditions in an animal house at maximum summer temperatures.

This problem should be investigated separately for individual species and categories of animals. The Mathcad programme used allows one to modify the calculations. Tab. I and II show the necessary proposed increase in relative humidity in the house up to 75%. This value is accepted for layers, for example by Košař (1987). This is a way to reduce significantly the temperature of air and the hazard of thermal stress to animals under the conditions of Middle Europe.

Úvod

V posledních několika letech se i v klimatických podmínkách střední Evropy snaží firmy obchodující se zemědělskou technikou realizovat dodávky systémů přímého adiabatického chlazení vzduchu pro stájové objekty. Ochlazení je dosaženo vypařením vhodného množství vody. Příkladem technického řešení může být zařízení TOP KLIMA SYSTÉM vyráběné firmou LUBING Maschinenfabrik GMBH & CO. KG (www.lubing.de), případně HYDROFAN firmy PRIVA (www.priva.nl). Předpokladem správné funkce těchto zařízení je návrh odpovídajícího počtu trysek rozstříkujících vodu do proudu vzduchu přiváděného do stáje.

Projekční firmy využívají pro návrh počtu trysek systému adiabatického chlazení zjednodušenou metodiku. Tato je pro projektanta sice rychlá, ale za provozu nemusí být

dosaženo vypočtených parametrů (N e u b e r g e r, Š l e g e r 1999). Jednou z častých chyb je její obecné použití pro různé druhy a kategorie zvířat. Teplota vzduchu po adiabatickém ochlazení bývá prezentována jako výsledná teplota stájového prostředí. Ve stáji však dochází ke změně teploty a vlhkosti vzduchu i vlivem biologických produkcí zvířat. Předkládaný matematický model zmíněné nedostatky může odstranit.

Materiál a metody

Pro určení počtu trysek v navrhovaném zařízení je nutno znát exteriérové teplotní a vlhkostní parametry vzduchu, druh a kategorii ustájených zvířat, doporučené teplotní a vlhkostní parametry interiéru stáje a základní charakteristiky použitého typu trysek. Energetická bilance stáje se může lišit případ od případu. U objektů, jejichž obvodové konstrukce charakterizuje vysoká hodnota tepelného odporu, lze například zanedbat tepelný tok stěnami, neboť v letním období bude v podmínkách střední Evropy nevýznamný teplotní spád mezi exteriérovou a doporučenou interiérovou teplotou.

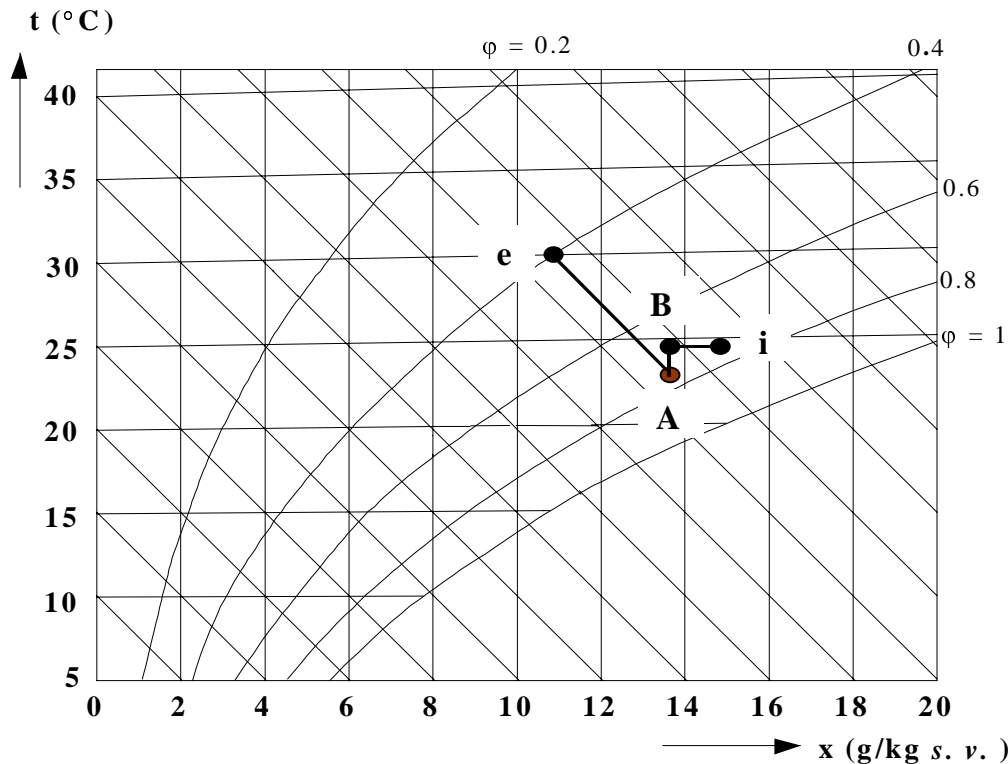
Z důvodu variability zadání a přehlednosti výpočtů byl pro řešení problému vybrán software Mathcad (www.mathsoft.com/mathcad/). Program ve verzi 2000 Professional firmy MathSoft je dostupný matematický software v ceně okolo 20 tisíc Kč. Matematické výrazy na obrazovce vypadají stejně jako v poznámkovém sešitě. Můžeme je řešit nejen numericky, ale i symbolicky. Je možno zjednodušovat složité matematické výrazy, upravovat rovnice, řešit derivace, neurčité integrály atd. Mathcad obsahuje přes 200 vestavěných funkcí. Jsou to např. funkce goniometrické, hyperbolické, logaritmické, maticové, regresní, funkce pro řešení rovnic (i diferenciálních), pro práci se soubory dat a další funkce. Pro technické aplikace je důležité, že Mathcad může pracovat s vestavěnými i uživatelem nadefinovanými jednotkami. Výsledky můžeme zobrazit ve formě grafů, které mohou s časem měnit svůj tvar (animace). Do výpočtů se snadno umisťují texty. Do Mathcadu je možné vkládat i krátké programy, které umožní např. několikanásobné opakování výpočtů (cyklus), dokud je splněna určitá podmínka. Součástí Mathcadu jsou elektronické příručky, kde je možno najít řadu užitečných vztahů a fyzikálních konstant (Š l e g e r, V r e c i o n 1998).

Zvolený algoritmus řešení vychází při stanovení biologických produkcí hospodářských zvířat z:

ČSN 06 0210:1994 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění,

ČSN 73 0540-1÷3 Tepelná ochrana budov. Část 1÷3.

Obr. 1: Znáornění úpravy vzduchu ve stáji



V následující ukázce výpočtu byla zadána stáj pro odchov 30 000 kuřecích brojlerů, stáří šest týdnů. Tento příklad zadání byl zvolen pro možnost porovnání s reálným objektem, ve kterém naše pracoviště provedlo měření (Neuberger, Šleger 1999). Výpis dokumentu programu Mathcad využívá vzhledem k rozsáhlosti výpočtů možnost skrytí některých částí. Ukázka celého řešení bude předvedena při prezentaci na konferenci.

Návrh počtu trysek pro systém přímého adiabatického chlazení

dané parametry:

vyberte z následujícího seznamu kategorií hrabavé drůbeže a zadejte níže podle uvedeného vzoru (Pozor ! Názvy se zadávají v uvozovkách a bez háčků a čárek.)

seznam:

kurice, nosnice, kureci brojleri, kruty tezke, krocani tezci, kruty sredni, krocani sredni

kategorie ≡ "kureci brojleri

volba kategorie hrabavé drůbeže

nacteno = "v poradku"

kontrola správnosti volby

$\tau_z := 6$

věk zvířat v týdnech

$Z := 30000$

průměrný počet ustájených zvířat (ks)

vyberte typ stáje podle měrné hmotnosti objektu a zadejte níže (v uvozovkách a bez háčků a čárek)

lehka

..... do 200 kg/m²

stredne tezka 200 až 400 kg/m²
tezka nad 400 kg/m²

typ_staje ≡ "lehka" volba typu stáje
kontrola_zadani= "v poradku" kontrola správnosti volby

vyberte z následujících dvou technologii ustájení a zadejte níže (v uvozovkách a bez háčků a čárek)
klece při ustájení v klecích, na roštech
podestylka při ustájení na podestýlce (odchov, výkrm, nosnice)


ustajeni≡ "podestylka" volba technologie ustájení
kontrola = "v poradku" kontrola správnosti volby
definice jednotek oC := 1 kJ := 1000·J
t_e := 30·oC zvolená letní teplota venkovního vzduchu

φ_e := 0.4 relativní vlhkost venkovního vzduchu
(dle normy ČSN 73 0543-2)
φ_i := 0.6 požadovaná (maximální) relativní vlhkost
vzduchu ve stáji (ČSN 73 0543-2)

Q_{vtr} := 5·L·hr⁻¹ naměřený objemový průtok vody jednou tryskou
η_{tr} := 1 účinnost vypařování rozprášené vody v zařízení
(η = 1, pokud předpokládáme, že se veškerá voda
vystříkaná tryskami vypaří do vzduchu)

výpočty hmotnostního toku větracího vzduchu a ohřevu a zvlhčení vzduchu od ustájených zvířat (dle normy ČSN 73 0543-2):


následující výpočty jsou skryty !

 pá VI 23 10:25:58 2000

krátká ukázka možností Mathcadu na vybrané části výpočtů

výpočet parciálního tlaku sytých vodních par pomocí regresní funkce:

načtení tabulkových hodnot
(R a ž n j e v i ć 1984)

tlaky :=

C:\...\tlak sytych par.txt

zvolený stupeň regresního polynomu n := 3

výpočet regresních koeficientů pomocí
vestavěné funkce regress

koef := regress(tlaky^{<0>}, tlaky^{<1>}, n)

definice regresní funkce

$$p_{p''}(t) := \left[\sum_{i=3}^{n+3} \text{koef}_i \cdot (t)^{i-3} \right] \cdot \text{Pa}$$

parciální tlak vodních par

$$p_p(t, \varphi) := \varphi \cdot p_{p''}(t)$$

parciální tlak suchého vzduchu

$$p_{sv}(t, \varphi) := p_{vv} - p_p(t, \varphi)$$

podle Daltonova zákona

$$\rho_{sv}(t, \varphi) := \frac{p_{sv}(t, \varphi)}{r_{sv} \cdot (t + 273) \cdot \text{K}}$$

hustota suchého vzduchu ze stavové rovnice

kontrola hodnot funkcí

pro vstupní parametry vzduchu

$$p_p(t_e, \varphi_e) = 1696 \text{ Pa}$$

$$p_{sv}(t_e, \varphi_e) = 96304 \text{ Pa}$$

$$\rho_{sv}(t_e, \varphi_e) = 1.11 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

🔒 pá VI 23 10:25:58 2000

výsledky:

teploty a relativní vlhkosti vzduchu v různých stavech (viz obr. 1):

$$t_e = 30 \text{ oC}$$

$$\varphi_e = 0.4$$

teplota a relativní vlhkost vstupujícího vzduchu

$$t_A = 25.906 \text{ oC}$$

$$\varphi_A = 0.583$$

teplota a rel. vlhkost po adiabatickém ochlazení

$$t_B = 27.301 \text{ oC}$$

$$\varphi_B = 0.537$$

teplota a relativní vlhkost po ohřevu od zvířat

$$t_i = 27.301 \text{ oC}$$

$$\varphi_i = 0.6$$

teplota a rel. vlhkost upraveného vzduchu ve stáji

$$M_{v, \max} = 80.84 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

doporučený hmotnostní tok větracího vzduchu

$$Q_v = 2.599 \times 10^5 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

objemový tok větracího vzduchu (na vstupu)

$$Q_c(t_i) = 114.575 \text{ kW}$$

produkce citelného tepla od ustájených zvířat

$$M_d(t_i) = 0.122 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

produkce vodní páry

$$M_w = 0.132 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

potřebné množství vody pro adiabatické chlazení

pocet = 95

hledaný počet trysek daného typu pro přímé adiabatické chlazení

Výsledky a diskuse

Před návrhem systému přímého adiabatického chlazení vzduchu pro daný druh a kategorii zvířete je vhodné získat přehled o průběhu teplot a vlhkosti venkovního vzduchu v dané lokalitě v předchozích letních obdobích. Projektant by měl konzultovat s budoucím provozovatelem možnost překročení doporučených hodnot relativní vlhkosti uvnitř stáje. Bude-li například chovatel trvat u šestitýdenních kuřecích brojlerů na dodržení relativní vlhkosti interiérového vzduchu 60 %, bude výsledný efekt chladicího procesu zanedbatelný. Oblasti se suchým venkovním vzduchem jsou pro instalaci vhodnější.

Tab. I uvádí výsledky výpočtu pro zadání 30 000 kuřat, stáří šest týdnů, průtok tryskou 5 litrů vody za hodinu, maximální relativní vlhkost v interiéru stáje 60 %. Snížení teploty interiéru stáje oproti venkovnímu prostředí o 2 K by bylo dosaženo až při teplotě venkovního vzduchu překračující 30 °C. Při teplotách venkovního vzduchu pod 27 °C naopak dochází i při použití chladicího systému vlivem značných biologických produkcí k nárůstu teploty uvnitř stáje.

Budeme-li za prioritní považovat snížení vlivu tepelného stresu a zabránění následně možnému úhynu zvířat a připustíme-li relativní vlhkost v interiéru až do hranice 75 %, získáme při venkovní teplotě vzduchu $t_e = 30$ °C snížení teploty až o 5 K (tab II). Relativní vlhkost 75 % připouští při teplotě interiéru $t_i = 23$ °C pro kategorii nosnice literatura (K o š a ř 1987).

Tab. I: Zadané a vypočtené parametry chladicího zařízení při relativní vlhkosti 60% ve stáji

t_e [°C]	φ_e [%]	φ_i [%]	Průtok vzduchu [kg.s ⁻¹]	t_i [°C]	t_A [°C]	φ_A [%]	Počet trysek [ks]
25	58	60	81	26,4	24,8	58,9	5
26	56	60	81	27,0	25,5	58,5	12
27	53	60	81	27,4	26,0	58,2	24
28	49	60	81	27,5	26,1	58,1	44
29	45	60	81	27,5	26,2	58,1	66
30	40	60	81	27,3	25,9	58,3	95
31	34	60	81	26,7	25,2	58,7	135

V tab. I a II uvedené symboly znamenají:

t_e teplota a φ_e relativní vlhkost vnějšího vzduchu, t_i teplota a φ_i relativní vlhkost upraveného vzduchu ve stáji, t_A teplota a φ_A relativní vlhkost po adiabatickém ochlazení vzduchu rozprášenou vodou (viz obr.1).

Tab. II: Zadané a vypočtené parametry chladicího zařízení při relativní vlhkosti 75% ve stáji

t_e [°C]	φ_e [%]	φ_i [%]	Průtok vzduchu [kg.s ⁻¹]	t_i [°C]	t_A [°C]	φ_A [%]	Počet trysek [ks]
25	58	75	81	23,9	21,8	78	76
26	56	75	81	24,5	22,4	78	84
27	53	75	81	24,8	22,8	77	98
28	49	75	81	24,9	23,0	77	118
29	45	75	81	25,0	23,0	77	139
30	40	75	81	24,8	22,8	77	168
31	34	75	81	24,2	22,1	78	207

Závěr

Při návrhu systému přímého adiabatického chlazení vzduchu ve stáji je nutno z důvodu různých poměrů mezi produkcí tepla a vlhkosti zohlednit kategorii a druh zvířete.

Pro minimalizaci vlivu biologických produkcí na konečný stav vzduchu ve stáji je i při použití chlazení nutno podobně jako při samotné ventilaci uvažovat s maximální možnou výměnou vzduchu ve stáji.

Pomocí navrženého algoritmu, který vychází z energetické bilance objektu a směšování vlhkého vzduchu s kapičkami vody, lze stanovit počet trysek systému přímého adiabatického chlazení vzduchu pro teplotní maxima venkovního vzduchu. Volbu teploty, při které bude systém chlazení spouštěn, je nutno podřídít schopnostem regulátoru celé klimatizace.

Zvolené softwarové prostředí umožňuje jednoduchou modifikaci vztahů podle národních zvyklostí a nových poznatků výzkumu.

Souhrn

Instalace systémů přímého adiabatického chlazení vzduchu ve stájových objektech s sebou přináší i problém správného dimenzování množství rozprášené vody. V příspěvku předkládaný matematický výpočet umožňuje modelování podmínek provozu stáje při letních teplotních maximech.

Z modelu vyplývá nutnost řešení jednotlivých druhů a kategorií odděleně. Použitý program Mathcad vytváří podmínky pro modifikaci výpočtu. Tab. I a II. dokumentují nutný vzrůst návrhové relativní vlhkosti v interiéru stáje až na 75 %. Pro nosnice tuto hodnotu připouští např. Košař (1987). V podmínkách střední Evropy je to cesta k výraznějšímu snížení teploty vzduchu a rizika tepelného stresu zvířat.

Literatura

- Košař, K. *Stroje a zariadenia v hydinarstve*. 1. vyd. Bratislava: Príroda, 1987, 374 s.
- Neuberger, P., Šleger, V., Adamovský, R. The stables input air stream processed by adiabatic process. In IBMER. III. *Wykorzystanie energii odnawialnej w rolnictwie*. Warszawa, IBMER, 1999, p. 219-223.
- Ražnjević, K. *Termodynamické tabuľky*. 1. vyd. Bratislava: Alfa 1984, 313 s. 63-012-83.
- Šleger, V., Vrecion, P. *Mathcad 7*. 1. vyd. Praha: Haar International, 1998, 157 s. ISBN 80-206-0434-0.

Kontaktní adresa

Ing. Vladimír Šleger, CSc.
Ing. Pavel Neuberger
Technical Faculty of the Czech Agricultural University in Prague
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka
Tel.: +420 2 24383186, e-mail: sleger@tf.czu.cz, neuberger@tf.czu.cz
Czech republic