

Vplyv riešenia strešnej konštrukcie na mikroklimu v ustajňovacích priestoroch pre dojnice

Effect of roof structure composition on the cow stall climate

J. LENDELOVÁ, Š. POGAN and M. BALKOVÁ

Department of Building, Slovak University of Agriculture in Nitra (e-mail: Jana.Lendelova@uniag.sk)

Abstract The aim of this work was investigation of microclimate in cow stalls with different sorts of roofs in summer time. There were evaluated the objects with noninsulated and insulated roof structures.

There was found by measuring of microclimate parameters that there is a summer secondary overheating under single noninsulated roof structures. On this results basis there was analyzed nonconforming rearing environment. In the solar time the air temperature under emitting roofs, measured on body high zone, was even higher by excessive light roof panel area and there were not found significant differences between inside and outside temperature. But there was found in step with thermal roof dampening capacity - significant air internal temperature decreasing $\Delta\Theta_{ai}=5,8^{\circ}\text{K}$ in the insulated roof in the summer time.

Key words: cow, roof, structure, insulation, heat stress

Úvod

Jedným z najdôležitejších prvkov welfare ustajnených zvierat je kvalita vnútorného prostredia charakterizovaná teplotou vzduchu, jeho relatívnou vlhkosťou, rýchlosťou prúdenia a množstvom škodlivín (Knížková a kol., 1996; Doležal a kol., 2002).

Zo stavebného hľadiska na parametre mikroklimy vplyva voľba konštrukčného riešenia obalových plášťov. Nakoľko v chove dobytky sa využívajú nevykurované stavby, kde je možné v zimnom období uvažovať s prídavným teplom produkovaným zvieratami, venovali sme pozornosť teoreticko-praktickému skúmaniu konštrukčného riešenia striech z dôvodu ich vplyvu na tepelný stres zvierat v letnom období.

Strechy svojou konštrukciou môžu tvoriť zvieratám vhodnú ochranu pred nekomfortným horúcim prostredím. Napríklad v tropických podmienkach v hydínárskom priemysle vytvorené tienenie pomocou správne izolovanej strešnej konštrukcie redukuje vnútornú tepelnú záťaž zvierat o 20 až 40 % (Zenola, 1998). Ideálna strešná krytina v hydínárskom priemysle by mala poskytovať veľkú odrazivosť slnečného žiarenia, s významnou tepelno-izolačnou kapacitou a kapacitou teplotného útlmu približne 12 hodín (Silva a kol., 2005).

V bežnej farmárskej praxi je však často používaná strecha z ocelevej krytiny na báze hliníka, ktorá je cenovo dostupná a rýchlo zhotoviteľná napriek svojmu vysokému súčiniteľu tepelnej vodivosti. Tepelnotechnické vlastnosti

takejto krytiny spôsobujú vysoké prehrievanie interiéru v letnom období, čo reprezentuje veľké emisie nielen tepla, ale i hluku keď je strecha vystavená mechanickým rázom počas dažďa alebo nárazového vetra a tvorí tak stres ustajneným zvieratám. S tým ďalej súvisí nízka mechanická odolnosť, veľká tepelná dilatácia a značná nočná kondenzácia z titulu zvýšenej vnútornej relatívnej vlhkosti (Moraes, 1998).

Metodika

Teoretickým podkladom ku riešenej problematike bol výber reprezentujúcich strešných konštrukcií používaných pre zastrešenie ustajňovacích objektov a stanovenie ich teplotného útlmu.

Táto bezrozmerná veličina podľa Chmúrneho (2003) udáva, koľkokrát je teplotná amplitúda na vnútornom povrchu konštrukcie A_{si} menšia ako teplotná amplitúda vonkajšieho vzduchu A_e .

Teplotný útlm bol hodnotený na základe tepelnotechnických vlastností strešných konštrukcií vybraných experimentálnych objektov. Pre výpočet veličiny bol použitý vzťah podľa Šklovera, ktorý umožňuje vyjadriť teplotný útlm v tvare

$$v = 0,7 \exp\left(\frac{D}{\sqrt{2}}\right) \cdot \frac{s_1 + h_e}{s_1 + \tilde{U}} \cdot \frac{s_2 + \tilde{U}_1}{s_2 + \tilde{U}_2} \dots \frac{s_n + \tilde{U}_{n-1}}{s_n + \tilde{U}_n} \cdot \frac{h_e + \tilde{U}_n}{h_e}$$

kde s_j je tepelná pohltivosť vrstvy vo $W/(m^2.K)$ určená vzťahom

$$s = \sqrt{\frac{2\pi}{t} \lambda_j \cdot c_j \cdot \rho_j}$$

Pri určovaní tepelnej pohltivosti vrstvy \tilde{U}_j sme postupovali nasledovne:

- a) ak $D_j = R_j \cdot s_j \geq 1$, potom $\tilde{U}_j = s_j$ pre $j=1,2,\dots,n$
b) ak $D_j = R_j \cdot s_j < 1$, potom

$$b_1) \tilde{U}_j = \frac{R_j^2 \cdot s_j^2 + \tilde{U}_{j-1}}{1 + R_j \cdot \tilde{U}_{j-1}} \text{ pre } j=2,3,\dots$$

$$b_2) \tilde{U}_j = \frac{R_1 \cdot s_j^2 + h_i}{1 + R_j \cdot R_1 \cdot h_i} \text{ pre } j=1$$

Tepelnú pohltivosť a teplotný útlm sme hodnotili pre jednoduché plechové a plastové strechy, ako aj pre zateplenú strešnú konštrukciu so vzduchovou medzerou a modernú krytinu z izolačných dosiek bez vzduchovej medzery.

Ku praktickému overeniu mikroklimatických parametrov boli v prvej etape vybrané tri objekty s relatívne zhodným pôdorysným i výškovým riešením.

Objekt A bol tvorený oceľovým skeletom s pozdĺžnym modulom 4500 mm, vnútornej šírky 26600 mm a dĺžky 72200 mm. Zvislý i strešný nosný systém bol tvorený zvaranými valcovanými oceľovými profilmi. K jednoduchému zastrešeniu boli použité strešné dosky ONDEX v kombinácii s presvetľovacími dielmi SOLLUX.

Celkový počet dojníc bol 178 s delením do skupinových koterčov. Škodliviny boli odvádzané neprekrytou hrebeňovou vetracou štrbinou šírky 600 mm. Maštal bola vybavená 16 kusmi doplnkových ventilátorov - VS 36 DFA so systémom trysiek pre distribúciu vodnej hmloviny, ktoré boli umiestnené striedavo na nosných stĺpoch (v každom druhom module).

V objekte **A** boli miesta merania nasledovné: a - v prírodnom priebežnom otvore bočnej steny, b - v ležisku pod otvorom vo výške 500 mm nad podlahou, c - stred ležiska vo výške 1200 mm nad podlahou, d - okraj ležiska pri vstupe do krmiska vo výške 500 mm, e - stred pohybovej chodby vo výške 1200 mm nad podlahou, f - nad krmivom vo výške 500 mm nad podlahou.

Objekt B pozostával zo železobetónového skeletu s pórobetonovým opláštením s rozpätím blízky predchádzajúcemu skúmanému objektu (svetlá šírka 25800 mm, dĺžka 71300 mm). V strede objektu bol taktiež umiestnený prejazdny krmny stôl šírky 3900 mm, s ktorým obojstranne susedili krmné chodby šírky 3300 mm. Krmisko od ležiska oddeľovala 1500 mm vysoká drevená stena vybudovaná vpravo i vľavo od krmnej chodby. Za každou deliacou stenou sa nachádzali po dva rady ležiskových boxov s medziľahlou hnojnou chodbou šírky 2200 mm - teda objekt bol riešený ako štvorradový. Ležiskové boxy boli 2400 mm dlhé a 1200 mm široké, opatrené gumovými matracmi. Škodliviny boli odvádzané novovybudovanou presvetlenou hrebeňovou vetracou štrbinou. Strešnú krytinu tvorili vlákno-cementové vlnkové dosky, izolácia Nobasil hr. 100 mm so vzduchovou medzerou hr. 500 mm a bol zrenovovaný aj podhľad dvojpláštvej strechy tvorený drevocementovými doskami. Celkovo bolo v objekte ustajnených 182 dojníc.

V objekte **B** boli v pričnom reze miesta merania nasledovné: a - ležisko priamo pri stenovom otvore s výškou merania 1200 mm nad podlahou, b - ležisko priamo pri stenovom otvore s výškou merania 500 mm nad podlahou, c - stred pohybovej chodby vo výške 1200 mm, d - vnútorné ležisko s výškou merania 1200 mm, e - stred krmiska vo výške 1200 mm nad podlahou, f - krmny stôl s výškou merania 500 mm nad podlahou.

Objekt C bol tvorený oceľovým skeletom s pozdĺžnym modulom 6000 mm, vnútornej šírky 27000 mm a dĺžky 66900 mm. Objekt bol štvorradový s počtom zvierat 190 ks, ustajnených v ležiskových boxoch popri dvoch krmných chodbách. Zvislý i strešný nosný systém bol tvorený zvaranými valcovanými oceľovými profilmi. Strešná konštrukcia bola tvorená plechovou krytinou KOB 1004, tepelnou izoláciou Nobasil hr. 100 mm, vzduchovou medzerou a oplechovaným podhľadom.



Obr. 1 Pohľad na experimentálne objekty - vľavo objekt A, v strede objekt B, vpravo objekt C

Merania boli uskutočňované ambulantným zisťovaním troch mikroklimatických parametrov – teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti a rýchlosti prúdenia pomocou prístroja ALMEMO v stanovených miestach merania v pozdĺžnom i priečnom smere. Štatistický rozbor nameraných hodnôt bol vyhotovený prostredníctvom programu STATISTIX 95.

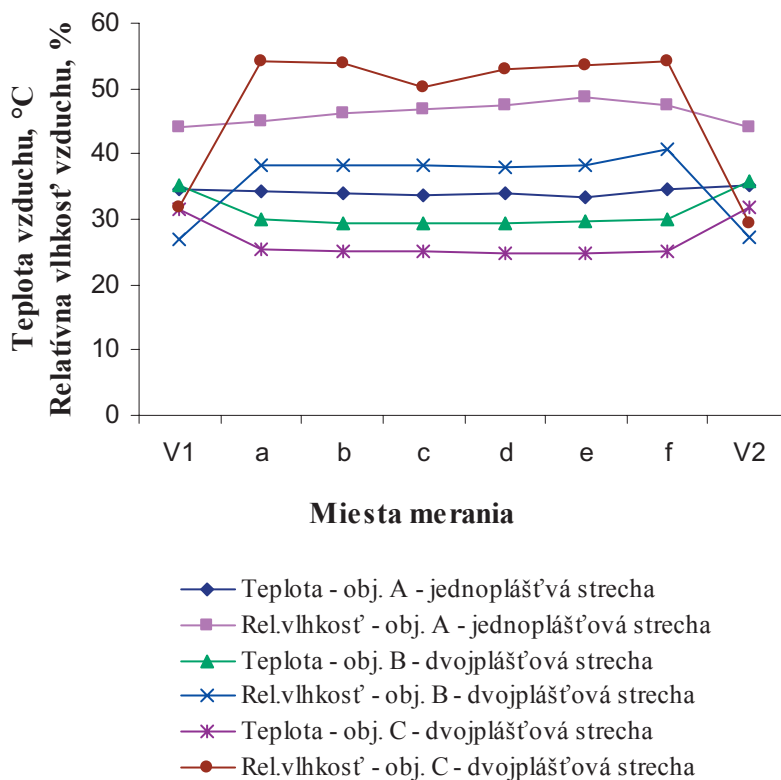
Výsledky

V objekte **A** s jednoplášťovou strechou bola požiadavka kubatúry vnútorného ustajňovacieho priestoru splnená, ako aj potrebná plocha vstupných otvorov a šírka hrebeňovej štrbiny. Z rozboru nameraných hodnôt (pri vonkajších teplotách vyšších ako 30°C – viď obr. 2) vyplynulo, že interiérové teploty pozdĺž celého objektu boli veľmi blízke vonkajším sledovaným hodnotám ($\Delta\Theta_{ai} = 0,79^\circ\text{K}$, $\Delta\varphi_{ai} = 2,86\%$), čomu korešponduje i nízky teplotný útlm z tab. 1 pre uvedenú strešnú konštrukciu $v = 0,708$. Je však nutné poznamenať, že v tomto objekte bola prekročená miera strešného presvetlenia z 8% na 24%, čo prispelo k väčšiemu prehriatiu objektu.

V objekte **B** bola tiež požiadavka kubatúry vnútorného ustajňovacieho priestoru splnená, ako aj potrebná plocha vstupných otvorov a šírka hrebeňovej štrbiny. Z nameraných interiérových a exteriérových hodnôt teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu je možné konštatovať, že vplyvom izolovanej strechy a vyššieho teplotného útlmu ($v = 10,331$) bola v objekte nižšia teplota vzduchu, ($\Delta\Theta_{ai} = 5,82^\circ\text{K}$), relatívna vlhkosť mierne zvýšená oproti exteriérovým hodnotám ($\Delta\varphi_{ai} = 11,47\%$).

V objekte **C** bola síce požiadavka kubatúry vnútorného ustajňovacieho priestoru splnená, no s hraničným priblížením ku limitu 6m³ kubatúry vzduchu na 100 kg živej váhy zvierat. Šírka novovybudovanej hrebeňovej štrbiny $d=800$ mm je vyhovujúca a potrebná plocha vstupných otvorov bude riešená pripravovanou rekonštrukciou, doposiaľ je hranične nízka. V tomto type objektu s izolovanou strešnou konštrukciou vyšší teplotný útlm strechy ($v = 8,657$) v meraniach mikroklimatických parametrov síce poukazuje na relatívne vhodné zníženie vnútornej teploty ($\Delta\Theta_{ai} = 6,66^\circ\text{K}$), no bolo evidentné značné zvýšenie relatívnej vlhkosti vzduchu ($\Delta\varphi_{ai} = 22,5\%$), čo pri podstielkovom systéme ustajnenia a častým odpratávaním hnoja upozorňuje na skutočne akútnu potrebu zvýšenia výmeny vzduchu, a teda otvorenia bočných stien.

Priebeh mikroklimatických parametrov objektov A, B, C v letnom období je uvedený na obr. 2. Výsledky teplotného výpočtu hodnotených strešných konštrukcií sú v tab. 1, kde je pre porovnanie uvedený i výsledok teplotného útlmu moderného typu strešnej konštrukcie (polyuretánové strešné panely) u nás známeho z priemyselných stavieb a v zahraničí už zavádzaný aj pre použitie v ustajňovacích objektoch pre dobytok.



Obr. 2 Mikroklimatické parametre v objektoch s rôznym riešením strešnej konštrukcie

Tab. 1 Výpočet teplotného útlmu pre sledované strešné konštrukcie

Typ objektu	Druh strešnej konštrukcie	Hrúbka vrstvy	Súčiniteľ tepelnej vodivosti	Merná tepelná kapacita	Objemová hmotnosť v suchom stave	Teplotný útlm
Označenie		d	λ	c	ρ	v
Jednotky		m	Wm ⁻¹ .K ⁻¹	J.kg ⁻¹ K ⁻¹	kg.m ³	-
A	Dosky vln. PE	0,003	0,34	1470	930	0,71
B	Plech KOB	0,001	150	990	2900	10,331
	Vzduch. medzera	0,250	0,0267	1010	1,165	
	Drevozem. dosky	0,025	0,160	1580	600	
C	Plech KOB	0,001	150	990	2900	8,657
	Vzduch. medzera	0,5	0,0267	1010	1,165	
	Nobasil	0,100	0,062	880	260	
	Plech KOB	0,001	150	990	2900	
D	PURpanel-55	0,055	0,029	1510	35	13,664
E	PURpanel-95	0,095	0,029	1510	32	24,726

Tab. 2 Vplyv zvyšovania relatívnej vlhkosti vzduchu na hranice miery tepelného stresu pri predpoklade konštantného zníženia interiérovej teploty vzduchu ($\Delta\theta_{ai} = 5^{\circ}\text{K}$) v objektoch so zateplenými strešnými konštrukciami v porovnaní s nezateplenými
ZP – zóna pohody (THI<72)
ZMS – zóna mierneho (THI = 72-78)
ZSS – zóna silného stresu (THI = 79-89)

Vnútoraná teplota prostredia θ_i v objekte s nezateplenou strechou	Vnútoraná teplota prostredia θ_i v objekte so zateplenou strechou	Predpokladaná relatívna vlhkosť vzduchu φ_i	THI v objekte s nezateplenou strechou	THI v objekte so zateplenou strechou
°C	°C	%	-	-
35	30	30	81=ZSS	75=ZMS
35	30	35	82=ZSS	76=ZMS
35	30	40	83=ZSS	77=ZMS
35	30	45	84=ZSS	78=ZMS
35	30	50	85=ZSS	78=ZMS
35	30	55	86=ZSS	79=ZSS
30	25	30	75=ZMS	68=ZP
30	25	35	76=ZMS	69=ZP
30	25	40	77=ZMS	70=ZP
30	25	45	78=ZMS	71=ZP
30	25	50	79=ZMS	72=ZMS
30	25	55	79=ZSS	72=ZMS

S každým ďalším vrstvením strešnej konštrukcie je nutné však očakávať navyšovanie investičných prostriedkov, pričom klasicky izolované strechy s prídavnou podhľadovou vrstvou pre ochranu izolácie zvnútra tvoria takmer 300-350% navyšenie nákladov v porovnaní s bežnou jednoduchou nezateplenou strechou. Moderné materiálové inžinierstvo ponúka niekoľko vhodnejších monoblokových doskových riešení (napr. na báze polyuretánových strešných panelov – vid typ D a E, tab. 1), u ktorých v samotnej krytine už navyšenie tvorí 180 – 230% v porovnaní s nezateplenou strechou (v prepočte pre 160 resp. 230 zvierat) a šetrí sa i na montážnych prácach. Na jedno ustajňovacie miesto zvýšenie nákladov pre purpanelovú strechu predstavuje zhruba 5300 – 7600,- Sk v prepočte pre 4 – 6 radovú dispozíciu v porovnaní s bežnou jednovrstvou neizolovanou strechou.

Ak však v zmysle tab. 2 teoreticky znížime vplyvom efektívneho tienenia a teplotného útlmu strešnej konštrukcie ustajňovacieho objektu interiérovú teplotu z 35°C na 30°C, pri relatívnej vlhkosti $\varphi_i = 30\%$ sa hodnota teplotno-vlhkostného indexu THI v letnom období zníži z hodnoty 81 (zóna silného stresu, ďalej „ZSS“) na hodnotu 75 (zóna mierneho stresu, ďalej „ZMS“). Ak však sledujeme možný vzostup relatívnej vlhkosti z titulu napríklad nešetného typu evaporačného chladenia, výsledné hodnoty THI sa opäť začnú približovať ku hranici ZSS. Pri hodnote $\varphi_i = 55\%$ sa takto zvieratá už ocitnú opäť v ZSS, i keď boli vynaložené investície na strešnú konštrukciu a znížená tak interiérová teplota. Obdobný prípad je počítaný v tab. 2 pre zníženie teploty z 30°C na 25°C.

Záver

Podľa teoreticko-experimentálneho skúmania vplyvu strešnej konštrukcie na zníženie rizika tepelných stresov u dobytká bol zistený preukázateľný vplyv zateplených, resp. viacvrstvových strešných konštrukcií na vnútornú klímu. Z teoretických výpočtov v zmysle hodnotenia tepelného útlmu bežne používaných typov striech v ustajňovacích objektoch vyplýva, že izolované strešné konštrukcie dosahujú teplotný útlm $v = 8,6 - 24,7$, pričom neizolované jednoduché plechové alebo plastové strechy iba $v = 0,7 - 0,9$. Tieto žiaľ v kombinácii s množstvom presvetľovacích prvkov výrazne znižujú efekt tienenia.

Praktickými meraniami v letnom období bol zistený horší stav v objektoch so sálajúcou neizolovanou strechou s neúmerne väčším množstvom presvetľovacích strešných prvkov, pričom v zóne zvierat neboli zistené preukázateľné teplotné rozdiely medzi exteriérovými a interiérovými teplotami vzduchu. Naproti tomu u dvojplášťových striech bolo zistené preukázateľné zníženie teploty vzduchu vo vnútri objektov ($\Delta\theta_{ai} = 5,8^\circ\text{K}$) počas letného obdobia.

Ak však evidentne znížime vplyvom efektívneho tienenia a teplotného útlmu strešnej konštrukcie vnútornú teplotu v ustajňovacom priestore, je potrebné dosledovať aj ostatné parametre kryptoklímy, aby pri dodatočnom prevlhčení vzduchu z titulu nehospodárneho evaporačného

chladenia nebola zvýšená hodnota THI natoľko, že by sa investičné náklady vložené do stavebno-konštrukčného i technologického riešenia pre pohodu zvierat stali neefektívne.

Literatúra

[1] – Knížková, I. – Kunc, P. – Knížek, J.: Ochlazování skotu během tepelného stresu v provozních podmínkách. Odborný seminár s medzinárodnou účasťou „Ochrana zvierat a welfare“. FVHE VFU Brno, 1996, s. 33

[2] – Doležal a kol.: Komfortní ustájení vysokoprodukčních dojnic. VÚŽV Praha, 2002, 127s.

[3] – Zanela, N. 1998. Sistema de ventilacao em túnel a sistema de ventilacao natural na Criacao de Frangos de Corte em Alta Densidade. Vicosa. Dissertawcao de Mestrado.

[4] – M. Pereira Silva, F. da Costa Baêta, I. de Fátima Ferreira Tinôco, S. Zolnier, A. Ribeiro: 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: Seventh International Livestock Environment Symposium, ed. Tami Brown-Brandl and Ronaldo Maghirang. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan. ,Pub. Date 18 May 2005 . Pp. 143-150

[5] – Moraes, S.,R.,P. 1998. Conforto térmico em modelos reduzidos de galpões avícolas para diferenças coberturas durante o verao. Tese de Mostrado. Vicosa.

[6] – Chmúrny, I. 2003. Tepelná ochrana budov. Bratislava: Jaga group, 2003. 214 s.