



## VĚTRÁNÍ HALY PRO VÝKRM KUŘAT

Pavel Kic<sup>1</sup>, Milan Zajíček<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TF ČZU v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchdol

<sup>2</sup>ÚTIA AV ČR, v.v.i., Pod Vodárenskou věží 4, 182 08, Praha 8

kic@tf.czu.cz, zajicek@utia.cas.cz

### ANOTACE

Cílem tohoto příspěvku je numerická analýza větrání haly pro výkrm brojlerů v průběhu letního období. Proudění vzduchu s vhodnou rychlostí v zóně pobytu zvířat je jedním z hlavních parametrů, které ovlivňují tvorbu vhodného vnitřního prostředí, potřebného pro výkrm kuřat. Specifické problémy hal pro intenzivní výkrm kuřat jsou dány zejména tím, že kuřata jsou chována trvale v hale od prvního dne života (při hmotnosti několika gramů) do ukončení výkrmu (až po hmotnost několika kilogramů). V průběhu výkrmového období se velmi výrazně mění biologické produkce a termoregulační schopnosti kuřat. Problémy tvorby vnitřního prostředí jsou nejvýraznější v létě ke konci výkrmového období a v zimním období po naskladnění malých jednodenních kuřat.

Základním problémem řešeným pomocí matematické simulace bylo určení rychlostí proudění ve větraném prostoru. Pro výzkum proudění vzduchu a predikci očekávaných rychlostí a teplot vzduchu bylo využito CFD softwaru Fluent. Sledovány byly též vlivy geometrického uspořádání a proudění vzduchu na teplotní pole. Účelná distribuce čerstvého vzduchu v hale a odpovídající umístění přívodních a odváděcích vyústek přispívá k účinnosti větracích zařízení.

V rámci analýzy větrání zkoumané haly byly též řešeny extrémní případy teplotních poměrů v hale při částečném i úplném selhání větracího zařízení a zhodnoceny vlivy i následky na vnitřní mikroklimatické podmínky.

### ÚVOD

Numerická simulace proudění (CFD – Computer Fluid Dynamics) se již řadu let s úspěchem používá k řešení technických problémů v nejrůznějších odvětvích průmyslu. Oblast klimatizace a větrání nabízí nepochybně celou škálu problémů vhodných ke zkoumání pomocí CFD. Důvodem pro nasazení numerické analýzy je ve většině případů potřeba detailního poznání charakteru proudění ve větraných prostorách a často také možnost simulace stavů, které jsou z provozních důvodů nepřijatelné a v praxi nedosažitelné s výjimkou havarijních situací. Práce navazuje na analýzu použitelnosti Fluentu pro tento druh úloh [1].

V tomto článku je provedena numerická analýza konkrétního větraného prostoru s důrazem na dosažení co nejlepší shody numerického modelu s měřením. K výpočtům je použit komerční výpočetní systém Fluent, spolu s preprocesorem Gambit [2].

### METODA

Pokud má numerický model sloužit k predikci stavu systému za jiných nežli měřených podmínek, je pro jeho správnou funkci nutné naladění do stavu shodného s experimentem. Z tohoto důvodu je nezbytné použití experimentálně získaných dat. Pro validaci je dobré získat několik sad měření pro různé provozní stavy.

## Hala Červený Újezd

Náplň tohoto článku se odvíjí od měření, které probíhalo v hale chovu drůbeže Červený Újezd, a to za běžného provozu. Základní geometrické rozměry haly jsou: délka 41 m, šířka 17,2 m a výška v nejvyšším bodě zkoumaného prostoru 4 m. Skutečná dispozice haly je patrna z fotografií na obr 1.

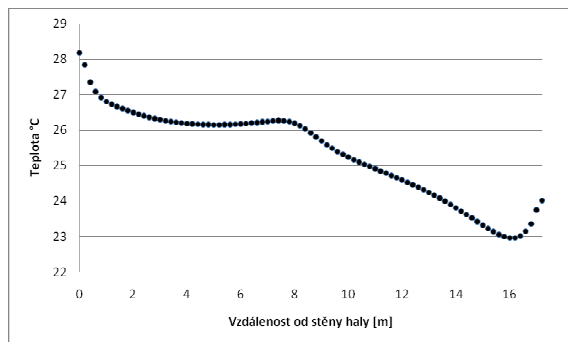
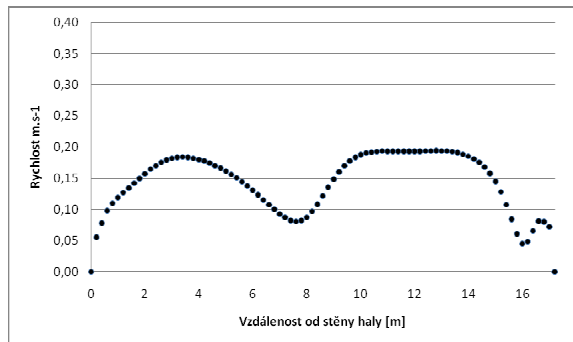
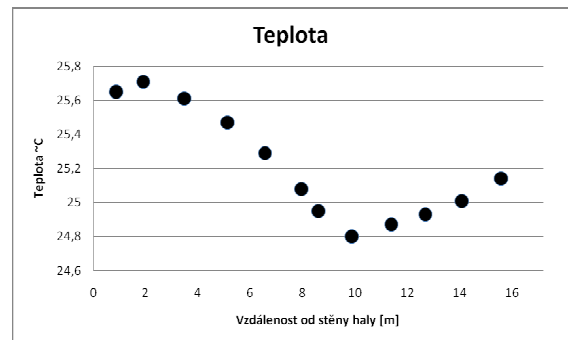
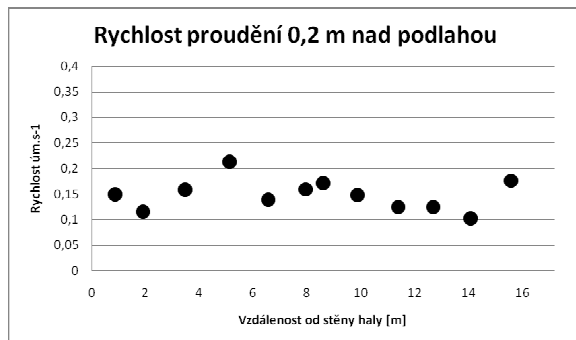


*Obr. 1 Skutečná vnější a vnitřní dispozice haly v Červeném Újezdě. Za pozornost stojí průduchy ve stropě drůbežárny, které jsou opatřeny posuvnými zástěny, jimiž v praxi obsluha reguluje intenzitu odvodu vzduchu z prostoru.*

V hale se během měření nacházelo 15 400 kuřat týden po naskladnění, hmotnost jednoho kuřete v době naskladnění byla cca 37 g, v době měření pohybovala mezi 123 a 128 g. Systém ventilace byl nastaven jako letní, neboť venkovní teplota byla 21°C. Hala samotná vznikla přestavbou a modernizací starších budov, z čehož vyplývá její atypický nesouměrný tvar. Většina obdobných zemědělských staveb se totiž ve vnitřním prostoru vyznačuje jednoduchým obdélníkovým profilem.

V hale byl proměřen rychlostní profil, teplotní profil a koncentrační profil oxidu uhličitého ve výšce 0,2 m nad podlahou a to v příčné ose haly. K měření byl použit přístroj ALMEMO 2590-9 opatřený sondami pro měření rychlostí a teplot (thermoanemometr FV A645), čidlem pro měření vlhkosti (FHA6x6) a čidlem pro měření koncentrace CO<sub>2</sub> (FVA600). Výsledky měření ukazuje obr 2. Naměřené koncentrace CO<sub>2</sub> v rovině měření jsou:  $c(\text{CO}_2) = 0,104 \pm 0,0062$  % obj. Jelikož zde uvedená simulace vývoj CO<sub>2</sub> nezahrnuje, není tento výsledek měření dále rozebírán.

Vzhledem k zaběhnutému provoznímu režimu byla během měření nastavena poměrně nehomogenní konfigurace. Tah ventilátorů byl nastaven na maximum a intenzita odtahu z haly byla regulována pouze posuvnými deskami ve stropě. Z deseti ventilátorů byly tři mimo provoz a štěrby pro přívod venkovního vzduchu v oknech byly nastaveny v nejrůznějších polohách. Při bližším ohledání vstupních štěrbin bylo zjištěno, že i když jsou vně stavby opatřeny stříškami usměrňující proud vstupujícího vzduchu, jak je patrné z fotografie, vzduch dovnitř haly vstupuje rovnoběžně s podlahou vlivem usměrnění v prostoru okna. Pro měření byl vybrán prostor v oblasti bez nefunkčních ventilátorů, jelikož lze předpokládat, že díky jejich odlehlosti se jejich porucha na tvaru měřených profilů neprojeví. Proud vzduchu ventilátorem nebyl během měření nijak škrcen a štěrby v přilehlých oknech měly konstantní velikost.



**Obr. 2** Srovnání naměřených hodnot a profilů rychlosti a teploty získaných numerickým výpočtem na 2D geometrii. Měření i vyhodnocení odpovídá profilu v ose výstupního větracího kanálu (ventilátoru) ve výšce 0,2 m nad zemí.

Doporučené množství odsávaného vzduchu bylo získáno výpočtem dle ČSN 73 0543-2 [3].

## NUMERICKÉ ŘEŠENÍ

Analýza pomocí CFD probíhá na vysíťovaném geometrickém modelu. Geometrický model haly je však značnou idealizací reálného stavu, neboť skutečné 3D proudění v hale je v reálných podmínkách, narozdíl od geometrického a matematického modelu použitého pro numerickou analýzu, zatíženo řadou skutečností, o kterých je třeba při simulaci vědět, ale které lze jen velmi těžko v modelu postihnout. Jedná se především o nesteré tvary vstupních a výstupních oblastí vzniklé vlivem jejich různého zaclonění a netěsnostmi, které často způsobují odvod, či nasávání vzduchu i v jiných, nežli uvažovaných oblastech. Obdobně je těžké postihnout lokální a pohybující se zdroje tepla, jimiž jsou jednotlivá kuřata a proto je model zjednodušen tak, že teplo je do prostoru dodáváno rovnoměrně, po celé ploše podlahy. Zde uvedené výsledky rovněž nezahrnují vliv přirozené konvekce a v geometrickém modelu nebyly uvažovány žádné vestavby a technologie. Nesrovnalosti mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami jsou z velké části způsobeny právě uvedenými zjednodušeními.

## Dvojrozměrný model

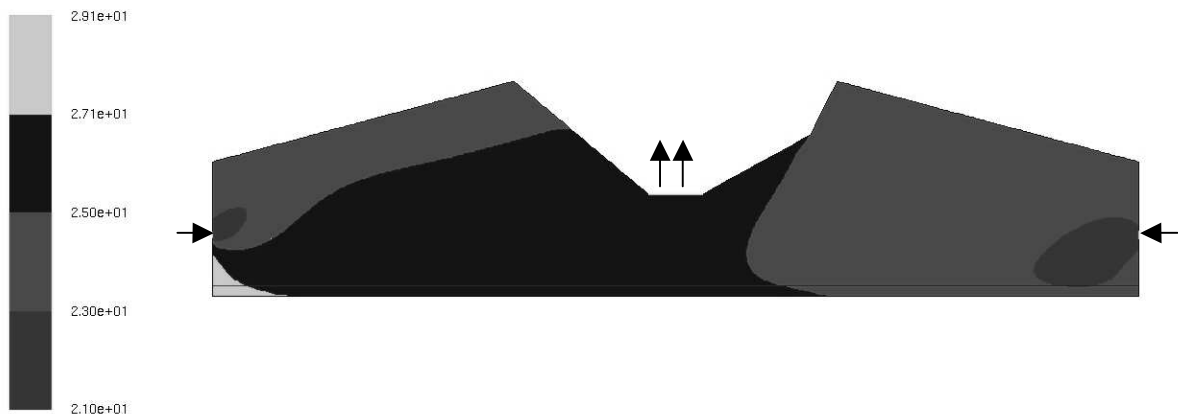
Po počátečních experimentech s 3D modelem haly se ukázalo, že množství proměnných a citlivost řešení na jejich změny je natolik vysoká, že nezbývá, nežli provést zjednodušenou 2D analýzu a teprve na jejím základě 3D model doladit. Geometrické zjednodušení 2D modelu spočívá především v tom, že pro výpočet je zvolen příčný řez halou zahrnující jak okno, tak ventilátor, což je pouze průmět 3D reality do charakteristického tvaru, na kterém je možné provést výpočet a získat základní bilanční představu, nikoli detailní popis proudění v prostoru. Teplo generované drůbeží je do modelu dodáváno rovnoměrně z vrstvy o tloušťce

15 cm nad podlahou. Okrajovými podmínkami jsou v tomto případě (slovníkem Fluentu) „pressure outlet“ na vstupu a „exhaust fan“ na výstupu. Podmínka „pressure outlet“ je opravdu použita jako vstupní. V praxi to znamená, že proudění v prostoru se vyvine na základě rozdílu tlaků mezi oknem a ventilátorem vytvářejícím podtlak.

### **Ladění 2D modelu**

Nejprve bylo propočítáno proudové pole tak, aby naměřená hodnota průměrné rychlosti v rovině měření odpovídala numerickému řešení. Následně byla do numerického řešení přidána i rovnice vedení tepla a okrajové podmínky doplněny jednak o teplotu na vstupu a objemový zdroj tepla, představující teplo vyvíjené drůbeží. Velikost tohoto objemového zdroje tepla byla laděna opět tak, aby bylo dosaženo co nejlepší shody s naměřenými hodnotami.

Na obr. 3 je znázorněn tvar teplotního pole odpovídající průběhu teplotního profilu z obr. 2.



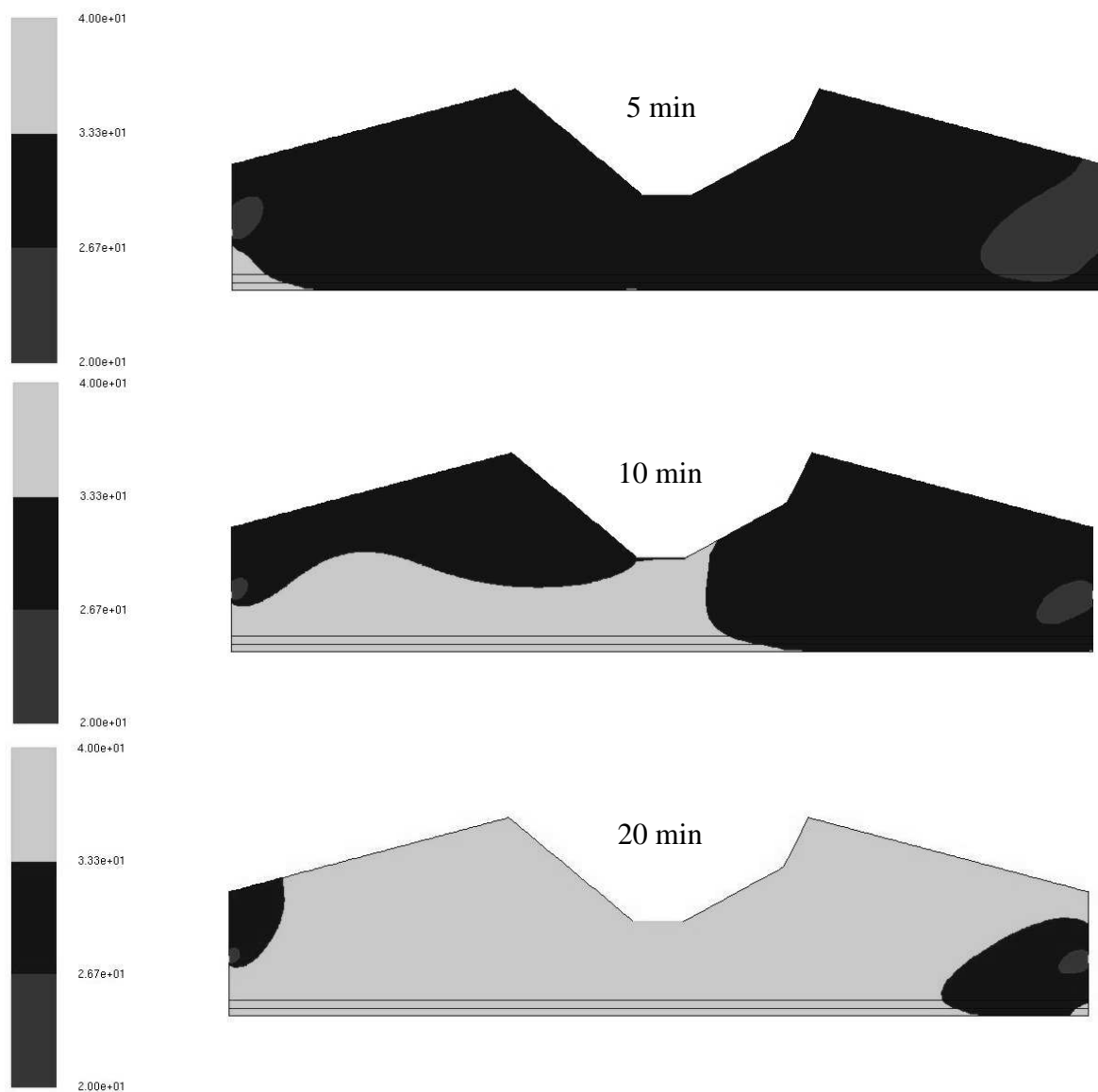
**Obr.3** Tvar teplotního pole při běžném provozním stavu získaný z 2D modelu. Vstupy a výstup jsou označeny šipkami.

### **Řešení přechodového stavu - vzrůst teploty při selhání větracího systému**

Program Fluent umožňuje řešit časový vývoj z jednoho rovnovážného stavu systému směrem ke druhému. Z již známého tvaru proudění a teplotního profilu lze získat predikci chování systému při změně okrajových podmínek, v tomto případě vypnutí ventilátoru. Obr. 4 ilustruje průběh zvyšování teploty v době 0 - 20 minut po jeho vypnutí.

Časová analýza je poměrně velmi náročná na výpočetní výkon, neboť v každém časovém kroku je třeba vypočítat konvergenci řešení (typicky cca 10 – 20 iterací), zatímco v případě 2D úlohy je iterace záležitostí řádově sekund, u dále zmíněné 3D úlohy je v řádu desítek až stovek sekund v závislosti na rychlosti výpočetního serveru. Pro odhad kritického času potřebného k obnově ventilace je přitom 2D model zcela dostačující, neboť v případě výpadku nejsou zajisté důležitá lokální překročení kritických teplot, ale doba, za kterou charakteristická teplota v hale překročí hodnotu, při které začne docházet k úmrtí drůbeže.

Obdobně lze na dvourozměrném modelu řešit například změnu tvaru teplotního pole po rozběhu ventilátorů, nebo při náběhu nouzového ventilačního systému.

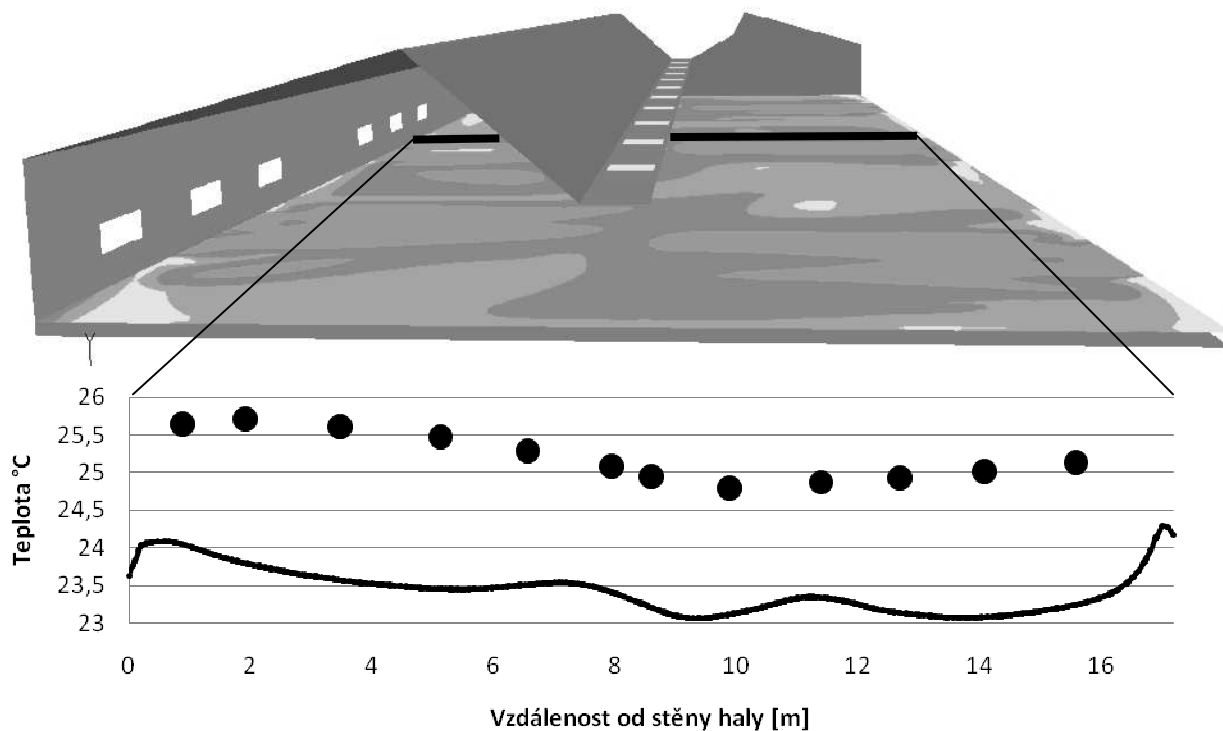


**Obr.5** Znáznornění růstu teploty po vypnutí ventilátoru. Pomalé rozmývání teplotního gradientu je způsobeno zanedbáním přirozené konvekce. Pro představu o rychlosti děje je však takto získaná informace dostatečná.

### Trojrozměrný model

Tvorba 3D modelů je časově náročná, zvyšuje počty výpočetních buněk, prodlužuje čas výpočtu i nároky na hardwarové vybavení. Pro získání nejrůznějších stavů proudění a teplotních poměrů v objektu je však použití 3D modelu bezpodmínečně nutné a umožní získat detailní informaci o fyzikálních poměrech za běžných i extrémních (v praxi nepravděpodobných) podmínek.

Hodnoty okrajových podmínek získané 2D modelem necht' jsou první aproximací hodnot okrajových podmínek pro 3D výpočet. Jak již bylo zmíněno, geometrie 3D modelu přináší do výpočtu jednak skutečnou prostorovou dispozici objektu a dále zahrnutí složek rychlostí ve směru osy haly. Takto zpřesněný model poskytuje podrobnější a realističtější představu o poměrech v hale a umožňuje použít více způsobů pro ovlivnění tvaru řešení. Prostorový model rovněž umožňuje daleko přesněji určit kritická místa výpočetní oblasti (extrémy rychlostí, teplot, zavření atd.).



**Obr.6** Srovnání naměřených hodnot teploty a profilu získaného numerickým výpočtem ve 3D. Měření i vyhodnocení odpovídá profilu v ose výstupního větracího kanálu (ventilátoru) ve výšce 0,2 m nad zemí. Plocha kontur odpovídá rozložení teplot v rovině měření.

Jeden z možných výsledků 3D analýzy proudění v hale je uveden na obr. 6. Jedná se o srovnání naměřených hodnot teplotního profilu s profilem získaným numerickou simulací. Poměrně dobře patrný je přibližně dvoustupňový posun mezi hodnotami měření a výpočtem. Ten je samozřejmě možné „setřít“ dalším laděním 3D modelu. Vzhledem k obdobnému průběhu naměřených a vypočítaných hodnot však lze konstatovat, že model je v tomto případě naladěn kvalitně a je použitelný pro další analýzy.

## VÝSLEDKY

Data z měření rychlostního profilu vykazují poměrně značný rozptyl a jejich podobnost s numerickými výsledky 2D modelu je pouze vzdálená. Lze se domnívat, že kromě geometrických zjednodušení modelu se na odlišnosti podílí také skutečnost, že 2D model nezahrnuje axiální složku rychlosti v podélném směru haly, která ale samozřejmě vstoupila do měření.

Zajímavější z pohledu zde uvedené analýzy je charakter průběhu teploty. Numerická řešení ukazují pro modely obou dimenzí průběhy teplot odpovídající měření. Z toho důvodu lze konstatovat, že nastavení obou modelů vzhledem k měření je uspokojivé.

## ZÁVĚR

Výsledky 2D i 3D numerického modelu haly pro výkrm brojlerů založené na experimentálním měření ukazují použitelnost a oprávněnost použít CFD pro řešení praktických úloh z této oblasti. Ze zřetele však nelze pominout skutečnost, že větrání haly pro výkrm brojlerů (stejně jako dalších obdobných staveb) je komplexním procesem, ve kterém se v různé míře, ale vždy současně, vyskytují vazby technických, biologických i náhodných faktorů, které je třeba do analýzy zahrnout.

## LITERATURA

- [1] KIC P., ZAJÍČEK M. *Air Streams in Buildings for Broilers*. Technika v podmienkách trvalo udržateľného rozvoja, Plavnica: 57-61, 2009
- [2] Fluent Inc. *Fluent user's guide, Version 6.3*. Fluent Inc. Lebanon, NH, USA 2006
- [3] ČSN 73 0543-2 *Vnitřní prostředí stájových objektů, část 2: Větrání a vytápění*, 1998

