

UDK: 621.36

*Originalni naučni rad
Original scientific paper*

RASPODELA PRAŠINE U VAZDUHU STAJA ZA DRŽANJE KRAVA

Goran Topisirović*, Dragan V. Petrović

*Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Institut za poljoprivrednu tehniku
Beograd-Zemun*

Sažetak: Koncentracija prašine je važan mikroklimatski parametar u svakom stočarskom objektu. Njeno povećanje narušava kvalitet unutrašnjeg vazduha i zdravstveno stanje zaposlenih radnika i smeštenih životinja. Pored ostalih uticaja, strujno polje vazduha u provetranom prostoru predstavlja ključni parametar za kontrolu prisustva čestica prašine u vazduhu objekata za držanje domaćih životinja. U cilju proširivanja postojećih baza podataka i saznanja u oblasti istraživanja mikroklimata u stočarskim objektima, u ovom radu je analiziran uticaj režima rada podkrovnih aksijalnih ventilatora na raspodelu čestica prašine u objektu za držanje krava u vezanom sistemu. Ispitano je šest različitih radnih režima ventilacije. Pri tome je ostvaren diskretan (diskontinualan) niz kontrolisanih protoka unutrašnjeg vazduha od $0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (samo prirodna ventilacija), $23750 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, $30750 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, $37300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, $39900 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ i $48000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ kroz radna kola svakog od dva instalirana ventilatora. To praktično znači da je celokupna zapremina unutrašnjeg vazduha eksperimentalnog objekta proticala približno 0; 16; 20; 25; 26,5; 32 puta u toku svakog sata kada je ventilacioni sistem bio aktivan. Merenja su izvedena na 4 karakteristične visine (0,5 m; 1,0 m; 1,5 m i 2,0 m), u tri poprečna preseka i četiri podužna preseka objekta. Tako je dobijeno karakterističnih 48 mernih tačaka, čime je adekvatno pokriven ceo unutrašnji prostor staje. Komparativna analiza brzina strujanja vazduha i koncentracija prašine pokazala je da ova konfiguracija ventilatora može ostvariti zadovoljavajuće rezultate pri odgovarajućem režimu rada. Evidentirani su prihvatljivi ventilacioni režimi, a posebno je izdvojen treći ogledni režim, protoka vazduha $23750 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (približno 16 zapremina objekta na čas) je izdvojen kao najpovoljniji.

Ključne reči: *protok vazduha, ventilator, brzina vazduha, prašina, stočarski objekat*

* Kontakt autor. E-mail: gogi@agrif.bg.ac.rs

Rad je podržalo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, projektima:

- Optimizacija tehnoloških postupaka i zootehničkih resursa na farmama u cilju unapređenja održivosti proizvodnje mleka (TR31086),
- Unapređenje biotehnoloških postupaka u funkciji racionalnog korišćenja energije, povećanja produktivnosti i kvaliteta poljoprivrednih proizvoda (TR 31051),
- Unapređenje i razvoj novih tehnoloških postupaka u proizvodnji animalnih proizvoda, radi postizanja visoko kvalitetnih, bezbednih i konkurentnih proizvoda na tržištu (III46009).

UVOD

Pojam ukupne (inhalabilne) prašine obično podrazumeva čvrste čestice prečnika manjeg od 100 μm , suspendovane u vazduhu. Pri tome treba razlikovati i frakciju respirabilne prašine, koju sačinjavaju čestice manje od 5 μm [3]. Za razliku od krupnijih čestica, koje se najvećim delom zadržavaju u gornjim delovima disajnih puteva, respirabilna prašina je posebno opasna jer prodire u najdublje delove pluća. Prašina u stočarskim objektima je uglavnom organske prirode. Potiče od odumrlih delova kože životinja, iz prostirke, suvog fecesa i hraniva (posebno koncentrovanih) [11].

Povećana koncentracija prašine izaziva zdravstvene tegobe i snižava produktivnost životinja. Zdravstveni problemi se javljaju i kod zaposlenih, pa se preporuke za dozvoljene koncentracije prašine definišu prema osetljivosti čoveka. Opšteprihvaćena vrednost iznosi 10 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ zas ukupnu i 5 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ za respirabilnu prašinu. U cilju sprečavanja pojave dugotrajnih zdravstvenih problema predlažu se i mnogo strožije granice od svega 2,5 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ za ukupnu i 0,2 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ za respirabilnu prašinu [4].

Do sada je objavljeno mnogo rezultata istraživanja uticajnih parametara raznih proizvodnih procesa u stočarstvu, kao npr. [1], [4-10]. Sledeći ove trendove, u ovom radu su analizirani efekti primene višerežimskih krovnih ventilatora na koncentraciju pojedinih frakcija prašine i utvrđena povezanost protoka vazduha kroz radno kolo ventilatora sa nivoima koncentracije prašine. Određen najpovoljniji režim rada ventilacionog sistema i date su odgovarajuće preporuke za njegovu upotrebu.

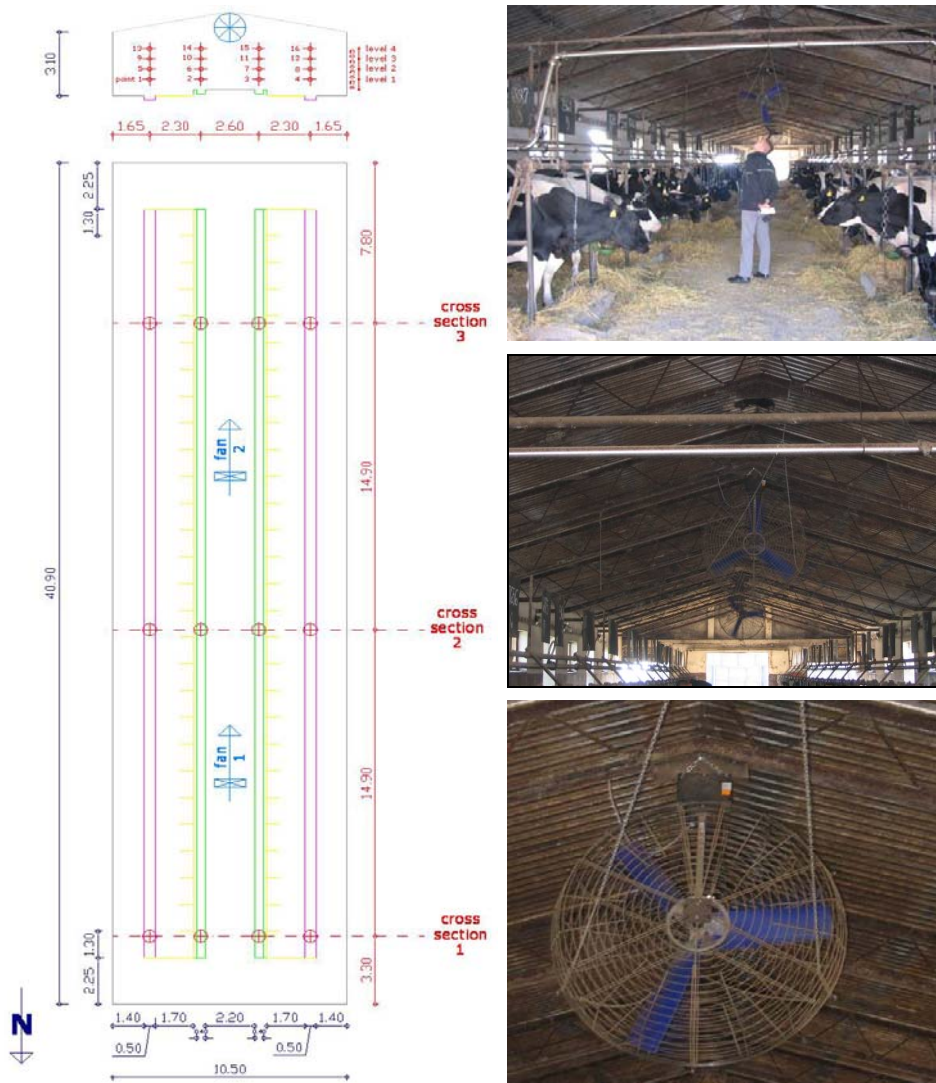
MATERIJAL I METODE RADA

U radu je ispitivan uticaj primene De Laval – ovog ventilacionog sistema Multifan sa kontrolnom jedinicom STD - Manual 8 A, termostatskim regulatorom T15 – WD i dva ventilatora DF 1300, na raspodelu koncentracija prašine u objektu. Ventilatori, postavljeni ispod krovne konstrukcije a iznad hranidbenog hodnika, imaju šest brzinskih režima rada. Maksimalni kapacitet ventilatora je 48000 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, pri 400 min^{-1} radnog kola. U proizvodnom objektu je izvršeno merenje u 48 tačaka (Slika 1), raspoređenih u 4 vertikalna niza (0,5 m; 1,0 m; 1,5 m i 2,0 m) u svakom od 3 poprečna merna preseka postavljena, na 3.30 m, 18.20 m i 33.10 m od ulaznih vrata na severnoj strani hranidbenog hodnika. Vertikalni nizovi su postavljeni simetrično iznad jaslala i kanala za izdubavanje [2]. Merene su koncentracije frakcija prašine $\geq 0.3\mu\text{m}$ i $\geq 0.5\mu\text{m}$, pri neutralnom režimu (prirodna ventilacija) i pet radnih režima ventilatora i.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Prostorna polja koncentracije prašine

Tokom prvog seta merenja koncentracije prašine u proizvodnom objektu ventilatori su bili isključeni. Kada su ventilatori isključeni koncentracija i raspored čestica prašine u zapremini objekta zavise isključivo od intenziteta prirodnog kretanja vazduha i vlažnosti vazduha.

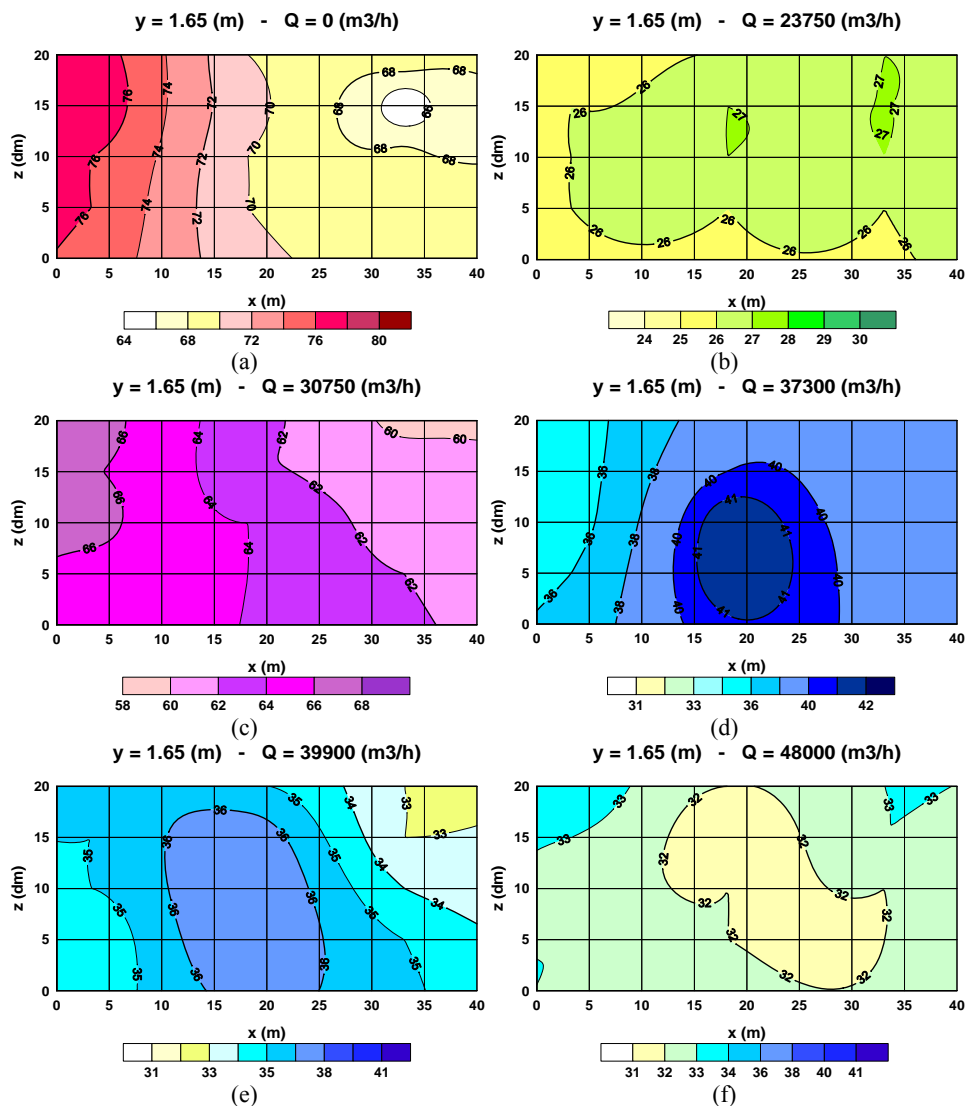


Slika 1. Osnova objekta i položaj mernih tačaka (levo), sa fotografijama unutrašnjeg izgleda objekta (desno)

Figure 1. Building layout and map of measuring points locations (left), with photos of indoor ambient (right)

Zbog toga, koncentracije prašine su bile više u poređenju sa odgovarajućim koncentracijama pri radu ventilatora u bilo kom režimu (Slike 2a do 5a, redom). Zbog toga ne treba ni tražiti neke posebne zakonitosti u rasporedu čestica prašine. I pored toga, raspored obe frakcije prašine je dosta ujednačen po mernim mestima, što ukazuje da se i u ovim uslovima stvara određeno stacionarno stanje koncentracije prašine. Pojedina

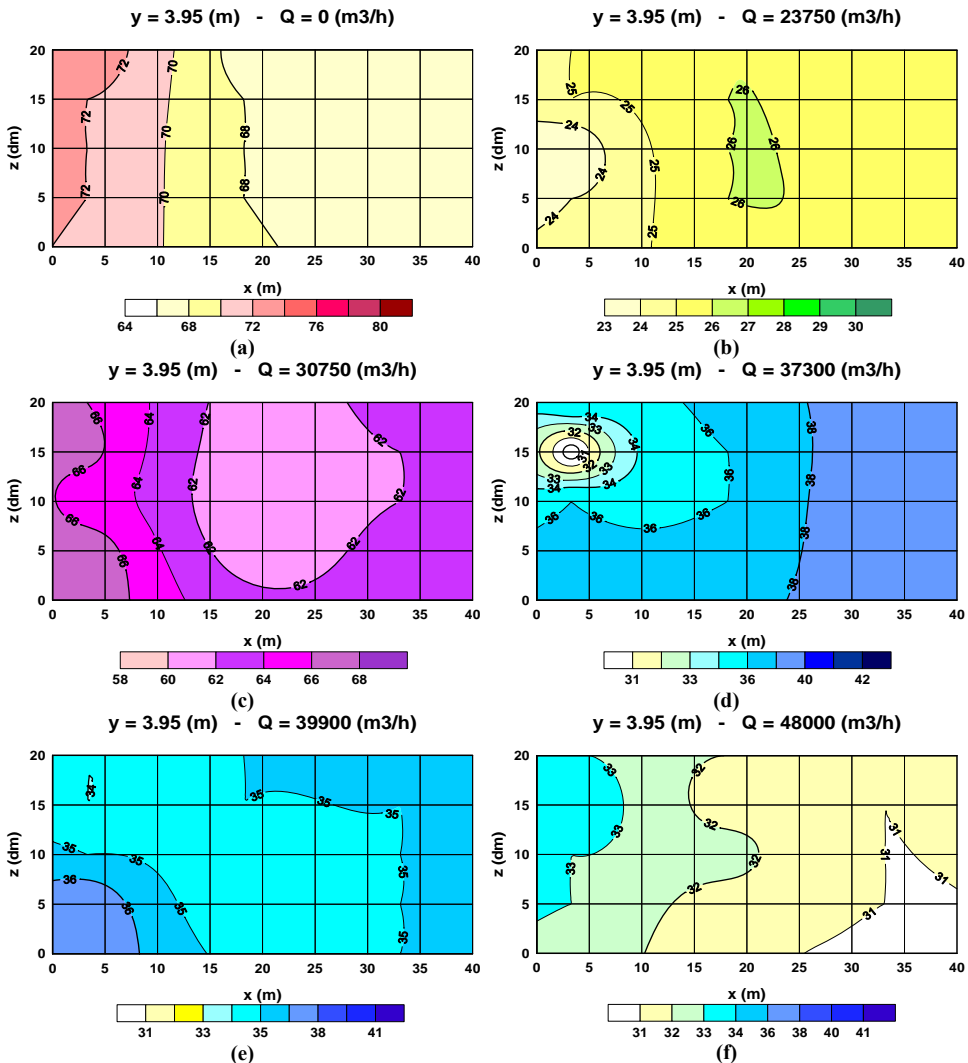
odstupanja mogu nastati kao rezultat aktivnosti životinja, različitog sastava prostirke, distribucije koncentrovanog hraniva i dr.



Slika 2. Raspodela koncentracija prašine prečnika 5 µm duž prvog podužnog preseka
 Figure 2. Distributions of 5 µm dust fraction along the first longitudinal cross section

Tokom druge serije merenja, pri nominalnom protoku ventilatora od 23750 m³·h⁻¹, koncentracije prašine u proizvodnom objektu su bile najniže u poređenju sa svim ostalim ispitivanim režimima (prinudna ventilacija, Q = 23750 m³·h⁻¹, Slike 2b do 5b, redom). U ovom režimu ventilatori obezbeđuju adekvatnu izmenu vazduha i brzinu strujanja

vazduha, pri kojoj se ne resuspenduju nataloženu prašinu sa poda i drugih površina. Sve ovo je dovelo do smanjenja koncentracije prašine u vazduhu – srednja koncentracija frakcije $\leq 5 \mu\text{m}$ smanjena je sa 72 čestica·ml⁻¹, tj. za 64%.

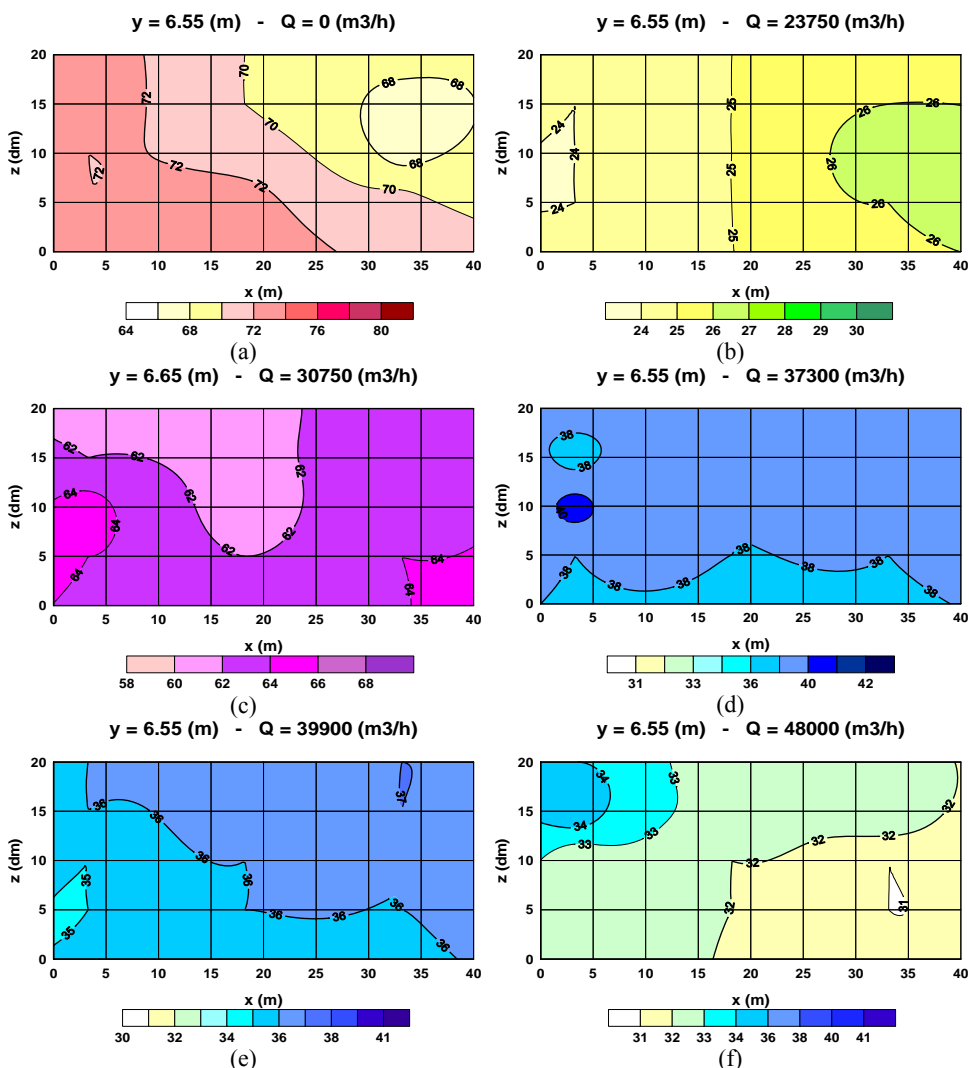


Slika 3. Raspodela koncentracija prašine prečnika $5 \mu\text{m}$ duž drugog podužnog preseka

Figure 3. Distributions of $5 \mu\text{m}$ dust fraction along the second longitudinal cross section

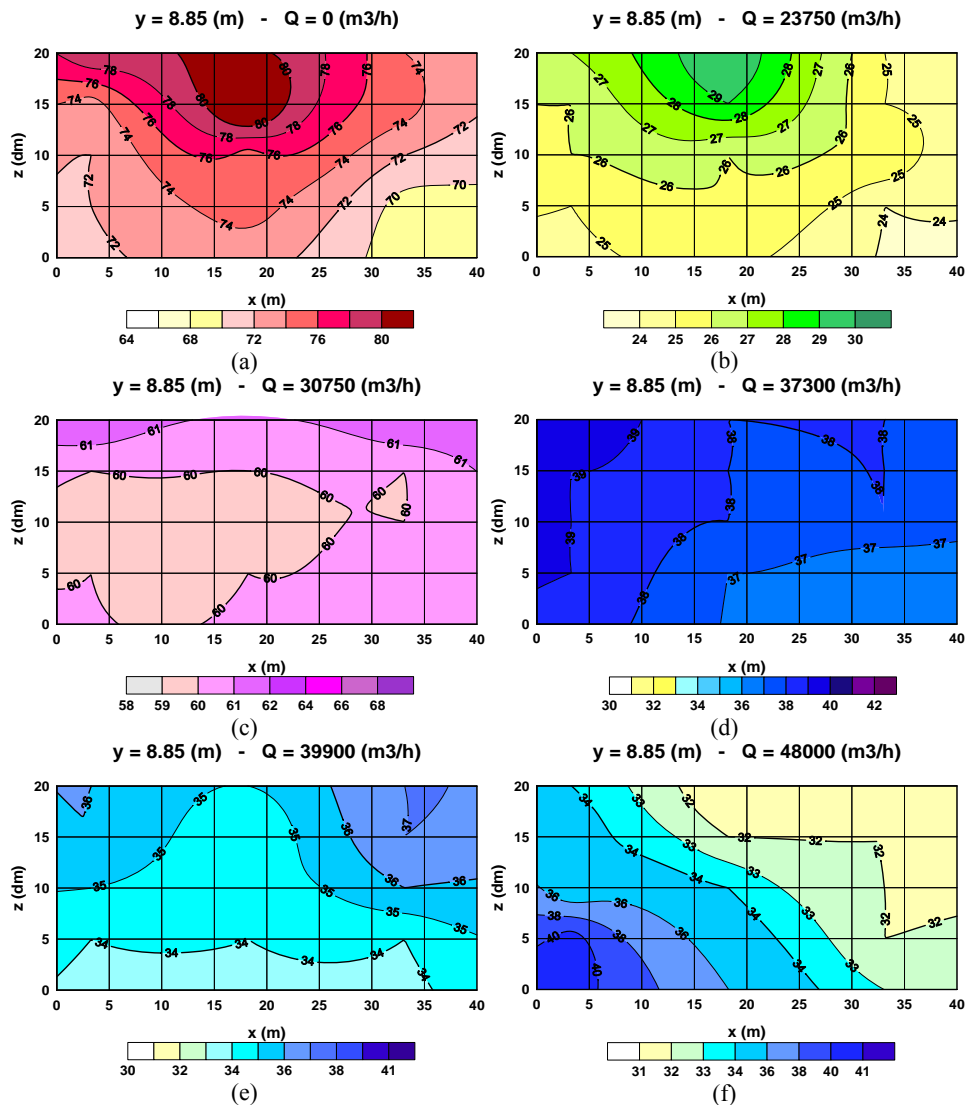
U toku treće serije merenja koncentracije prašine u proizvodnom objektu, ventilatori su ostvarili nominalni protok od $30750 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. U ovom režimu su izmerene najveće koncentracije prašine u oglednom objektu (Slike 2c do 5c, redom), u poređenju sa svim ostalim režimima (osim režima sa isključenim ventilatorima). Može se očekivati da se posle dužeg trajanja dejstva ventilatora sadržaj prašine kontinuirano smanjuje.

Tokom četvrtog (Slike 2d do 5d, redom) i petog seta merenja (Slike 2e do 5e, redom) koncentracije prašine u proizvodnom objektu ventilatori su bili uključeni na stepen 3 i 4 (redom) sa nominalnim protocima vazduha od $37300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ i $39900 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (redom). Zabeležena je redukcija koncentracije obe frakcije prašine. Uspostavljen je ujednačena (homogena) raspodela koncentracija obe frakcije prašine u objektu. Pri ovim režimima, količina izbačenih čestica prašine iz objekta bila je veća od količine unetih čestica sa spoljnim ulaznim vazduhom i resuspenzijom čestica sa poda i drugih površina unutar objekta.



Slika 4. Raspodela koncentracija prašine prečnika $5 \mu\text{m}$ duž trećeg podužnog preseka
 Figure 4. Distributions of $5 \mu\text{m}$ dust fraction along the third longitudinal cross section

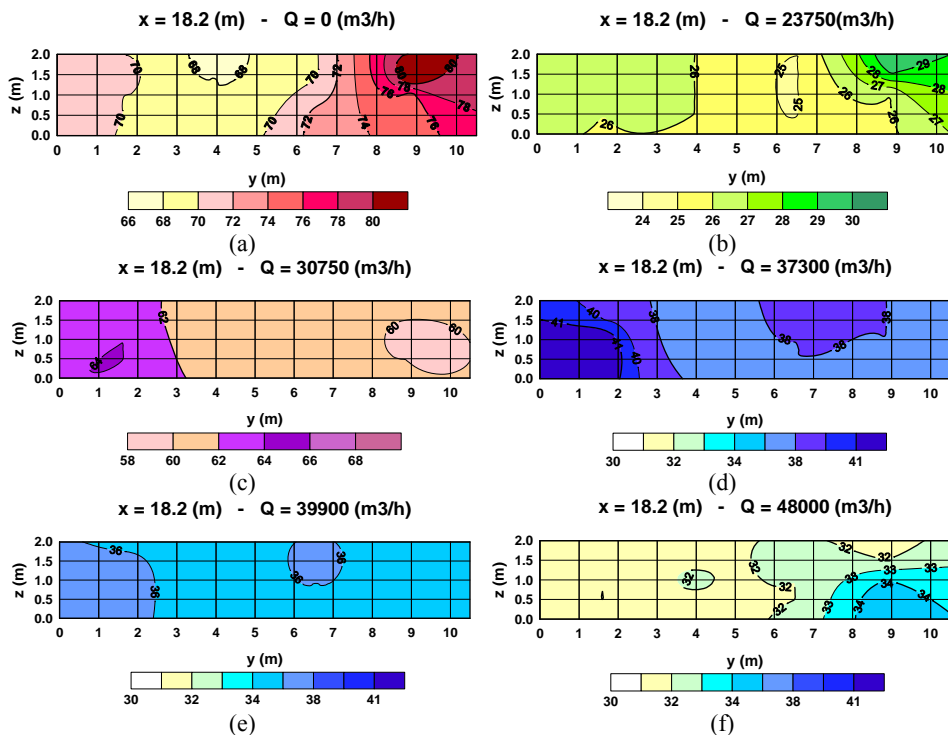
Poslednji, šeste serije merenja održavan je maksimalni radni protok od $48000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ vazduha kroz radno kolo ventilatora. Koncentracija prašine ponovo se povećala (Slike 2f do 5f, redom), kao rezultat intenzivnog podizanja nataložene prašine sa prostirke i poda, zbog prevelikog intenziteta brzine strujanja vazduha u objektu.



Slika 5. Raspodela koncentracija prašine prečnika $5 \mu\text{m}$ duž četvrtog podužnog preseka
 Figure 5. Distributions of $5 \mu\text{m}$ dust fraction along the fourth longitudinal cross section

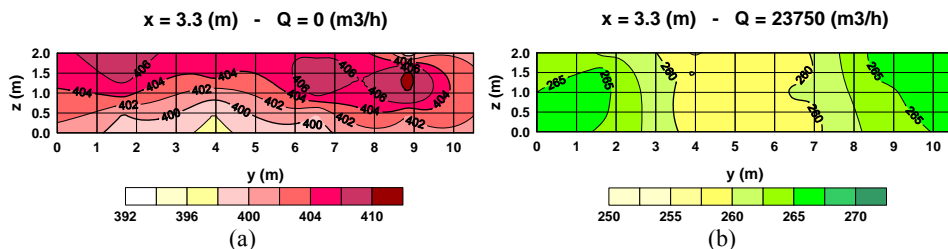
Analiza izmerenih brzina vazduha i koncentracija prašine pri različitim ventilacionim režimima pokazuje da su u letnjem periodu najpovoljniji režimi rada ventilatora u

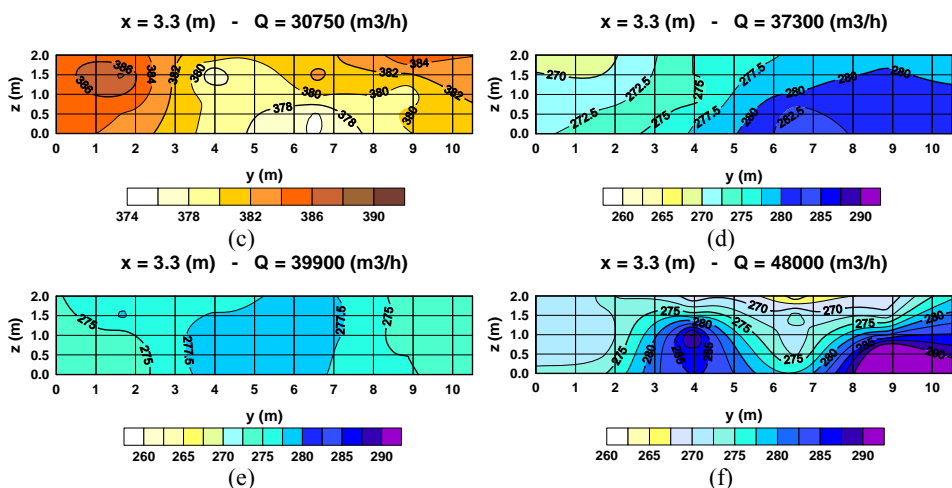
1. ($23750 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) i 3. stepenu ($37300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). Tada se održava brzinsko polje vazduha ispod granica promaje u zoni životinja, ali još uvek dovoljnog intenziteta za odgovarajuće rashlađivanje životinja, uz održavanje najnižih koncentracija obe frakcije prašine ($d > 3 \mu\text{m}$ i $d > 5 \mu\text{m}$). Navedenu tvrdnju potvrđuje i mapa koncentracije frakcije prašine prečnika iznad $5 \mu\text{m}$ u centralnom poprečnom preseku udaljenom 18.2 m od severnih ulaznih vrata hranidbenog hodnika (Slike 6a-e).



Slika 6. Koncentracija frakcije prašine prečnika $5 \mu\text{m}$, duž drugog (centralnog) poprečnog preseka
 Figure 6. Distributions of $5 \mu\text{m}$ dust fraction along the second (center) cross section

Analogna fenomenologija je uočena i u slučaju frakcije prašine koja obuhvata i sitnije čestice od $5 \mu\text{m}$, odnosno kojoj pripadaju čestice prečnika $d > 3 \mu\text{m}$. Zbog ograničenosti prostora, u radu su prikazane samo mape raspodele koncentracije prašine ($d < 3 \mu\text{m}$) u centralnom poprečnom preseku staje (Slike 7a-e).





Slika 7. Koncentracija frakcije prašine prečnika 3 µm, duž drugog (centralnog) poprečnog preseka
 Figure 6. Distributions of 3 µm dust fraction along the second (center) cross section

ZAKLJUČAK

Na osnovu analize rezultata merenja koncentracije prašine uz poštovanje optimalnih vrednosti brzina strujanja vazduha u ovakvom objektu, može se zaključiti da se najbolji efekat rada ventilatora postiže u nižim režimima rada.

Posebno je povoljan režim u prvom (23750 m³·h⁻¹, što odgovara proticanju 16 neto zapremina staje svakog sata kroz svaki od dva instalirana ventilatora), a prihvatljivi su i režimi u trećem (37300 m³·h⁻¹, odnosno 25 neto zapremina objekta na čas) i četvrtom (39900 m³·h⁻¹, t.j. 26,5 neto zapremina objekta na čas) stepenu brzine radnog kola ventilatora. Tada se postiže vrlo stabilan i kvalitetan efekat iznošenja prašine, uz brzine strujanja koje su u granicama optimalnih za letnje uslove.

LITERATURA

- [1] Bartzanas, T., Baxevanou, C., Fidaros, D., Papanastasiou, D., Kittas, C. 2010. Airborne particles and microclimate distribution in a livestock building. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng - Toward Environmental Technologies*, Clermont-Ferrand (France), September 6-8, 2010, p. 1-9, itema.cereth.gr/files/2010/07/B01-2010.pdf.
- [2] Curtis, L., Raymond, S., Clarke, A. 1996. Dust and ammonia in horse stalls with different ventilation rates and bedding. *Aerobiologia*, Volume 12, No. 4, pp. 239-247.
- [3] Jacobson, L.D. 2007. Animal Structures: Air Quality (in: *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering*). Taylor & Francis, Oxford, UK.
- [4] Jacobson, L.D., Hetchler, B.P., Janni, K.A., Linn, J., Heber, A., Cortus, E. 2008. Animal and environmental performance of a retrofitted mechanical cross-ventilation system to a naturally ventilated free stall dairy barn in the mid-west U.S. *Livestock Environment VIII*, 31 August - 4 September 2008, Iguassu Falls, Brazil 701, p408.

- [5] Pearson, C.C., Sharples, T.J. 1995. Airborne Dust Concentrations in Livestock Buildings and the Effect of Feed. *Journal of Agricultural Engineering Research* Volume 60, Issue 3, March 1995, p. 145–154.
- [6] Petrović, D., Topisirović, G. 1997. Modelling the airborne dust particle size distribution in a swine farrow room. *Agricultural Engineering*, Vol. 3, no. 3-4, p. 57-63.
- [7] Petrović, D., Tošić, M., Topisirović, G. 1999. On the statistical prediction of water requirements in the milkcows barns. *Beitrage zur "4. Internationalen Tagung "Bau, Technik und Umwelt in der Landwirtschaftlichen Nutztierhaltung"*, München, 9.-10. März 1999, ISBN 3-9805559-5-X, стр. 467-470.
- [8] Petrović, D., Topisirović, G., Schön, H., Tošić, M. 1998. Turbulent velocity field measurement in the air of swine housing buildings. *Zbornik apstrakta naučno-stručnog skupa "Dan poljoprivredne tehnike – Informacione tehnologije i razvoj poljoprivredne tehnike"*, Beograd-Zemun. YU ISSN 0354-9437, UDC 631, str. 101-102.
- [9] Takai, H., Pedersen, S., Johnsen, J.O., Metz, J.H.M., Groot Koerkamp, P.W.G., Uenk, G.H., Phillips, V.R., Holden, M.R., Sneath, R.W., Short, J.L., White, R.P., Hartung, J., Seedorf, J., Schroeder, M., Linkert, K.H., Wathes, C.M. 1998. Concentrations and Emissions of Airborne Dust in Livestock Buildings in Northern Europe. *J. agric. Engng Res.* 70, 59-77.
- [10] Topisirović, G., Ećim Đurić, Olivera. 2008. Numeričko predviđanje strujnog polja pri prirodnoj ventilaciji stočarskih objekata. *Poljoprivredna tehnika*, god. XXXIII, br. 3. p.p. 41 - 47. Poljoprivredni fakultet. Beograd.
- [11] Wang, X, Zhang, Y, Zhao, L.Y., Riskowski, G.L. 2000. Effect of ventilation rate on dust spatial distribution in a mechanically ventilated airspace. *Transactions of the ASAE*. Vol. 43(6), pp. 1877-1884.

DISTRIBUTION OF AIRBORNE DUST PARTICLES IN A TIED-COWS BARN

Goran Topisirović, Dragan V. Petrović

*University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Institute of Agricultural Engineering,
Belgrade-Zemun, Republic of Serbia*

Abstract: Among others, an airborne dust particles concentration is a crucial microclimate quality parameter of each livestock building. Increasing the concentration of dust particles affects the indoor air quality and health of employed workers and breeding animals. In order to enrich the existing data base and improve the understanding of mechanisms of controlling the microclimate conditions in livestock buildings, the influence of operational air flow rate of under-roof axial fans on airborne dust particles distribution crossover the tied cows barn has been analysed in present study. Six different air flow rates of both installed fans have been tested: $0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (only natural ventilation), $23750 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, $30750 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, $37300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, $39900 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ and $48000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Measurements have been performed at four typical height levels (0,5 m; 1,0 m; 1,5 m and 2,0 m), cross-over the three lateral and four longitudinal characteristic building sections. Consequently, 48 measuring points were appropriately selected, in order to cover the whole indoor space in adequate way. Comparative analysis of air flow velocities and dust concentrations showed that this fan setup can provide satisfactory results under adequate operational regime. Certain working regimes were recommended

for use, and the first fan rate step, generating the airflow of $23750 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, or indoor air exchange level of approximately $16 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$, has been found as the most suitable.

Key words: *fan flow rate, airflow velocity, airborne dust, livestock buildings*

Datum prijema rukopisa: 24.10.2012.
Datum prijema rukopisa sa ispravkama: 28.10.2012.
Datum prihvatanja rada: 01.11.2012.