Biblid:0350-2953 (2018) 44(4): 157-166;
UDK: 631:62-93

Originalni naučni rad
Original scientific paper

MERENJE PRITISKA U SISTEMU ZA VLAŽNO PREČIŠĆAVANJE VAZDUHA

PRESSURE MEASUREMENT IN THE SYSTEM OF WET AIR SCRUBBING

Zoranović Miodrag, Ivanišević Mladen, Sedlar Aleksandar, Višacki Vladimir

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8,

e-mail: zoranovic.miodrag@polj.uns.ac.rs

REZIME

Kao važnu kariku između energetske i kinematske zakonitosti, razvoj sistema za prečišćavanje vazduha vodom zahteva merenje i kontrolu njegovog pritiska. Pri testiranju kvalitativnih i energetske karakteristika sistema za vlažno prečišćavanje vazduha vodom u otvorenom, poluotvorenom i zatvorenom sistemu (sa aspekta odlaganja vode), od posebnog interesa su instrumenti sa tačnošću, diapazona preciznog očitavanja pritiska od 15-500 Pa. U svrhu tome, usled potrebe za paralelnim merenjem 2-32 merna mesta, formirane su originalne varijante instrumenata za parcijalno i grupno merenje. Njihova konstrukcija i neke varijante mernih procedura za komponentne pritiske vazduha, objekat su kondenzovane deskripcije ovog rada.

Ključne reči: merenje, instrument, pritisak, vazduh, voda, prečišćavanje

1. UVOD

Gusto naseljene stočarske objekte karakteriše loš kvalitet vazduha, Gustafsson, G., 1988., naročito u objektima aridnih klimatskih zona, sa izraženo niskim ventilacionim stopama tokom zime. Negativni efekti kritičnih koncentracija kontaminenata na zdravlje čoveka, kao pratioca uzgojnih procesa u stočarstvu, naučno su dokazani, Jeppsson, K-H., 2000. Kao primer, bazni kontaminanti ambijentalnog vazduha u svinjarskim objektima su prašina i gasne komponente: NH_3 , H_2S i CO_2 , CIGR, 1999. Pri datom temperaturnom stanju vazduha i njemu odgovarajućoj relativnoj vlažnosti, apsorpcija gasnih komponenti u ovlaženoj prašini predstavlja idealnu postelju za razvoj patogenih vrsta iz familija virusa i bakterijskog mikroskopa, CIGR, 2002. Dokazano je da prašina negativno utiče na zdravlje životinja, njihovu reproduktivnost i produktivnost, Kammel, D.V. et al., 2003. Značajan broj literaturnih izvora ukazuje da su prašina i životno sposobni mikroorganizmi, apsorbovani toksičnim gasovima unutar vazdušnog prostora uzgojnog objekta (gljivice), glavni uzročnici incidentno-respiratornih bolesti životinja i uzgajivača svinja, Jeppsson, K-H., 2000.

Održavanje vlažnog vazduha u stanju "čistog" predstavlja proces delimičnog ili potpunog izdvajanja nepoželjnih primesa iz njega, Monteith, J.L. & Mount, L.E., 1973. Uopšteno, taj proces podrazumeva lokalne operacije: filtriranja, apsorbovanja nepoželjnih gasnih komponenti i otprašivanja. Filtriranje ambijentalnog vazduha podrazumeva

separaciju tečnih i čvrstih primesa, apsorpcija lokalno pripajanje, tj. redukciju koncentracija nepoželjnih gasnih komponenti putem athezionih sila, dok je otprašivanje vid prinudnog odstranjivanja čvrstih čestica iz ambijentalnog vazduha, npr inercijom ili centrifugalnom silom, Zoranić M, Karadžić B, Potkonjak V, 2007.

Kao važnu kariku između energetske i kinematske zakonitosti, razvoj sistema za prečišćavanje vazduha vodom zahteva merenje i kontrolu izvedene veličine SI sistema mernih jedinica, pritiska. Generalno, pritisak predstavlja dejstvo granične vrednosti normalne komponente- F_n , realne prostorne sile- F na površinu ravne ploče- A , Gvozdenac et al., 2009.:

$$p = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{F_n}{A} = \left(\frac{\partial F}{\partial A} \right)_n$$

Pri ravnomernom dejstvu prostorne sile- F po normalnom pravcu na površinu ravne ploče- A dobija se pojam srednjeg pritiska:

$$p = \frac{F}{A}, \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} = \text{Pa}.$$

U atmosferskom okruženju, tečnosti i gasove karakteriše nekoliko vrsta pritisa: atmosferski-referentni- p_a , natpritisak- p_n i potpritisak, p_p . Njihov stvarni pritisak naziva se apsolutnim pritiskom- p , preko pomenutih komponenti izražen kao:

$$p = p_a + p_n \quad \text{ili} \quad p = p_a - p_p$$

U domenu biotehničkih nauka pritisak se meri u širokom opsegu: niski potpritisak 10^{-3} mmHg do natpritiska 20.000 bar, Harriott, 1999. Zbog preciznosti merenja, postojeći instrumenti pokrivaju intervalna merna područja, sa korespondentnim prirodnim principima i prapratnim elementima za dobijanje preciznih analognih, ili pak digitalnih podataka, u cilju vizuelne ili automatske kontrole prapratnog procesa. Prema principu operativnosti čine ih grupe, Gvozdenac et al., 2009.:

- Uređaji sa tečnošću, okarakterisani uravnoteženjem promene merenog pritiska sa pritiskom formiranog stuba adekvatne visine.
- Deformacioni uređaji, sa promenom pritiska u funkciji veličine deformacije osetnih elemenata, ili pak linearno produkovanom sili u njima.
- Klipni uređaji, sa merenjem ili reprodukcijom pritiska uravnoteženog sa pritiskom klipa i tegova.
- Električni uređaji, zasnovani na principu zavisnosti električnih parametara manometarskog transmitera od merenog pritiska.

Namenski, razlikuju se sledeći uređaji za merenje pritiska tečnosti i gasova:

- Manometri, kao uređaji opšte namene, za merenje hidrostatskog i zaustavnog pritiska u preseku distribucione cevi ili uređaja, ili pak razlike pritiska na željenoj distanci po vertikali i horizontali.
- Barometri, za merenje pritiska atmosferskog vazduha na adekvatnoj nadmorskoj visini, kao trenutno referentnoj vrednosti.

- Manometri natpritiska, za merenje razlike između apsolutnog i barometarskog-atmosferskog pritiska vazduha.
- Merači potpritiska-vakuum-metri, za merenje pritiska nižeg od atmosferskog, tj. razlike između barometarskog i apsolutnog pritiska. Osim toga, mere apsolutni pritisak niži od 10 Pa.
- Manovakuum-metri, za merenje natpritiska i potpritiska.
- Diferencijalni manometri, za merenje razlike dva pritiska sa izvoristima van ambijentalnog ili atmosferskog okruženja, u intervalu do 10 bar.

Manometri, vakuum-metri i diferencijalni manometri za merenje niskih pritisaka, natpritiska, potpritiska i razlike pritisaka gasnih sredina do 4000 mmHg stuba, nazivaju se mikromanometri, mikrovakuum-metri i diferencijalni mikromanovakuum-metri, respektivno.

Pri testiranju kvalitativnih i energetskih karakteristika sistema za vlažno prečišćavanje vazduha sa vodom u otvorenom, poluotvorenom i zatvorenom sistemu (sa aspekta odlaganja vode radnog medijuma), od posebnog interesa su instrumenti sa tečnošću, diapazona preciznog očitavanja pritiska od 15-500 Pa. U svrhu tome, usled potrebe za paralelnim merenjem 2-32 merna mesta, formirane su originalne varijante instrumenata za parcijalnu i grupnu primenu. Njihova konstrukcija i neke varijante merenja pritisaka vazduha, objekat su kondenzovane deskripcije u ovom radu.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Rad je krunisan vrednim literaturnim zapisima i skromnim ličnim iskustvom u domenu razvoja originalnih ili unapređenja postojećih tehničkih rešenja na polju poljoprivredne tehnike u stočarstvu. Nizom raznorodnih materijala, uz prethodno pripremljene konstrukcione korake, segmentno samoizvođački, formirani su platformski uređaji za merenje pritiska u dijapazonu mernih intervala: „niski do srednji“.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Manometri sa tečnošću

Ostvarena visina stuba radne tečnosti u odnosu na njeno referentno-nulto stanje testiranog lokaliteta, relevantna je veličina za određivanje pritiska gasnih i tečnih fluida kod manometara sa tečnošću. Kao konstrukciono jednostavni i tolerantno precizni instrumenti, koriste za određivanje pritiska do 2 bar, u formi baznih ili kontrolnih mernih elemenata. Proširenjem elementarne definicije pritiska, dobija se:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{4 \cdot F}{D^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot m \cdot g}{D^2 \cdot \pi}$$

Ako se hidrostatički i zaustavni pritisci vazduha izraze preko visina stuba radne tečnosti-**h**, tada uopšteno važi:

$$p = \rho \cdot g \cdot h, \text{ što znači } \rho \cdot g \cdot h = \frac{4 \cdot m \cdot g}{D^2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\rho \cdot g}, \text{ tj. } h = \frac{4 \cdot m \cdot g}{D^2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot g} = \frac{m}{A \cdot \rho}.$$

Očigledno, prinudno ostvarena visina stuba radne tečnosti u odnosu na nulto-referentno stanje, direktno proporcionalno raste sa njegovom masom, dok opada sa veličinom

poprečnog preseka. Shodno tome, merenje relativno viših pritisaka vazduha preko ostvarenog stuba radne tečnosti manjih gustina- ρ , moguće je povećanjem njegovog poprečnog preseka- A .

Postoje dva osnovna tipa ovih instrumenata, sl.1.: dvocevni i jednocevni. Njihovi bazni sastavni elementi su: ramenska konstrukcija sa milimetarskom podeonom skalom i elementi za vizuelnu kontrolu prinudnog pomeranja radne tečnosti. Jednocevni manometar, pored cevčice raspolaže sa adekvatnom posudom, poprečnog preseka često 400 puta većeg od poprečnog preseka cevčice. U dvocevnom manometru pritisak je definisan već gore pomenutom jednačinom, gde je $g=9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ gravitaciona konstanta, a ρ gustina radne tečnosti, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Sl.1 Tipovi manometara sa tečnošću, Gvozdenac et al., 2009.
Fig.1 Types of liquid manometers, Gvozdenac et al., 2009.

Kod jednocevnog manometra, zapremina istisnute radne tečnosti iz posude jednaka je zapremini tečnosti formiranog stuba u cevčici: $h_1 \cdot A_c = h_2 \cdot A_p$. Dakle ostvareni pritisak je:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = \rho \cdot g \cdot (h_1 + h_2) = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot \left(1 + \frac{A_c}{A_p}\right)$$

Shodno relativno maloj vrednosti A_c/A_p , moguće je sa tolerantntno procenjenom tačnošću zanemariti je. Kao primer, na podeonoj milimetarskoj skali jednocevnog manometra, očitana je vrednost visine stuba $h_0=500 \text{ mm}$. Stvarna visina stuba iznosi:

$$h = 500 \cdot \left(1 + \frac{5^2}{100^2}\right) = 501,25 \text{ mm}.$$

Time je utvrđena tolerantno usvojena greška očitavanja od 1,25 mm stuba radne tečnosti. Inače, tačnost merenja jednocevnog manometra sa posudom, niža je od tačnosti merenja pritiska sa dvocevnim manometrom, ali je njegova prednost u očitavanju samo jedne vrednosti visine stuba u odnosu na dvostruku kod dvocevnog.

Shodno mehaničkoj otpornosti mernog pribora, maksimalna visina merne skale ide do 1,5 m, Gvozdenac et al., 2009. Pri merenju viših pritisaka primenjuju se radne tečnosti većih gustina, kao bromoform, živa i dr. Često se tokom merenja sreće problem oscilacije mernog nivoa usled turbulentnog strujanja u zoni mernog lokaliteta, gde se preporučuje metod prigušenja, tj. smanjenja poprečnog preseka merne cevi.

Pri merenju niskih pritisaka, u intervalu par do nekoliko desetina milimetara stuba radne tečnosti, greške očitavanja postaju signifikantne. Stoga se koriste tzv. mikromanometri, sl.2., koji predstavljaju varijantu jednocevnog manometra. Naime, vertikalna cev podesiva je po uglu α , čime se njegovim smanjenjem povećava preciznost merenja očitavanjem dužine stuba radne tečnosti- L . Minimalni nagib, tj. ugao α , zbog naglog smanjenja preciznosti merenja, ne sme biti manji od 8° .

Sl. 2 Šema mikromanometra

Fig. 2. Scheme of a micromanometer

Na osnovu oznaka sa sl.2. proračun pritiska prikazan je u nekoliko baznih koraka. Potisnuta visina radne tečnosti iz posude prečnika D dobija se na osnovu jednakosti zapremina: potisnuta iz posude = istisnuta u cevčici:

$$H \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = L \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{4}{\pi} \Rightarrow H \cdot D^2 = L \cdot d^2 \Rightarrow H = L \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^2$$

Takođe su očigledni odnosi:

$$\sin \alpha = \frac{h}{L} \cdot \frac{L}{\sin \alpha} \Rightarrow L = \frac{h}{\sin \alpha}, \text{ kao i } H_u = H + h.$$

Time je ostvareni pritisak definisan razvojnom jednačom:

$$p = \rho \cdot g \cdot H_u = \rho \cdot g \cdot (h + H) = \rho \cdot g \cdot \left[L \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^2 + h \right] = \rho \cdot g \cdot \left[\frac{h}{\sin \alpha} \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^2 + h \right] =$$

$$= \rho \cdot g \cdot h \cdot \left[\left(\frac{d}{D} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right] = \rho \cdot g \cdot \left[L \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^2 + L \cdot \sin \alpha \right] = \rho \cdot g \cdot L \cdot \left[\left(\frac{d}{D} \right)^2 + \sin \alpha \right]$$

Očigledno, očitavanjem dužine **L**, uz prethodno odabrane vrednosti za **ρ**, **d**, **D** i **α** = **f(ρ, p₁ i p₂)**, na osnovu izvedene jednakosti moguće je zadovoljavajuće precizno meriti relativno niske pritiske vazduha u sistemu za njegovo vlažno prečišćavanje.

Mikromanometri se obično pune destilovanom vodom, alkoholom i kerozinom, a očitavanje vezuje za milimetarsku podeonu skalu. Pri zameni radne tečnosti sa drugom, bez promene elementarne infrastrukture, vrši se korekcija izmerene visine stuba prema izrazu:

$$h = h' \cdot \frac{\rho'}{\rho},$$

gde su:

h'-izmerena visina stuba, mm VS i

ρ'-gustina nove tečnosti, kg·m⁻³.

Radi preciznosti očitavanja, mikromanometre treba kontrolisati libelama po vertikalnom i horizontalnom pravcu i voditi računa o uticaju lokalnih vibracija i toplote neposrednog okruženja.

3.2. Platformski manometri sa tačnošću

U svrhu povišenih zahteva za preciznim merenjem pritiska vazduha u: sistemu za njegovo vlažno prečišćavanje (uglavnom u intervalu nižih pritisaka), neposrednom laboratorijskom i spoljnom okruženju, konstruisani su namenski, univerzalni i mobilni platformski uređaji, kako za parcijalnu, tako i paralelnu operativnost, sl.3. Zbog ograničenog prostora i namere serijskog opisa mernih procedura kod sistema za vlažno prečišćavanje vazduha u laboratorijskim uslovima, prilaže se kondenzovana deskripcija kosog mikromanometra sa 16 mernih kanala i vertikalne platforme sa 32 jednocevna manometra, bez opisa i analitičke operativnosti pri paralelnom mernom nastupu.

Kod vertikalnog manometra moguće je podešavanje dužine PVC cevi i njihovog željenog prečnika. Forma 32 dvocevna manometra može se rasčlaniti na 64 parcijalne cevi u kombinaciji sa cilindričnim posudama na platformi kosog mikromanometra. Svaki dvocevni manometar moguće je koristiti za merenje diferencijalnog pritiska, uz posebne dodatke Pitot-Prandtl-ove cevi.

Pored merenja nižih pritisaka i razlika pritisaka, kod kosog mikromanometra moguće je uparivanje transparentnih PVC posuda, različitog prečnika, za merenje viših pritisaka, sa radnim tečnostima manjih gustina. U svrhu tome interesantna je kombinacija PVC posude sa nadgradnom cevi prečnika od 10-50 mm za merenje srednjih pritisaka.

Sl. 3. Platformski manometri sa tečnošću: A-zakretni dvocevni, B-kosi mikromanometar.

Fig. 3. Platform liquid manometers: A-rotary two-pipe, B-hair micromanometer

4. ZAKLJUČAK

Kao bazna karika između izvedenih kinematskih i energetske veličine u domenu razvoja originalnog sistema za vlažno prečišćavanje ambijentalnog vazduha u stočarstvu, precizno merenje nižih i srednjih pritisaka vazduha, kao objekta tretmana, neizbežno je. Brzina kretanja vazduha u sistemu za izdvajanje mehaničkih primesa iz njega, pod uticajem fenomena centrifugalne sile u interakciji sa inercijom, važna je operativna veličina. Paralelnim merenjem zaustavnog pritiska platformskim uređajima u fokusiranim odredištima, dobijaju se analogni podaci o pritisku i brzini strujanja vazduha u željenoj zoni, sa mogućnošću kontrole grešaka očitavanja. Uporedno merenje istih veličina putem licenciranih digitalnih instrumenata, pruža mogućnost kontrole preciznosti merenja, a time donošenja realnijeg suda o stepenu operativnosti sistema i pravcu eventualnih poboljšanja, ili pak njegovoj elementarnoj promeni. Verodostojni podaci brzinskog polja vazduha u operativnoj zoni sistema za njegovo prečišćavanje, rezultiraju sledećom važnom veličinom, tj. protokom, a njime i angažovanom energijom za izvršenje operacije po jedinici zapremine, sa propratnim stepenom efikasnosti.

5. LITERATURA

- [1] CIGR. 2002. 4th Report of working group on climatization of animal houses. Horsens, Denmark, pp 8-9.
- [2] CIGR. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume II. Animal Production & Aquacultural Engineering. ASAE, St. Joseph, USA, pp 31-41.
CIGR. 1984. Report of working group on Climatization of Animal Houses. Scottaspress Publishers Limited, Aberdeen, pp 29-30. Del Vecchio, R.P. 2004. Managing Pregnant-Dry Cows for the Upcoming Calving and Breeding Season. LSU AgCenter, p 2.
- [3] Gustafsson, G. 1988. Luft och värmebalanser i djurstallar. Air and heat balances in animal houses. Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Farm Buildings, Report 59, Lund, p 70.
- [4] Gvozdenac, D., Kljajić, M., Petrović, J. 2009. Merenje i regulisanje u termoprocesnoj tehnici. FTN izdavaštvo, Novi Sad.
- [5] Harriott, P. (1999): Process control, Tata McGraw-Hill Publishiung Co., Ltd., New Delhi.
- [6] Jeppsson, K-H. 2000. Aerial Environment in Uninsulated Livestock Buildings. Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Biosystems and Technology, Alnarp, pp V 1-21.
- [7] Kammel, D.V., Raabe, M.E. & Kappelman, J.J. 2003. Proceeding: Design of High Volume Low Speed Fan Supplemental Cooling System in Dairy Free Stall Barns. Fifth International Dairy Housing Conference. ASAE, St Joseph, USA, pp 243-254.
- [8] Monteith, J.L. & Mount, L.E. 1973. Heat loss from animals and man: assessment and control. Proceedings of the twentieth Easter School in Agricultural Science. University of Nottingham. Butterworths, London, pp 205-231.
- [9] Zoranović, M., Karadžić, B., Potkonjak, V. 2007.: Dinamic air clearing in controlled laboratory conditions. Zbornik radova međunarodne konferencije "Agrotech Nitra 99", Nitra, 170-175.
- [10] Zoranović, M., Karadžić, B., Potkonjak, V., Bajkin A. 2009. Means for reduction of air pollution in livestock facilities. Zbornik radova međunarodne konferencije "Agrotech Nitra 99", Nitra, 160-168.

PRESSURE MEASUREMENT IN THE SYSTEM OF WET AIR SCRUBBING**Zoranović Miodrag, Ivanišević Mladen, Sedlar Aleksandar, Višacki Vladimir**

University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Trg D. Obradovića 8, Novi Sad, Serbia

e-mail: zormi@polj.uns.ac.rs**SUMMARY**

Overcrowded cattle facilities are characterized by poor air quality. Keeping the humid air in the state of "pure" is the process of partial or complete separation of unwanted substances from it. In general, this process involves local operations: filtering, absorbing undesired gas components and dusting. As an important link between energy and kinematical principles, the development of a water purification system requires water pressure measurement and control. Manometers, vacuum-meters and differential pressure gauges for measuring low pressure, overpressure and pressure differentials for gases up to 4000 mmHg are called micromanometers, micro-vacuum-meters and differential micro-mano-vacuum-meters, respectively. In the testing of qualitative and energy characteristics in the humid air purification system with water, in the open, semi-closed and closed system (from the point of disposal of water), special attention is given to the instruments with liquid, with precise pressure reading of 15-500 Pa. For this purpose, due to the need for parallel measurement at 2-32 measuring points, the original variants of instruments for partial and group use were constructed. Their construction, as well as some variants of air pressure measurements, are the goal of a condensed description in this paper. With vertical manometer it is possible to adjust the length of PVC pipes and their desired diameter. Thirty two two-pipe manometers can be divided into 64 independent measuring tubes, in combination with cylindrical vessels on the micromanometer platform. Each two-pipe manometer can be used to measure the differential pressure, with adequate additives in the form of a Pitot-Prandtl tube. In addition to measuring the lower pressure, as well as the pressure difference, in a slit micromanometer, it is possible to connect transparent PVC vessels of different diameters, to measure higher pressures with operating fluids of smaller densities.

Key words: meaasuring, instrument, pressure,air, water, purification

Napomena: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu "Unapređenje kvaliteta traktora i mobilnih sistema u cilju povećanja konkurentnosti, očuvanja zemljišta i životne sredine" evidencioni broj TR 31046, koji finansira Ministarstvo profete i nauke Republike Srbije.

Primljeno: 15. 12. 2018. god.**Prihvaćeno:** 20. 12. 2018. god.