

Proračun prirodnog ventiliranja plinskih kotlovnica

Ferenc Marton, dipl. inž.,
RO »Standardprojekt«,
24000 Subotica, Maksima Gorkog 11

Prirodno ventiliranje plinskih kotlovnica je u stručnoj literaturi obrađeno dosta površno, bez prave teoretske analize.

U ovom radu se pristupa teoretskoj analizi problema, uz usvajanje pojednostavljenog i za praksu prihvaćenog modela. Dobijeni rezultati

pružaju brzu metodu određivanja potrebne površine ventilacionih rešetki, u zavisnosti od fizičkih parametara kotlovnice, kao što su instalisana snaga kotlova, raspoložuće visinske razlike između gornjih i donjih rešetki itd.

1. Uvod

U nedostatku posebnog propisa za način i intenzitet ventiliranja plinskih kotlovnica, u praksi se usvaja preporuka S-komisije [1], prema kojoj treba osigurati najmanje pet izmjena zraka na sat. Posebno se preporučuje prirodno ventiliranje, dok se prisilno primenjuje samo u iznimnim slučajevima.

Prirodno ventiliranje nastupa zbog razlike uzgona vanjskog — hladnijeg i unutrašnjeg, toplog, zraka. Taj proces obrađen je u stručnoj literaturi dosta površno, bez detaljnije analize. U članku se želi analizom fizikalnog procesa ventiliranja doći do općenite i jednostavne metode rješavanja konkretnih, praktičnih zadataka: da se kao rezultat mogu odrediti potrebne ventilacione površine.

Starije metode određivanja potrebne ventilacione površine prema instaliranoj snazi mogu se i dalje prihvatiti sa određenom rezervom; međutim, ovdje se nudi egzaktnija i pouzdanija metoda.

Proračuni se svode na to da se pri zadanim karakteristikama kotlovnice, usvojenim brojem n satne izmjene zraka, te raspoloživoj visinskoj razlici h , dobije potrebna, odnosno dozvoljena brzina prostrujavanja W zraka kroz ventilacione rešetke, nađe funkcionalna ovisnost $W = W(h)$.

2. Usvajanje modela i osnovne pretpostavke analize

Proračuni se vrše na osnovu usvojenog modela na sl. 1. Radi slikovitosti, bočna strana je podijeljena na dva jednaka dijela.

Da bi se lakše došlo do rezultata, pri analizi se usvajaju ove pretpostavke, odnosno pojednostavljenja:

— ventilacioni otvori su pokriveni žaluzinama, odnosno rešetkama radi spriječavanja ulaza ptica i padavina; eventualna kombinacija rešetaka sa kanalima može se uzeti u obzir sa ekvivalentnim koeficijentom otpora strujanju;

— na osnovu podataka iz literature [2], usvaja se da se polovina topline, koja se oslobađa uslijed vanjskog ohlađivanja kotlova, troši za zagrijavanje zraka, a druga polovina se gubi kao transmisiona toplina zidova kotlovnice. To znači da se pretpostavlja:

$$Q_v = Q_t = 0,5 \cdot h_t \cdot \Sigma N_i \quad (1)$$

Mora se napomenuti da je bliže određivanje odnosa Q_v i Q_t predmet analize koja u ovom članku nije urađena.

Veličina h je veća za starije kotlove, odnosno manja za kotlove modernije izvedbe. Za suvremene kotlove na sl. 2, prikazana je njezina ovisnost o instaliranoj snazi N_i pojedinog kotla, a prema [4].

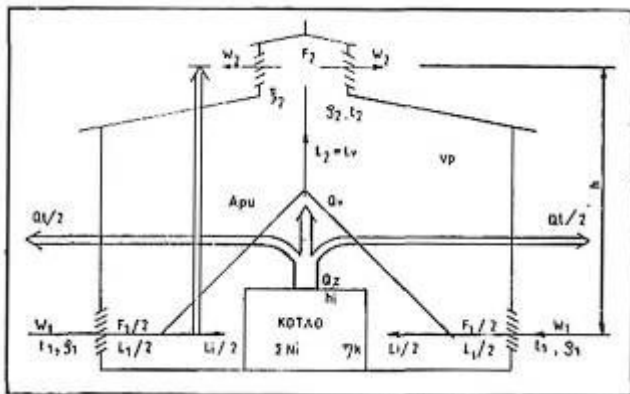
3. Analiza strujanja zraka kroz prostor kotlovnice

Analiza fizikalnog procesa strujanja vrši se na osnovu analogije i oznaka na sl. 1.

Prva jednačba koja se može postaviti je uzgon, koji se javlja zbog razlike gustoće zraka izvan i unutar kotlovnice:

$$\Delta p_u = g \cdot h \cdot \left(\rho_1 - \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \right) = \frac{g \cdot h}{2} (\rho_1 - \rho_2) \quad (2)$$

Druga jednačba izražava pad pritiska zbog prestrujavanja zraka kroz donju rešetku, prostor kotlovnice i gornju rešetku:



Sl. 1. Usvojeni model poprečnog presjeka kotlarnice sa važnijim fizičkim veličinama; F_1, F_2 — potrebna ulazna, odnosno izlazna ventilaciona površina, m^2 ; W_1, W_2 — brzina strujanja zraka na ulazu odnosno izlazu, m/s ; ξ_1, ξ_2 — koeficijenti lokalnog otpora strujanju; ρ_1, ρ_2 — gustoća zraka na ulazu (vani), odnosno kod izlaza iz kotlovnice, kg/m^3 ; t_1, t_2 — ulazna odnosno izlazna temperatura zraka, $^{\circ}C$; L_1, L_2 — količina zraka koji prostruji na ulaznim odnosno izlaznim rešetkama, m^3/h ; η_k — stupanj djelovanja kotlova; Q_x — toplinska snaga gubitaka zračenja prema prostoru kotlovnice, kW ; Q_t — snaga transmisivskih gubitaka kotlovnice, kW ; Q_v — toplinska snaga ventilacionih gubitaka — kW prostora kotlovnice; Δp_u — uzgon uslijed razlike $t_1 - t_2$ temperature, N/m^2 ; L_i — količina zraka, potrebna za izgaranje, m^3/h ; h — srednja visinska razlika između gornjih i donjih ventilacionih otvora (rešetki), m ; ΣNi — ukupna instalirana snaga kotlova; V_p — zapremina ventiliranog prostora kotlovnice, m^3 ; h_1 — udio uslijed vanjskog hlađenja u ukupnoj instaliranoj snazi kotlova — kW/kW

$$\Delta p_r = \Delta p_1 + \Delta p_2 = (1 + \xi_1) \frac{W_1^2 \rho_1}{2} + \quad (3)$$

$$+ (1 + \xi_2) \frac{W_2^2 \rho_2}{2}$$

U stacionarnom stanju ova dva napona su u ravnoteži:

$$\Delta p_u = \Delta p_r$$

Izjednačavanjem (2) i (3) i sređivanjem, slijedi vrijednost izlazne gustoće:

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{gh - (1 + \xi_1) W_1^2}{gh - (1 + \xi_2) W_2^2} \quad (4)$$

Ako su donje i gornje rešetke iste konstrukcije, može se usvojiti:

$$\xi_1 = \xi_2 = \xi$$

te tako dimenzionirati rešetke:

$$W_1 = W_2 = W \text{ Tada jednačba (4)}$$

dobiva oblik:

$$\rho_1 - \rho_2 = \frac{gh - (1 + \xi) W^2}{gh + (1 + \xi) W^2} \quad (5)$$

Treća jednačba je energetska bilanca toplote, koja se koristi za zagrevanje ventilirajućeg zraka:

$$Q_v = L_2 \left(\frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \right) C_p (T_2 - T_1) \quad (6)$$

gde je C_p srednja specifična toplota zraka u kJ/kgK . Iz (6) se dobiva:

$$L_2 = L_v = \frac{Q_v}{\frac{\rho_1 + \rho_2}{2} C_p (T_2 - T_1)} \quad (7)$$

Broj ostvarenih izmjena zraka na sat je:

$$n = 3600 L_2 / V_p [h^{-1}] \quad (8)$$

Izjednačavanjem L_2 iz (7) i (8), dobiva se:

$$\frac{n V_p}{3600} = \frac{Q_v}{\frac{\rho_1 + \rho_2}{2} C_p (T_2 - T_1)}$$

Ovdje su temperature:

$$T_1 = \frac{P}{R \rho_1} \text{ i } T_2 = \frac{P}{R \rho_2} \quad (9)$$

gde je $p = 10^5 N/m^2$ atmosferski tlak, a $R = 287 J/kg K$ plinska konstanta za zrak. Uvrste li se temperature u (9):

$$\frac{n V_p}{3600} = \frac{Q_v}{\frac{\rho_1 + \rho_2}{2} C_p \left(\frac{P}{R \rho_2} - \frac{P}{R \rho_1} \right)}$$

Sređivanjem se dobija

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} - \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{3600 Q_v}{n V_p} \frac{2R}{C_p P} \quad (10)$$

Koristeći odnos gustoće iz (5), dobiva se od (10):

$$\frac{gh + (1 + \xi) w^2}{gh - (1 + \xi) w^2} - \frac{gh - (1 + \xi) w^2}{gh + (1 + \xi) w^2} = \frac{3600 Q_v}{\ln V_p} \frac{2R}{C_p p} \quad (11)$$

Nazove li se konstantom kotlovnice:

$$K_k = \frac{3600 Q_v}{\ln V_p} \frac{2R}{C_p p} \quad (12)$$

i funkcijom kotlovnice:

$$F_k(w, h) = \frac{1 + \xi}{g} \frac{w^2}{h} \quad (13)$$

dobija se odnos:

$$K_k = \frac{1 + F_k(w, h)}{1 - F_k(w, h)} - \frac{1 - F_k(w, h)}{1 + F_k(w, h)} \quad (14)$$

ili sređivanjem:

$$K_k \cdot F_k^2(w, h) + 4 F_k(w, h) - K_k = 0$$

$$F_k = \frac{-2 \pm \sqrt{4 + K_k^2}}{K_k} = \frac{(1 + \xi)}{g} \frac{w^2}{h}$$

Rješenje ove jednačbe je:

$$w = w(h) = \sqrt{\frac{gh}{1 + \xi} \frac{-2 \pm \sqrt{4 + K_k^2}}{K_k}} \text{ [m/s]}$$

Oдавде slijedi tražena ovisnost $w = w(h)$:

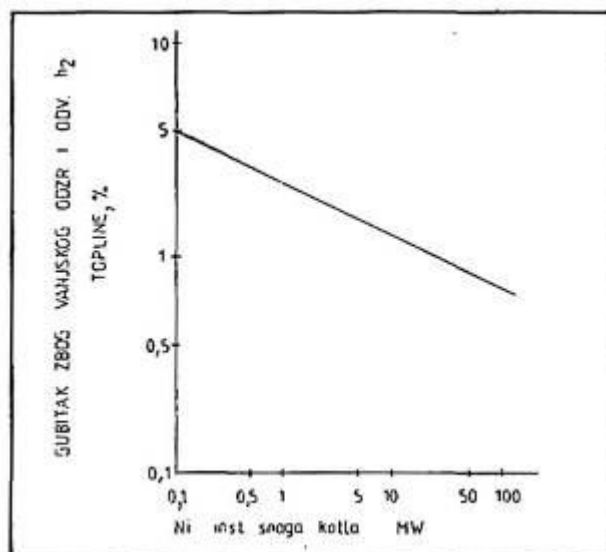
Ova jednačba ima fizičkog smisla u racionalnom obliku, tj.:

$$w(h) = \sqrt{\frac{gh}{1 + \xi} \frac{-2 \pm \sqrt{4 + K_k^2}}{K_k}} \text{ [m/s]} \quad (15)$$

Ova jednačba pokazuje da se za veću visinsku razliku između gornjih i donjih ventilacionih rešetki postiže veća brzina strujanja. Potrebna površina rešetki je:

dođe:

$$F_1 = \frac{L_1}{w} = \frac{L_i + L_v}{w} \quad (16)$$



Sl. 2. Ovisnost gubitaka kotla h_2 zbog odzračenja i odvođenja topline, a u zavisnosti od instalirane snage N_i i gore:

$$F_2 = \frac{L_v}{w} \quad (17)$$

Ventilirana količina zraka dobiva se iz (8):

$$L_2 = \frac{V_p \ln}{3600} \quad (18)$$

Količina zraka L_i potrebna za izgaranje plinovitih goriva poznatih karakteristika može se odrediti:

- pomoću poznatih jednačbi kemijske termodinamike (nešto složeniji način) i
- pomoću empirijskih formula (jednostavniji način).

Ovdje se prihvata izraz prema Boieu iz (2):

$$L_i = \frac{3600 \sum Ni}{4140} \lambda G_p \quad (19)$$

gdje je:

H_d (KJ/kg) — donja ogrijevna vrijednost goriva

λ — usvojeni pretičak zraka,

G_p — potrebna količina goriva (plina) u kg/h. Ona se dobija pomoću poznatog izraza:

$$G_p = \frac{3600 \sum Ni}{\eta_k \cdot H_d} \quad (20)$$

Uvrsti li se (20) u (19), dobija se

$$L_i = \frac{H_d + 2300}{4140} \lambda \frac{3600 \sum Ni}{\eta_k \cdot H_d} = \frac{0.87 \lambda \sum Ni}{\eta_k \cdot H_d} (H_d + 2300) \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (21)$$

Dakle Li se dobiva poznavanjem tehničkih karakteristika goriva i kotlovskeg postrojenja.

Pored poznatih rezultata interesantno je znati izlaznu temperaturu ventilirajućeg zraka. Analogno izvodu jednadžbe (5), dobija se:

$$T_2 = T_2(h, w) = T_1 \frac{gh + (1 + \xi) w^2}{gh - (1 + \xi) w^2} \quad [^{\circ}\text{K}] \quad (22)$$

Uzme li se $\xi = 7$ za rešetke od fiksnih žaluzina, te za vanjsku temperaturu $T_1 = 303 \text{ K}$ (30°C), dobija se ovisnost prema sl. 3.

4. Praktičan primjer

Da bi se dobiveni rezultati bolje razjasnili, prikazuje se slijedeći konkretan primjer. Za jednu kotlovnicu važe podaci:

- instalirana snaga kotlova $\text{SNK} = 3 \times 2867 \text{ kW}$
- stupanj djelovanja kotlova $\eta_k = 0,8$
- udio gubitka kotla uslijed vanjskog ohlađenja $h_1 = 0,02$
- volumen kotlovnice $V_p = 14 \cdot 23 \cdot 5 = 1\,610 \text{ m}^3$
- potreban broj izmjena $n = 5 \text{ h}^{-1}$
- koeficijent otpora ventilacionih rešetki
- pretičak zraka za loženje $\lambda = 1,2$
- donja ogrijevna vrijednost plina $H_d = 44\,000 \text{ kJ/kg}$
- raspoloživa visinska razlika vent. rešetki $h = 6 \text{ m}$
- atmosferski tlak $p = 10^5 \text{ N/m}^2$
- srednja spec. toplota zraka $C_p = 1 \text{ kJ/kgK}$
- plinska konstanta za zrak $R = 287 \text{ J/kgK}$

Slijedi proračun veličina:

$$\text{Iz (1)} \quad Q_v = 0,5 \cdot 0,02 (3 \cdot 2867) = 86 \text{ kW.}$$

Iz (12) konstanta kotlovnice:

$$K_k = \frac{3600 \cdot 86}{5 \cdot 1610} \frac{2 \cdot 287}{1 \cdot 10^5} = 0,221$$

Tražena funkcija brzine iz (15):

$$w(h) = \sqrt{\frac{9,81 h}{1 + 7} \frac{-2 + \sqrt{4 + 0,221^2}}{0,221}} = 0,260 \sqrt{h}$$

odnosno za zadanu visinsku razliku:

$$w = 0,637 \text{ m/s}$$

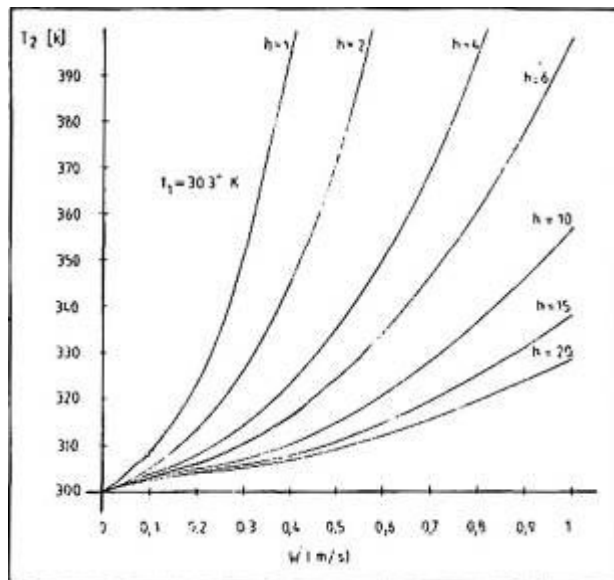
Količina ventilirajućeg zraka:

$$L_2 = L_v = n V_p = 5 \cdot 1610 = 8050 \text{ m}^3/\text{h} =$$

$$= 2,24 \text{ m}^3/\text{s} \text{ Količina zraka za izgaranje}$$

pomoću (21):

$$Li = \frac{0,87 \cdot 1,2 \cdot 86\,600}{0,8 \cdot 44\,000} (44\,000 + 2\,300) =$$



Sl. 3. Ovisnost izlazne temperature ventilacionog zraka T_2 o izlaznoj brzini w i visinskoj razlici h

$$= 11810 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$= 3,28 \text{ m}^3/\text{s}$$

Veličina donjih i gornjih vent. rešetki iz (16) i (17):

$$F_1 = \frac{Li + Lv}{W} = \frac{3,28 + 2,24}{0,879} = 6,28 \text{ m}^2$$

$$F_2 = \frac{Lv}{W} = \frac{2,24}{0,879} = 2,55 \text{ m}^2$$

Izlazna temperatura zraka iz (22) uz ulaznu:

$$T_1 = 273 + 30 = 303 \text{ K}$$

$$T_2 = 303 \frac{9,81 \cdot 6 + (1 + 7) 0,637^2}{9,81 \cdot 6 - (1 + 7) 0,637^2} = 338 \text{ K}$$

5. Zaključak

Izvedena analiza te dobiveni rezultati nude jednostavnu, od dosadašnjih empirijskih metoda pouzdaniju i bržu metodu određivanja potrebnih veličina rešetaka za prirodno ventiliranje plinskih kotlovnica. Rezultati se mogu primjenjivati bez ograničenja i na druge vrste goriva, ako se poznaje kriterij potrebnih prirodnih izmjena zraka.

Literatura

- [1] ***: Bilten S-komisije br. 7/79, Zagreb, 1979.
- [2] ŠUNIĆ, M. i N. DUJMOVIĆ: *Plin i plinska tehnika*, I i II, Tehnička knjiga, Zagreb, 1983.
- [3] STRELEC, V.: *Plinarski priručnik*, »Nafta«, Poslova zajednica, Zagreb, 1982.
- [4] ***: *Vodena para*, Babcockov priručnik, Građevinska knjiga, Beograd, 1971.