ODREĐIVANJE OPTIMALNOG NAPORA VENTILATORA POTREBNOG DA SPREČI PRODOR ŠTETNIH MATERIJA U KLIMATIZOVANE OBJEKTE

Dr Slobodan Rackov, dipl. inž.,
Mašinski fakultet, Beograd

UVOD

Prodor štetnih materija u klimatizovani objekat sprečava se na taj način što se putem ventilatora u objektu održava stalan nadpritisak. Klimatizovani objekti se obično nalaze u sastavu većih bolnica ili sami po sebi predstavljaju objekte specijalne namene. Oni se sastoje od više prostorija i obično se u njima, u zavisnosti od namene pojedinih prostorija, održava stalni nadpritisak. Ulazak u sve prostorije sa spoljašnje strane ili prelazak iz jedne grupe prostorija u drugu grupu prostorija, koje se po svojoj tehnološkoj nameni razlikuju, uvek treba da se vrši preko gasne ustave.

Željeni nadpritisak u prostoriji se održava pomoću sistema ventilatora. Potisnim ventilatorom klima komore u prostoriju se uvodi spoljašnji vazduh koji se termički obrađuje, dok se usisnim ventilatorom uvodi otpadni vazduh. Da bi u prostoriji došlo do povišenja pritiska, neophodno je da u početnoj fazi protok vazduha kroz usisni ventilator bude manji od odgovarajućeg protoka kroz potisni ventilator. Kasnije, kada se po isteku dovoljno dugog vremena uspostavi ravnoteža strujanja vazduha, ulazni i izlazni protok vazduha kroz ventilator se izjednačava, a u samoj prostoriji se održava željeni nadpritisak.

Pri projektovanju klimatizovanih objekata se obično uzima da ulazni protok treba da bude veći od izlaznog za 10 do 20 procenata i ovaj odnos je uzet empirijski. Teorijska analiza problema održavanja potrebnog nadpritiska do sada nije vršena, a očigledno je da je ovakva analiza neophodna, jer se samo na osnovu nje može precizno zaključiti kada, gde i kako treba održavati potrebni nadpritisak.

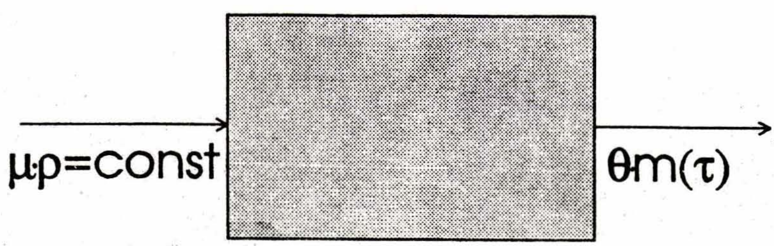
Zbog toga je cilj ove studije, da na bazi fizičkih zakonitosti ulaza i izlaza vazduha, uz odgovarajuću matematičku obradu, dođe do nekih optimalnih izraza koji bi se pri projektovanju koristili za proračun onog režima rada sistema ventilatora koji u prostoriji obezbeđuje potreban nadpritisak. Ovi opšti izrazi sadržali bi u sebi sve relavantne parametre od kojih zavisi nadpritisak.

1. USPOSTAVLJANJE NADPRITISKA U PROSTORIJI KLIMATIZOVANOG OBJEKTA

Posmatraćemo prostoriju zapremine V u kojoj je apsolutna temperatura vazduha T. Tokom dalje analize će mo uzeti da ova temperatura ostaje praktično ne promenljiva tokom dužeg vremenskog intervala. Potisni ventilator u svakoj sekundi ubacuje u prostoriju masu vazduha čija je veličina $\mu \cdot \Omega$.

Veličina Ω ima dimenzije frekvencije i zavisi od režima rada potisnog ventilatora. Iz prostorije (na zajedničkoj klima komori) se izvlači vazduh usisnim ventilatorom na nekoj frekvenciji θ, pa je izlazni protok vazduha $\theta \cdot m(\tau)$, gde je $m(\tau)$ masa vazduha u prostoriji, koja je pri opisanim uslovima, očigledno, vremenski zavisna veličina.

Opisanoj situaciji se može korespondirati elementarna markovska šema oblika:



SLIKA 1

na osnovu koje se za promenu mase u vremenu dobija sledeća diferencijalna jednačina:

$$\frac{dm}{d\tau} = -\theta \cdot m + \mu \cdot \Omega \qquad (1)$$

Pošto je cilj ove analize ispitivanje vremenske zavisnosti pritiska u prostoriji, od promenljivih masa treba preći na promenljive pritiske, što se lako postiže korišćenjem jednačine stanja gasa:

$$P(\tau) \cdot V = \frac{m(\tau)}{M} \cdot R \cdot T \qquad (2)$$

Ovde je M - molska masa vazduha u kojoj su, s obzirom na polazne predpostavke, zapremina i temperatura konstantne veličine. S obzirom na ovo treba uočiti da iz (2) sledi:

$$\frac{P(\tau)}{m(\tau)} = \frac{R \cdot T}{M \cdot V} = \text{const} \qquad (3)$$

Ako se na osnovu (2) masa eksplicitno izrazi preko pritiska i dobijeni izraz uvrsti u (1) dolazi se do diferencijalne jednačine koja određuje ponašanje pritiska u vremenu. Ova jednačina glasi:

$$\frac{dP}{d\tau} = -\theta P + \mu \cdot \Omega \cdot \frac{R \cdot T}{M \cdot V} \qquad (4)$$

Jednačina će biti rešavana uz predpostavku da je pritisak u prostoriji pre i do momenta ubacivanja vazduha bio jednak barometarskom pritisku P_o. To znači da je početni uslov koji treba da zadovolji opšte rešenje jednačine (4):

$$P(o) = P_o \qquad (5)$$

Rešenje nehomogene linearne jednačine sa konstantnim koeficijentima, a takva je jednačina (4), je trivijalan problem na kome se ne treba zadržavati, zbog toga će odmah biti dato njeno rešenje koje zadovoljava početni uslov (5). Ovo rešenje ima oblik:

$$P(\tau) = P_o \cdot e^{-\theta \cdot \tau} + \frac{\mu \cdot \Omega}{\theta} \cdot \frac{R \cdot T}{M \cdot V} \left(1 - e^{-\theta \cdot \tau}\right) \qquad (6)$$

i daje zakon promene pritiska u vremenu pod opisanim uslovima. U vezi sa dobijenim izrazom za pritisak treba napomenuti sledeće: i.

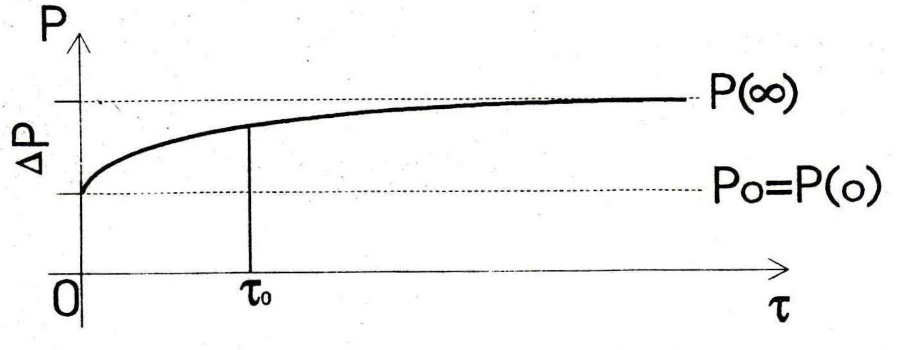
Model sa sl. 1 ne obuhvata sve elemente koji utiču na pritisak gasa koji struji kroz prostoriju. Radi se o tome da se u gasu koji struji pojavljuje dopunski, hidrodinamički pritisak, koji je proporcionalan kvadratu brzine strujanja gasa. Zbog toga je pritisak, koji je dat izrazom (6) nešto manji od realnog pritiska. Zbog velikog poprečnog preseka prostorije brzina strujanja vazduha je zanemarljivo mala, pa bi zbog toga uključivanje hidrodinamičkog pritiska u (6) davalo neznatnu popravku.

ii. U izrazu (6) su svi parametri poznati i unapred zadati osim frekvencije θ koja reguliše izlazni maseni protok. Ova frekvencija će biti određena na osnovu fundamentalnog zahteva ove analize: u prostoriji treba realizovati stalan pritisak čija je veličina unapred zadata.

Ako se analizira kriva pritiska datim izrazom (6) lako se zaključuje da pritisak vrlo brzo postaje blizak svojoj asimptotskoj vrednosti:

$$P(\infty) = \frac{\mu\cdot\Omega}{\theta}\cdot\frac{R\cdot T}{M\cdot V} \qquad (7)$$

i da se posle nekog određenog trenutka vremena τ_o veoma sporo menja sa vremenom.



SLIKA 2

Zbog toga će frekvencija θ biti određena iz uslova:

$$\underset{\tau>\tau_o}{P(\tau)} \approx P(\infty) = Po + \Delta P \qquad (8)$$

gde je

ΔP - željeni nadpritisak koji treba realizovati u prostoriji.

Kombinovanjem (7) i (8) nalazi se:

$$\theta = \frac{\mu \cdot \Omega}{Po + \Delta P} \cdot \frac{R \cdot T}{M \cdot V} \qquad (9)$$

čime je i poslednji parametar u (6) specificiran.

Praktični cilj ove analize je određivanje onoga režima rada potisnog i usisnog ventilatora koji obezbeđuje održavanje stalnog nadpritiska ΔP u prostoriji. Da bi se sa ovim pitanjem u vezi moglo nešto zaključiti potrebno je da se ispita odnos izlaznog protoka mase $\dot{m}_i(\tau)$ i ulaznog protoka : $\mu \cdot \Omega \equiv \dot{m}u$.

Prema modelu sa sl.1 izlazni protok je: $\dot{m}_i(\tau) = \theta \cdot m(\tau)$ (10). Ako u (10) uvrstimo $m(\tau)$ iz (3) u θ iz (9), pri čemu će biti $\mu \cdot \Omega \equiv \dot{m}u$, dolazi se do traženog odnosa izlaznog i ulaznog protoka mase:

$$\frac{\dot{m}_i(\tau)}{\dot{m}u} = \frac{P(\tau)}{P(\infty)} = \frac{P(\tau)}{Po + \Delta P} \qquad (11)$$

Odavde se vidi da je u graničnim slučajevima $\tau = o$ i $\tau \to \infty$:

$$\frac{\dot{m}_i(0)}{\dot{m}u} = \frac{P_o}{P_o + \Delta P} \; ; \; \frac{\dot{m}_i(\infty)}{\dot{m}u} = 1 \qquad (12)$$

pa se može zaključiti da u početku "pumpanja" prostorije usisni ventilator treba da izbacuje manju količinu vazduha od one koja ulazi u prostoriju preko potisnog ventilatora, dok se po isteku dovoljno dugog vremena on mora regulisati tako da izlazni protok bude jednak ulaznom. Takav način rada usisnog ventilatora obezbeđuje održavanje stalnog nadpritiska ΔP u prostoriji.

Na kraju treba istać da se pod izvesnim uslovima odnos izlaznog i ulaznog masenog protoka može zanemariti odnosom odgovarajućih zapreminskih protoka.

Na osnovu očiglednih relacija:

$$\mu \cdot \Omega \equiv \dot{m}_u = \rho_u \cdot \Delta \dot{V}_u$$

$$\dot{m}_i(\tau) \equiv \theta \cdot m(\tau) = \rho_i \cdot \Delta \dot{V}_i(\tau) \tag{13}$$

gde je:

$\dot{V}_u$ - ulazni zapreminski protok,

ρ_u - gustina vazduha koji ulazi u prostoriju,

$\dot{V}_i(\tau)$ - izlazni zapreminski protok

ρ_i - gustina vazduha koji izlazi iz prostorije,

uz pomoć relacije (11) dolazi do sledećeg odnosa zapreminskih protoka:

$$\frac{\Delta \dot{V}_i(\tau)}{\Delta \dot{V}_u} = \frac{\rho_u}{\rho_i} \cdot \frac{P(\tau)}{P_o + \Delta P} \tag{14}$$

Gustina ρ_u i ρ_i zavisi od načina rada i konstrukcionih karakteristika potisnog i usisnog ventilatora. Ako su pomenute karakteristike takve da se može uzeti $\rho_u \approx \rho_i$ onda iz (14) sledi:

$$\frac{\Delta \dot{V}_i(\tau)}{\Delta \dot{V}_u} = \frac{P_o}{P_o + \Delta P} \tag{15}$$

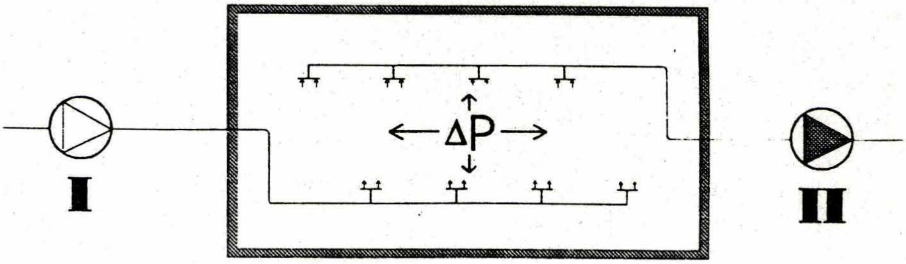
odnosno u graničnim slučajevima $\tau = 0$ i $\tau \to \infty$:

$$\frac{\Delta \dot{V}_i(0)}{\Delta \dot{V}_u} = \frac{P_o}{P_o + \Delta P} \; ; \; \frac{\Delta \dot{V}_i(\infty)}{\Delta \dot{V}_u} = 1 \tag{16}$$

Izrazi (15) i (16) su praktičniji od (11) i (12), jer se fabrički potisne karakteristike ventilatora daju u zapreminskim jedinicama.

2. PRAKTIČNO REGULISANJE RADA VENTILATORA U CILJU POSTIZANJA ŽELJENOG NATPRITISKA

Već je rečeno da se realizacija potrebnog nadpritisaka u prostoriji klimatizovanog objekta postiže pomoću potisnog i usisnog ventilatora. Ovi ventilatori se nalaze u sklopu klima-komore, a njihovi položaji su prikazani na sl. 3



SLIKA 3

Nadpritisak ΔP, koji je postignut u prostoriji objekta prenosi se po Paskalovom zakonu u svim pravcima podjednako. Zbog toga on direktno utiče na povećanje napora ventilatora I klima komore, pa se prilikom projektovanja i izbora ventilatora o ovoj činjenici mora voditi računa, naročito zbog toga što se usled povećanja napora povećava i potrošnja električne struje.

S druge strane, ovaj isti nadpritisak smanjuje napor ventilatorske jedinice II, koja izbacuje vazduh iz klima-komore.

Znači oba ventilatora dolaze u radnu tačku tek pošto je u prostoriji - objektu ostvaren željeni nadpritisak. Ukoliko se prilikom projektovanja ne vodi računa o tome da u prostoriji treba realizovati nadpritisak ΔP, onda dolazi do nepotrebnih energetskih gubitaka, koji nastaju usled toga što se potisna strana ventilatora II mora prigušiti dodatnim otporom.

Potrebni napori ventilatora za slučaj da je u prostoriji realizovan nadpritisak ΔP treba da budu dati sa:

$$\Delta P^{\bullet}_{ITOT} = \Delta P_{ITOT} + \Delta P \; ; \; \Delta P^{\bullet}_{IITOT} = \Delta P_{IITOT} - \Delta P \qquad (17)$$

gde su P_{ITOT} i P_{IITOT} napori ventilatora u slučaju kada je nadpritisak u objektu ravan nuli.

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezonovanja koje je izloženo u predhodnom odeljku može se izvesti sledeći zaključak.