

Dimenzionisanje sistema za raspodelu vazduha (III)

W Moog*

2.2.2. Fizička analiza strujanja vazduha u prostoriji pomoću principa simulacije

Teoretske korelacije termodinamičkog kontinuuma za sistem »prostorije« detaljno su opisane u [19]. Osim sadašnjeg posmatranja, trebalo bi takođe razmotriti i mehanizam prenosa toplote u prostorijama sa zatvorenim površinama, pored procesa mešanja, npr. hladnog dovodnog i toplog vazduha u prostoriji.

Karakteristični odnos koji je izveden za strujanje u prostoriji [19] je sledeći:

$$\begin{aligned} &Ne, Ar, Re, Re^*, \frac{u_0}{n \cdot t_0}, Pe, Pe^*, \\ &Nu, \pi_a, \pi_v, \pi_1 = 0 \end{aligned} \quad (20)$$

Objašnjenja jednačine (20):

$$\begin{aligned} \text{a) } Ne &= \frac{F_N}{\rho \cdot v^2 \cdot t^2} = \\ &= \frac{\text{normalna sila}}{\text{inercijalna sila}} = \\ &= \text{Newtonov broj} \\ \text{b) } Ar &= \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta \vartheta \cdot t}{v^2} = \\ &= \frac{\text{termička sila potiska}}{\text{inercijalna sila}} = \\ &= \text{Arhimedov broj} \end{aligned}$$

$$\text{c) } Re = \frac{v \cdot t}{\nu} =$$

$\frac{\text{inercijalna sila}}{\text{sila viskoziteta}} = \text{Reynoldsov broj}$

$$\begin{aligned} \text{d) } Re^* &= \frac{v \cdot t}{A \tau / \rho} = \\ &= \frac{\text{inercijalna sila}}{\text{sila turbulentne viskoznosti}} = \text{uticaj turbulencije} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) } \frac{u_0}{n \cdot l_0} &= \\ &= \frac{\text{impulsna sila ispusta}}{\text{impulsna sila u prostoriji}} = \text{broj izmena impulsne sile} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) } Pe &= \frac{v \cdot t}{a} = \\ &= \frac{\text{konvekcija}}{\text{toplotna provodljivost}} = \text{Pecletov broj} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g) } Pe^* &= \frac{v \cdot t}{A_Q / \rho} = \\ &= \frac{\text{konvekcija}}{\text{turbulentna toplotna provodljivost}} = \text{uticaj turbulencije} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h) } Nu &= \frac{a \cdot t}{\lambda} = \\ &= \frac{\text{toplotna provodljivost u graničnom sloju}}{\text{termička provodljivost u nepokretnom fluidu}} = \text{Nusseltov broj} \end{aligned}$$

* Dr Walter Moog, dipl. ing., »Krantz« GmbH & Co., Lufttechnik, Aachen, SR Nemačka.

i) π_0 = parametar i granični uslovi kretanja fluida

j) π_0 = parametar i granični uslovi temperaturnog polja

k) π_1 = privremeni granični uslovi.

U definiciji su primenjene oznake sledećih značenja:

ρ — gustina vazduha,

v — karakteristična brzina,

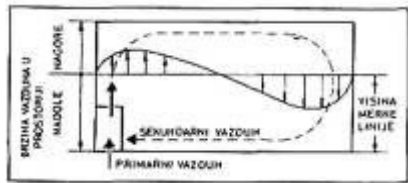
l — karakteristična dužina,

β — koeficijent zapreminskog širenja vazduha

ν — kinematska viskoznost,

λ — turbulentna viskoznost,

Sl. 15. Ilustracija rezultata merenja strujanja vazduha u prostoriji (na primeru HP indukcione jedinice). Prva metoda.



l_0 — karakteristična geometrija is pusta,

α — koeficijent temperaturske provodljivosti,

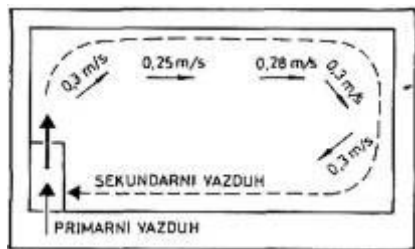
A_q — karakteristika turbulentne razmene (toplotna provodljivost),

α — koeficijent prelaza toplote,

λ — toplotna provodljivost.

Problem interpretacije karakterističnog odnosa (20) ne bi postojao, kada bi izvestan broj karakteristika — a to je slučaj sa brojnim fizičkim procesima — imao manji uticaj. Tada bi one mogle biti zanemarene. Ali to nije slučaj

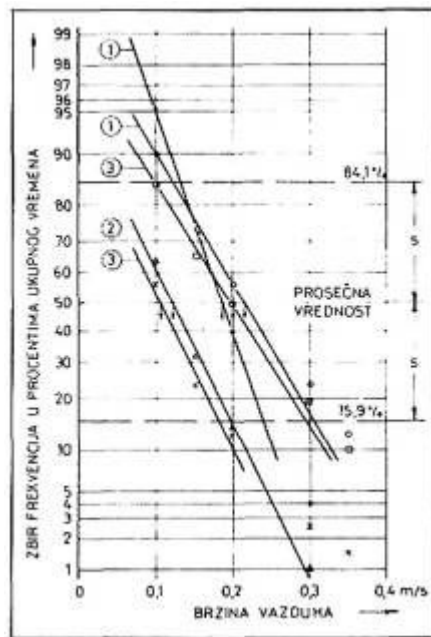
Sl. 16. Ilustracija rezultata strujanja vazduha u prostoriji. Druga metoda.



Sl. 17. Efektivna ilustracija rezultata strujanja vazduha u prostoriji



Sl. 18. Plan verovatnoće sa nekim primerima brzine vazduha u prostoriji



sa varijantama 1. i 2, sa strujanjem vazduha u prostoriji; prema poglavlju 2.2. — to čak nije dozvoljeno.

Granični uslovi π_n , π_v i π_1 nisu opisani do detalja i različiti su u svakoj prostoriji, bez obzira na činjenicu da su suprotni termodinamičkim karakteristikama na istom nivou.

Ako se strujanje vazduha u prostoriji posmatra samo kao dinamički sistem, stvaranje vrtloga se ipak ne može uneti u postupak proračuna.

Oni su, međutim, kao što je istaknuto u poglavlju 2.2.1, deo strujanja vazduha u prostoriji. Moguće je označiti granične uslove dinamičke ravnoteže za oblike formiranja vrtloga, ali se ne može odrediti koja će se polja vrtloga od mogućeg neodređenog broja vrtloga pojaviti [21].

Zahvaljujući kompleksnosti jednačine (20) u poljima vrtloga je nemoguće prethodno izračunati brzinu vazduha u prostoriji kao funkciju vremena, prema veličini i pravcu. Statističke metode su neophodne za njihov opis. Zbog toga karakteristični odnos (20), koji opisuje strujanje vazduha u prostoriji, ima ograničeni značaj:

1) On jasno objašnjava sve uticajne karakteristike termodinamičkog kontinuuma za sistem »prostorije«;

2) Za modelsko ispitivanje strujanja vazduha u prostoriji, jednačina (20) pruža odgovarajući modelski recept.

Ako je u pitanju određeni slučaj klimatizovane prostorije, izneseno je da na intenzitet kretanja vazduha u prostoriji utiču uglavnom dve karakteristike — ukoliko izlaz vazduha i rezultirajući oblik mlaza nisu uzeti u obzir:

1) Veća količina dovodnog vazduha povećava na konstantnoj temperaturi razliku između dovodnog i vazduha u prostoriji, u datoj situaciji prostorije i pri datom ispustu vazduha se povećava intenzitet kretanja vazduha u prostoriji.

2) Veća temperaturna razlika između dovodnog i vazduha u prostoriji se javlja pri konstantnoj raspodeli količine dovodnog vazduha, a u datoj situaciji i pri datom ispustu vazduha veći intenzitet kretanja vazduha u prostoriji se još povećava.

Karakteristika koja se odnosi na stepen količine vazduha kao i temperaturnu razliku je Arhimedov broj Ar . On je u opštem slučaju definisan jedinačinom:

$$Ar = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta \vartheta \cdot l}{\nu^2} \quad (20)$$

Ako je visina sobe H definisana kao karakteristična dužina i ako je količina dovodnog vazduha po kvadratnom metru poda prostorije definisana kao karakteristična brzina v , dobija se sledeća jednačina:

$$Ar = g \cdot \beta \cdot H \cdot \frac{\Delta \vartheta}{v^2} \quad (21)$$

V_s — Je količina dovodnog vazduha po kvadratnom metru poda.

Kriterijum (21) je sigurno razuman, ali se on ne odnosi na karakteristike proizvodnje toplote u prostoriji, koje su toliko važne inženjeru. Evo opšteg termodinamičkog odnosa za promenu entalpije struje vazduha:

$$\dot{q} = \beta \cdot c_p \cdot \dot{V}_s \cdot \Delta \vartheta \quad (22)$$

gde je $\dot{q}$ — proizvodnja toplote po kvadratnom metru poda.

U jednom određenom stanju prostorije, intenzitet kretanja je funkcija razmenjene toplote odnosno količine dovodnog vazduha kao i temperaturne razlike između vazduha u prostoriji i dovodnog vazduha. Jednačina (22) je pogodna za upotrebu u praktičnom radu inženjera u razvijanju ograničenih kriterijuma promene entalpije struje vazduha u izvesnim stanjima prostorije. Pošto ovi ograničavajući faktori nisu proračunljivi, neophodno je izvršiti eksperimentalna istraživanja instalacija.

Zahvaljujući fenomenu strujanja vazduha u prostoriji i njegovoj neproračunljivosti, od ispitivanja i njihovih rezultata će zavisiti stvaranje sredstava koja će omogućiti optimalnu ugodnost u pogledu intenziteta kretanja vazduha u prostoriji. Otuda je merenje, analiziranje i procena strujanja vazduha u prostoriji izuzetno važno. Pre razmatranja dimenzionih kriterijuma, treba pre svega ove tačke objasniti i razmotriti.

3. OPIS STRUJANJA VAZDUHA U PROSTORIJI

Između *kvalitativnog* i *kvantitativnog* opisa strujanja vazduha u prostoriji, postoji principijelna razlika. Uopšteno, u pitanju je dvodimenzionalna analiza. Kvalitativni opisi su obično fotografske ilustracije testova sa dimom ili sa ljuspama; pomoću svetlosne sekcije, vidljivo je dvodimenzionalno fazno kretanje i registrovano za trenutak ili tokom 1-3 sekunde. Takvi opisi su korisni, ali oni nisu uvek presudni u procenjivanju strujanja vazduha u prostoriji, kao što je, uopšte uzev, strujanje vazduha u prostoriji trodimenzionalno i fenomen objašnjen u poglavlju 2, u detaljima (na primer obrazovanje vrtloga).

Često se tvrdnje o *kvalitativnim* i *kvantitativnim* stanjima zasnivaju na posmatranju dvodimenzionalne strujne slike i merenju brzina vazduha na izvesnim mernim strujnim linijama, u datoj mernoj ravni.

Rezultata se mogu ilustrovati na dva različita načina:

1. Merna ravan je nulta linija brzine u istom trenutku. Pomoću strelica ka vrhu i dnu, ilustrovani su osnovna veličina i pravac brzine.

2. Na izvesnoj mernoj tački, jedina strelica označava pravac strujanja i uz dodatak vrednosti brzine, označen je intenzitet strujanja. I ovo je učinjeno dvodimenzionalno, kao što se vidi na sl.16.

Nijedna od ove dve ilustracije nije tačna, zato što — kao što je već rečeno — strujanje vazduha u prostoriji ima nestabilan karakter. Ovo je posebno tačno, pošto jedinice koje su korišćene za merenje brzine danas imaju značajnu karakteristiku pravca. Jedini opravdan i tačan način predstavljanja jačine kretanja u izvesnoj mernoj tački, prikazan je na sl. 17. Ta ilustracija označava stvarne; strujanje vazduha u prostoriji.

3.1. Merenje, analiziranje i procena strujanja u prostoriji

U fundamentalnim radovima Finkelsteina, Fitznera i Mooga [22], postupci merenja i procenjivanja, koji su u vezi sa prirodom strujanja vazduha u prostoriji, odnosno njegovom fenomenologijom, opisani su do detalja. To su statističke metode merenja, prema

- trajanju postupka i
- prema postupku slučajno odabranog uzorka.

Pomoću odgovarajućih uređaja za merenje brzine, moguće je na prihvatljiv način utvrditi intenzitet prosečnog kretanja vazduha u prostoriji i opseg njegove fluktuacije.

Ilustracija rezultata korišćenjem metoda iz teorije verovatnoće, dokazuje da ovaj način ima preimućstvo, pošto se fluktuacije kretanja struje vazduha u prostoriji, u određenoj mernoj tački, ponašaju prema Gausovoj normalnoj raspodeli.

Pošto nema raspoloživih prigodnih senzora koji su neosetljivi na pravac i pošto merni senzori imaju

problematično ponašanje (na primer [23]), laboratorije za proučavanje strujanja vazduha u prostoriji u SR Nemačkoj su se složile u pogledu upotrebe samo jednog senzora — ali na žalost još uvek ne optimalnog. Ali je na ovaj način bar moguće uporediti rezultate različitih laboratorija. Procena rezultata strujanja vazduha u prostoriji predstavlja drugi problem. On bi trebalo da bude razmatran na sledeći način.

Danas bi bilo idealno okarakterisati intenzitet kretanja u mernoj tački ukazivanjem na 50% ili 84%, odnosno 16% vrednosti plana verovatnoće, tj. ukazivanjem na prosečnu vrednost i intenzitet amplitude (intenzitet fluktuacije) strujanja vazduha u prostoriji. Fiziolozi, međutim, danas nisu u stanju da odrede granice ugodnosti. Na žalost, primenjeni standardi u vezi sa granicom dozvoljene ugodnosti u potpunosti su promašeni, što je u prošlosti često potvrđivano. Ovi problemi ne mogli biti razmatrani u celini. Ali, merila ocenjivanja treba svakako odrediti, i to merila koja dopuštaju sud o granicama primene različitih sistema distribucije vazduha.

Uopšte, prevlađuju sledeći postupci merenja, analiziranja i ocenjivanja:

1) merenje brzina vazduha u prostoriji pomoću visokoosetljivih TSI anemometara, proizvodnje Thermo-system Inc, tip VT 1611;

2) vreme merenja u jednoj tački: minimum 3 minuta;

3) ocenjivanje prema trajanju sa diskriminatorima, ili po postupku slučajnog izbora pomoću računara [22], Sl. 18. pokazuje neke ilustracije odnosno ocene brzina vazduha u prostoriji.

Objašnjenje primera na sl. 18:

1) distribucija vazduha sa vrha pomoću Krantzovih spiralnih ispusta za vazduh; Ø 100; merna distanca je 1 200 mm; protok vazduha je 65 m³/h;

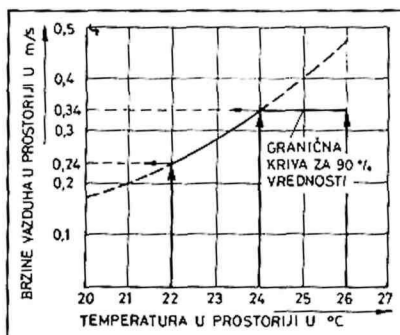
2) distribucija vazduha sa vrha; merenje u jednom birou, li nižem ispustu od 1000 mm;

3) distribucija vazduha sa vrha, pomoću »schako« mlaznice;

4) procena rezultata.

Desetprocentna vrednost ilustracije fluktuacija brzine na planu verovatnoće nazvana je 90-procentna vrednost u nastavku i u vezi je sa

Sl. 19. Interpretacija dozvoljenih, maksimalnih brzina vazduha u prostoriji



gornjom graničnom krivom DIN projekta 1946, list 2, iz septembra 1972. Načinjeno je sledeće ograničenje: za temperature prostorije između 24° i 26°C devedesetprocentna vrednost ostaje konstantna. Sl. 19. ilustruje ovu interpretaciju.

Ove postavke bi trebalo interpretirati na sledeći način:

1) Tokom mernog perioda od 3 minuta i pri temperaturi prostorije od 22°C, brzina od 0,24 m/s se ne sme preći u toku 10% vremena merenja i ispod ili jednako 0,24 m/s za vreme 90% mernog vremena. Ovaj kriterij se zove i »kriterijum unutrašnje zone«.

2) Pri temperaturi prostorije od 24° ≤ t_R ≤ 26°C, brzina određena ispod I je 0,34 m/s (kriterijum spoljne zone).

Ovi kriterijumi procene uspešno su dokazani. Oni nisu predmet arbitražnog predodređivanja, ali su zasnovani na statistici i iskustvima tokom više godina. U međuvremenu, ima 84% odnosno 16% vrednosti koje su interesantne za statistiku. Sada su podaci u lazi procenjivanja.

Međutim, samo reakcija na neugodnost prve vrste (prema poglavlju 11) je predmet opisanog kriterijuma procenjivanja. Ograničavajuće kriterijume koji bi mogli biti indikativni za ostale dve reakcije na neugodnost, su još uvek nedovoljno utvrdili fiziolozi i fizičari. S obzirom na to, donošenje suda bi trebalo ostaviti iskusnom inženjeru koji radi u praksi. U nastavku će biti dati neki komentari ilustracija mernih rezultata koji se odnose na činjenice koje smo već razmatrali.

3.2. Ilustracija mernih rezultata

Kao što je već pomenuto — strujanje vazduha u prostoriji je uglavnom trodimenzionalno i ima vrtloge. Zbog toga se ne mogu postići dvodimenzionalne stabilne linije struje, pa ilustracije rezultata, kao što je već rečeno, prema sl. 15 i 16. nisu tačne. Bilo bi bolje ilustrovati topografsku brzinu vazduha u prostoriji, kao što je to učinjeno u [19]. Sl. 20. daje jedan topografik. Izvesne faze kretanja vazduha u prostoriji svedene su bez bilo kakve naznake pravca.

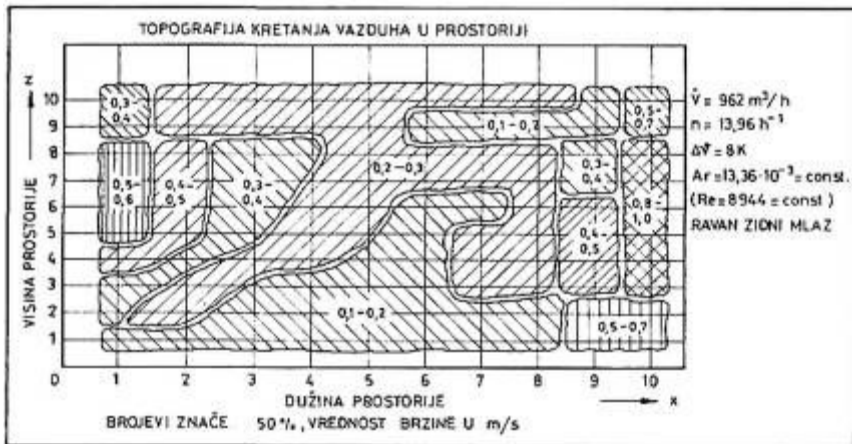
Ako bi vrednosti brzina strujanja vazduha u prostoriji trebalo navoditi na primer duž datih mernih linija, preporučljivo je naznačiti 50% i 90% ili 50% i 84% vrednosti, tako da jačina fluktuacije bude dokumentovana. Sl. 21. pokazuje takvu jednu ilustraciju pomoću primera.

Tačkastim linijama se može označiti osnovni pravac strujanja vazduha i granice njihove primene.

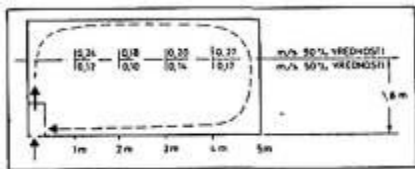
4. SISTEMI DISTRIBUCIJE VAZDUHA

U ispustima za vazduh obrazuju se izvesni oblici mlaza. Oni pobuđuju vazduh u prostoriji, mešaju se sa njim i prisiljavaju ga da se kreće na karakterističan način.

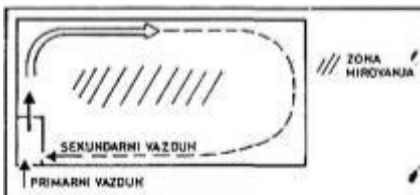
Sl. 20. Topografija kretanja vazduha u jednoj prostoriji



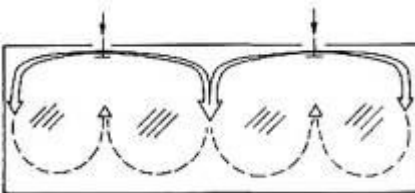
Sl. 21. Ilustracija na primeru rezultata strujanja vazduha u prostoriji (položaj merne linije u planu osnove prostorije mora takođe biti naznačen)



Sl. 22. Tangencijalni sistem distribucije vazduha na HP indukcionalnoj jedinici



Sl. 23. Tangencijalni sistem distribucije vazduha, sa linearnim prorezima ispusta, na tavanici



To je razlog što se zovu sistemima za distribuciju vazduha (skraćeno SDV; engl. ADS = air distribution systems). Položaj i vrsta elemenata za izvlačenje otpadnog vazduha i defleksija strujanja nisu presudni faktori za obrazovanje strujanja u prostoriji. Element za izvlačenje otpadnog vazduha bi trebalo smestiti na takvu razdaljinu od ispusta za ubacivanje, da bi se izbegao kratak spoj (kratak spoj = dovodni vazduh se ne meša sa vazduhom iz prostorije, nego izlazi kao otpadni vazduh iz prostorije). U nastavku će se odrediti sistemi distribucije vazduha.

4.1. Definicija sistema distribucije vazduha

Između sledećih sistema distribucije vazduha napravljena je razlika:

- 1) tangencijalni sistem distribucije vazduha,
- 2) sistem distribucije sa kretanjem mase vazduha,
- 3) difuzni sistem distribucije vazduha,
- 4) mikroklimatski sistem distribucije vazduha,
- 5) mlazni sistem distribucije vazduha.

4.1.1. Tangencijalni SDV

Tangencijalni SDV se može definisati na sledeći način.

Dovodni vazduh iz jednog ili nekoliko ispusta za vazduh ulazi u prostoriju u nekoj formi mlaza i tangencijalno se spaja sa jednom ili više zatvorenih zona prostorije tokom svoje putanje mlaza.

Tangencijalni SDV predstavlja tri tipična sistema:

1) distribuciju vazduha u jednoj prostoriji koju izazivaju visokopritisne indukcionne jedinice, instalisane na prozoru; uporediti sa sl. 22;

2) dovodni vazduh u obliku ravnih zidnih mlazeva se uduvava u prostoriju iz linearnih proreza u ispustu na tavanici, kako je prikazano na sl. 23;

3) dovodni vazduh struji iz okruglih anemostata na tavanici itd., paralelno sa tavanicom, u obliku radijalnog zidnog mlaza.

Za SDV je karakteristično da mlazovi vazduha obrazuju stabilne granične slojeve u glavnim fazama strujanja.

Geometrija ispusta mlaza na visokopritisnim indukcionim jedinicama obrazuje mlazove od 600 — 1200 mm širine: 60 — 120 mm dubine, sa ukupnim protokom dovodnog vazduha od 200 — 500 m³/h. U načelu, po metru ispusta ubaci se maksimum 350 m³/h. Pokušalo se sa primenom delimičnih ispusta sa protokom vazduha od >500 m³/h. (Sve primedbe u ovom poglavlju odnose se na prostorije visine između 2,7 i 3,5 m).

Postoji poseban rizik od kratkog spoja u tangencijalnom SDV, jer će otpadni vazduh normalno biti izvučen preko tavanjskih svetiljki i zato što zidni mlazovi u nivou otvora za otpadni vazduh još nisu dostigli temperaturu prostorije. Procentualni deo protoka koji se odvaja u kratkoj vezi može biti registrovan lokalnim preciznim merenjima.

I zona mirovanja (mrtva zona) u centru cirkulacije vazduha je karakteristična za tangencijalni SDV, koji se odlikuje veoma malim brzinama.

(Kraj u sledećem broju)