

UTJECAJ MEĐUSOBNOG POLOŽAJA PRIKLJUČNIH KUTIJA VENTILACIJSKIH DIFUZORA NA TOPLINSKU UGODNOST U PROSTORIJI

IMPACT OF VENTILATION DIFFUSER CONNECTION BOX POSITIONING ON INDOOR THERMAL COMFORT

Darko Smoljan¹, Kristijan Iličić²

¹Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

²Vodoopskrba i odvodnja d.o.o., Zagreb

SAŽETAK

U zgradama s miješajućom mehaničkom ventilacijom gdje su visine stropa prostorija između 2,6 i 4 m najčešće se za dovod zraka koriste stropni vrtložni difuzori. Ovaj eksperimentalni rad predstavlja nastavak autorovih istraživanja strujanja zraka u zoni mlaza vrtložnog stropnog difuzora i u zoni boravka prostorije koja se njime ventilira. Iako je i strujna ploča vrtložnog difuzora koji se ovdje koristi radijalno simetrična, dosadašnja istraživanja autora su pokazala da je mlaz vrtložnog difuzora u određenoj mjeri asimetričan ako se u konstrukciji difuzora koristi priključna kutija s horizontalnim priključkom za dovod zraka. Međutim, nije poznato koliko ova asimetričnost utječe na toplinsku ugodnost u zoni boravka prostorije. U ovom istraživanju prikazani su rezultati eksperimentalnih mjerenja brzine i intenziteta turbulencije zraka u zoni boravka prostorije ispod stropnih vrtložnih difuzora s priključnim kutijama različite međusobne orijentacije priključaka za dovod zraka. Da bi se ocijenila toplinska ugodnost, odnosno opasnost od pojave propuha u zoni boravka, na temelju ove dvije mjerene veličine izračunate su vrijednosti indeksa postotka nezadovoljnih uslijed propuha, PD (eng. *percent dissatisfied*), u horizontalnim mjernim ravninama u zoni boravka prostorije ispod stropnih difuzora. Rezultati pokazuju razliku od 20 % maksimalnih zabilježenih vrijednosti PD indeksa u različitim slučajevima orijentacije priključaka za dovod zraka.

Ključne riječi: miješajuća ventilacija, vrtložni stropni difuzor, toplinska ugodnost, PD indeks, spojeni mlaz

ABSTRACT

In buildings with mixing mechanical ventilation systems where room ceiling heights range between 2,6 m and 4 m, ceiling swirl diffusers are most commonly used for air supply. This experimental study continues the authors' previous research on airflow in the jet region of a ceiling swirl diffuser and in the occupied zone of a room ventilated by it. Although the discharge plate of the swirl diffuser used here is radially symmetrical, earlier investigations have shown that the jet of the swirl diffuser may exhibit a certain degree of asymmetry when the diffuser is equipped with a plenum box with a horizontal air supply connection. However, it is not known to what extent this jet asymmetry affects thermal comfort in the occupied zone of the room. This study presents the results of experimental measurements of air velocity and turbulence intensity in the occupied zone below ceiling swirl diffusers with plenum boxes having different mutual orientations of air supply connections. To assess thermal comfort, i.e., the risk of draft occurrence in the occupied zone, PD (*percent dissatisfied*) values were calculated in the measurement planes based on these two measured quantities. The results show a 20 % difference in maximum recorded values of thermal comfort indices PD depending on the orientation of the air supply connections.

Keywords: mixing ventilation, vortex ceiling diffuser, thermal comfort, PD index, merged jet

1. UVOD

1. INTRODUCTION

Zbog svojstva visoke indukcije radijalnog vrtložnog zračnog mlaza, stropni vrtložni difuzori su najčešći tip ventilacijskog otvora za dovod zraka u sustavima miješajuće ventilacije u zgradama. U autorovom istraživanju [1] prikazan je opsežan pregled istraživanja radijalnog zračnog mlaza u ventilaciji, te će se u nastavku dati nešto sažetiji pregled ovih istraživanja.

U najranijim istraživanjima slobodnog i priljubljenog radijalnog mlaza koji istrujava iz ovog tipa difuzora [2–6], dati su eksperimentalni podaci o profilima brzina, faktoru širenja, padu centralne brzine i intenzitetu turbulencije zraka. Razni modeli za aproksimaciju raspodjele brzine strujanja zraka uspoređivani su s eksperimentalnim podacima te je u [7,8] otkriveno da je Gausova funkcija dobra aproksimacija raspodjele brzine na profilima aksijalne komponente brzine slobodnog radijalnog mlaza. Jednadžbe za aksijalnu i radijalnu komponentu brzine strujanja radijalnog vrtložnog mlaza izvedene su u [7]. Usporedbom faktora pada centralne brzine mlaza generičkog vrtložnog difuzora i difuzora s aksijalnim istrujavanjem mlaza u [8] ustanovljeno je da vrtložni mlaz ima veću indukciju. Veća indukcija zračnog mlaza poželjna je zbog intenzivnijeg miješanja dovedenog zraka sa zrakom u prostoriji što uzrokuje povećanje intenziteta izmjene topline, učinkovitije uklanjanje zagađivača i brži pad brzine mlaza kako on prodire u zonu boravka prostorije.

Raspodjela brzine i intenziteta turbulencije zraka u prostoriji ključna je za uspostavljanje optimalnih uvjeta toplinske ugodnosti u zoni boravka. Ključan utjecaj na brzinu strujanja i intenzitet turbulencije zraka u prostoriji imaju zračni mlazovi koji istrujavaju iz ventilacijskih otvora. Toplinska ugodnost u ispitnoj prostoriji ventiliranoj višekonusnim difuzorom, sa i bez umetnutih lopatica, te interakcija mlaza s toplinskom lutkom koja simulira korisnika, analizirana je u režimu hlađenja u [9], te od strane istih autora u režimu grijanja u [10]. U oba slučaja utvrđeno je da primjena umetnutih lopatica značajno smanjuje toplinsku neugodu i

osjećaj propuha. U [11] istraživana je distribucija zraka u prostoriji s različitim vrstama stropnih difuzora. Utvrđeno je da vrtložni stropni difuzor uzrokuje model strujanja u prostoriji koji je prilično neovisan o toplinskom opterećenju. Stoga vrtložni difuzor ne zahtijeva ograničenja na temperaturnu razliku između odsisnog i dovodnog zraka u smislu tradicionalne projektantske prakse. Karakteristike strujanja zraka kod vrtložnih, okruglih i kvadratnih stropnih difuzora te njihov utjecaj na toplinsku ugodnost u ventiliranoj prostoriji proučavani su u [12]. Vrtložni difuzor čini prostoriju hladnijom u usporedbi s kvadratnim i okruglim difuzorom. Vrijednosti faktora pada brzine za kvadratni i okrugli difuzor bile su gotovo jednake i 2,6 puta veće od vrijednosti za vrtložni difuzor s kutom zakretanja od 45°.

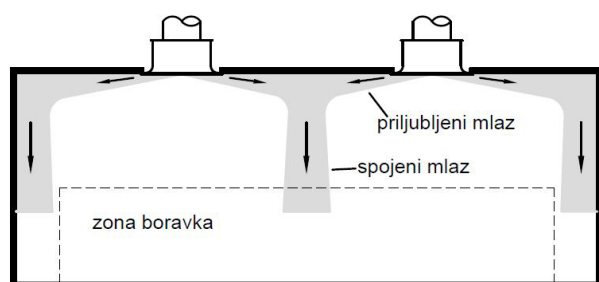
U svim gore navedenim radovima u prostoriji je bio postavljen samo jedan dobavni difuzor te se interakcija mlazova iz više susjednih difuzora nije se istraživala. U [13] je uspoređivana stalna i isprekidana ventilacija s dva difuzora za potisnu ventilaciju smještena na različitim stranama prostorije, između kojih su sjedila dva ispitanika. Zrak se dovodio naizmjenično, po 50% vremena sa svake strane, pri neutralnoj temperaturi prostorije. Procjena ispitanika pokazala je da je neugoda bila veća kod isprekidane ventilacije nego kod stalne ventilacije pri istoj maksimalnoj brzini strujanja. CFD za istraživanje [14] kvadratnih i okruglih difuzora u zatvorenom uredskom prostoru u kojem su na stropu bila postavljena četiri difuzora, dva za dovod i dva za odsis zraka. Kvadratni difuzor pokazao se boljim u pogledu jednolikosti raspodjele temperature unutar volumena ureda, ali je postojala značajna interakcija između mlazova dovodnih difuzora.

U svim gore citiranim radovima koji su se bavili radijalnim mlazom, radijalni mlaz je smatran savršeno radijalno simetričnim. Također, u praksi, projektanti sustava grijanja ventilacije i klimatizacije (GviK) odabiru stropne difuzore koristeći razna pomagala od proizvođača kao što su dijagrami i softveri za procjenu brzine strujanja zraka u zoni boravka. Ovi alati pretpostavljaju da je zračni mlaz radijalno simetričan. Međutim, kako je pokazalo autorovo istraživanje [15], u praksi na radijalnu simetričnost mlaza značajno

utječe konstrukcija priključne kutije (plenum) difuzora. Priključna kutija dolazi u dvije izvedbe, a to su priključna kutija s horizontalnim priključkom za dovod zraka i kutija s vertikalnim priključkom za dovod zraka. Logično je za očekivati da vertikalni priključak daje radijalni mlaz koji je radijalno simetričan zbog radijalno simetrične konstrukcije priključne kutije. Međutim, prema podacima proizvođača opreme Klimaoprema d.d., u 90% slučajeva se izvodi horizontalni priključak zato što pri ugradnji difuzora u spuštenu strop često nije raspoloživa dovoljna visina prostora u spuštenom stropu za ugradnju vertikalnog priključka za zrak. U [15] eksperimentalno je istraživana radijalna simetričnost mlaza koji istrujava iz vrtložnog stropnog difuzora s dvije različite priključne kutije s horizontalnim priključcima za dovod zraka. Pokazano je da u oba slučaja mlaz ima istaknutu određenu razinu radijalne asimetričnosti koja je u ovom istraživanju kvantificirana. Utjecaj priključne kutije na asimetričnost mlaza također je istraživana u [16] gdje je testiran vrtložni difuzor s krilcima korištenjem 3D ultrasoničnog anemometra i CFD modela za dva tipa priključne kutije: jedna s horizontalnim priključkom i limom za umirenje mlaza i druga s vertikalnim priključkom. Vertikalni priključak je proizveo trodimenzionalni i simetrični mlaz dok je horizontalni priključak proizveo radijalno asimetričan mlaz.

Slika 1 prikazuje jednostavan model strujanja zraka u prostoriji ventiliranoj stropnim difuzorima u vertikalnoj ravnini kada u prostoriji postoji više od jednog difuzora, što je najčešći slučaj u praksi.

Ovo je tipičan model dovoda zraka za prostorije koje imaju visinu stropa do 4m.



Slika 1 Model strujanja zraka u prostoriji sa stropnim difuzorima

Figure 1 Airflow pattern in a room with ceiling diffusers

Zrak istrujava iz stropnih difuzora te se mlaz priljubljuje uz strop i struji kao stropni priljubljeni mlaz. Mlazovi iz susjednih difuzora se sudaraju, odnosno stupaju u interakciju, pri čemu nastaje vertikalno strujanje usmjereno prema zoni boravka prostorije. Ovo strujanje temeljito je istraživano u autorovom eksperimentalnom radu [1], te je s obzirom da pokazuje svojstva turbulentnog mlaza, nazvano spojenim mlazom. Spojeni mlaz ima ključan utjecaj na toplinsku ugodnost u zoni boravka prostorije jer se u području u kojem prodire u zonu boravka može pojaviti osjećaj propuha. U [1] je spojen mlaz proizveden sudarom dvaju mlazova iz susjednih difuzora koji su imali priključne kutije s vertikalnim priključcima te su dobiveni priljubljeni mlazovi približno simetričnog oblika i shodno tome je dobiven spojen mlaz približno simetričnog oblika u odnosu na vertikalnu ravninu u sredini između susjednih difuzora. Međutim, kako je već napomenuto, u praksi su priključne kutije u većem postotku slučajeva izrađene s horizontalnim priključkom i radijalni stropni mlazovi nisu simetrični te ne daju spojen mlaz simetričnog oblika. U literaturi nisu pronađeni podaci o parametrima strujanja zraka u području spojenog mlaza koji je proizveden sudarom asimetričnih radijalnih stropnih mlazova koji dolaze od vrtložnih difuzora.

Cilj ovog istraživanja je eksperimentalno ustanoviti raspodjelu brzine strujanja zraka i intenziteta turbulencije zraka u horizontalnoj ravnini, korištenjem dvaju različitih tipova priključne kutije za dovod zraka stropnog vrtložnog difuzora. Spojeni mlaz, proizveden sudarom asimetričnih radijalnih mlazova, u toj ravnini prodire u zonu boravka prostorije. Na temelju toga u zoni boravka izračunava se indeks toplinske ugodnosti PD, koji procjenjuje postotak nezadovoljnih osoba uslijed pojave propuha.

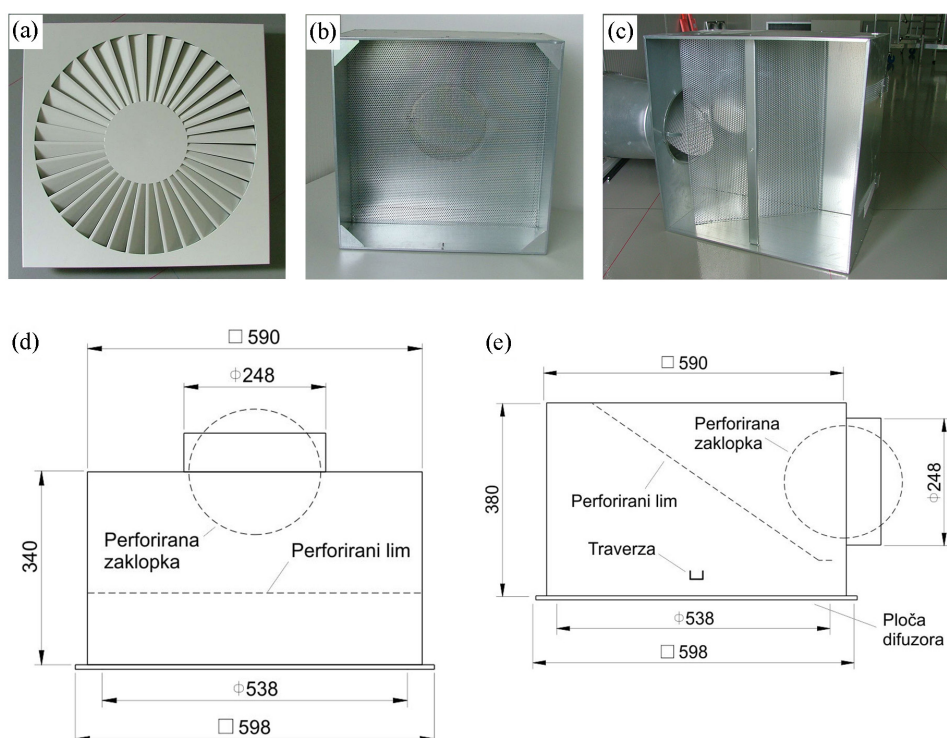
2. EKSPERIMENTALNA POSTAVA 2. EXPERIMENTAL SETUP

Korištena su dva identična vrtložna difuzora s vertikalnim priključkom, tip Klimaoprema DVS 600, i dva međusobno identična difuzora s horizontalnim priključkom za dovod zraka.

Difuzori se sastoje od priključne kutije i istrujne ploče (Slika 2). Istrujna ploča ima 36 radialno raspoređenih krilaca pod kutom od 22° , pri čemu vanjski rub krilca ima promjer $D = 538$ mm. U slučaju kutije s horizontalnim priključkom istrujna ploča difuzora pričvršćena je vijkom na centralnu traverzu priključne kutije (slike 2c, 2e), dok je kod vertikalnog priključka pričvršćena pomoću četiri vijka u kutovima priključne kutije (slike 2b, 2d). Priključna kutija s vertikalnim priključkom za zrak i kutija s horizontalnim priključkom s unutarnje strane sadrže perforirani lim koji ima funkciju uspostavljanja ravnomjerne raspodjele strujanja zraka kroz istrujnu ploču (slike 2, b-e). Na priključak za dovod zraka u oba slučaja montirana je perforirana regulacijska zaklopka za balansiranje volumenskog protoka, koja je tijekom mjerenja potpuno zatvorena kako bi se poboljšala ujednačenost profila brzine u priključnoj kutiji.

Ispitna prostorija (Slika 3) dimenzija $9 \times 10 \times 4$ m izgrađena je unutar velike proizvodne hale. Kako se ispitna prostorija nalazila unutar proizvodne hale tako su svi zidovi ispitne prostorije, kao i strop, izvedeni kao unutarnje pregrade koje ne graniče s vanjskim okolišem. Proizvodna hala ima vlastiti sustav klimatizacije kojim se održava temperatura zraka od 20°C .

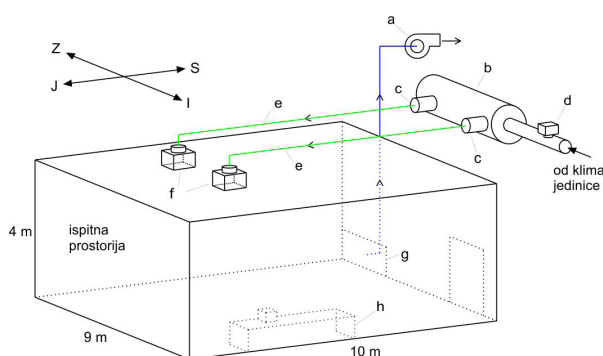
Odsisni ventilator također je bio opremljen frekvencijskim pretvaračem, a volumenski protok odsisnog zraka regulirao se diferencijalnim presostatom postavljenim na razliku tlaka od 5 Pa između ispitne prostorije i proizvodne hale. Na tlačnu stranu jedinice klime bio je spojen okrugli kanal duljine 10 m, na čijem je kraju bio ugrađen instrument za mjerenje masenog protoka Sensyflow FMT400-VTS tvrtke ABB Ltd. s točnošću mjerenja $\pm 1,4\%$. Četiri metra nizvodno od mjeraca protoka kanal se spajao na cilindrični plenum promjera 1 m. Na cilindrični plenum bila su spojena dva kanala promjera $\phi 300$ mm s regulatorima varijabilnog volumenskog protoka (VAV, eng. *variable air volume*) (Slika 3c). Svi spojevi kanala bili su zabrtvljeni silikonskom pastom i aluminijskom trakom. VAV regulatori bili su povezani s priključnom kutijom fleksibilnim kanalima i postavljeni na rad u režimu konstantnog volumenskog protoka. Upravljanje se vršilo pomoću zaklopki s pogonom Belimo i pripadajućeg softvera instaliranog na računalo u ispitnoj prostoriji. Jednakost volumenskog protoka zraka na oba difuzora provjeravana je mjerenjem efektivne izlazne brzine na svakom krilcu difuzora, a zatim se računala srednja vrijednost. Efektivna istrujna brzina v_0 definirana je kao maksimalna brzina izmjerena u neposrednoj blizini krilaca



Slika 2 (a) Istrujna ploča vrtložnog difuzora; (b) Kutija s vertikalnim priključkom – foto; (c) Kutija s horizontalnim priključkom – foto; (d) Kutija s vertikalnim priključkom – dimenzije; (e) Kutija s horizontalnim priključkom – dimenzije

Figure 2 (a) Discharge plate of the swirl diffuser; (b) Vertical connection box – photo; (c) Horizontal connection box – photo; (d) Vertical connection box – dimensions; (e) Horizontal connection box – dimensions

istrujne ploče difuzora. Mjerena je toplinskim anemometrom s vrućom žicom Testo 435-2 s točnošću $\pm(0,3 \text{ m/s} + 5 \% \text{ izmjerene vrijednosti})$. Volumenski protok računat je na temelju očitavanja masenog protoka, a podjelom s prosječnom efektivnom izlaznom brzinom dobivena je efektivna izlazna površina difuzora $A_o = 0,0301 \text{ m}^2$. Brzina i intenzitet turbulencije zraka u zoni spojenog mlaza su mjereni omnidirekcijskim anemometrima.



Slika 3 Skica ispitne prostorije: (a) Odsisni ventilator s frekvencijskim pretvaračem; (b) Cilindrični plenum promjera 1 m; (c) Regulatori varijabilnog protoka zraka (VAV); (d) Maseni protokomjer Sensyflow FMT400-VTS; (e) Fleksibilni zračni kanal; (f) Vrtložni difuzori DVS 600; (g) Odsisna rešetka; (h) Stol s računalom

Figure 3 Sketch of the test room: (a) Extract fan with frequency inverter; (b) Cylindrical plenum 1 m diameter; (c) Variable air volume controllers (VAV); (d) Mass flow meter Sensyflow FMT400-VTS; (e) Flexible ducting; (f) Vortex Diffusers DVS 600; (g) Extract grille; (h) Table with computer

Omnidirekcijski anemometar preporučeni je tip niskobrzinskog toplinskog anemometra za mjerenje strujanja zraka pri procjeni toplinske ugodnosti prema normama EN ISO Standard 7726 [17] i EN 13182 [18]. U ovom istraživanju korišten je sustav MiniCTA Dantec Dynamics za mjerenje srednje brzine, standardne devijacije brzine, intenziteta turbulencije i temperature zraka u zoni spojenog mlaza. Sustav uključuje tri omnidirekcijske anemometarske sonde s vrućom kuglicom 54T21 s mjernim rasponom od 0,05 do 1 m/s te jednu referentnu sondu s vrućim filmom, dvosmjernu 54T29, s rasponom od 0,2 do 20 m/s. Za sva mjerenja korištena je frekvencija uzorkovanja od 10 Hz. Sonde s vrućom kuglicom sadrže mikrotermistore za mjerenje temperature s nesigurnošću od $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Za anemometar s vrućim filmom proizvođač navodi mjernu nesigurnost od 0,02 m/s pri kalibracijskoj

temperaturi od $19 \text{ }^\circ\text{C}$. Proveden je niz istraživanja kako bi se odredili izvori pogrešaka pri mjerenjima niskih brzina anemometrom s vrućom kuglicom te su rezultati tih istraživanja analizirani u zajedničkom radu autora [19], gdje su izvori pogrešaka kvantificirani i sažeti, a zatim su izvedene jednadžbe za procjenu apsolutne proširene nesigurnosti srednje brzine i standardne devijacije brzine.

$$\hat{U}(v) = 0.022 + 0.024 \cdot v \quad (1)$$

$$\hat{U}(v_{STD}) = 0.006 + 0.124 \cdot v_{STD} \quad (2)$$

Jednadžba (1) vrijedi za srednju brzinu veću od 0,07 m/s i manju od 0,6 m/s, dok je jednadžba (2) primjenjiva za standardnu devijaciju veću od 0,01 m/s i manju od 0,15 m/s. Vremensko razdoblje mjerenja u jednoj prostornoj točki iznosilo je 2 minute za mjerenje efektivne brzine na istrujnoj ploči i 10 minuta za spojeni mlaz. Za postavljanje anemometara horizontalno u zoni spojenog mlaza korištena su kolica s teleskopskim šipkama. Na dnu sjevernog zida, u blizini poda, ugrađena je odsisna rešetka.

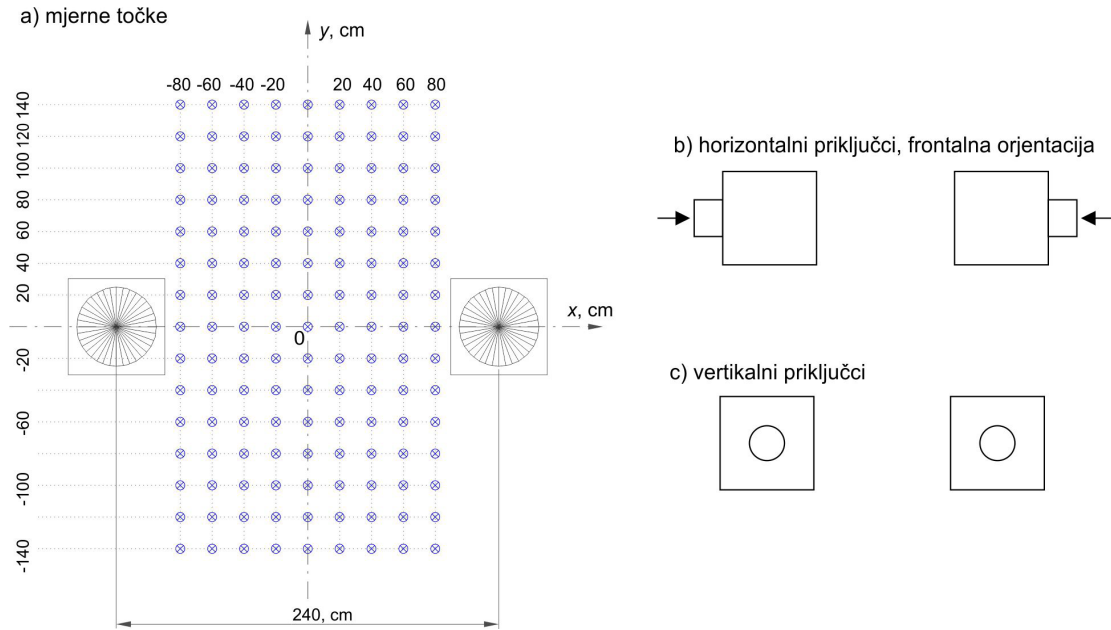
Mjerenja spojenog mlaza usmjerenog prema zoni boravka provedena su između dva susjedna difuzora, na horizontalnim ravninama na različitim udaljenostima od stropa. Mjerne točke prikazane su na Slici 4a. Korištene su dvije varijante mjerenja, mjerenje s difuzorima s kutijama s vertikalnim priključcima i mjerenje s difuzorima s kutijama s horizontalnim priključcima (slike 4b i 4c). U slučaju varijante kutija s horizontalnim priključcima, korištena je međusobna orijentacija priključaka jedan prema drugom, što je nazvano frontalnom orijentacijom prikazanom na slici 4b.

3. REZULTATI MJERENJA

3. EXPERIMENTAL RESULTS

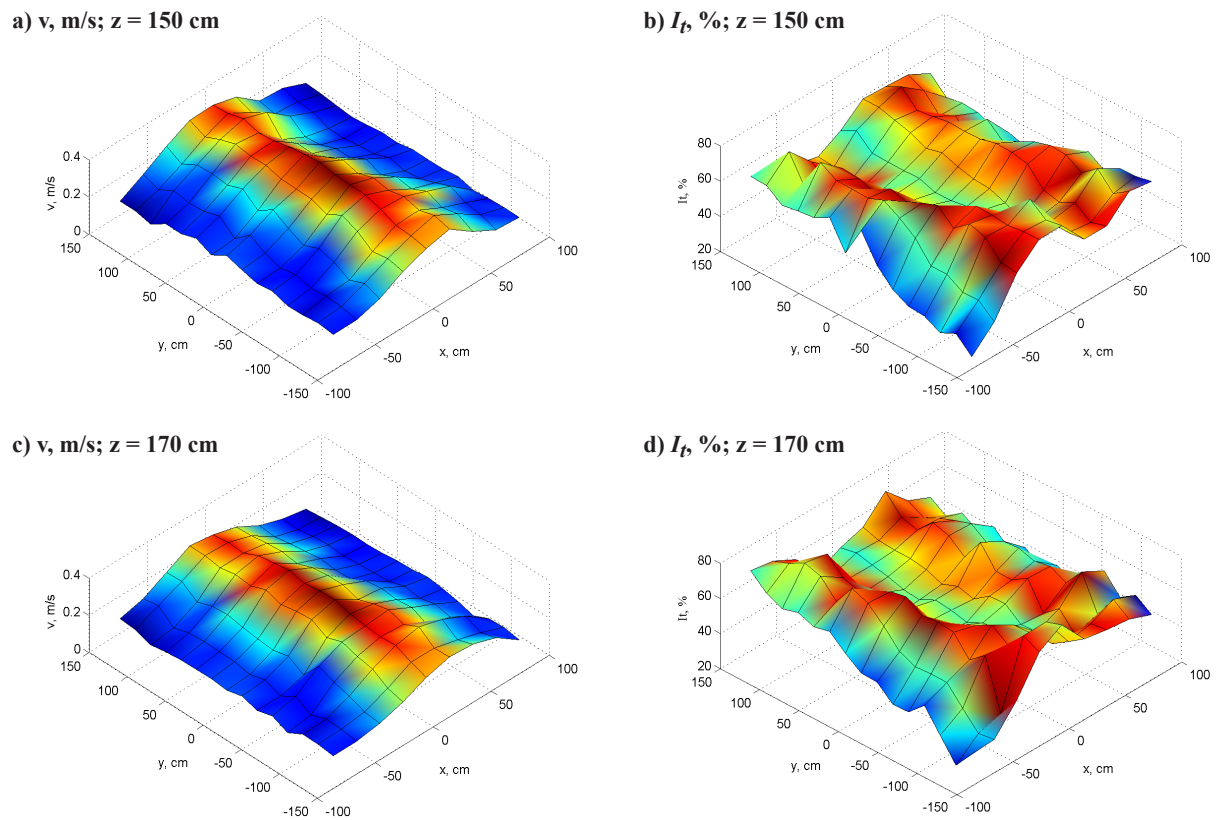
Mjerenja su provedena pri protoku zraka kroz stropne difuzore koji je u prosjeku iznosio $639,3 \text{ m}^3/\text{h}$ po difuzoru, a izmjerena temperatura zraka u prosjeku ja iznosila $20,3 \text{ }^\circ\text{C}$

Na slikama 5 i 6 prikazani su rezultati brzine i intenziteta turbulencije zraka u zoni spojenog mlaza na horizontalnim mjernim ravninama



Slika 4 a) Raspored mjernih točaka na horizontalnoj ravnini ispod stropnih difuzora, udaljenoj z , cm od stropa; b) Međusobni položaj difuzora u slučaju horizontalnih priključaka za dovod zraka, c) Međusobni položaj difuzora u slučaju vertikalnih priključaka za dovod zraka

Figure 4 a) Spatial distribution of measuring points on the horizontal plane below the ceiling diffusers, located z , cm from the ceiling; b) Relative position of diffusers in the case of horizontal air supply connections; c) Relative position of diffusers in the case of vertical air supply connections



Slika 5 Rezultati brzine i intenziteta turbulencije zraka u zoni spojenog mlaza na horizontalnim ravninama udaljenim z , cm od stropa kod difuzora s kutijama s vertikalnim priključkom

Figure 5 Results of air velocity and turbulence intensity in the merged jet zone on horizontal planes at a distance of z cm from the ceiling for diffusers with boxes with vertical inlets

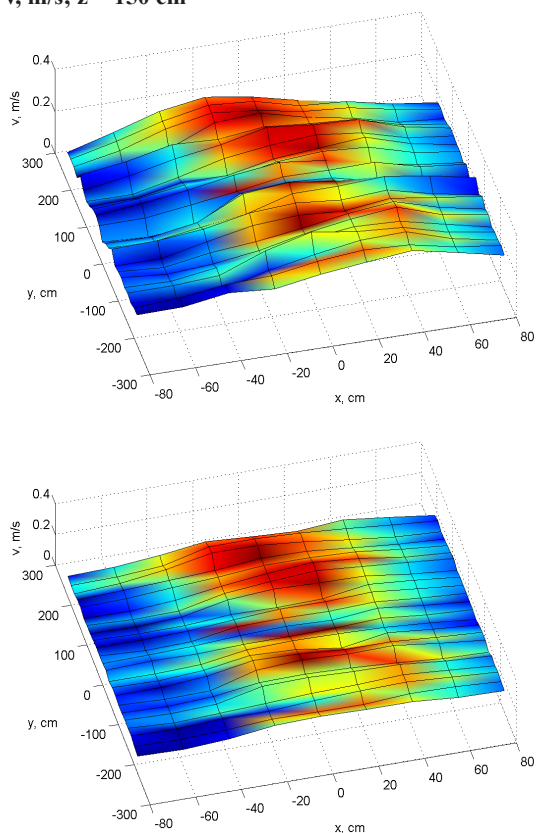
udaljenim $z = 150$ cm i $z = 170$ cm od stropa, za horizontalnu i vertikalnu orijentaciju priključka kutije. Na Slici 8 prikazane su raspodjele PD indeksa na ravninama $z = 150$ cm od stropa. Osjećaj propuha najčešći je uzrok prigovora na mikroklimatske uvjete u zatvorenim prostorijama te nastaje uslijed lokalnog konvektivskog hlađenja tijela uzrokovanog strujanjem zraka. Općeprihvaćeni indeks za procjenu vjerojatnosti pojave osjećaja propuha, PD, koji predstavlja predviđeni postotak nezadovoljnih ljudi u prostoriji uslijed osjećaja propuha i izračunava se prema jednadžbi

$$PD = (34 - \vartheta_a)(\bar{v} - 0,05)^{0,6223} (0,3696\bar{v} I_t + 3,143) \quad [\%] \quad (3)$$

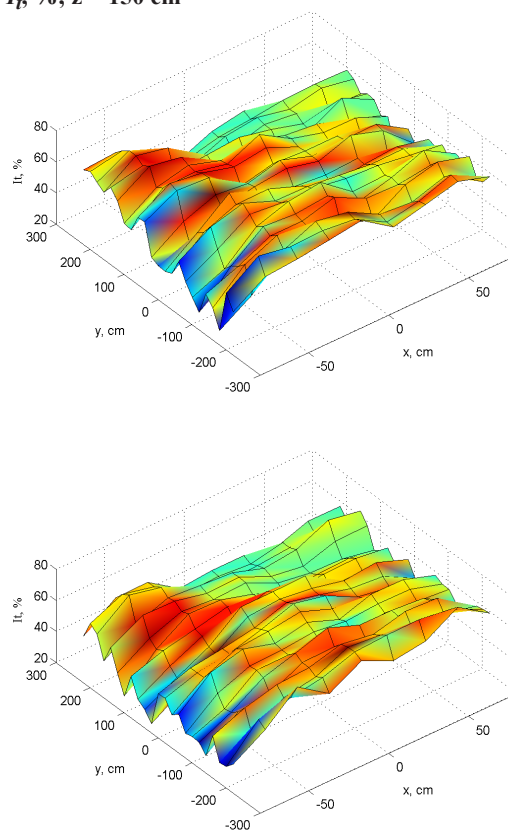
gdje su: ϑ_a - temperatura zraka °C, \bar{v} - srednja brzina zraka m/s, I_t - intenzitet turbulencije zraka [%]. Na slikama 5, 6 i 7 vidi se kako oblik razdiobe brzine i intenziteta turbulencije

mijenja ovisno o orijentaciji priključak, mijenja se položaj maksimalnih vrijednosti brzine i intenziteta turbulencije kao i PD indeksa. Također, može se primijetiti da se lokacije maksimalnih vrijednosti brzine i intenziteta turbulencije međusobno nikada ne poklapaju što je već utvrđeno mjerenjima u vertikalnoj ravnini kod spojenog mlaza u [1]. Međutim, lokacija maksimalne vrijednosti PD indeksa uvijek se nalazi na istoj lokaciji gdje i maksimum brzine strujanja što govori o dominantnom utjecaju brzine na osjećaj propuha prema jednadžbi (3), ali ne umanjuje značaj poznavanja razdiobe intenziteta turbulencije za određivanje PD indeksa. Očekivano se kod spojenog mlaza dobivenog vertikalnim priključcima na kutijama difuzora (Slika 5) pojavljuje približno simetrična razdioba brzine i intenziteta turbulencije na horizontalnim ravninama u odnosu na pravac S-J, dok se kod frontalne orijentacije pojavljuju izraženije asimetričnosti. Maksimalne zabilježene vrijednosti brzine strujanja na

a) v , m/s; $z = 150$ cm



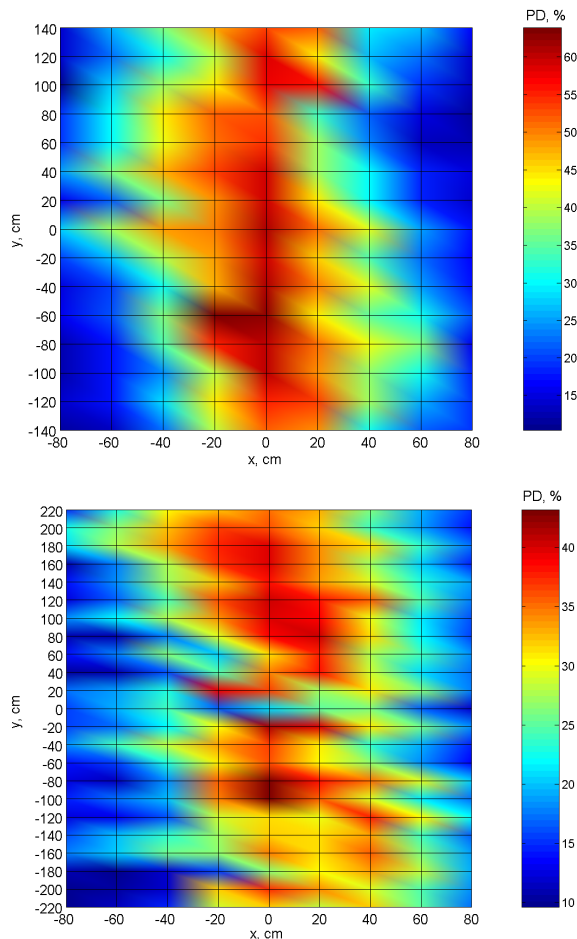
b) I_t , %; $z = 150$ cm



Slika 6 Rezultati brzine i intenziteta turbulencije zraka u zoni spojenog mlaza na horizontalnim ravninama udaljenim z , cm od stropa kod frontalne orijentacije horizontalnih priključaka

Figure 6 Results of air velocity and turbulence intensity in the merged jet zone on horizontal planes at a distance z , cm from the ceiling for the frontal orientation of horizontal inlets

ravninama $z = 150$ cm i $z = 170$ cm kod horizontalne orijentacije priključaka su $0,28$ m/s i $0,24$ m/s, dok su kod vertikalne orijentacije priključaka $0,39$ m/s i $0,35$ m/s.



Slika 7 Eksperimentalni rezultati PD indeksa u spojenom mlazu na ravnini $z = 150$ cm od stropa pri različitim orijentacijama priključaka za zrak

Figure 7 Experimental results of the PD index in the merged jet on the plane $z = 150$ cm from the ceiling at different orientations of the air inlets

Sa stanovišta osjećaja propuha ovo su bitno različite vrijednosti. Maksimalne zabilježene vrijednosti PD indeksa na ravninama $z = 150$ cm i $z = 170$ cm kod horizontalne orijentacije priključaka su 42% i 32% , dok su kod vertikalne orijentacije priključaka 62% i 52% . Sa stanovišta osjećaja propuha ovo su također bitno različite vrijednosti jer daju razliku od 20% nezadovoljnih. Može se zaključiti da asimetričnost radialnog mlaza koja nastaje zbog konstrukcije priključne kutije s horizontalnim priključkom za zrak uzrokuje bitno različite uvjete propuha u spojenom mlazu, odnosno u zoni gdje spojeni mlaz prodire u zonu boravka prostorije.

4. ZAKLJUČAK

4. CONCLUSION

Provedena su mjerenja brzine i intenziteta turbulencije zraka u ispitnoj prostoriji ventiliranoj stropnim vrtložnim difuzorima pri izotermnim uvjetima strujanja. Mjerenja su provedena u zoni spojenog mlaza koji nastaje interakcijom nasuprotnih mlazova iz susjednih stropnih difuzora, na horizontalnim ravninama lociranim na visini od stropa gdje spojeni mlaz prodire u zonu boravka. Cilj je bio ustanoviti razliku u postotku nezadovoljnih uslijed pojave propuha ocjenjenoj prema PD indeksu, kada su primijenjeni difuzori s vertikalnim priključkom za dovod zraka i kada su primijenjeni difuzori s horizontalnim priključkom za dovod zraka. Maksimalne zabilježene vrijednosti brzine strujanja na ravninama $z = 150$ cm i $z = 170$ cm od stropa kod horizontalne orijentacije priključaka su $0,28$ m/s i $0,24$ m/s, dok su kod vertikalne orijentacije priključaka $0,39$ m/s i $0,35$ m/s. Maksimalne zabilježene vrijednosti PD indeksa na ravninama $z = 150$ cm i $z = 170$ cm kod horizontalne orijentacije priključaka su 42% i 32% , dok su kod vertikalne orijentacije priključaka 62% i 52% . Sa stanovišta osjećaja propuha ovo su bitno različite vrijednosti jer daju razliku od 20% nezadovoljnih. Može se zaključiti da konstrukcija priključne kutije može značajno utjecati na toplinsku ugodnost u zoni boravka te dati bitno različite uvjete propuha u zoni gdje spojeni mlaz prodire u zonu boravka prostorije.

5. REFERENCE

5. REFERENCES

- [1.] Smoljan, Darko; Pupiće, Dario; Investigation of flow generated by the collision of two opposed ceiling-attached jets from radial vortex diffusers. Journal of building engineering, 88 (2024), 109198, 23, doi.org/10.1016/j.job.2024.109198.
- [2.] P. O. Witze, A study of impinging axisymmetric turbulent flows: the wall jet, the radial jet, and opposing free jets, Ph.D. Dissertation, University of California, Davis, 1974.
- [3.] T. Tanaka, E. Tanaka, Experimental study of a radial turbulent jet. Bull. J.S.M.E.,

- 19, 1976, 792-799, doi.org/10.1299/jsme1958.19.792.
- [4.] G. Heskestad, Hot-wire measurements in a radial turbulent jet, *J. Appl. Mech Trans ASME*, 33, 1966, 417–424, doi.org/10.1115/1.3625059.
- [5.] P.O. Witze, H.A. Dwyer, The turbulent radial jet. *J. Fluid Mech.* 75 (3), 1976, 401–417, doi.org/10.1017/S0022112076000293.
- [6.] G. Waschke, Über die Luftung mittels isothermer turbulenter radialer Deckenstrahlen, Ph.D. Dissertation, RWTH Aachen, 1974.
- [7.] M.I. Grititlyn, G.M. Pozin, Fundamentals of optimizing air distribution in ventilated spaces, *ASHRAE Trans.*, 99(1), 1993, 1128-1138.
- [8.] S.C. Hu, Airflow characteristics in the outlet region of a vortex room air diffuser, *Building and Environment*, 38(4), 2003, 553-561, doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00187-7.
- [9.] P. Bragança, K. Sadjavi, A. Meslem, L. Serres, Airflow characteristics and thermal comfort generated by a multi-cone ceiling diffuser with and without inserted lobes, *Building and Environment*, 108, 2016, 143-158, doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.029.
- [10.] P. Bragança, K. Sadjavi, A. Meslem, I. Nastase, Passive control strategy for mixing ventilation in heating mode using lobed inserts, *Energy and Buildings*, 133, 2016, 512-528, doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.023.
- [11.] P.V. Nielsen, T. Heby, B. Moller-Jensen, Air Distribution in a Room with Ceiling-Mounted Diffusers – Comparison with Wall-Mounted Diffuser, Vertical Ventilation, and Displacement Ventilation, *ASHRAE Transactions*, 112(2), 2006, 498-504.
- [12.] Mohammed A. Aziz, Ibrahim A.M. Gad, El Shahat F.A. Mohammed, Ramy H. Mohammed, Experimental and numerical study of influence of air ceiling diffusers on room air flow characteristics, *Energy and Buildings*, 55, 2012, 738-746, doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.027.
- [13.] BK. Tawackolian, E. Lichtner, M. Kriegel, Draught perception in intermittent ventilation at neutral room temperature, *Energy and Buildings*, 224, 2020, 110268, doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110268.
- [14.] M. Saad, M. A. William, A. A. Hassan, A. A. Hanafy, Influence of air ceiling diffusers in enclosed spaces: An experimental and numerical investigation, *Energy Reports*, 9(9), 2023, 59-71, doi.org/10.1016/j.egy.2023.05.253.
- [15.] D. Smoljan, I. Balen, Influence of a Plenum Box Design on Uniformity of the Radial Air Jet Issuing from a Vortex Diffuser, *Strojarstvo*, 52, 2010, 379–386, https://hrcak.srce.hr/clanak/96615.
- [16.] J. M. Villafruela, J. B. Sierra-Pallares, F. Castro, A. Álvaro, P. Santiago-Casado, Experimental and numerical study of the influence of the plenum box on the airflow pattern generated by a swirl air diffuser, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 99, 2018, 547-557, doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2018.08.021.
- [17.] EN ISO Standard 7726:2001, Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities, International Organization for Standardization, Geneva, 2001.
- [18.] EN 13182:2002, Ventilation for Instrumentation requirements for air measurements in ventilated spaces, Committee for Standardization, Brussels, 2002.
- [19.] Z. Popiolek, F.E. Jørgensen, A.K. Melikov, M.C.G. Silva, W. Kierat, Assessment of Uncertainty in Measurements with Low Velocity Thermal Anemometers, *International Journal of Ventilation*, 6, 2007, 113-128, doi.org/10.1080/14733315.2007.11683771.

AUTORI · AUTHORS

• **Darko Smoljan** - rođen je 1976. u Mostaru. Diplomirao je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu 2001. godine. Nakon studija se zapošljava u Klimaoprema d.d. iz Samobora te radi kao konstruktor i tehnolog u razvoju i proizvodnji opreme za ventilaciju i klimatizaciju. Od 2005. godine zaposlen je na Katedri za toplinsku i procesnu tehniku pri Zavodu za termodinamiku, toplinsku i procesnu tehniku Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Doktorirao je 2011. godine na temi "Razvoj matematičkog modela za ocjenu toplinske ugodnosti u spojenom mlazu". Područje djelovanja su sustavi grijanja, klimatizacije i ventilacije, cjevovodni sustavi te eksperimentalna mjerenja strujanja zraka u ventilaciji. Sudjelovao je u izradi brojnih projekata i energetske studije. Kao autor ili koautor, objavio je 13 znanstvenih radova.

Korespondencija · Correspondence

darko.smoljan@fsb.unizg.hr

• **Kristijan Iličić** - rođen je 1971. u Ljubuškom. Diplomirao je strojarstvo na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, gdje je 2012. g. i doktorirao na temu Parametri za detekciju i lociranje puknuća cijevi. Radno je iskustvo najprije stekao u proizvodnji kotlova i termoopreme u TKT-Toplota d.d. Nakon devet godina rada u tvorničkoj proizvodnji, prelazi u Vodoopskrbu i odvodnju d.o.o., Zagreb gdje je proveo proteklih dvadeset i dvije godine uz što je, osim stručnoga, vezan i njegov znanstveni rad. Autor je triju knjiga za visoke škole – *Matematičke osnove statistike, Mehanika i termodinamika diskretnih i kontinuiranih materijalnih sustava* i *Mehanika fluida*. Do sada je objavio dvadesetak znanstvenih i stručnih radova od kojih je veći dio prezentirao na domaćim i međunarodnim znanstvenim i stručnim skupovima.

Korespondencija · Correspondence

kristijan.ilicic@zgh.hr