

PRECIZNO REGULISANJE PROTOKA VAZDUHA

ACCURATE AIRFLOW REGULATION

**SAMO VENKO, ERIK PAVLOVIČ i ANDRAŽ MAČEK,
Hidria Inštitut Klima, Godovič, Slovenija**

VAV (Variable Air Volume – elektronski regulatori protoka) jesu uređaji koji sve više postaju standardna oprema kanalskih sistema u zgradama sa prisilnom ventilacijom. Ovi uređaji pružaju optimalnu količinu vazduha potrebnu u bilo kom trenutku. Hidria je dugi niz godina zastupljena na tržištu sa svojim okruglim i pravougaonim VAV uređajima, koji su prepoznatljivi i dobro prihvaćeni. Početkom prošle godine donesena je odluka o radu na novoj generaciji pravougaonih VAV uređaja, gde je glavni zahtev smanjenje dužine u odnosu na postojeći, ista dužina za sve veličine, kao i veća tačnost regulacije protoka kao što je i zakonom predviđeno. Prva odluka u razvoju pravougaonih VAV regulatora bila je izbor metoda merenja protoka vazduha. Nakon toga donesena je odluka o neophodnim ispitivanjima u laboratoriji, kako bi se definisao optimalni merni element – merna blenda za generisanje razlike pritisaka (protok vazduha kroz regulator protoka računa se iz razlike pritisaka). Zatim je sledio set merenja iz koga je proisteklo optimalno rastojanje između regulacione žaluzine i merne blende. U drugom krugu merenja su urađena na svim veličinama regulatora, kako bi se utvrdile potrebne karakteristike neophodne za katalog i izborni

VAV (Variable Air Volume) devices are becoming standard parts of ducts systems in buildings with forced ventilation. They offer a possibility to use optimal amount of air needed at any time. Hidria has been present on the market for many years with its round and rectangular VAV units, which are well accepted and recognized. At the beginning of the last year, a decision was made to develop a new generation of rectangular VAV devices with the following aims and requirements: to have more compact length, to have the same length for different nominal dimensions (width x height) at multiblade damper VAV unit and to have accuracy which is higher than that proscribed by legislation and regulations. The first step was to select the airflow measuring principle in the VAV device. Then a decision was made to conduct necessary laboratory research in order to define the optimal pick-up element for taking pressure difference (airflow can be calculated according to pressure difference). A series of measurements followed and resulted in the optimal distance between the damper blades and pick-up element. Hidria needed to perform an additional series of measurements (total pressure drop, noise) necessary for its catalogue. Hidria offers one of the

program (totalni pad pritiska, buka).
Hidria danas tržištu nudi jedan od najprecizniji pravougaonih VAV regulatora, kao rezultat timskog rada stručnjaka Instituta Hidria Klima.

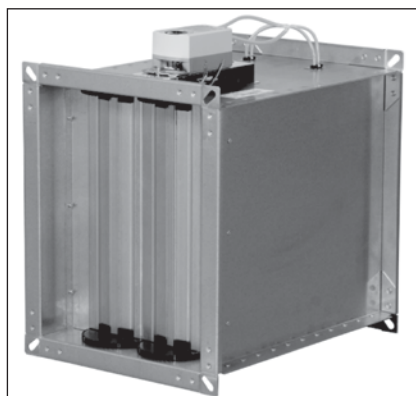
most accurate rectangular VAV devices on the market today. This is a result of many studies, measurements and teamwork of experts from the Institute Hidria Klima.

Ključne reči: VAV; CAV; varijabilni protok vazduha; konstantan protok vazduha; regulacija protoka vazduha; metoda prigušenja merne blende; metoda zaustavnog pritiska

Key words: VAV; CAV; variable air volume; constant air volume; airflow regulation; airflow measurement; sharp edge orifice; measuring traverse

Nomenklatura

VAV	Variable Air Volume (elektronski regulator protoka)
CAV	Constant Air Volume (konstantni regulator protoka)
CNS	centralni nadzorni sistem
\dot{V} [m ³ /h]	protok vazduha
\dot{V}_{\min} [m ³ /h]	minimalni protok vazduha
\dot{V}_{\max} [m ³ /h]	maksimalni protok vazduha
\dot{V}_{SA} [m ³ /h]	protok ubačenog vazduha
\dot{V}_{EA} [m ³ /h]	protok odsisnog vazduha
Δp [Pa]	razlika pritisaka
ΔP_{PE} [W]	gubitak potencijalne snage
ΔP_{PELEC} [W]	povećanje potrošnje električne energije
η [%]	stepen korisnosti ventilatora
B [mm]	širina pravougaonog elektronskog regulatora protoka
H [mm]	visina pravougaonog elektronskog regulatora protoka.



Slika 1. Pravougaoni elektronski regulator protoka sa regulacionom žaluzinom Hidria ERP-3N

1. Uvod

VAV jedinice (elektronski regulator protoka = ERP) omogućavaju tačno dovođenje ili odvođenje vazduha iz bora-višnjih zona. VAV uređaji u svakom trenutku mere trenutni protok i stalno ga upoređuju sa zahtevanim (potrebnim) protokom.

VAV uređaj sa zatvaranjem regulacione žaluzine ili klapne (povećava pad totalnog pritiska) smanjuje protok ako je trenutni protok veći nego što je potrebno, i obratno: ako je trenutni protok manji nego što je potrebno, VAV regulator otvara regulacionu žaluzinu ili klapnu i povećava protok kroz regulator. Elek-

tronski regulatori omogućavaju slanje povratne informacije o trenutnom protoku na centralni nadzorni sistem.

Regulator ERP može se koristiti za razne aplikacije, ventilacije i klimatizacije. Najpoznatija primena regulacije je konstantan protok engleske oznake CAV (Constant Air Volume). Ova metoda je najčešće primenjena u slučajevima gde ventilator ili klima-komora u zgradi pokriva više sektora ventilacije. U kanalima sa više ventilacijskih sektora javlja se često i brza promena statičkog pritiska. Povišen statički pritisak prouzrokuje i povećanje protoka i obratno: smanjen statički pritisak rezultira smanjenim protokom. To podrazumeva da se dovedena ili odvedena količina vazduha stalno menja. Iz tog razloga se preporučuje korišćenje ERP, koji, bez obzira na statički pritisak vazduha, obezbeđuje konstantan protok vazduha za svaki sektor.

2. Pregled upotrebe uređaja ERP

Priprema ubačenog vazduha iz dana u dan je sve skuplja, tako da se ne smemo rasipnički ponašati. To je jedan od glavnih razloga što se ne preporučuje stalno obezbeđivanje istog protoka vazduha (24 sata dnevno). Regulatori ERP omogućavaju dovođenje veće količine vazduha u trenutku kada su u sektoru prisutni ljudi za pokrivanje rashladnih i grejnih opterećenja, kao i obezbeđenje higijenskog minimuma kvaliteta vazduha itd. Ali isto tako omogućava regulisanje tzv. smanjene količine vazduha u svakom sektoru, a posebno u sektoru gde nisu prisutni ljudi (gde nema potrebe za pokrivanje grejnog i rashladnog opterećenja). Smanjena količina vazduha je obično polovina količine vazduha. Regulatori ERP povećavaju ili smanjuju protok vazduha na osnovu signala iz CNS-a ili drugih signalnih uređaja.

Ubačeni vazduh se u mnogo primera takođe upotrebljava za pokrivanje grejnih i rashladnih opterećenja. Sobni temperaturni regulator šalje signal na regulator ERP zahtevajući trenutno potrebnu količinu zagrejanog ili ohlađenog vazduha u području od \dot{V}_{\min} do \dot{V}_{\max} . Regulator ERP na osnovu upravljačkog signala podešava protok vazduha na potrebnu količinu, koja osigurava pokrivanje grejnog – rashladnog opterećenja.

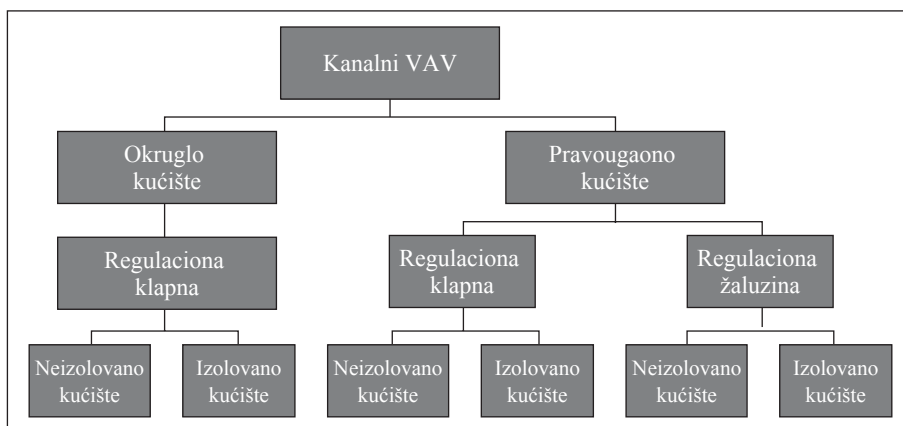
Sledeća česta upotreba uređaja ERP je ostvarivanje natpritiska ili potpritiska u određenom području ili sektoru. Natpritisk ili potpritisk ostvaruje se različitim količinama ubačenog \dot{V}_{SA} ili \dot{V}_{EA} odsisanog vazduha \dot{V}_{EA} , koju kontrolišemo regulatorom ERP:

- natpritisk: $\dot{V}_{SA} > \dot{V}_{EA}$
- potpritisk: $\dot{V}_{SA} < \dot{V}_{EA}$

3. Kanalni VAV uređaji

Kanalni ERP uređaji dele se uglavnom po obliku kućišta: na okrugle i pravougaone. Svi okrugli ERP uređaji imaju regulacionu klapnu, dok kućišta mogu biti neizolovana i izolovana. Pravougaoni ERP uređaji u osnovi se razlikuju po prigušnom elementu, tako da imamo dva tipa sa regulacionom klapnom i regulacionom žaluzinom. Obe izvedbe mogu biti sa neizolovanim i izolovanim kućištem. Obe izvedbe pravougaonih regulatora imaju svoje prednosti i nedostatke, koje se ogledaju u ukupnom padu pritiska, buci i dužini kućišta.

Kod Hidriinog ERP-3N (VAV sa regulacionom žaluzinom) dužina kućišta je nezavisna dimenzija od (širina x visina) i ima jednu dužinu od 450 mm, za sve veličine.



Slika 2. Podela kanalnih VAV uređaja

Tabela 1. Uporedne karakteristika pravougaonih regulatora ERP sa klapnom i regulacionom žaluzinom

	Dužina kućišta	Pad totalnog pritiska		Emisije buke	
		Potpuno otvoren regulacioni element	50% otvorenosti regulacionog elementa	Potpuno otvoren regulacioni element	50% otvorenosti regulacionog elementa
Regulaciona klapna	☹	☺	☺	☺	☹
Regulaciona žaluzina	☺	☹	☺	☹	☺

Kada je u pitanju ERP-2N (VAV sa regulacionom klapnom) dužina kućišta je zavisna dimenzija od (širina x visina) tako da je dužina 234 mm za (dimenzije: $B \times H = 100 \times 100$), a za (dimenziju: $B \times H = 1200 \times 300$) dužina je 584 mm.

Kod ERP-2N ukupan pad totalnog pritiska potpuno otvorene regulacione klapne je manji u odnosu na ERP-3N, zato što regulacione žaluzine u otvorenom položaju stvaraju veći otpor. Pri stanju 50% otvorenosti regulacionog elementa, totalni pad pritiska je uporediv (sličan).

Buka u obe izvedbe je približno jednaka u stanju potpune otvorenosti regulišućeg elementa. Sa 50% otvorenosti regulišućeg elementa buka kod ERP-3N je manja nego kod ERP-2N.

4. Princip merenja protoka

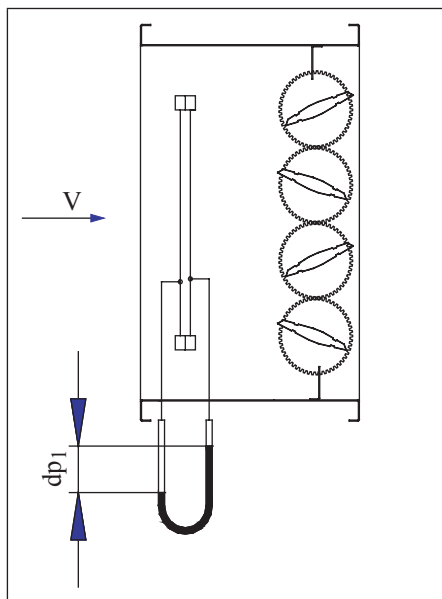
Većina VAV jedinica na tržištu koristi dva indirektna načina merenja protoka:

- metodu prigušenja merne blende, ili
- metodu zaustavnog pritiska.

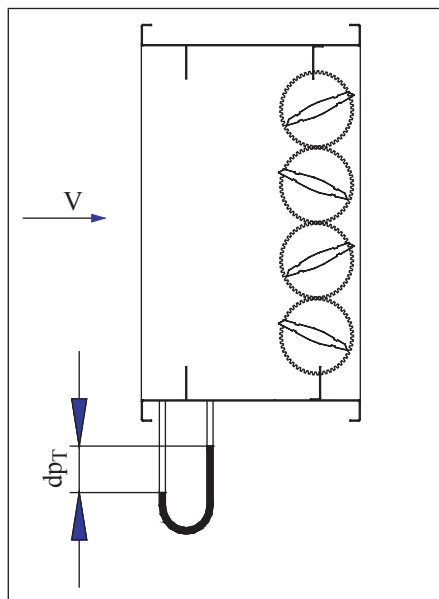
Protok vazduha može se izračunati pomoću sledeće definicije iz razlike pritiska vazduha koji se ostvaruje prigušenjem merne blende dp_T ili iz generisane razlike na mernom elementu između zaustavnog pritiska i statičkog pritiska dp_1 :

$$\dot{V} = c \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

Svaki merni postupak, karakteristika senzora i položaj senzora u kućištu regulatora protoka ostvaruje dinamičan odziv, koji će biti okarakterisan kao konstanta c .



Slika 3A. Metoda prigušenja merne blende



Slika 3B. Metoda zaustavnog pritiska blende

Konstanta c mora biti izabrana u skladu sa karakteristikama (rezolucija, merno područje) diferencijalnog manometra. Pri analizama R&D za nove regulatore Hidria ERP-2N i Hidria ERP-3N – znamo da je najvažniji faktor za izbor mernih procedura najmanja stabilna minimalna razlika pritiska, koja se meri diferencijalnim senzorom pritiska. Najniža razlika pritiska je zavisna od konstante c i minimalne brzine vazduha sa kojom se može regulisati protok vazduha.

Analiza izvršenih merenja pokazala nam je da upotreba principa merenja prigušenjem blende pruža dobar potencijal za stvaranje velike razlike pritiska čak i pri malim brzinama. Ali taj merni princip ima dva negativna svojstva:

- razlika pritiska je dovoljno stabilna samo u slučaju kada je ispred merne blende dovoljna dužina ravnog kanala;
- drugi veliki nedostatak je gubitak potencijalne energije protoka vazduha koju ostvaruje razlika pritiska.

U primeru je dat protok vazduha $\dot{V} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$, razlika pritiska $\Delta p = 100 \text{ Pa}$ gubitak potencialne energije:

$$\Delta P_{Pe} = \dot{V} \cdot \Delta p$$

$$\Delta P_{Pe} = 0,278 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 100 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{Pe} = 27,8 \text{ W}$$

U primeru ako je stepen iskorišćenja ventilatora koji potiskuje vazduh kroz kanalsku mrežu $\eta = 0,45$, znači da je za gubitak potencijalne energije potrebno sledeće povećanje električne energije ventilatora:

$$\Delta P_{ELEC} = \frac{\Delta P_{PE}}{\eta}$$

$$\Delta P_{ELEC} = \frac{27,8 \text{ W}}{0,45}$$

$$\Delta P_{PELEC} = 61,7 \text{ W}$$

Rezultat govori sam za sebe: za merenje protoka vazduha na principu prigušenja blendom potrebno je dodatno obezbediti 61,7 W električne energije.

Gornji proračun je glavni razlog zbog koga smo se odlučili u Hidria Institutu Klima da vršimo merenje protoka vazduha po metodi zaustavnog pritiska.

5. Aktivnosti R&D u razvoju preciznog profila metodom merenja zaustavnog pritiska

Merni element za merenje protoka na temelju metode zaustavnog pritiska interno smo nazvali merna blenda. U razvoju merne blende za ERP-2N i ERP-3N postavljeni su sledeći zahtevi:

- odstupanje konstante c za sve veličine od $B \times H = 200 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ do $B \times H = 1200 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$ mora biti u granicama $\pm 5\%$,
- preciznost rada ERP-2N i ERP-3N i pri ugradnji koja se ne preporučuje: u neposrednoj blizini kolena i račvi.
- manji pad statičkog pritiska,
- generisanje visoke i stabilne razlike pritisaka i pri manjim brzinama vazduha,
- precizno regulisanje protoka vazduha u rasponu prosečnih brzina od 2 m/s do 10 m/s.

Naš cilj je da se iza merne blende stvara najmanje razlika pritisaka 2 Pa pri brzini od 2 m/s s obzirom na raspon merenja diferencijalnog pritiska senzora jednog od naših dobavljača. Zahtevi za mernu blendu su bili: da bude urađena od profila sa rubovima, kako bi bila jednostavna i precizna montaža unutar kućišta regulatora, jer loše postavljena blenda utiče na preciznost merenja protoka kao i tačnost u radu. Merna blenda je izložena velikim silama koje su posledica razlike pritisaka. Kao rezultat ovih zahteva ugrađen je profil koji nema nikakvih deformacija pri brzinama od 10 m/s.

Nakon definisanja zahteva, napravili smo veliki broj ispitivanja: sa različitim profilima i različitim veličinama regulatora protoka, došli smo do podataka o karakteristikama različitih oblika i veličinama mernih blendi. Na temelju toga iskustva razvili smo u Hidria Institut Klima poseban dizajn profila merne blende. Merna blenda sa ovim profilom obezbeđuje stabilnu razliku pritisaka, koja i pri brzinama od 2 m/s nije mnogo veća od 2 Pa. Ovaj tip merne blende koji je ugrađen u kućište ERP 2N i ERP-3N uveliko smanjuje totalni pad pritiska, tako da je omogućena upotreba principa zaustavnog pritiska.

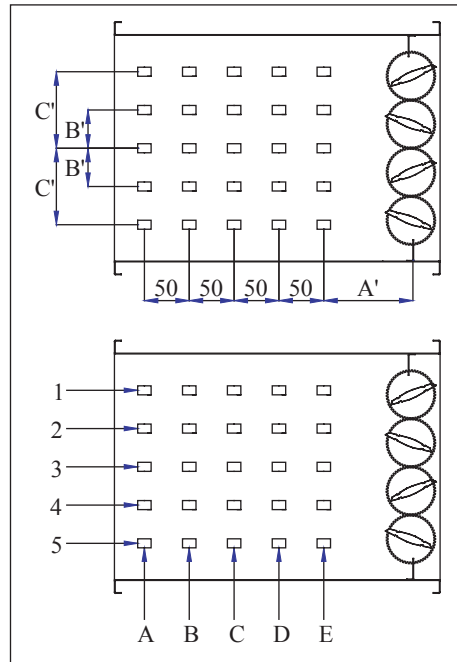
Sledeći izazov je bio kako odrediti optimalni broj rupa i njihovu raspodelu po dužini profila: da li koristiti konstantnu udaljenost između rupa, ili napraviti funkcionalnu raspodelu po dužini profila. Broj rupa i njihov raspored treba da osiguraju uprosečenje pritiska unutar profila, a istovremeno mora se omogućiti tačno merenje i kada je regulator u neposrednoj blizini kolena ili račve. Na temelju istraživanja odlučili smo se za 6 rupa po dužini profila sa funkcijskim rasporedom.

6. Aktivnosti R&D za pravougaoni elektronski regulator protoka sa regulacionom žaluzinom Hidria ERP-3N

Regulaciona žaluzina kod ERP-3N je sastavljena od protivsmernih lama. Zakretanje lopatica ostvaruje se pomoću zupčanika koji su takođe i ležajevi za rotaciju lopatica. Dimenzije ERP-3N su od $B \times H = 200 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ do $B \times H = 1200 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$. Pored svih osobina merne blende, regulatora, postavljen je i zahtev da svi regulatori budu iste dužine. Bilo je potrebno pronaći optimalnu udaljenost između regulacione žaluzine i merne blende. Da bi se osigurala tačnost merenja protoka, bilo je potrebno naći odgovarajući broj mernih elemenata i odrediti njihov položaj u kućištu regulatora, imajući u vidu datu visinu ERP-3N.

Sva tri parametra (udaljenost od lamela žaluzine, broj i raspored mernih otvora, zavisno od visine) imaju značajan uticaj na tačnost merenja protoka i tačnost VAV regulatora. Očekivali smo da bi bilo idealno rešenje veoma dugo kućište sa velikom razdaljinom između merne blende i žaluzine, kako rotirajuća lamela ne bi imala uticaja na preciznost. Međutim, merenja i njihova analiza su pokazali da smo pogrešili.

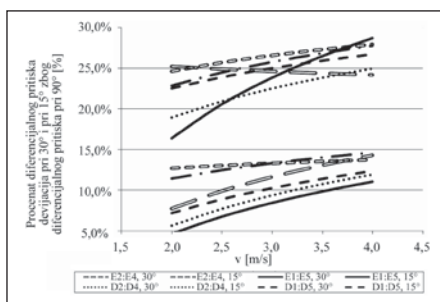
Uradili smo uzorak dimenzija $B \times H = 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ sa više pozicija za različite udaljenosti između merne blende i žaluzne, tako smo lako sa obavljenim me-



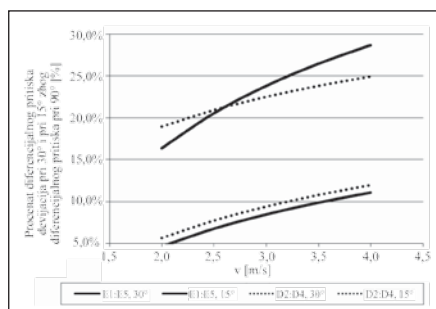
Slika 4a. Shema ERP-3N/300x300 sa označenim razdaljinama A', B' i C'



Slika 4b. Uzorak ERP-3N/500x300 sa različitim pozicijama za postavljanje mernih blendi



Slika 5. Analiza merenja za ERP-3N/300x300 merenje sa postavljanjem mernih blendi na različitim pozicijama



Slika 6. Analiza merenja za ERP-3N/300x300 sa postavljenom mernom blendom na pozicijama D2:D4 i E1:E5

renjem mogli proučavati uticaj rotacije žaluzine na preciznost merenja pri različitim udaljenjima između žaluzine i merne blende. Udaljenost smo menjali u koracima od 50 mm od udaljenosti A' do $A' + 200$ mm sa rasporedom blende u pet vrsta.

Prva vrsta raspodele mernih otvora je u sredini visine (merenje protoka vazduha sa samo jednom mernom blendom). Prvi par pozicija rasporeda mernih blendi je simetričan na udaljenosti B' , udaljenjem od centra (merenje protoka vazduha sa dve merne blende) a drugi par za udaljenost C' od centra. Dimenzija A' je konstantna i jednaka za sve veličine ERP-3N. Dimenzija B' i C' su funkcionalno zavisne od visine ERP-3N.

Razlika pritiska, koja se ostvaruje na mernoj blendi, merena je u rasponu brzina od 2 m/s do 10 m/s sa korakom brzine od 1 m/s. Uradili smo seriju merenja sa uglom lamele žaluzine 90° (90° – potpuno otvorene žaluzine, 0° – potpuno zatvorene žaluzine), kao i pri uglu od 30° i 15° . Diferencijalni pritisak, koji stvara merni otvor, meren je u rasponu od 2 m/s do 10 m/s za korake od 1 m/s. Prikazujemo deo merenja sa različitim uglovima lamela žaluzine 90° (90° – potpuno otvorene žaluzine, 0° – potpuno zatvorene žaluzine) kao i položaj od 30° i 15° .

Imajući u vidu naša predviđanja, rezultati su nas veoma iznenadili. Najmanji uticaj na razliku pritiska generisan je na mernoj blendi pri uglu lamele žaluzine od 30° na razdaljini A' i pri postavljanju dve paralelne blende na rastojanju C' iz sredine visine ERP-3N (oznaka E1:E5). Odstupanje razlike pritiska s obzirom na potpuno otvorenu žaluzinu bilo je 4,6 % na 2 m/s i 11,1 % na 4 m/s. Drugi najbolji rezultat na 30° je bio na poziciji D2:D4 (razdaljina $A' + 50$ mm između blende i žaluzine, razdaljina B' od centra visine) korišćenjem dve paralelno postavljene blende.

Odstupanje pritiska s obzirom na potpunu otvorenost žaluzine je 5,6% na 2 m/s i 11,9 % na 4 m/s. Analiza ostalih merenja je pokazala slabije rezultate, iznenađujuće čak i pri većim udaljenijima, kao što je, na primer, na $A' + 100$ mm.

Rezultati položaja D2:D4 i E1:E5 nisu za poređenje na 15° kao što su bili na 30° . Odstupanje razlike pritiska, u poređenju sa 90° je isto za obe pozicije na 2,5 m/s i iznosi 21%. Međutim, u položaju E1:E5, odstupanje razlike pritiska se povećava brže nego na D2:D4. Odstupanje razlike pritiska na brzini od 4 m/s (15°) u E1:E5 iznosi 29%, a na poziciji D2:D4 iznosi 25%.

Nakon analize rezultata merenja, odlučili smo se za poziciju D2:D4. Ova pozicija osigurava veću tačnost u gotovo potpuno zatvorenom položaju klapne, nego pozicija E1:E5.

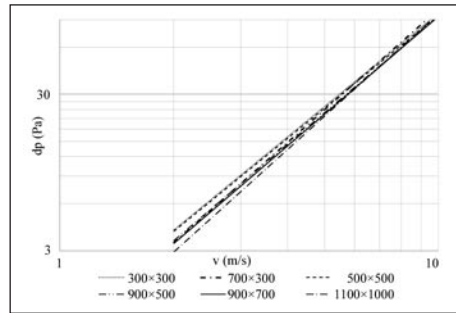
Položaj D2:D4 na udaljenosti od dve paralelne merne blende na rastojanju $A' + 50$ mm od žaluzine i funkcij-sku promenu dimenzije C' s obzirom na visinu kućišta ERP-3N izabrana je za sve veličine ERP-3N.

Nakon toga nastavili smo našu analizu merenja blende i pozicija za različite veličine ERP-3N: $B \times H = 700$ mm x 300 mm, 500 mm x 500 mm, 900 mm x 500 mm, 900 mm x 900 mm i 1100 mm x 1000 mm. Rezultati pokazuju da je razlika pritiska generisana (ostvarena) na mernoj blendi vrlo slična i nezavisna od dimenzija B i H .

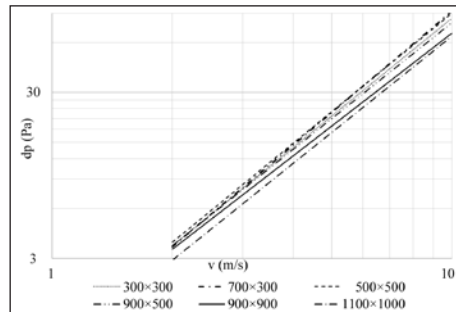
Na sl. 7 takođe se vidi da su karakteristike uporedne i da se u većini poklapaju, što znači da je koeficijent C za sve veličine približno isti.

Gotovo slični rezultati su na 30° , s tom razlikom što je malo veće odstupanje među krivama koje predstavljaju različite veličine, nego pri uglu od 90° .

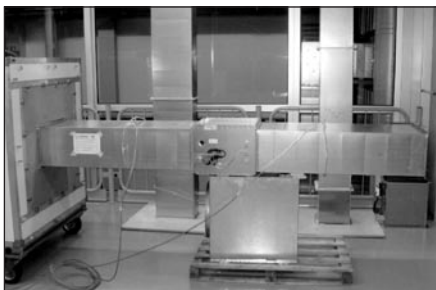
Analiza tih rezultati je pokazala da je odluka da se usvoji položaj D2: D4 za sve veličine dobra. Rezultati su takođe pokazali da smo postigli sve glavne ciljeve koje smo postavili, prilikom razvoja pravougaonog VAV regulatora.



Slika 7. Upoređivanje karakteristika merne blende za različite veličine ERP-3N pod uglom od 90°



Slika 8. Upoređivanje karakteristika merne blende za različite veličine ERP-3N pod uglom od 30°



Slika 9a (levo) i slika 9b (desno). Merenje karakteristike na mernom mestu izvršeno je u skladu sa Standardom ISO 5801

Na merenjima R&D sa kojima smo izabrali mernu blendu kao i mesto postavljanja dve paralelne blende, nastavili smo sa merenjima na svim veličinama za koje imamo izmerene akustične karakteristike, pad pritiska kao i parametre merne blende.

9. Zaključci

Novi elektronski regulatori protoka ERP-3N su među najpreciznijim i najkompaktnijim elektronskim regulatorima protoka na tržištu. Oni su rezultat mnogih aktivnosti R&D u istraživanju i razvoju u Institutu Klima Hidria u poslednjih godinu i po.

Aktivnosti R&D su sledile korak po korak privremene analiza rezultata. Pre bilo kakve odluke imali smo dva puta podržana analizama i rezultatima merenja, tako da smo se na temelju činjenica odlučili za najbolje rešenje. Iskustvo stečeno u razvoju ERP-3N primenili smo na novi pravougaoni regulator protoka sa jednom klapnom ERP-2N i okrugli regulator ERP-1N. Hidria ERP-3N je na tržištu od početka 2009, a Hidria ERP-2N od jula 2009. Novi Hidria ERP-1N biće dostupan u prvoj polovini 2010.

kgh