

Avtorji:
 mag. Nikola Holeček
 dr. Brane Širok
 dr. Marko Hočevar
 Marjan Semprimožnik

Eksperimentalna raziskava aerodinamičnega hrupa, ki ga povzroča kondenzator sušilnega stroja

Znanstveni članek, ki ga objavljamo v nadaljevanju, je nastal kot rezultat raziskav, opravljenih v Akustičnem laboratoriju v Gorenju. Članek je poslan v objavo v priznano mednarodno strokovno revijo s področja akustike International Journal of Sound of Vibration. Del teh raziskav je bil že predstavljen na 11. svetovnem kongresu akustike, ki je potekal letos julija v St. Petersburgu. Pri meritvah so poleg mag. Holečka in g. Semprimožnika sodelovala še dr. Brane Širok in dr. Marko Hočevar s Fakultete za strojništvo v Ljubljani.

Povzetek

V članku je prikazana raziskava aerodinamičnih izvorov hrupa v kondenzatorju sušilnega stroja. Obdelali smo dve različni izvedbi kondenzatorjev, ki pa imata enake zunanje dimenzije. Obe verziji se razlikujeta v obliki pretočnih kanalov v smeri sekundarnega tokokroga. Da smo lahko izvedli to raziskavo, smo postavili merilno postajo za analizo aerodinamičnih izvorov hrupa v smeri sekundarnega toka. Vse meritve smo izvedli v gluhi komori. Simulirali smo primerno hitrostno polje, istočasno pa najbolj kolikor se je dalo izločili hrup vgrajenega ventilatorja. Analizirali smo integralne in lokalne aerodinamične in akustične karakteristike kondenzatorjev. Izmerjeno polje intenzivnosti zvoka in spektra zvočnega tlaka pokaže bistvene razlike med obema primeroma. Zvočna moč skozi izhodno ploskev sekundarnega tokokroga se razlikuje za 30 dB. Meritve lokalnih aerodinamičnih karakteristik sestavljajo/vključujejo meritve hitrostnih polj z anemometrom na vročo žico pri izstopni ploskvi kondenzatorja. Prediskutirali smo tudi možnost ocene močnostnega spektra že med konstruiranjem/določanjem energijske lastnosti kondenzatorja.

Abstract

The research of aerodynamic sources of noise induced by the drying machine condenser is treated in this article. Two different condenser versions of identical external geometry were treated. Both versions differ in the form of the flow channel in the direction of the secondary flow. To carry out this research, we set up the measurement station for the analysis of aerodynamic noise sources in the direction of secondary flow. All measurements were taken in the anechoic chamber. The adequate velocity field of the air flow was simulated, while eliminating the noise of the built-in fan in the greatest possible extent. The integral and local aerodynamic and acoustic characteristics of condensers were analyzed. The measured field of sound intensity and sound pressure spectra show essential differences between both cases. The sound power through the output surface of secondary flow differs by 30 dB. The measurement of local aerodynamic characteristics comprises the measurement of velocity fields with the hot wire anemometer at the condensers output plane. The possibility of the power spectra estimation during the design of energetic properties of the condenser is discussed.

1. Uvod

Zaželeno je, da se že v samem procesu konstruiranja sušilnega stroja, izbere učinkovit tip kondenzatorja. Predstavljamo metodo za oceno ravnih zvočne moči in močnostnega spektra, ki temelji na meritvah, ki smo jih izvajali, da bi zmanjšali porabo energije sušilnega stroja.

Poraba energije in emisija hrupa sta najpomembnejši funkcionalni karakteristiki sušilnega stroja za gospodinjstvo, na osnovi katerih se kupci/potrošniki odločajo za nakup

Poraba energije in emisija hrupa sta najpomembnejši funkcionalni karakteristiki sušilnega stroja za gospodinjstvo, na osnovi katerih se kupci/potrošniki odločajo za nakup.¹ Kondenzator je ena od važnejših komponent sušilnika perila, z znatnim vplivom na njegove energijske karakteristike. Med konstruiranjem sušilnika perila je največ pozornosti usmerjene na energijsko učinkovitost rešitve kanalov primarnega in sekundarnega tokokroga ter pravilni izbiri ventilatorjev in kondenzatorja. Primarni tokokrog je tokokrog zraka skozi bobna za perilo in kondenzatorja, sekundarni tokokrog pa hladi kondenzator in omogoča proces kondenzacije. Za določanje karakteristik prenosa toplote kondenzatorja je ugodno meriti trenutno lokalno hitrost, s ciljem doseganja učinkovite kondenzacije tekom celotnega procesa sušenja. Fluktuacije trenutne lokalne hitrosti bi lahko uporabili tudi kot približno merilo akustične sprejemljivosti kondenzatorja v procesu razvoja.

Meritve so pokazale, da je razlika med posameznimi tipi kondenzatorjev, vgrajenih v stroj, presegala v zvočni moči 5 dB (A), kar je povzročilo tipične razlike v uvrščanju sušilnih strojev in bo potrebno upoštevati pri nadaljnjem razvoju aparata. Raven hrupa je odvisna od geometrije kanalov in aerodinamičnih karakteristik pretoka zraka v pretočnih kanalih kondenzatorja. Proizvajalci kondenzatorjev nimajo nobenih zanesljivih karakteristik glede njihovih zvočnih lastnosti. Najbolj izrazit izvor hrupa kondenzatorja je tok zraka na izstopni ploskvi sekundarnega tokokroga, ki tu izhaja direktno v okolico.

Za ocenitev zvočne energije, oddane v oddaljeno polje, ki nastaja ob turbulentnem gibanju, potrebujemo podatek o srednjih vrednosti določenih spremenljivk po Lighthillovi teoriji. Lighthillova teorija temelji na akustični analogiji, pri čemer so Navier-Stokesove enačbe preoblikovane tako, da tvorijo nehomogeno valovno enačbo za gostoto toka. Funkcija sile na desni strani predstavlja distribucijo akustičnih virov v ambientalnem toku, ki miruje, in s tem nadomesti celoten tok. V Lighthillovi teoriji $\partial^2 T_{ij} / \partial x_i \partial x_j$ predstavlja moč akustičnih virov na prostorninsko enoto, in T_{ij} predstavlja Lighthillov trenutni akustični napetostni tenzor. Osrednja posebnost Lighthillove teorije je ocena enačbe četrtega reda dvotočkovno prostorsko-retardiranega kovariantnega časa $\partial^2 T_{ij} / \partial t^2$ ter njene distribucije, preko celotnega danega tokovnega področja. Akustična moč emitirana do oddaljenega polja se dobi z integracijo te prostorsko-retardirane časovne kovariance po vsem volumnu toka.

Pogosto je umestno aproksimirati določene tipe turbulentnega toka s homogeno izotropno turbulenco, saj izotropna turbulenca nima prednostne smeri in zahteva minimalno število spremenljivk za opis njenih karakteristik.² Ocena emitiranega zvoka iz izotropne turbulence je pomemben korak pri uporabi Lighthillove teorije.

Za celotno akustično moč v oddaljenem polju \bar{p} , je Proudman odkril³, da je

$$\bar{p} = \alpha \rho \frac{u^5}{c^5} \varepsilon. \quad (1)$$

V enačbi 1 je $u^2 = \frac{2}{3} K$, kjer je K kinetična energija turbulence, c hitrost zvoka, ρ pa gostota v oddaljenem polju, ε je hitrost disipacije izotropne turbulence; α pa domnevno univerzalna konstanta sorazmerja - Proudmanova konstanta.

Izmerjen spekter moči zvoka se bo primerjal z rezultati Rubinsteinove in Zhoujeve hipoteze prenosa časovnih korelacij (sweeping hypothesis).^{4,5} Za frekvenčni spekter, ki se širi z izotropno turbulenco je ugotovljeno,

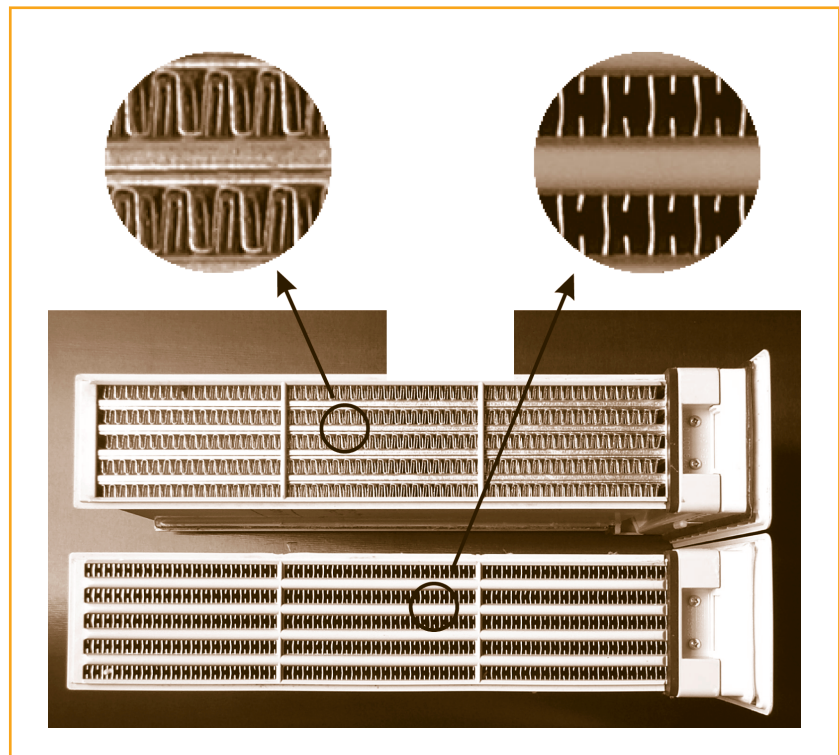
da je sorazmeren $\omega^{-\frac{4}{3}}$ (Lilley) pri visokih frekvencah, medtem ko dimenzionalna analiza, ki temelji na Kolmogorovi dimenzijski teoriji,

namesto tega napoveduje odvisnost $\omega^{\frac{7}{2}}$.⁶

Digitalni računalniki so pogosto učinkoviti pri napovedovanju razširjanju zvoka v tekočinah in plinih.⁷ Modeli turbulentnega toka na splošno niso uporabni za napovedovanje emitiranega zvoka, ker oblikujejo samo povprečne ali srednje karakteristike in ne trenutne lastnosti turbulentnega toka.⁸ Direktna numerična simulacija toka DNS ima prednost, ker je brez predpostavk modeliranja. Na žalost, izračunavanje četrtega odvoda Lighthillovega stresnega tenzorja zahteva visoko ločljivost v prostoru in času. DNS rezultati so tudi omejeni na zmerna Reynoldsova števila. DNS modeliranje turbulentnega toka v kondenzatorju je zaradi njegove kompleksne geometrije prezahtevno, da bi bilo izvedljivo za konstrukcijo kondenzatorja sušilnika perila.⁷

V nadaljevanju bomo predstavili postopek meritve in njene rezultate. Analizirali smo dva tipa kondenzatorja A in en tip kondenzatorja B. Kanali obeh tipov kondenzatorja A so narejeni iz reber predelanih iz trakov kovinske pločevine, medtem ko je tip B opremljen s kanali na osnovi ekstrudiranih sestavljenih profilov (Sl. 1). Oba tipa kondenzatorjev A imata enaki geometriji, razlikujeta pa se v postopku izdelave reber in njihovemu pritrjevanju na osnovo kondenzatorja.

Slika 1. Tip kondenzatorja A (zgoraj) in tip kondenzatorja B (spodaj)



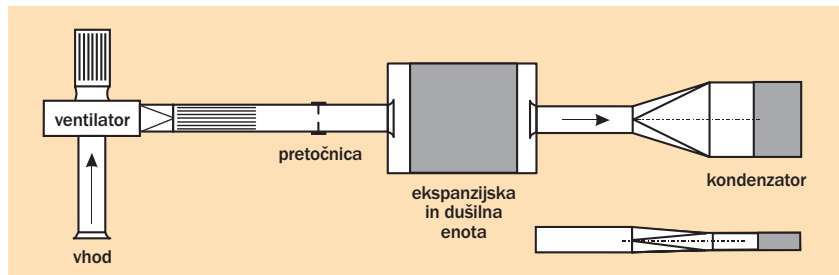
2. Merilna postaja

Da bi analizirali karakteristike raznih kondenzatorjev, smo izdelali merilno postajo. Merilna postaja omogoča meritve aerodinamičnih in akustičnih parametrov kondenzatorjev za sušilnike perila v njihovem primarnem in sekundarnem tokokrogu. Meritve smo izvedli na izstopni strani sekundarnega zračnega tokokroga.

Merilna postaja (Sl. 2) se sestoji iz štirih glavnih enot: ventilator kot generator pretoka, enota za merjenje pretoka, umirjevalna in dušilna enota in merilna enota.

Ventilator je radialen in je opremljen s frekvenčnim pretvornikom, ki omogoča regulacijo delovne točke kondenzatorja glede na izbran volumski pretok. Enota za meritev pretoka vsebuje zaslonko, ki je vgrajena v pretočni sistem v skladu s standardom DIN 1952.⁹ Dolžina ravnega dela cevi pred ploščo z odprtino je $10d$ in $3d$ za njo. Premer cevi je $d = 150$ mm. Štirikrako vodilo pretoka z dolžino $2d$ za ventilatorjem smo uporabili

Slika 2. Skica merilne postaje



Merilna enota se sestoji iz 10 d dolge cevi, prehodnega elementa in elementa, ki vsebuje vgrajen kondenzator. Prehodni element omogoča prehod od okroglega profila na pravokotnega in je izveden pod ostrimi koti, da ne pride do odlepljanja toka. Merilna enota je oblečena v filc, ki preprečuje prenos zvoka iz merilne enote v okolico. Merilno enoto smo postavili v gluho komoro.

Za natančno izbiro delovne točke kondenzatorja je bil sistem od plošče z odprtino do kondenzatorja izveden popolnoma tesno.

3. Meritve

3.1 Meritve akustičnih karakteristik

Meritve akustičnih karakteristik kondenzatorjev smo opravili v polgluhi sobi s prostornino prostega polja 220 m³ (7.8 m x 6.7 m x 4.2 m). Njene stene in strop so obloženi s prevleko, ki vpija zvok/hrup, v obliki klinov iz poliuretanske pene. Klini so dolgi 80 cm. Med klini in stenami je 5 cm debela plast zraka. Frekvenčni obseg sobe je od 100 do 20.000 Hz, raven hrupa v najmanj ugodnih okoliščinah pa je 13 dB(A).

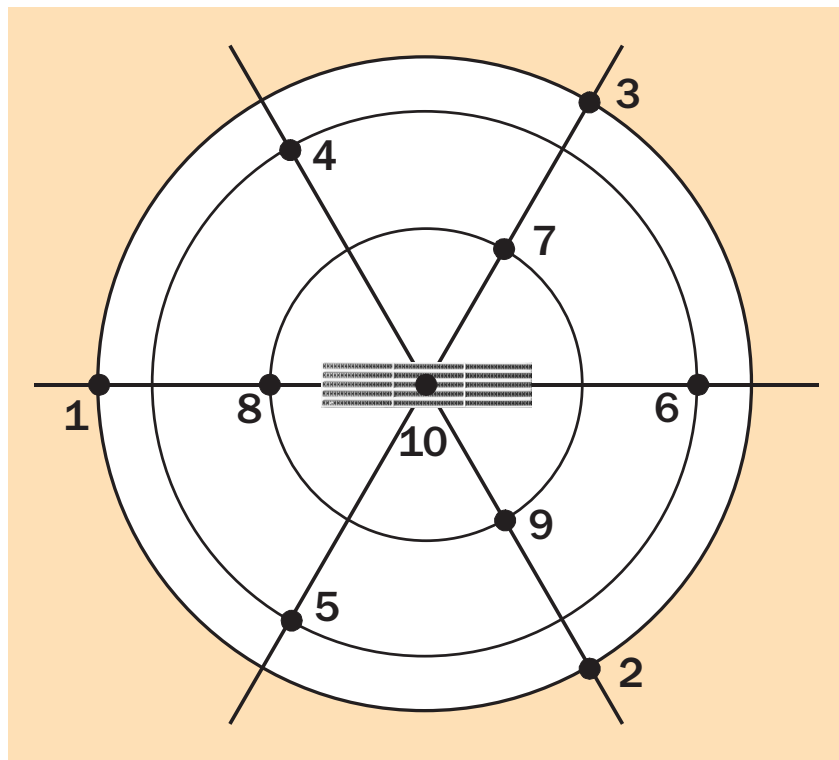
Da smo lahko izvedli meritve zvočne moči izvora po absolutni metodi, smo uporabili merilni sistem sestavljen iz 10 FalconTM Range ½", tip 4189 (B&K) mikrofonov in 10 DeltaTron-tip 2671 mikrofonskih predojačevalcev, povezanih preko treh BNC 2149 povezovalnih modulov, spojenih z DSA vmesniki – NI 4552 analizatorji dinamičnega signala. Senzorji temperature, vlažnosti in tlaka okolice so povezani z modulom TC 2190, ki je povezan z vmesnikom NI 4351 s koaksialnim kablom.

Meritve zvočnega tlaka smo izvedli v 10 pozicijah na površini krogle s polmerom 1 m v odvisnosti od pretoka skozi kondenzator (Slika 3). Lege mikrofonov za meritve zvočnega tlaka se vidijo v Tabeli 1. Odvodni lijak je bil pritrjen na izstopno stran kondenzatorja in speljan nad odbojno ploskvijo gluhe sobe.

Tabela 1. Lokacije mikrofonov

Mik.	x [m]	y [m]	z [m]
1	-0,99	0	0,15
2	0,5	-0,86	0,15
3	0,5	0,86	0,15
4	-0,45	0,77	0,45
5	-0,45	-0,77	0,45
6	0,89	0	0,45
7	0,33	0,57	0,75
8	-0,66	0	0,75
9	-0,33	-0,57	0,75

Slika 3. Pozicije mikrofонов nad kondenzatorjem, nameščenim nad odbojno ploskvijo



Frekvenčna karakteristika zvočnega tlaka (1/3 oktave) je bila izmerjena v vsaki merilni točki. Ravni zvočnega pritiska smo popravili glede na ravni zvočnega pritiska ozadja po enačbi 2

$$L_p = 10 \cdot \log(10^{0,1L_c} - 10^{0,1L_B}), \quad \text{dB} \quad (2)$$

kjer je L_p popravljena/korigirana vrednost, L_c merjena vrednost in L_B raven hrupa ozadja. Raven zvočne moči smo izračunali na osnovi povprečne ravni zvočnega tlaka na merilni površini:

$$L_W = \bar{L}_p + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S}{S_0} \right) + C \quad \text{dB} \quad (3)$$

$$C = -10 \cdot \log_{10} \left(\sqrt{\frac{293}{273+t} \cdot \frac{p}{1000}} \right),$$

kjer je \bar{L}_p izračunana povprečna raven zvočnega tlaka, r polmer krogle, $S = 2 \cdot \pi \cdot r^2$ površina polkrogle, t delovna temperatura okolice v °C, p tlak okoliškega zraka v mbar in C korekcijski faktor, ki upošteva barometrični tlak in temperaturo t v komori.

Meritve zvočne intenzivnosti kondenzatorjevih zvočnih karakteristik smo naredili z dvokanalnim analizatorjem s sondo za zvočno intenzivnost na 21 merilnih točkah, osnovanih na metodi, ki jo je opisal Crocker.¹⁰

Akustična učinkovitost η je definirana kot razmerje med zvočno močjo W in mehansko močjo W_{mech} :

$$\eta = W / W_{\text{mech}}. \quad (4)$$

Mehanska energija pretoka je:

$$W_{\text{mech}} = \frac{\rho \dot{V}^3}{2S^2}, \quad \text{W} \quad (5)$$

kjer je \dot{V} = količina/volumen pretoka plina, ρ = gostota plina in S prečna površina izstopa. Empirični približek ravni zvočne moči je

$$L_w = 120 \text{ dB} + 10 \lg \eta W_{mech} / W_0, \quad \text{dB} \quad (6)$$

kjer je $W_0 = 1 \text{ W}$.
Vsa merilna oprema je bila kalibrirana z ustreznimi kalibratori.

3.2 Meritve aerodinamičnih lastnosti pretoka

Poleg meritev zvočnih karakteristik kondenzatorjev smo izvedli tudi meritve aerodinamičnih lastnosti turbulentnega pretoka na izstopni strani sekundarnega tokokroga kondenzatorja.

Meritve hitrostnega polja smo izvedli s pomočjo traverzirne metode z enokomponentno sondo z vročo žičko Dantec tip 55P11 in anemometrom Dantec MiniCTA, ki je bil priključen na kartico za zajemanje podatkov z analogno/digitalnim pretvornikom v osebne računalniku, ki je zajemala podatke s frekvenco 50000 Hz. Skupni čas zajemanja je bil 4 s. Hitrost je bila filtrirana z nizkopropustnim filtrom s frekvenco 10 kHz. Ocenjena nezanesljivost meritev hitrosti je bila $\pm 3\%$ od povprečne vrednosti. Meritve hitrosti smo naredili v sredini izstopne površine kondenzatorja na razdalji 3 mm od kondenzatorja. Spektre moči smo izračunali glede na enačbo 7. ²

$$u(f) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) e^{-i2\pi ft} dt. \quad (7)$$

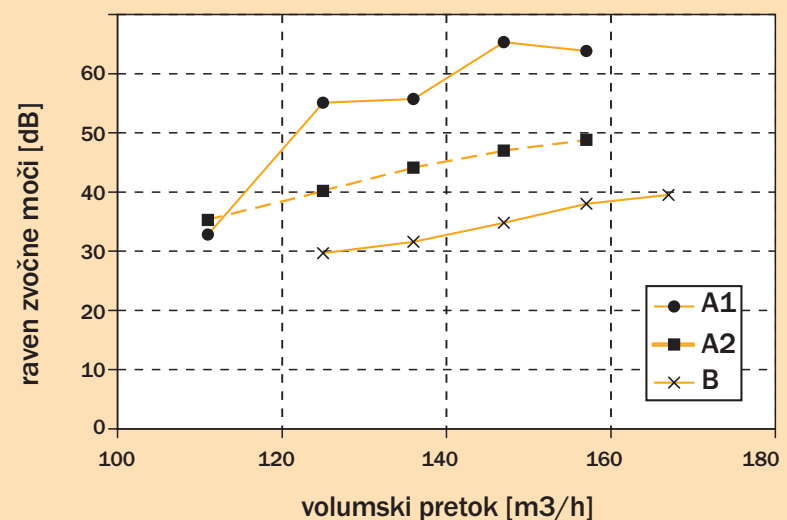
4. Rezultati

Slika 4 prikazuje nivo skupne akustične moči pretoka skozi kondenzator za kondenzatorje tipa A1, A2 in B. Opazimo znatne razlike v nivojih hrupa med posameznimi kondenzatorji. Kondenzator A1 ima skupno zvočno moč $2.4 \mu\text{W}$ (63.9 dB) pri pretoku $157 \text{ m}^3/\text{h}$. Pri enakem pretoku pa je zvočna moč kondenzatorja B samo 6.3 nW (27.4 dB).

Analiza spektra zvočne moči najglasnejšega kondenzatorja A1 pri pretoku $125 \text{ m}^3/\text{h}$ kaže izrazit ton/vrh zvočne moči pri frekvenci 800 Hz (Sl. 5), ki se poveča na 1000 Hz pri največjem pretoku. Spekter moči izsevane

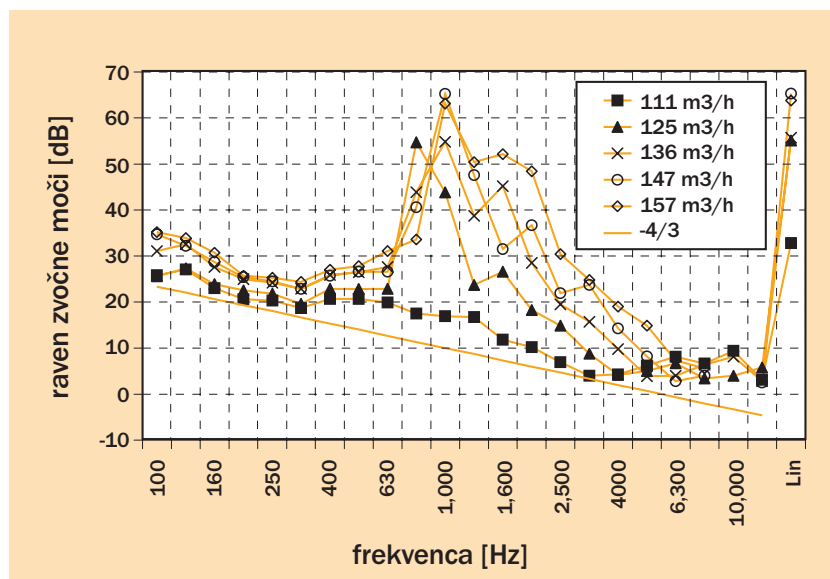
skupne zvočne moči je sorazmeren z $\omega^{\frac{4}{3}}$, to sorazmerje izhaja iz hipoteze prenosa časovnih korelacij po Rubinsteinu in Zhou.⁵ Vrhovi izsevane skupne zvočne moči so naloženi na osnovni spekter, odvisno od

Slika 4. Raven skupne zvočne moči v odvisnosti od pretoka skozi kondenzator



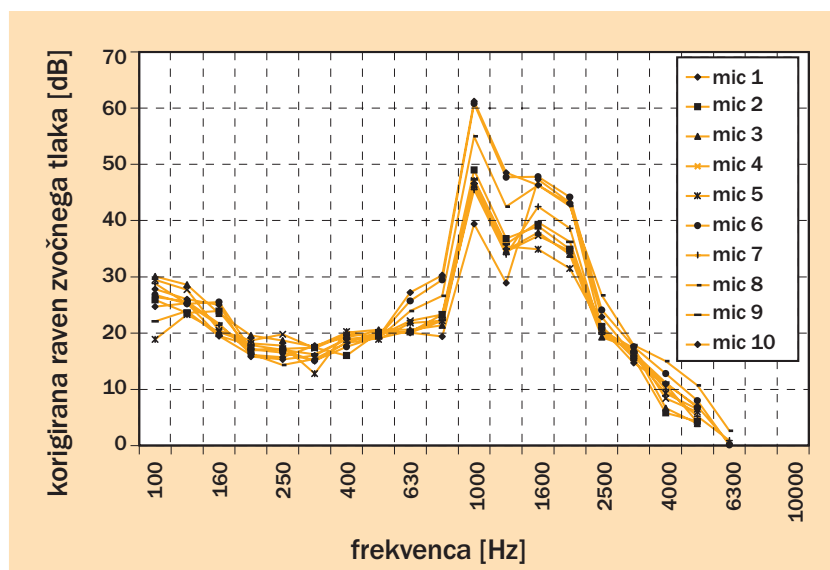
Slika 5: Spekter nivoja zvočne moči - kondenzator A1. Premica predstavlja teoretični spekter zvočne moči, ki ga seva izotropna turbulenca 6

volumskega pretoka skozi kondenzator. Njihova intenziteta se povečuje sorazmerno s povečevanjem pretoka skozi kondenzator. Do podobnih zaključkov lahko pridemo iz frekvenčne karakteristike



ravni zvočnega tlaka (Sl. 6). Največji zaznan zvočni tlak smo izmerili na mikrofону 6 pri frekvenci 1000 Hz, znašal pa je 60.8 dB. Zaradi različno oblikovanih pretočnih kanalov ima kondenzator B nižje nivoje zvočne moči kot kondenzator A1 (Sl. 7). Frekvenčna karakteristika pokaže, da je zvočna komponenta pri 1000 Hz zaradi nizkega nivoja skoraj neslišna. Spekter moči oddane skupne zvočne moči je zopet

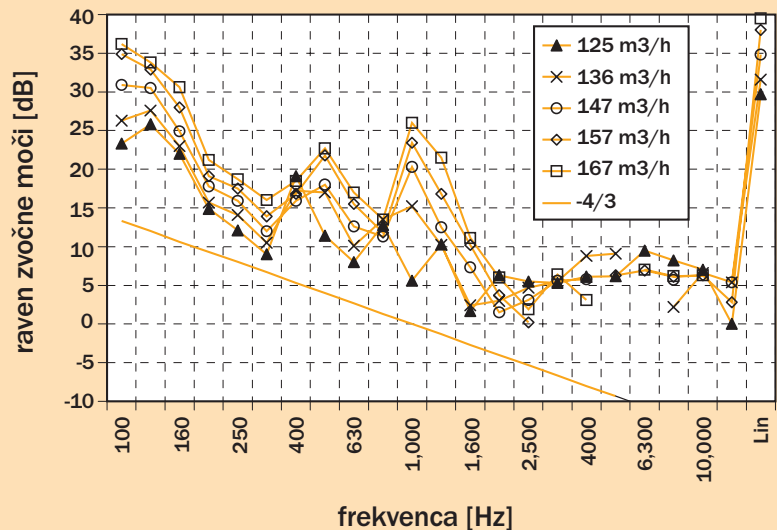
Slika 6: Popravljen/korigirana raven zvočnega tlaka pri $r=1\text{m}$ v skladu s Tabelo 1, kondenzator A1, volumski pretok 157 m³/h



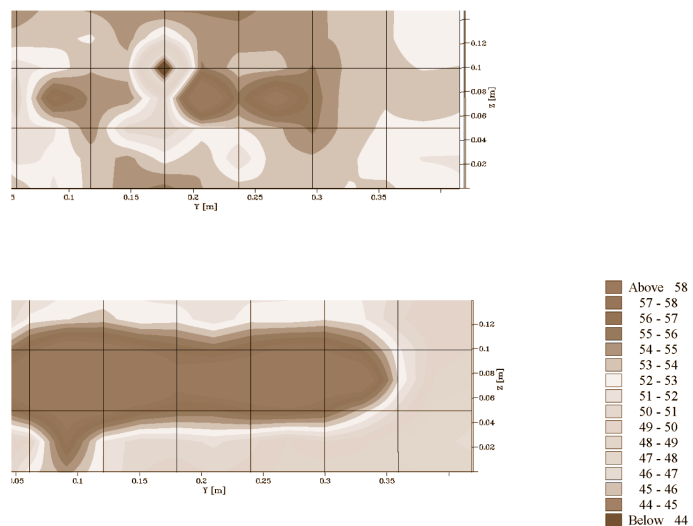
sorazmeren z $\omega^{-\frac{4}{3}}$, toda vrhovi, ki so naloženi na osnovni spekter so bistveno manj izraziti kot pri kondenzatorju A1.

Na sliki 8 je prikazana raven zvočne moči pri kondenzatorjih A2 in B pri pretoku 125 m³/h (Sl. 8). Nivo zvočne moči skozi prednjo ravnino, izračunan po metodi zvočne intenzitete znaša 38.2 dB za kondenzator A2 in 30.6 dB za kondenzator B. Če to primerjamo z absolutno metodo določanja skupne zvočne moči, kjer dobimo 40.2 dB in 29.7 dB lahko zaključimo, da metoda zvočne intenzitete pokaže rahlo drugačne rezultat. Sevalna slika kondenzatorja B pokaže izrazito gostoto pretoka zvočne energije, koncentrirano v osrednjem delu izstopne površine, kar je posledica oblikovanja pretočnega kanala. Sl. 9 prikazuje akustično učinkovitost kot funkcijo pretoka v različnih tipih kondenzatorjev.

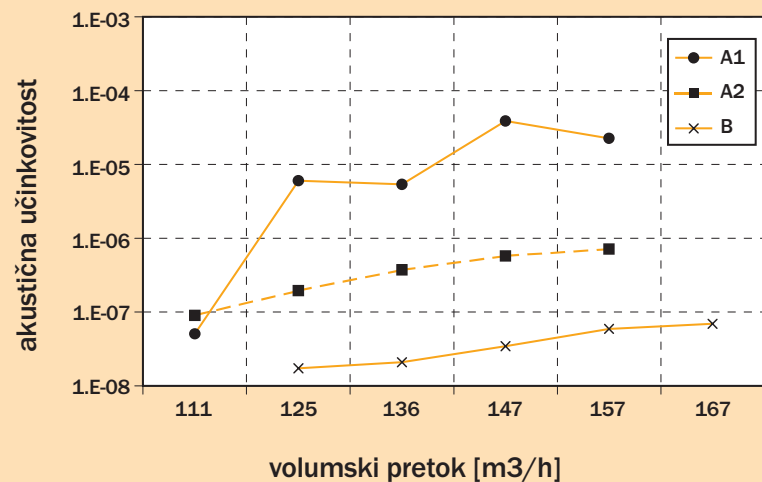
Slika 7: Spekter ravni zvočne moči – kondenzator B. Premica predstavlja teoretični spekter zvočne moči, ki ga seva izotropna turbulenca 6



Slika 8: Raven zvočne intenzivnosti v kondenzatorju A2 (zgoraj) in B (spodaj). Pretok je 125 m³/h

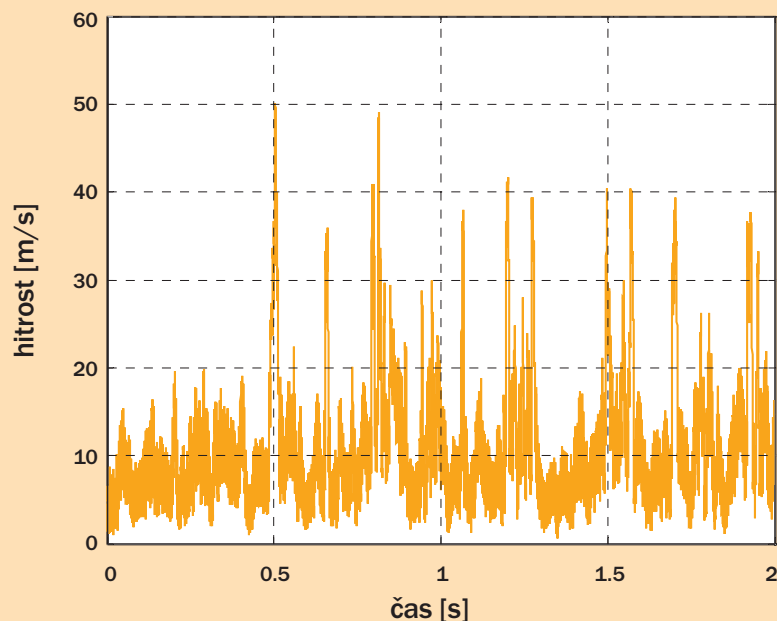


Slika 9: Akustična učinkovitost različnih kondenzatorjev

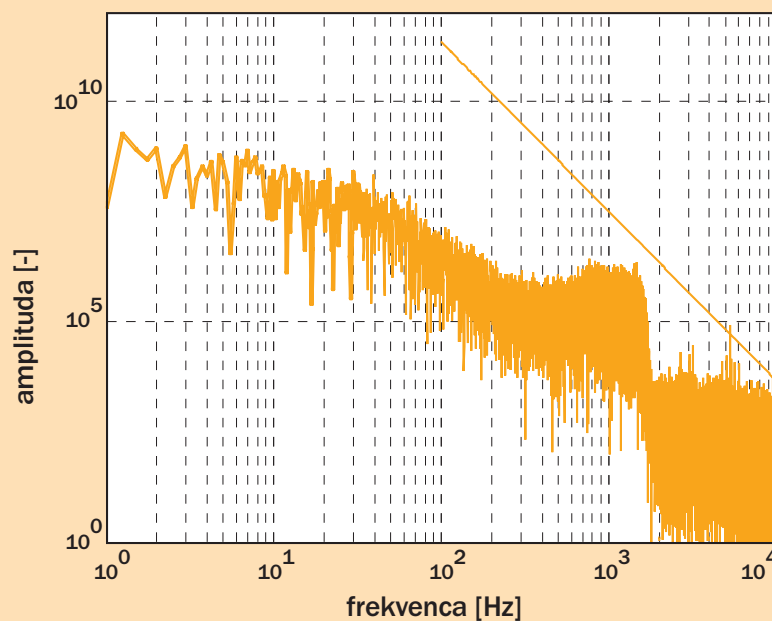


Rezultati meritev pri fluktuaciji hitrosti so prikazani na slikah 10 in 12. Močnostna spektra hitrosti pa sta na slikah 11 in 13. Močnostni spekter kondenzatorja A kaže izrazit vrh fluktuacij pri frekvencah od 1000 do 1500 Hz in se tako sklada z $-5/3$ zakonom razpada turbulence od 100 Hz pa

Slika 10: Fluktuacije hitrosti
– kondenzator A1



Slika 11: Močnostni spekter
fluktuacij hitrosti – kondenzator
A1. Ravna črta predstavlja -5/
3zakon razpada turbulence



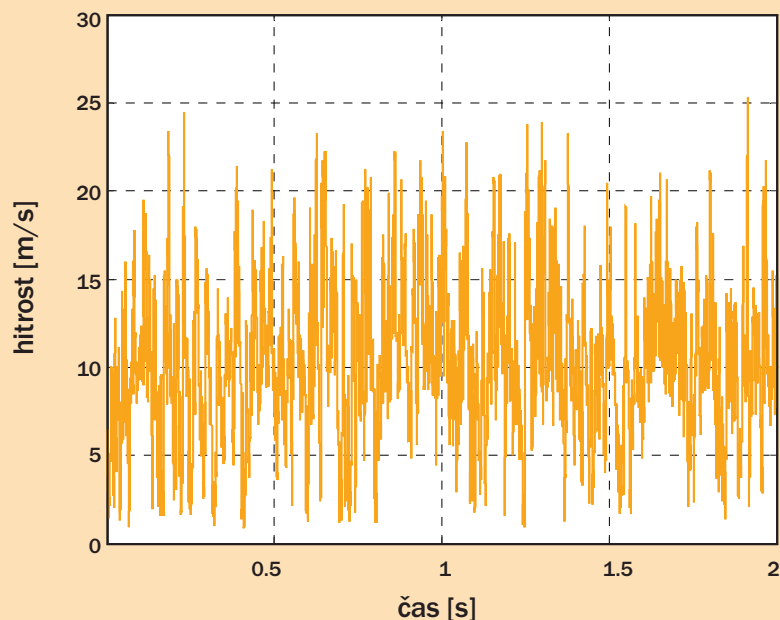
Ugotovili smo, da oba močnostna spektra fluktuacij hitrosti kondenzatorjev A1 in B kažeta podobno obnašanje, razen v frekvenčnem območju od približno 500 do 1500 Hz, kjer je pri kondenzatorju A1 prisoten vrh fluktuacij. Predvidevamo, da je ravn ta vrh fluktuacij hitrosti odgovoren za visoke ravni izsevane ravni zvočne moči, kot se vidi na sl. 4 in sl. 5. Ker je v primeru kondenzatorja A1 hrup verjetno posledica fluktuacij hitrosti na izstopu iz kondenzatorja, lahko meritve fluktuacij hitrosti ob določanju energijskih lastnosti poljubnega testiranega kondenzatorja uporabimo tudi za meritve njegove akustične sprejemljivosti. Določanje energijske lastnosti/karakteristik zahteva meritve lokalnih fluktuacij hitrosti, ki morajo biti približno enake jakosti preko vsega prereza sekundarnega pretoka, zato da zagotavljajo pravilno kondenzacijo na celi prostornini kondenzatorja.

Za izboljšano varianto kondenzatorja, ob predpostavki, da so njegove

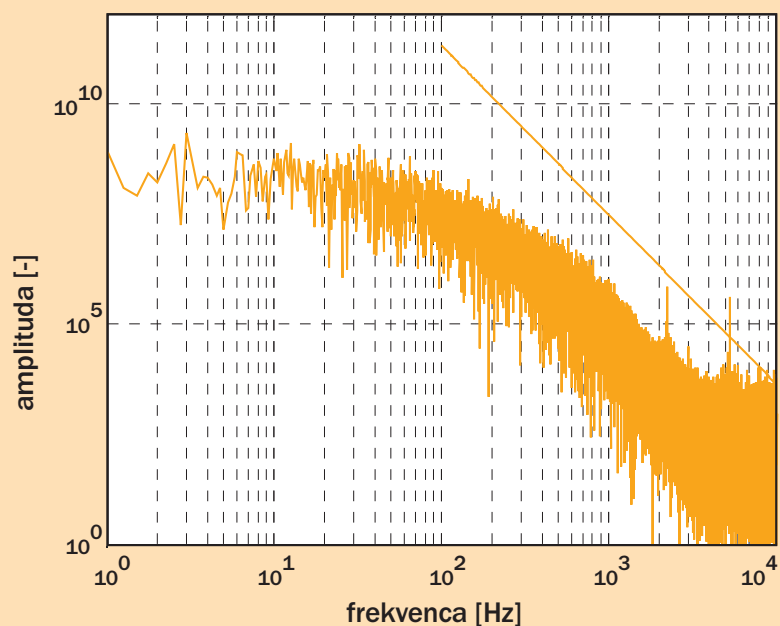
Slika 12: Fluktuacije hitrosti
- kondenzator B

energijske karakteristike sprejemljive, predlagamo konstrukcijo/izvedbo brez izrazito izraženih vrhov v močnostnem spektru fluktuacij hitrosti, kot je to primer pri kondenzatorju B.

Za nadaljnje delo predlagamo določitev inverznih korelacijskih časov na vseh prostorskih skalah v povezavi s frekvenčno /porazdelitvijo zvočne energije poljubnega kondenzatorja.¹¹



Sl. 13. Močnostni spekter
fluktuacij hitrosti - kondenzator B.
Ravna črta predstavlja -5/3 zakon
razpada turbulence



Razvojni trendi velikih
gospodinjskih aparatov vedno bolj
poudarjajo zniževanje njihovega
hrupa

5. Sklepi

Razvojni trendi velikih gospodinjskih aparatov vedno bolj poudarjajo zniževanje njihovega hrupa. V primeru sušilnika perila ocenjujemo odvisnost med izvori hrupa sekundarnega tokokroga na izhodni strani kondenzatorja in aerodinamičnimi lastnostmi kondenzatorja.

Skupni nivo zvočne moči se razlikuje do 30 dB med različnimi kondenzatorji in se na splošno povečuje z velikostjo pretoka. Kondenzator A1 oddaja največjo zvočno moč v frekvenčnem intervalu od 1000 do

2500 Hz, kar ustreza vrhu spektra moči fluktuacij hitrosti na izhodu iz kondenzatorja. Takšnega obnašanja kondenzatorja B nismo zasledili. Glede na to lahko med konstruiranjem/določanjem energetskih lastnosti kondenzatorja meritve fluktuacij hitrosti, ki jih takrat tudi merimo, uporabimo kot merilo njegove akustične sprejemljivosti.

Pri kondenzatorju B smo identificirali pretok zvočne energije, koncentriran v sredini izhodne površine, kar je posledica konstrukcije pretočnega kanala.

Pri bodočemu izboru kondenzatorjev sušilnikov perila se bodo konstruktorji poleg energijske učinkovitosti kondenzatorjev morali posvetiti tudi njihovim akustičnim karakteristikam.

Zahvala

To delo je delno podprlo Ministrstvo RS za šolstvo, znanost in šport (Pogodba št. L2-6591-0782-04/2.05) in Program EUREKA (Pogodba CONDENDRYER-E2848). Za njihovo pomoč se jim zahvaljujemo.

6. Literatura

- ¹ Širok, B., Novak, M., Holeček, N., Lah, J., "Reduction of the sound power level through a partial optimization of the aerodynamic characteristics of the flow tract of a clothes dryer", 51st International Appliance Technical Conference, Lexington, Kentucky, 2000, Zbornik posvetovanja, 503-513, (2000).
- ² Hinze, J. O. Turbulence, 2nd ed., New York: McGraw-Hill, 1975.
- ³ Proudman, I., The Generation of Noise by Isotropic Turbulence, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, **214 A**, 1116, 119-132, (1952).
- ⁴ Rubinstein, R., Zhou, Y., The Frequency Spectrum of Sound Radiated by Isotropic Turbulence, Physics Letters A, **267**, (5-6), 379-383, (2000).
- ⁵ Zhou, Y., Rubinstein, R., ICASE Report, 95-77, Sweeping and straining effects in sound generation by high Reynolds Number Isotropic Turbulence, (1995).
- ⁶ Lilley, G. M., The Radiated Noise from Isotropic Turbulence with Applications to the Theory of Jet Noise, Journal of Sound and Vibration, **190**, (3), 463-476, (1996).
- ⁷ Crocker, M.J., Recent advances in acoustics and vibration, Vabljeno uvodno predavanje, Zbornik 1. posvetovanja Slovenskega društva za akustiko, Portorož, Slovenija, 47-66, (1998).
- ⁸ Lilley, G. M., Zhang, X. & Rona, A., The progress in computational aero acoustics in predicting the noise radiated from turbulent flow, International Journal of Acoustics and Vibration, **2**, (1), 3-10, (1997).
- ⁹ DIN 1952, "Durchflussmessung mit Blenden, Duesen und Venturirohren in voll durchstroemten Rohren mit Kreisquerschnitt", Deutsches Institut for Normung e.v., Berlin, (1982).
- ¹⁰ Crocker M.J., Sound Intensity, Chapter 14 in Handbook of Acoustical measurements and Noise Control, Haris C. M. (Ed), Third Ed., New York (1991)
- ¹¹ Rubinstein, R., Zhou, Y., ICASE Report, 97-7, Time Correlations and the frequency spectrum of Sound Radiated by Turbulent Flows, (1997).