

# Ipari axiális ventilátorok akusztikai diagnosztikája

Tóth Bence<sup>1</sup> – Dr. Vad János<sup>2</sup>

<sup>1</sup> doktorandusz, BME Áramlástan Tanszék; tothbence@ara.bme.hu

<sup>2</sup> tanszékvezető, egyetemi tanár, BME Áramlástan Tanszék; vad@ara.bme.hu

## Abstract

The paper gives an overview of the methods for the determination of noise emitted by axial fans. Calculation methods based on VDI guidelines are described together with their application criteria and uncertainties. Two experimental procedures are presented, too, for the estimation of axial fan sound power levels: one based on the sound pressure distribution measured in an anechoic chamber and a direct measurement method to be carried out in a reverberation room. Comparison shows that the experimental methods have smaller uncertainties and a wider application range, therefore their utilization is favourable. This case study illustrates the infrastructure and the capabilities of the Department of Fluid Mechanics at the Budapest University of Technology and Economics. Finally, our further aims are presented to reduce axial fan noise while improving efficiency using the Phased Array Microphone measurement technique in close collaboration with our industrial partners.

## Kivonat

Ventilátorok hangteljesítményszintjének meghatározására szolgáló különböző módszerek eredményét mutatjuk be. Ismertetjük a VDI irányelvek által javasolt számítási eljárásokat, illetve azok korlátait, bizonytalanságát. Ezzel szemben bemutatunk két kísérleti módszert: az egyikkel süketszobában a hangnyomásszint-karakterisztika alapján, a másikkal pedig zengőtérben a veszteségteljesítmény alapján tudjuk ventilátorok hangteljesítményét mérni. Az összehasonlításból kiderül, hogy a mérés kisebb bizonytalansággal jár, illetve alkalmazási korlátai sincsenek, így kedvezőbb a számítási eljárásnál. Az esettanulmányon keresztül bemutatjuk az Áramlástan Tanszék infrastruktúráját és képességeit, illetve ismertetjük a Tanszék jövőbeli terveit axiális ventilátorok zajcsökkentésére és hatásfok-növelésére a mikrofontömbös mérés technika alkalmazásával, szoros együttműködésben ipari partnereinkkel.

## Bevezetés

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Áramlástan Tanszéke több évtizede áll a magyarországi ipar szolgálatában. Az utóbbi években is számos, ipari axiális ventilátorokra irányuló kutatás-fejlesztési (K+F) feladatot láttunk el vállalati partnereink megbízásából. A kifejlesztett ventilátorokra és az azokat bemutató hazai valamint nemzetközi publikációkra az alábbi példákat adjuk ipari partnereink feltüntetésével. Fokozott fajlagos teljesítményű, energetikailag kedvező üzemű füstgázelszívó ventilátorcsalád [1]: Air-Technik Kft., Hungaro-Ventilátor Kft. Egyedi szélcsatorna-ventilátor különleges légtechnikai és szabályzási feltételek kielégítése érdekében [1-4]: Szellőző Művek Kft. Fokozott vetőtávolságú és fajlagos teljesítményű sugárventilátor mérsékelt géptömeg, gép méret és előállítási költségek mellett [1, 5]: Szellőző Művek Kft. Előírt hűtési teljesítményű villamos motor-hűtő ventilátorok zajának és hajtási teljesítmény-igényének csökkentése [1, 3-4, 6]: Grundfos Magyarország Gyártó Kft. Ipari szellőzők, sugárventilátorok áramlási veszteségének és zajkibocsátásának egyidejű csökkentése, mikrofontömbös [7] diagnosztikai módszer bevonásával: Hungaro-Ventilátor Kft. (előkészületben).

Az ipari partnerekkel folytatott konzultáció és a projektek tapasztalatai alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy piaci előnyt jelent, ha egy adott munkapontra kiajánlott ventilátor lesugárzott hangteljesítménye alacsonyabb a versenytársénál. Versenyelőny szempontjából jelentősnek a legalább 6 dB értékkel kisebb hangteljesítményt ítélnéljük. Ezt a számértéket a [6] projekt eredményei alapján határoztuk meg.

A gyártó a ventilátor katalógusban megadandó hangteljesítményét vagy *ventilátor-jellemzőkből történő számítással*, vagy *méréssel* határozhatja meg. A sokféle számítási módszer közül, mint [8] is említi, a hatályos VDI 3731 irányelv [9] vonatkozik a ventilátor – mint *gyári késztermék* – emissziójának számítására. Bár a VDI 2081 irányelv [10] is lehetővé teszi ventilátorok hangteljesítményének becslését, ez kevésbé irányadó a gyártó számára, ugyanis a ventilátort, mint egy komplex légtechnikai rendszer *egyetlen, beépített komponensét* kezeli.

Teljes részletességgel feldolgoztuk a VDI irányelveket. Próbaszámítást végeztünk egy, a nemzetközi piac szempontjából reprezentatívnak ítélt [11] ventilátor adott munkapontjára. Példaként hozzuk a számított lineáris (súlyozatlan) hangteljesítmény-szinteket: [9] szerint 118 dB, [10] szerint 114 dB, mely értékek a számítás szerint mérvadóak a szívó- és a nyomóoldal felé egyaránt. Azonban a [11] dokumentáció szerinti érték mindössze 107 dB a szívó-, 106 dB a

nyomóoldal felé. Több jel is arra mutat, hogy a ventilátor akusztikai jellemzőit a gyártó *méréssel* határozta meg. Az esettanulmány és az irányelvek elemzése rámutat arra, hogy a gyakorlatilag költségmentes *számítási eljárás* a következő hátrányokkal, ill. korlátokkal bír a kétségtelenül költségekkel járó *akusztikai mérésekkel* szemben: a) előállhat, hogy a ténylegesen halkabb gép zajkibocsátását a számítás túlbecsli; b) a VDI irányelvek alapján számított értékek bizonytalansága a mértnél nagyobb, mintegy  $\pm 3$  dB; c) a VDI irányelvekben leírt egyenletek alkalmazhatóságát a ventilátor üzemi és egyéb jellemzői (pl. járókerék-átmérő [9]), valamint konfigurációja (pl. [10] axiálventilátorra csak utóterelővel érvényes) korlátozzák; d) a számítási eljárás nem képes a különleges zajcsökkentési megoldásokat figyelembe venni.

Nyilvánvaló tehát, hogy a ventilátorgyártónak célszerű *akusztikai mérési módszereket* alkalmaznia termékei versenyképességének fokozására. A cikkben esettanulmányon mutatjuk be a Tanszék ez irányú készségeit, szakértelmét. Meghatározzuk egy ventilátor hangteljesítményszintjét süketszobában és zengőtérben. A kapott értékek jól egyeznek a gyártó által a katalógusban megadott adatokkal.

## Esettanulmány-ventilátor

Esettanulmányként a [12] ventilátort választottuk, illeszkedve a Tanszék [7] kutatási programjához. A ventilátort az 1. ábrán mutatjuk be, és a [7] tanulmányban részletesen közöljük geometriai és áramlástechnikai, üzemi jellemzőit. A Bevezetésben leírt korlátok miatt a VDI irányelvek *nem alkalmasak* a lesugárzott hangteljesítmény számítással történő meghatározására – ez indokolja a mérés technikai vizsgálatokat. A gyártó által közölt akusztikai adatokat referenciaként, összehasonlítási alapként kezeljük. A katalógus szerint a lesugárzott zaj A-súlyozott – az emberi hallás frekvenciafüggő érzékenységét figyelembe vevő – hangnyomásszintje  $L(A) = 59$  dB(A). Ismereteink szerint ez a szívóoldal felé a szimmetriatengelyen lesugárzott zaj, amely a forrástól 1 m távolságban értendő. Ebből, a [13] szakirodalomban leírt elveket alapul véve, és a szabadban lévő pontforrás távolférel közelítését felhasználva, *közelítőleg* számítható a ventilátor által a környezetbe lesugárzott zaj hangteljesítményszintje:  $L_w(A) = 70$  dB(A). Hangsúlyozzuk, hogy elhanyagolásokkal éltünk: különösen az 1. ábrán a ventilátort körülvevő alumínium tartólemez okozhat eltéréseket a pontforrás elméleti esetétől.



1. ábra. A vizsgált ventilátor.

## Mérések az akusztikai laboratóriumban

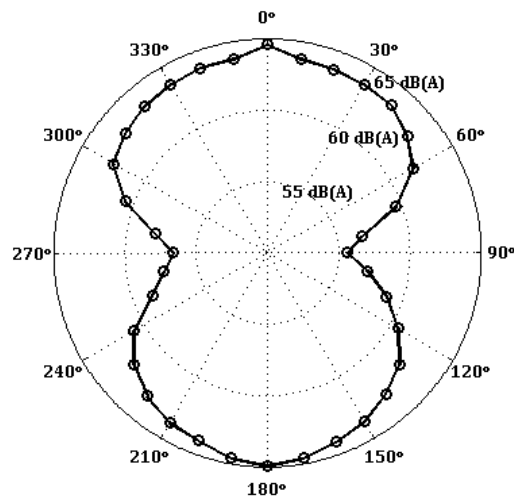
### *Mérések a süketszobában*

Egy hangforrás iránykarakterisztikájának ismerete igen fontos zajvédelmi szempontból, hiszen ennek tudatában oly módon is elhelyezhetjük a berendezést, hogy a védeni kívánt irányba a lehető legkevesbé sugározzon. A karakterisztika alapján a hangteljesítmény is kiszámítható [13]. A karakterisztika mérését a Békésy György Alkalmazott Akusztikai Laboratóriumban végeztük el, mely a régióban egyedülálló infrastruktúrával és szakértelemmel rendelkezik. Az eljárást a *süketszobában* végeztük, hogy a visszavert hangtér hatását elhanyagolhassuk. A helyiség falait, padlóját és tetejét nagyméretű közetgyapot tüskék borítják, amelyek igen jó hangelnyelők, maga a szoba pedig rugókon van felfüggesztve, ami a környezet rezgéseit hivatott kizárni. A ventilátort a padlóként szolgáló drótkötél hálózathoz erősítettük, üzembe helyeztük, majd egy Roline Ro-1350 típusú kézi hangnyomásszint-mérővel körbejárva a forgástengely magasságában,  $10^\circ$  osztásban rögzítettük az A-súlyozott hangnyomásszint értékeket a berendezéstől 1,7 m távolságban. A kézi hangnyomásszint-mérő bizonytalansága tesztjeink alapján  $\pm 1$  dB(A). A méréshez egy szivacs gömböt használtunk, hogy az áramlási eredetű zajt kizárjuk. Előzetes tesztjeink alapján a szivacs gömb az áramlási zajt teljesen kiszűri, hanggátlása viszont elhanyagolható. Az adatokat átszámítottuk 1 m sugárra. Az eredményeket a 2. ábra mutatja. Az ábrán  $0^\circ$  a nyomó-, míg  $180^\circ$  a szívóoldalnak felel meg a ventilátor-tengelyen.

Az ábrán látható, hogy a nyomó- és a szívóoldalon a hangnyomásszint maximuma a ventilátor tengelyére esik, nagysága a két oldalon közelítőleg egyenlő. A legkisebb zajt a

tengelyre merőleges síkban érzékeljük. A karakterisztikára befolyással van a ventilátor beömlő idoma, valamint a hozzá tartozó (az 1. ábrán látható) alumínium tartólemez, amely a hangot sokkal jobban sugározza előre és hátra, mint oldalra. Mivel azonban ez a lemez a ventilátor beépítési környezetének része, ipari alkalmazásokban is jelen lesz, ezért figyelembe kell vennünk hatását.

A [13] szakirodalomban leírt elvekre támaszkodva, a 2. ábra szerinti karakterisztika alapján számítottuk a hangteljesítményszintet. Eredményül  $L_W(A) = 73 \text{ dB(A)}$  értéket kaptunk. A süketszobai mérésen és a katalóguson alapuló  $L_W(A)$  értékek tehát jó egyezést mutatnak.



2. ábra. Hangnyomásszint karakterisztika

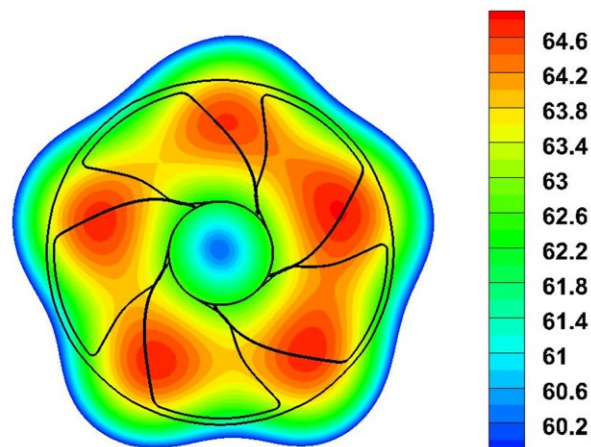
## Mérések a zengőtérben

Az Akusztikai Laboratóriumban berendezett *zengőtér* a hangteljesítmény közvetlen mérésére is lehetőséget ad, melyet az ISO 3741:2010 szabvány [14] alapján végeztünk el. A mérés fizikai elve a következő: a zengőteret egy hangszóró segítségével feltöltjük hangenergiával, majd a forrást hirtelen kikapcsolva mérjük az utözengési időt. Ez azon időtartamot jelenti, amely alatt a hangnyomásszint 60 dB értékkel csökken. Ez a mennyiség, mely frekvenciafüggő, a zengőtér veszteségteljesítményével áll összefüggésben. Ezután behelyezzük a ventilátort, beüzemeljük, és így is mérjük a hangnyomásszintet. Miután a hangnyomásszint (és így a teremben lévő hangenergia) állandósult, elmondhatjuk, hogy a ventilátor kisugárzott hangteljesítménye az adott hangnyomásszinten egyensúlyt tart a szoba veszteségteljesítményével. Ez alapján számíthatjuk ki a ventilátor tercsávonkénti hangteljesítményszintjét. Az értékeket ezután az A-szűrővel súlyozni kell, átszámítani

teljesítményre, összegezni, majd az összteljesítményt visszszámítani szintes értékre. Mérésünkből  $L_W(A) = 71 \text{ dB(A)}$  érték adódott, ami a mérési bizonytalanságot is figyelembe véve szintén jól egyezik a katalóguson alapuló  $L_W(A) = 70 \text{ dB(A)}$  értékkel.

## Mikrofontömbös mérések

A korábban bemutatott méréseink kiegészülnek a nemzetközi szinten is új *mikrofontömbös mérés technikával* [15]. Hazánkban elsőként alkalmaztuk a mikrofontömbös technikát áramlástechnikai gépek, berendezések zajforrás-eloszlásának *eddigieknél részletesebb feltérképezésére*. A Tanszék Magyarországon egyedülálló műszerrel – Optinav Inc. Array 24 mikrofontömb – és szakértelemmel rendelkezik ezen az alkalmazási területen. A 3. ábra mutat példát [7] nyomán az esettanulmány-ventilátor *zajforrás-térképére*, amely a *hangnyomásszint térbeli eloszlását* szemlélteti. A forrástérképen látható, hogy a lapátozás középsugarának környezetében dominál a zaj.



**3. ábra. Példa a zajforrás-térképre: hangnyomásszint-eloszlás [dB] a szívóoldalon,  $\approx 2$  járókerék-átmérő távolságból, a 2500 Hz középfrekvenciájú tercsávon.**

A [7] tanulmányban bemutattuk, hogy itt fokozott áramlási veszteség keletkezik. A klasszikus szemlélet (pl. [8, 13]) megerősíti, hogy a veszteség növekedése a zaj fokozódásának irányában hat. E gondolat alapján kidolgoztunk egy helyszíni mérésekre is alkalmas diagnosztikai eljárást [7] a mikrofontömbös technika bevonásával. Ennek révén újratervezési támpontokat adhatunk *ventilátorok egyidejű zajcsökkentésére és hatásfok-növelésére vonatkozóan*.

## Összefoglalás és előretekintés

Áttekintettük a ventilátorok által keltett zaj számítására vonatkozó irányelveket. Megállapítottuk, hogy a javasolt összefüggések nagy bizonytalansággal becslik a hangteljesítmény szintet, alkalmazhatóságuk korlátozott, illetve egyéb hátrányaikat is ismertettük. Ezzel szembeállítottunk két mérési módszert, melyek süketszobában a karakterisztikából vagy zengőtérben a veszteségteljesítményt alapul véve pontosabb eredményt adnak a ventilátor hangteljesítményszintjére. A mért értékek jól egyeznek a katalógusból vett adattal, az eljárás pedig korlátlanul használható minden ventilátorra. Ez alapján kijelenthetjük, hogy a hangteljesítményszintet sok esetben célszerűbb méréssel megállapítani, mint számítási eredményekre támaszkodni.

Bemutattuk a Tanszék akusztikai diagnosztikai készségeit, a Békésy György Alkalmazott Akusztikai Laboratórium infrastruktúrájának – süketszoba, zengőtér, műszerezés – felhasználásával, ventilátorok (és ipari igény szerint más áramlástechnikai gépek, berendezések) zajmérésének és zajcsökkentésének szolgálatában.

E támpontok ipari hasznosítására a Hungaro-Ventilátor Kft.-vel közösen egy jelenleg induló K+F projektet generáltunk, az „Ipari axiális ventilátorok mikrofontömbös diagnosztikai módszerének továbbfejlesztése” című doktori program keretében.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki Hizsnyai Máténak, aki tudományos diákköri munkája keretében hozzájárult a mérésekhez és az eredmények feldolgozásához. Köszönet illeti Dániel Istvánt a Békésy György Alkalmazott Akusztikai Laboratóriumban nyújtott segítségével, továbbá Benedek Tamást konzultációs munkájáért. A cikket az OTKA K 112277, TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002, és TÁMOP-4.2.2/B-10/1/1-2010-0009 projektek támogatták.

## Irodalom

1. Vad, J.: Fokozott fajlagos teljesítményű, energetikailag kedvező üzemű axiális átömlésű füstgázventilátorok tervezése és mérése. GÉP, LXI. évf. 2010/11. szám, p. 15-18.
2. Vad, J. – Kwedikha, A. R. A. – Horváth, Cs. – Balczó, M. – Lohász, M. M. – Rékert, T.: Aerodynamic effects of forward blade skew in axial flow rotors of controlled vortex design. Proc. Institution of Mechanical Engineers – Part A: Journal of Power and Energy, 221. évf. 2007/7. szám, p. 1011-1023.

3. Vad, J.: Energiahatékony axiális átömlésű ventilátor-járókerekek tervezése. Energiagazdálkodás, 53. évf. 2012/4. szám, p. 8-10.
4. Vad, J.: Forward blade sweep applied to low-speed axial fan rotors of controlled vortex design: an overview. ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 135. évf. 2013/1. szám, p. 012601-1: 012601-9.
5. Vad, J.: Application of controlled vortex design concept to axial flow industrial fans. Proc. GÉPÉSZET'2010 Konferencia (Conference on Mechanical Engineering), Budapest, 2010, (CD-ROM) (ISBN 978-963-313-007-0), p. 875-881.
6. Vad, J. – Horváth, Cs. – Kovács, J. G.: Aerodynamic and aero-acoustic improvement of electric motor cooling equipment. Proc. Institution of Mechanical Engineers – Part A: Journal of Power and Energy, 228. évf. 2014/3. szám, p. 300-316.
7. Benedek, T. – Vad, J.: Concerted aerodynamic and acoustic diagnostics of an axial flow industrial fan, involving the phased array microphone technique. Proc. 2014 ASME TURBO EXPO, Düsseldorf, Németország, 2014, ASME Paper GT2014-25916. (CD-ROM)
8. Carolus, T.: Ventilatoren. Teubner Verlag, Wiesbaden, 2003.
9. VDI-RICHTLINIE VDI 3731, Blatt 2. Emissionskennwerte technischer Schallquellen. Ventilatoren. 1990 november.
10. VDI-RICHTLINIE VDI 2081, Blatt 1. Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumluftechnische Anlagen. 2001 július.
11. TROX TLT GmbH termékkatalógus és belső kommunikáció. Füstgázelszívó ventilátorok. 2014.
12. 4E 300 Type AC axial fan. 50 Hz hálózati frekvencia. ebm-papst, Mulfingen, termékkatalógus. 2014.
13. Dr. Gruber József és szerzőtársai: Ventilátorok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
14. ISO 3741:2010 szabvány. Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for reverberation test rooms.
15. Mueller, T. J. (ed.): Aeroacoustic Measurements. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2002.