

A TAKARÁS ÉS AZ ALAPÁRAMLÁS SEBESSÉGÉNEK HATÁSA EGY AXIÁLIS HŰTŐVENTILÁTOR ÜZEMÉRE

CFD ANALYSES OF EXTERNAL DISTURBANCES ON FLUID FLOW IN AND AROUND AN AXIAL COOLING FAN

Bolló Betti*, Dorogi Dániel**, Fodor Béla***

*egyetemi docens, **doktorandusz, ***tanszéki mérnök

Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszék

ABSTRACT

In this study the effect external disturbances on the pressure difference between the suction and pressure sides of the impeller of an axial fan, and aerodynamic forces acting on the blades are investigated by the means of CFD computations using the commercial software package, ANSYS Fluent. Two distinct external disturbances are applied, namely free stream velocity U (varied between 0 and 72 km/h) and covering plates arranged symmetrically and asymmetrically on the suction side of the fan.

1. BEVEZETÉS

Egy axiális kialakítású ventilátor numerikus modellezése nem egyszerű feladat, de a rendelkezésre álló kereskedelemben kapható szoftvercsomagok segítségével megoldható.

Az axiális hűtőventilátor működését számos kutató vizsgálta mind kísérleti, mind numerikus módszerekkel. E tanulmányok elsősorban a ventilátor által keltett zajra, a kimeneti áramlás egyenletességére és az elválasztó zónák elemzésére koncentrálnak. Park és Lee [1] hibrid megközelítést alkalmazva vizsgálták a szélessávú zaj forrását egy autópári hűtőventilátornál. A ventilátor által generált zaj kiszámításához nagy számítási tartományra volt szükség, ezért a vizsgált geometriát egy 5,2 millió sejtből álló hibrid hálóval osztották fel. A turbulens áramlás számításához a $k-\omega$ SST turbulencia modellt alkalmazták, a zaj meghatározásához Ffowcs Williams és Hawkings [2] általánosított akusztikai módszerét használták. A számítás gyorsítására Park és Lee [1] először időben állandó modellt alkalmaztak, és miután a reziduális hibák a konvergenciakritérium értékéhez csökkentek, akkor tértek át időtől függő számításra. A számítási eredményeiket összehasonlították a mérésnél kapott értékekkel, és jó egyezést találtak.

Lallier-Daniels et al. [3] a hűtőventilátor

modul akusztikus tulajdonságait vizsgálták Lattice-Boltzmann módszer alkalmazásával. A CFD számítások eredményei jó egyezést mutattak a ventilátor elé helyezett mikrofonnal kapott mérési eredményekkel. Ambdekar et al. [4] az ANSYS Fluent kereskedelmi szoftvercsomag segítségével a hűtőventilátor áramlási struktúráit elemezték. Megvizsgálták a ventilátoron belüli sebesség- és nyomásmezőket, a kimeneti áramlás egyenletességét és a zajterhelést.

Ye et al. [5] a lapátvégen elhelyezett horony aerodinamikai hatását vizsgálta ANSYS Fluent szoftverrel segítségével. Azt tapasztalták, hogy a horonyszélesség növelésével a ventilátor nyomásnövekménye, illetve tengelyteljesítménye csökkenő, ugyanakkor hatásfoka növekvő tendenciát mutat. Azonban megállapították azt is, hogy a barázdált lapátoknak zajkeltő hatása is van.

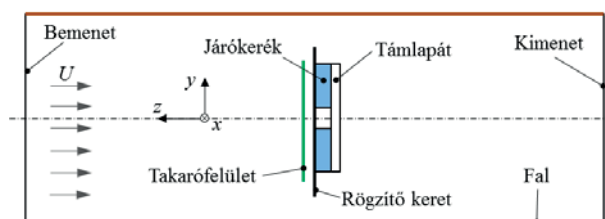
Jelen cikkben egy axiális hűtőventilátor körüli háromdimenziós áramlást vizsgálunk a kereskedelmi ANSYS Fluent CFD szoftvercsomag segítségével. Az axiális ventilátort először egyenletes áramlásba helyeztük ($U=0$ és 72 km/h), és a sebesség hatásait elemeztük. Ezután a ventilátor szívóoldala elé szimmetrikus és aszimmetrikus takarásokat helyeztünk és megvizsgáltuk különböző megfűvési sebességeknél ($U=0, 36$ és 72 km/h) a járókerék lapátjaira ható erőt Ezen aszimmetrikus erőhatások későbbi mechanikai elemzések kiinduló adatai lesznek a járókerék rezgésanalízise számára. A vizsgált elrendezés egy U sebességgel haladó jármű hűtőventilátorának modellezése amikor a ventilátor előtt, a beépítéséből adódóan az áramlást letakaró szerkezeti elemek vannak.

2. SZÁMÍTÁSI MÓDSZER

A számításokat az Ansys Fluent programcsomaggal végeztük el, ami a véges térfogatok módszerét alkalmazza. Egy áramlási csatornába helyezett axiális hűtőventilátor által létrehozott áramlást

modelleztük, amikor a csatornában egy alapáramlás is jelen van. Háromdimenziós, nem összenyomható, newtoni folyadékáramot egy. A szakirodalom alapján [4-6] a turbulens áramlás számítására a standard k- ϵ turbulencia modellt alkalmaztuk. A vizsgálatok során a ventilátorban és a gép körül lejátszódó folyamatokat időben állandósult módszer segítségével vizsgáltuk, ahol a járókerék forgó mozgását az MRF ('Moving Reference Frame') technika segítségével modelleztük. A járókerék fordulatszámát mindvégig $n=2500 \text{ min}^{-1}$ állandó értéken tartottuk.

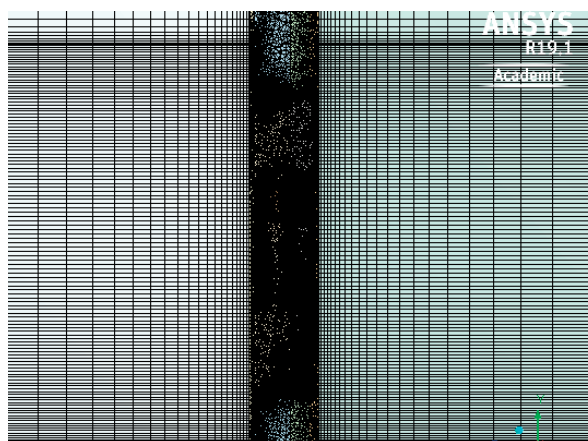
A kutatás korábbi szakaszában [7], ahol a ventilátor körüli áramlási viszonyok vizsgálatával foglalkoztunk, problémák merültek fel. Egyrészt az elkészült geometrián a hálózás elemszáma 58 millió volt, ezért a számítás sokáig tartott és a fájlok kezelése is nehézségekbe ütközött. Másrészt a ventilátort rögzítő keretet nem vettük figyelembe. Ezért jelen tanulmányban új geometriát készítettünk, ahol már a ventilátor rögzítő keretét is megrajzoltuk. A vizsgált csatornaszakasz hosszát korábbi tapasztalataink alapján 1,5 m-re választottuk, magassága és szélessége pedig $0,8 \times 1,2 \text{ m}$. A csatorna közepére helyeztük el az axiális ventilátort. A számítási tartomány vázlatos rajza az 1. ábrán látható.



1. ábra A számítási tartomány kialakítása

A ventilátor szívóoldalára egy 13 felületből álló takarólemezt raktunk, amelyeket a számítások során aktív, illetve inaktív falfelületként definiáltunk. Az aktív felület azt jelenti, hogy fal, ellenkező esetben (inaktív) a levegő keresztáramlik rajta (interior). A bemeneten az egyenletes áramlást a szabad áramlás U sebességének megadásával írjuk elő. A folyadéknyomáshoz és a kimeneti keresztmetszet sebességkomponenseihez Neumann típusú határfeltételeket használtunk.

A hálózás során a geometriai teret feldaraboltuk és a ventilátor előtti és utáni teret hexagonális elemekkel hálóztuk be, míg a járókerék, támlapát és a takarófelület közvetlen közelében sűrűbb elemszámú tetragonális hálót hoztunk létre. A 2. ábra a ventilátor közvetlen közelében lévő térrészben lévő hálókialakítást mutatja.



2. ábra A ventilátor közvetlen közelében lévő térrészben lévő háló

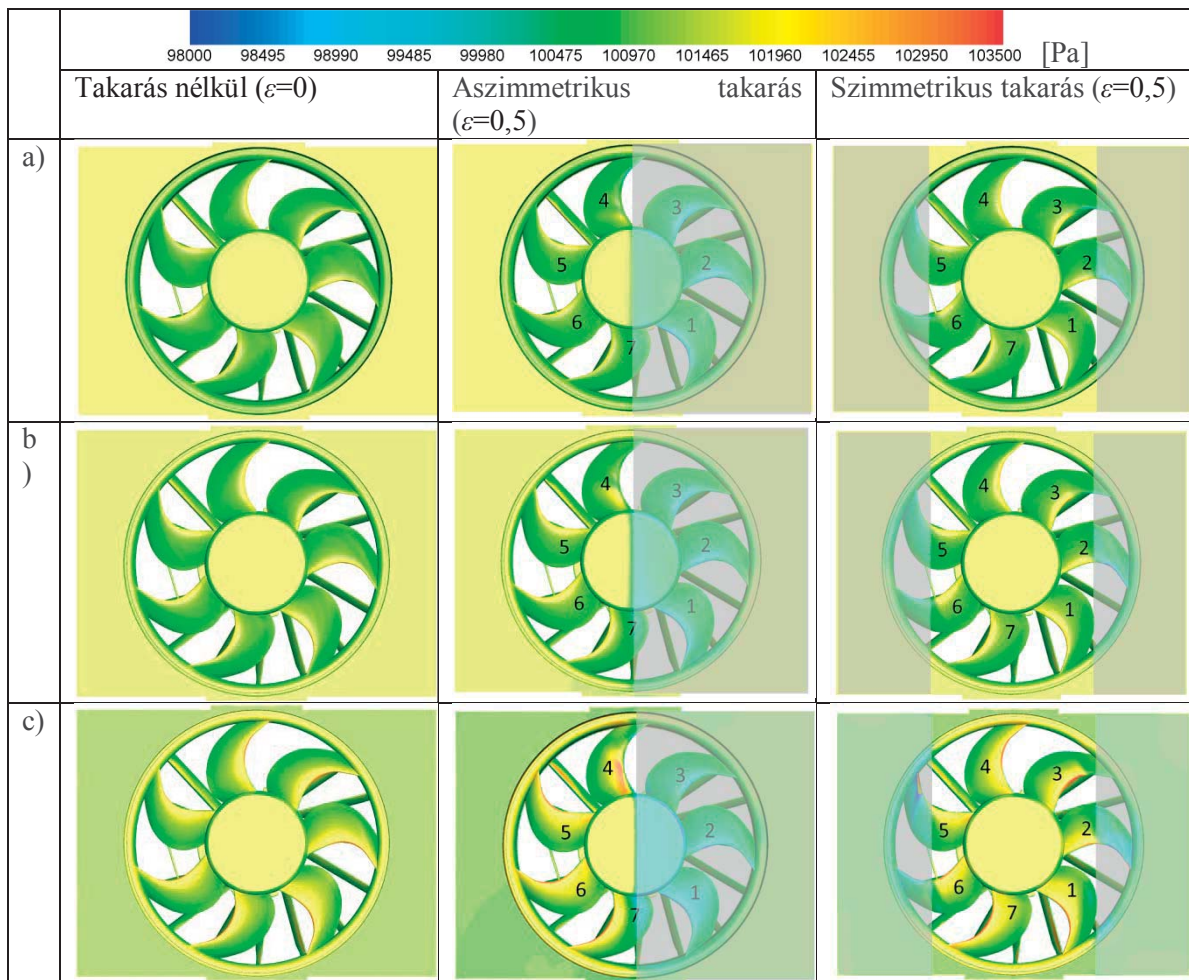
Kétféle hálókialakítást készítettünk, egy ritkább ~ 21 millió, és egy finomabb hálózást ~ 28 millió elemszámmal. Az előző tanulmányban [7] ismertetett mérési értékekkel összehasonlítva azt tapasztaltuk, hogy a ritkább háló esetén számított értékek is jó egyezést mutatnak a méréssel, ezért a további számításokat a ritka hálón végeztük el.

3. SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK

A numerikus számításaink során az alapáramlás U sebességének és a ventilátor szívóoldalára helyezett takarófelület hatásainak vizsgálatával foglalkoztunk. A takarás mértékét az ϵ fajlagos takarási paraméterrel adjuk meg, ami azt jelenti, hogy takarás nélküli esetben $\epsilon=0$. A járókerék fordulatszámát mindvégig $n=2500 \text{ min}^{-1}$ állandó értéken tartottuk, míg az alapáramlás sebességét $U=0, 36$ és 72 km/h értékekre választottuk. A számítások során a ventilátorlapátokra ható aerodinamikai erő három komponensét (F_x , F_y és F_z) és a járókerék nyomáseloszlását vizsgáltuk.

A 3. ábra az abszolút nyomáseloszlást mutatja a ventilátor szívóoldalán takarás nélküli ($\epsilon=0$) esetben, illetve 50%-os takarásnál ($\epsilon=0,5$) aszimmetrikus és szimmetrikus esetben három különböző megfúvási sebesség esetén. Az ábrára berajzoltuk a takarófelületek elhelyezkedését is. Mindhárom esetben megfigyelhető, hogy U növelésével a ventilátort terhelő nyomása növekvő tendenciát mutat. Aszimmetrikus takarás esetén a takarófelület mögött elhelyezkedő lapátokon átlagosan kisebb nyomások vannak, mint a szabadon lévő lapátokon.

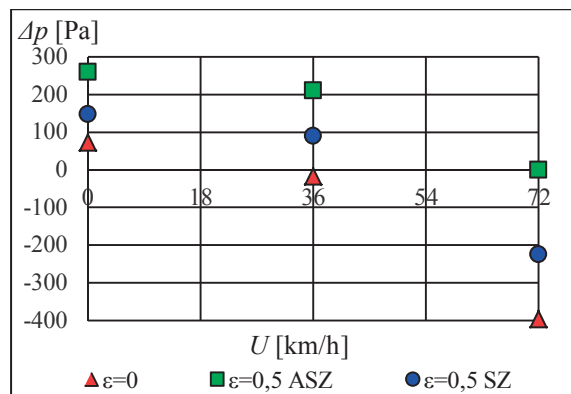
A 3. ábrán jól látható, hogy ventilátor szívóoldalán szimmetrikusan elhelyezett takarófelület aszimmetrikus terhelést okoz. A takarófelület a 3, 5 és 6-ossal jelölt lapátok egy részét takarja ki.



3. ábra A járókerék lapátokra ható Fz erőkomponens

A kitakart lapátrészeken a nyomóoldalon a nyomás lecsökken, míg a szívott oldalon megnő a nyomásérték, ez főként $U=72$ km/h sebességnél jelentős.

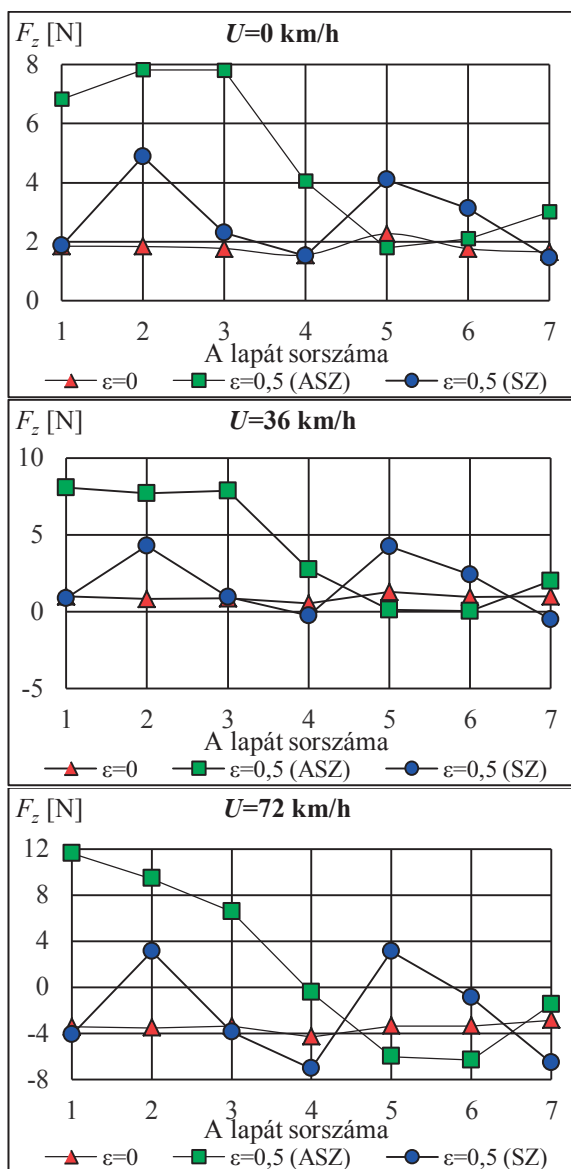
Megvizsgáltuk a ventilátor nyomó- (p_{ny}) és szívóoldalán (p_{sz}) lévő abszolút átlagnyomások különbségét ($\Delta p = p_{ny} - p_{sz}$). A ventilátor által létrehozott nyomásnövekményt a 4. ábra mutatja különböző sebességértékeknél. Azt tapasztaltuk, hogy $U=0$ km/h esetén a szívóoldalon lévő nyomás kisebb, mint a nyomóoldalon lévő abszolút nyomásérték, amely a ventilátor alapműködése esetén természetes. Az alapáramlás sebességét növelve, $U=36$ és 72 km/h esetén $p_{sz} > p_{ny}$ tapasztalható takarás nélküli esetben, tehát a ventilátor nyomásnövekménye negatív. Ez azt jelenti, hogy a ventilátor $U \geq 36$ km/h esetén ellenállástestként viselkedik. Ennek oka, hogy a nagy szélsébség miatti levegőáram nem tud a ventilátoron áthaladni, a levegő feltorlódik a ventilátor előtt. Ez esetben a ventilátort a szél is hajtja, „szélturbina” üzemhez hasonló állapot alakul ki. Ez a jelenség takarás esetén csak $U=72$ km/h értéknél figyelhető meg.



4. ábra A ventilátor Δp nyomásnövekménye takarás nélkül és fél takarással

A 4. ábrán az is megfigyelhető, hogy ε növelésével a nyomásnövekmény növekvő tendenciát mutat mindhárom U sebességérték esetén. Az ábrából az is látszik, hogy az aszimmetrikus takarás sokkal nagyobb nyomásnövekményt okoz, mint a szimmetrikus takarás.

A számításaink alapján megállapítottuk, hogy a ventilátorra ható aerodinamikai erő növekszik az alapáramlás sebességének növekedésével.



5. ábra A járókerék lapátokra ható F_z erőkomponens különböző megfúvási sebességeknél és takarásoknál

A lapátokra ható erő vizsgálatánál azt tapasztaltuk, hogy az F_x és az F_y komponensek lehetnek pozitív és negatív értékűek is, azaz az erő a járókerék forgásirányával vagy azzal ellentétesen hat. Jelentős eltérés ezekben a komponensekben $U=72$ km/h esetén van, de nagyságát tekintve 2-3-szorosára növekszik a letakart lapátokon a takarás nélküli esethez képest. Az axiális irányú erőnek (F_z) van a legjelentősebb hatása, ezért jelen cikkben ezt részletezzük. Az 5. ábra az F_z erőkomponens értékét mutatja takarás nélküli, aszimmetrikus és szimmetrikus féltakarásnál különböző áramlási sebességeknél. Az F_z előjele az alapáramlási sebesség növelésével változáson megy keresztül: $U=0$ és 35 km/h értékeknél $F_z > 0$ takarás nélküli és

aszimmetrikus esetben, tehát az axiális erő a főáramlás irányával megegyező irányú. Ezzel szemben $U=70$ km/h-nál az F_z a főáram irányával ellentétes irányba mutat takarás nélküli esetben, takarásnál viszont ismét pozitív értékű lesz. Jelentős hatása az aszimmetrikus takarásnál (1., 2. és 3. lapátnál) tapasztalható, itt az F_z erőkomponens értéke 3-4-szeresére nő a takarás nélküli esethez képest $U=0$ km/h esetén, míg $U=36$ km/h sebességnél ez elérheti a nyolcszorosát is. A sebességet tovább növelve az F_z abszolút értéke csak 2-3-szorosára növekszik meg. Szimmetrikus takarásnál (2, 3, 5 és 6 lapát) is megnő F_z erőkomponens abszolút értéke, de nem olyan jelentősen, mint aszimmetrikus takarásnál. Ennek valószínű oka az, hogy a lapátoknak csak egy részét takarja ki, nem az egészet, mint aszimmetrikus féltakarás esetén.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálataink kimutatták, hogy amennyiben egy axiális ventilátort alapáramlásba helyezünk, akkor a szélesebb sebességnek a ventilátor működésére és a lapátjaira ható erőre, az előállított nyomáskülönbségre jelentős hatása van. További fontos eredmény, hogy amennyiben a szabad áramlás útját takaróelemekkel megváltoztatjuk, akkor a lapátózást érzékelhető aszimmetrikus terhelés éri, amely hatással van a ventilátor rezgésjellemzőire is. ACFD szimulációból kapott eredmények így fontos kiinduló adatai lehetnek részletes numerikus mechanikai elemzéseknek.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Európai Unió és a Magyar Kormány támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósult meg az „Emobility Miskolcra: Hűtővíz keringető szivattyú és motorhűtő ventilátor továbbfejlesztése az elektromos járművekben elvárt magasabb minőségi követelmények figyelembevételével” című GINOP-2.2.1-15-2017-00090 azonosítószámú projekt keretében.

6. IRODALOM

- [1] PARK M.-J., LEE D.-J.: Sources of broadband noise of an automotive cooling fan. *Applied Acoustics* Vol. 118 (2017), pp. 66–75.
- [2] FLOWCS WILLIAMS J.E., HAWKINGS D.L.: Sound generation by turbulence and surfaces in arbitrary motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.

- Series A, Mathematical and Physical Sciences* Vol. 264 (1969), pp. 321–342.
- [3] LALLIER-DANIELS D., PIELLARD M., COUTTY B., MOREAU S.: Aeroacoustic study of an axial engine cooling module using lattice-Boltzmann simulations and the Ffowcs Williams and Hawkings' analogy. *European Journal of Mechanics B/Fluids* Vol. 61 (2017), pp. 244–254.
- [4] AMBDEKAR T.C., BARVE, S.B., KOTHAVALE B.S., DHOKANE N.T.: Design and analysis of engine cooling fan. *International Journal of Current Engineering and Technology* Vol. 3 (2014), pp. 114-118.
- [5] YE X., LI P., LI C., DING X.: Numerical investigation of blade tip grooving effect on performance and dynamics of an axial flow fan. *Energy* Vol. 82 (2015), pp. 556–569.
- [6] ZHANG L., JIN Y., JIN Y.: Effect of Tip Flange on Tip Leakage Flow of Small Axial Flow Fans. *Journal of Thermal Science* Vol. 23 (2014), pp. 45–52.
- [7] DOROGI D., BOLLÓ B., SZABÓ SZ.: Effects of external disturbances on the performance of an axial cooling fan. *Review of Faculty of Engineering Analecta Technica Szegedinensia*, Vol. 13 (2019), pp. 48-55.