

# RAF-6E szárnyprofil nyomás vizsgálata a szárny körül

## Pressure distribution measurement of RAF-6E airfoil

GULYÁS András<sup>1</sup>, NAGY László<sup>2</sup>

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME), Gépészmérnöki Kar, Áramlástan Tanszék  
1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 4-6., tel.: +36 1 463 3465, fax.: +36 1 463 3464, www.ara.bme.hu

<sup>1</sup>tanszéki mérnök, gulyas@ara.bme.hu  
<sup>2</sup>egyetemi tanársegéd, nagy@ara.bme.hu

### ABSTRACT

The aim of the investigations was pressure distribution measurement of RAF-6E airfoil in discrete points and after the pressure coefficient was calculated. During the measurement pressure coefficient was studied and angle of attack was change from 0 to 17.

### ÖSSZEFOGLALÓ

A vizsgálat célja egy RAF-/E típusú szárnyprofil körül a nyomáeloszlás mérése, diszkrét pontokban majd a nyomástényező kiszámítása volt. A mérés alatt vizsgáltuk a nyomástényező alakulását 0-17 fokos állásszög között.

**Kulcsszavak:** szárnyprofil, nyomásmérés, nyomástávadó, bizonytalanság

### BEVEZETÉS

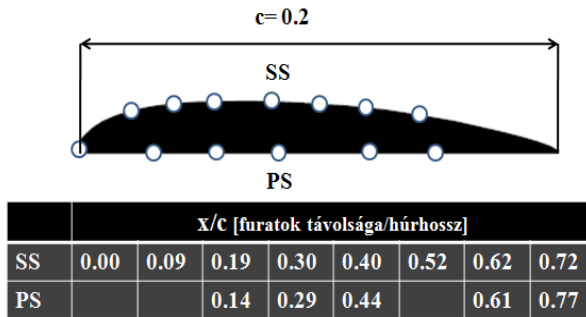
Az első világháborúban kifejlesztett RAF-6E szárnyprofilot használtunk a mérés során, amelyet ma már a légtéchnikai rendszerekben a ventilátorokban használják kedvelten, mert a sík nyomott oldalát egyszerű legyártani. Az áramlásra jellemző Reynolds számot 133000 értéken tartottuk.

A vizsgálatokat a BME Áramlástan Tanszék Kármán Tódor Szélszatorna Laboratóriumában végeztük, az 1941-ban készített, NPL (National Physical Laboratory) típusú, szívó szélszatornában, melynek a mérőtere 500mm x 500mm. A szélszatornára jellemző turbulencia fokot (free-stream turbulence, FST) a TSI lézer-doppler anemométerrel (LDA) ellenőriztük, és értéke 0,5% volt. A szélszatornákra jellemző kiblokkolási hatás 5° fokos állásszög esetében 7,5%.

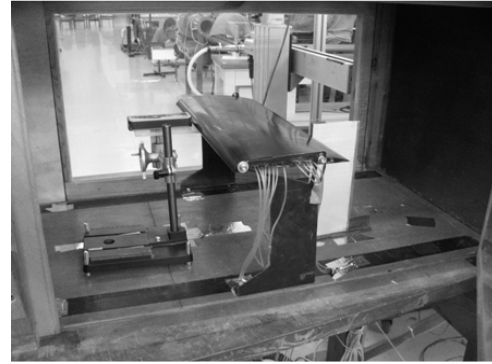
Ez a mérés is része egy forgógépekre vonatkozó kutatásnak. Elsősorban numerikus módszerrel határozzuk meg az ANSYS-FLUENT és az OpenFOAM szabad licence szoftverrel az áramlást és a hozzá csatlakozó paramétereket pedig a nagy örvény szimuláció (large eddy simulation, LES) módszerével [6], [7] és [9]. A mérések tekintetében pedig idáig biztató eredményeket kaptunk LDA és hődrót [8] módszerek által.

## 1. MÉRÉSI ÖSSZEÁLLÍTÁS

A RAF-6E szárny körül végzett nyomásméréseket 0° és 17° között végeztük, 1° közönként. A szakirodalom alapján nagyon nehéz a szívott (SS) oldalon jó egyezést elérni, a mérés és a szimuláció között [5]. A szárnyakra jellemző az úgynevezett „átesés”, amikor drasztikusan csökken a felhajtóerő, ami észrevehető a nyomástényező diagramokon is [4]. A RAF-6E szárny esetén a 133000 Re mellett a maximális felhajtóerő tényező ( $c_f$ ) 14° esetén, míg a minimális ellenállás tényező ( $c_e$ ) a 2° esetén éri el [1], [2] és [3]. A siklószám a repülőgépeknél használatos kifejezés, motor illetve a hajtómű használata nélkül – siklórepülésben – a megtett út és az elveszített magasság hányadosa. Ez a harmadik jellemző pont, a legnagyobb siklószámra éri el. Ebben az esetben, a ( $c_f/c_l$ ) 5°. A numerikus szimulációk valamint a korábbi mérések ezen a szögön történtek.



1. ábra  
RAF-6E szárny mérési pontjai



2. ábra  
Szögbeállítás

A nyomásmérés szempontjából szárnyprofilok esetében kritikus tényező a szárny valós geometriájának pontossága (megfelelő felületi minőség illetve pontos profil), a nyomásmérő furatok kialakítása, és természetesen a pontos szög beállítása. A mérés pontosságának javítása a precízebb szögbeállítással volt elérhető. Erre az Áramlástan Tanszéken rendelkezésre álló lézeres távolságmérőt használtuk. Ez a műszer a távolság mérésen kívül szögmérésre is alkalmas 0-45 fokig +/- 0.3 fokos pontossággal. Mivel e típusú szárnyprofil nyomott oldala vízszintes, ezért a 2. ábrán látható módon a mérőszakaszba helyezett szárnyprofil, alsó lapja szolgált bázisfelületként a szögbeállítás szempontjából. A szárnyprofil előtt elhelyeztünk tehát egy olyan segédállványt, amelyre szerelt vízszintes lapot párhuzamosan beállítottuk a szárny alsó lapjával. Ennek a segédlapnak a felületére helyeztem a lézeres műszert. A szögbeállítás művelete tehát úgy történt, hogy a lapot a mérni kívánt állásszögbe állítottuk a lézeres műszer által jelzett szög érték alapján. Ezt követően aztán a szögbe állított lappal párhuzamosan fektettük fel a szárny alsó lapját.

A szárny SS oldalán 8, a PS oldalán 5 nyomásfurat került kialakításra (1. ábra). A SS oldalon a 8 furatból egy a torlóponthoz található. A furatok a szárnyprofil oldalán történtek kivezetésre tehát összesen a 13 nyomásfuraton mérhető nyomásértéket Sectra típusú, digitális nyomástávadóval mértük. A mért nyomásértékeket 2 kHz-en, 20 s-ig átlagolva detektáltuk, továbbá nyomon követhető volt az átlagolt értékek ingadozása is. A mérés során egy jellemző Reynolds számon mértünk. Ennek a megvalósítása a szélcsatorna konfúzonon található statikus körvezetéken, a légkörhöz képest mért, dinamikus nyomásból számolt sebesség, állandó korrigálása révén történt. Az előbb említett dinamikus nyomást és így közvetve az ebből számolt sebességet szintén Sectra típusú digitális nyomástávadóval mértük. A szárny nyomásmérését +/- 250 Pa, a statikus körvezetéken mért értéket pedig +/- 125 Pa méréstartományú műszerrel mértük. Az előbbinek a teljes tartományon +/- 0.7 Pa, az utóbbinak +/- 0.2 Pa volt a mérési pontossága. A távadókat Betz manométerrel kalibráltuk.

## 2. A KIÉRTÉKELÉS

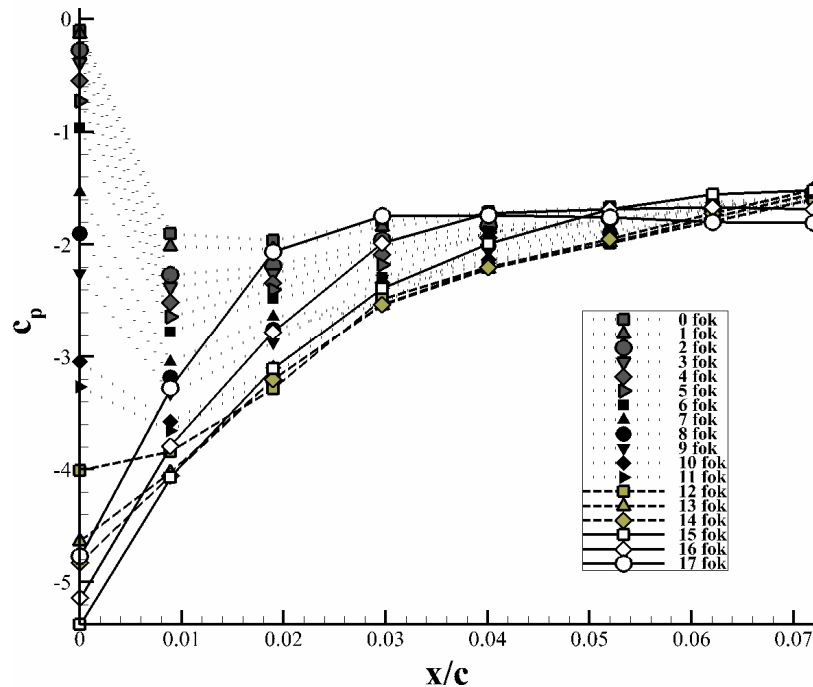
A korábbiak alapján tehát a szárnyprofil nyomáseloszlását 0-17 fokig mértük, egy fokos lépésközzel, a SS és a PS oldalakon, előre definiált pontokban. A szárny felületén mérhető nyomást a légkörhöz, vagyis a zavartalan áramláshoz képest mértük, ezt tekintve a referencianyomásnak ( $p_{0ref}$ ). A mért nyomásértékek alapján kiszámítottuk a nyomástényezőt ( $c_p$ ). A képlet nevezőjében (1) szereplő sebességet ( $v$ ), a statikus körvezetékkel a légkörhöz képest mért dinamikus nyomásból számoljuk ki.

$$c_p = \frac{p - p_{0ref}}{\frac{\rho}{2} v^2} \quad (1)$$

A mérés és a  $c_p$  számítás végezetével, hibaszámítást is végeztünk. A hibaszámítás során a két Sectra nyomástávadó mérési bizonytalanságát kellett figyelembe vennünk. Az állásszögek közül az 5 fokos állásszög eredményeit közöljük (5. ábra).

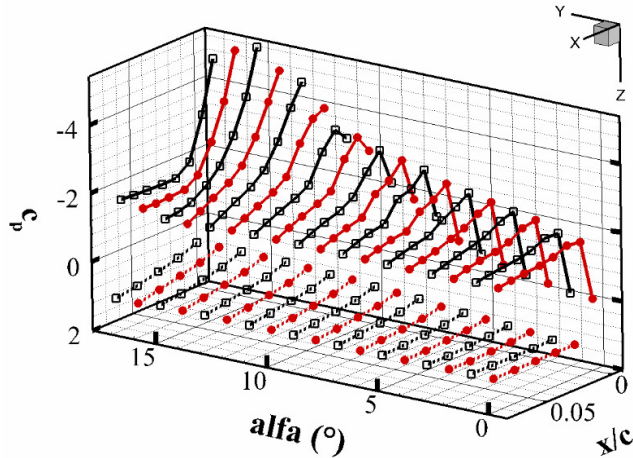
### 3. EREDMÉNYEK

A mérés szempontjából a két oldal közül, a hasznosabb információt a SS oldal nyomáseloszlása szolgáltatja számunkra. Az irodalomnak megfelelően ennek értéke negatív. A bevezetőben említett átesés ott következik be, ahol a nyomás, jelen esetünkben pedig, a nyomástényező drasztikusan lecsökken. A mérés eredményeinek kiértékelése után a SS esetben 3. ábrán látható görbéket kaptuk.



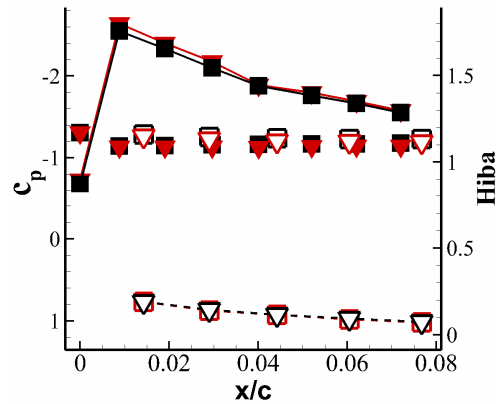
3. ábra  
SS oldal  $c_p$  eloszlás 0-17 fokos állásszög esetén

A 3. ábrán található diagram függőleges tengelyén szerepel a nyomástényező, vízszintesen pedig a nyomásfuratnak a szárny belépőélétől mért távolsága, ( $x$ ) ami a húrhosszal ( $c$ ) van dimenziótalanítva. Az  $x/c=0$  pontban van a torlópont. A görbesereg alapján megfigyelhető, hogy 0-11 fokos állásszögig a nyomástényező negatív irányban nő. Az egymáshoz képesti növekedés a belépőéltől távolodva azonban csökken. Az első 3 mérési pontban a 12 fokos állásszög  $c_p$  értékeit figyelve azonban láthatjuk, hogy a nyomástényező drasztikus csökkenést mutatott, ami az általunk feltételezett átesés jelensége miatt következhetett be. Ez egyezőséget mutat a [3] irodalommal, bár az igaz, hogy ennél a szögénél a felhajtóerő tényező jelentős csökkenése indul meg. Ha ezeket a görbéket háromdimenziós diagramba helyezzük (4. ábra) az figyelhető meg, hogy az állásszög növelésével a görbék jellege egyre meredekebben változik, illetve itt ábrázoltuk a PS oldalt, ami jól láthatóan kisebb meredekséggel rendelkezik, és az állásszög függvényében kevésbé mutatnak különbözőségeket. A korábbiaknak megfelelően végeztük el a hibaszámítást. Illetve több szögállás esetében is visszamértük a nyomáseloszlást, és ismét kiszámítottuk a  $c_p$  értékeket, annak érdekében, hogy a mérések reprodukálhatóságáról meggyőződést szerezhessünk. Az 5. ábrán látható diagram az 5 fokos állásszöget ábrázolja a relatív hibákkal, ennek értékét százalékban kell értelmezni. A folytonos vonal az SS, a szaggatott az PS oldalt jelenti. Adott nyomás oldalon pedig a különböző szín, az első majd a második, vagyis az ellenőrző mérést jelöli. A relatív hiba értékeket vonallal nem összekötött pontok mutatják illetve, hogy éppen melyik méréshez és nyomásoldalhoz tartoznak, a piktogram típusa alapján azonosíthatjuk be. Ezek alapján elmondható, hogy mérés megismételhető, illetve hogy a számított relatív hiba minden esetben 1-1,2% között volt, amelyet elfogadható mértékű hibaként kezeltünk a kiértékelés során.



4. ábra

SS, PS oldal  $c_p$  eloszlás  $0 \div 17$  fokok között



5. ábra

$c_p$  eloszlás 5 fokon, relatív hibával

## ÖSSZEFOGLÁS

A BME Áramlástan Tanszéken nyomásméréseket végeztünk a RAF-6E típusú egyenes síkú nyomott oldallal jellemezhető szárny profillal. A mérés célja az volt, hogy a szárnyakra jellemző áramlási paraméterek meghatározását feltérképezzük, a nyomástényező segítségével. A kialakított mérés nem biztosította, hogy az összes jelleget megkapjuk, pl. a torlópont körül eredményeket, de azonban a mérés reprodukálható volt és a SS és PS oldalon is a szakirodalommal egyező jellegeket kaptunk. Az összeállított mérési rendszer hibája 1% körül alakult. A későbbiekben célunk a teszt szárnyon több furatot kialakítani, amivel a mérési felbonthatóság javul, továbbá erőcellák alkalmazása. Így lehetőségünk lenne a  $c_d$ ,  $c_l$  erőtényezők mérésére is. A mérési eredmények összehasonlítása a szimulációval is megvalósítható. Egy újabb sikeres lépést tettünk a szárny illetve ventilátorok kutatásainkban.

## IRODALOM

- [1] RAF-6E, The Department of Aerospace Engineering at the University of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC), Airfoil database [http://www.ae.uiuc.edu/m-selig/ads/coord\\_database.html#R](http://www.ae.uiuc.edu/m-selig/ads/coord_database.html#R)
- [2] G. N. Patterson: Ducted Fans. Design for High Efficiency. Australian Council for Aeronautics Rep. ACA 7, 1944
- [3] Gruber József és szerzőtársai, Ventilátorok, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1966
- [4] M.J. Vafaei Rostami, M. Saghafian, A. Sedaghat, Mo. Miansari, Numerical investigation of turbulent flow over a stationary and oscillatory NACA0012 airfoil using overset grids method Int. J. Numer. Meth. Fluids (2010) DOI: 10.1002/fld.2332
- [5] Y. Addad, R. Prosser, D. Laurence, S. Moreau, F. Mendonca On the Use of Embedded Meshes in the LES of External Flows Flow Turbulence Combust (2008) 80:393–403 DOI 10.1007/s10494-007-9131-1
- [6] Nagy L, Rékert T, Lohász M.M. Large-Eddy Simulation in the vicinity of the RAF-6E airfoil in a reduced domain. In: XIX Polish National Fluid Dynamics Conference: KKMP2010. Poznan, Lengyelország, 2010.09.05-2010.09.09. Poznan: pp. 1-9. 2010
- [7] Rékert T, Nagy L, Balczó M, Molnár B. RANS Simulation of RAF6 Airfoil Investigation of the characteristics of the boundary layer over an airfoil. Proceedings of Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'06). Budapest, Budapest: pp. 1139-1146. 2006
- [8] Berkó Balázs, Nagy László RAF-6E szárnysegmens szívott oldali nyom mérése Lézer Doppler Anemométer és hődrót mérés technikával az NPL szélcsatornában április OGÉT 2012-XX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó. Kolozsvár, Románia 2012.04.19 – 22.
- [9] Nagy László Szárny körül kialakuló áramlás numerikus szimulációja. OGÉT 2010-XVIII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó. Baia Mare, Románia, 2010.04.22-2010.04.25. pp. 310-313. 2010

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja. A cikk elkészítését az OTKA K 83807 projektje támogatta.