

## IT VS. VALÓSÁG, AVAGY MENNYIRE HATÉKONY A SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓ

### IT VS. REALITY, EFFICIENCY OF THE SIMULATIONS BY COMPUTER

*Pálfi Tamás, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vasúti Járművek és Járműanalízis tanszék, [palfi.tamas@yahoo.com](mailto:palfi.tamas@yahoo.com), 1111 Műegyetem rkp. 3*

*Ficzere Péter, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vasúti Járművek és Járműanalízis tanszék, [ficzere.peter@kjk.bme.hu](mailto:ficzere.peter@kjk.bme.hu), 1111 Műegyetem rkp. 3*

#### ÖSSZEFOGLALÁS

Napjaink gazdasági szemlélete megköveteli többek között a reoülőgép üzemeltetőktől is, hogy egyre inkább a karbosemlegesség felé szervezzék át működésüket különböző innovatív technológiák bevezetésével.

Jelen tanulmány célja, hogy bemutassa, milyen lehetőségek vannak a modern 3D nyomtatás segítségével olyan új kialakítású szárnyfület tervezni, mely innovatív formájának köszönhetően hozzájárul a repülőgépek üzemanyagfogyasztásának, ezáltal a légszennyezés lecsökkentéséhez.

#### ABSTRACT

The current economic situation requires aircraft operators to start organizing their activity in the direction of carbon neutrality using innovative solutions.

The goal of present study is to design a brand new wingtip device using 3D printing which helps reducing aerodynamical drag, leading to fuel efficiency and less carbon emission with its innovative shape.

#### 1. BEVEZETÉS

„Szállni szabadon, korlátok nélkül, akárcsak a madár” Ez a gondolat foglalkoztatta az emberiséget évezredekken keresztül egészen addig, amíg Otto Lilienthal [1] 1892-ben meg

nem építette az első repülőgépet[2]. Az elmúlt közel másfél évszázad alatt a repülés rohamosan fejlődött a legelső fából és vászonból készült repülőtől egészen a korszerű, több száz tonnás, kompozit anyagokból készült repülőgépekig. A XXI. század gazdasági rendszere olyan technológiai megoldásokat igényel, amelyek gazdaságos utas- és teherszállítást biztosítanak, légi úton is. Ennek érdekében a repülőgépgyártók folyamatosan dolgoznak azon, hogy repülőgépeiket a lehető leggazdaságosabban üzemeltethetővé tegyék.

#### 2. SZÁRNYVÉGI ÖRVÉNYLÉS

##### 2.1. A szárnyvégi örvénylés kialakulása

A repülőgép a szárny alsó és felső része között létrejövő légnyomáskülönbségnek köszönhetően képes repülni, ez azonban a szárnyvégeken örvénylést eredményez, ahogy ez az 1. ábrán megfigyelhető[3].

A létrejött örvénylés nagy mértékben növeli a szárny légellenállását[4].



1. ábra: Szárnyvégi örvénylés[5]

## 2.2. A szárnyvégi örvénylés csökkentése

Annak érdekében, hogy a szárnyvégi légörvény minimalizálják, a gyártók úgynevezett szárnyfüleket terveztek a repülőgépekre[6]. Ezek méretükben és formájukban nagyon eltérők lehetnek egymástól, egy dologban azonban hasonlítanak: egyesek jobban, mások kevésbé, de mindegyik valamilyen szinten és valamekkora százaléban hozzájárul a repülőgép üzemanyag fogyasztásának csökkentéséhez „falat” állítva az örvénylésnek, így az csak sokkal kisebb mértékben jöhet létre[7]

## 2.3. Kialakuló örvénylések összehasonlítás

A 2. ábra azt szemlélteti, hogy a repülőgép szárnyfűl nélküli baloldali szárnyvégén sokkal nagyobb és erőteljesebb örvénylés jöhet létre, mint a jobboldalin, amelyiken megtalálható ez a szerkezet.



2. ábra: Szárnyvégek összehasonlítása[8]

## 3. A KUTATÁS FOLYAMATA

### 3.1. A kutatás célja

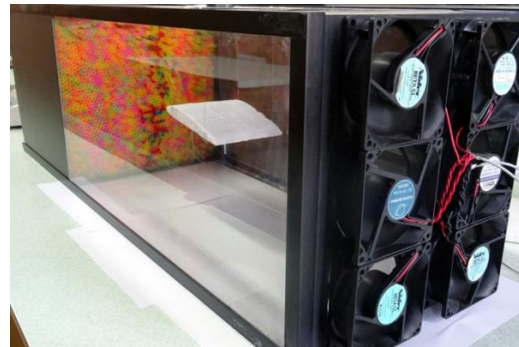
A kutatás célja egy olyan modern, teljesen új szárnyfűl tervezése, amely mind formájában, mind méretében és tömegében hozzájárul a modern légitözlekedés gazdaságosabbá tételéhez. Nem elhanyagolható szempont az sem, hogy napjaink egyik meghatározó kérdésében, a környezetbarát üzemelésben is fontos szerepet szeretnénk elérni az üzemanyagfogyasztás csökkentésével.

### 3.2. Az ötlet megvalósítása

A kutatás során többféle kialakítású szárnyfűlet tesztelünk saját építésű szélcsatornában, majd a mért adatokat összevetjük a számítógépes szimuláció eredményeivel. A szélcsatornás mérésekhez 3D nyomtató segítségével készítjük el a darabokat, így gyakorlatilag bármilyen geometriájú alkatrész gyorsan és viszonylag olcsón előállítható.

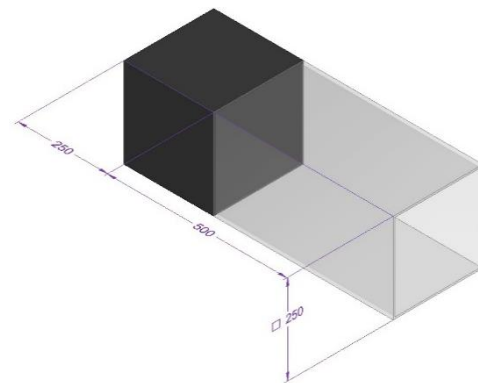
### 3.3. A szélcsatorna

A 3. ábrán látható szélcsatorna egy beszívó típusú szélcsatorna[9], amelybe 2500 darab szívószálon keresztül jut be a levegő. A csatornában a levegő párhuzamos áramlását a szívószálak mellett a 6 darab, egyenként 12 voltos ventilátor biztosítja. A kísérletek a szívószálrács és a ventilátorok közötti térrészben végezhetők.



3. ábra: Szélcsatorna

A szélcsatorna fő méretei a 4. ábrán láthatók.



4. ábra: A szélcsatorna fő méretei

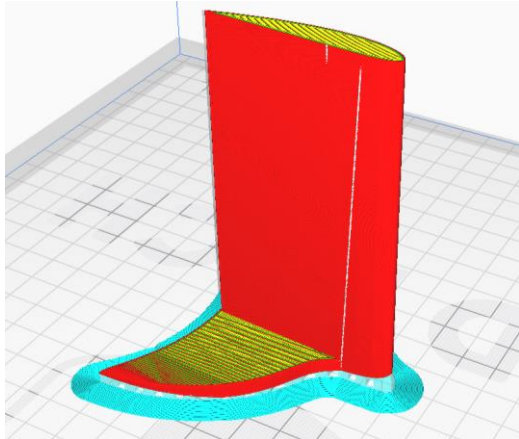
### 3.4. 3D nyomtatott modell

A modell geometriai jellemzőit a Solid Edge nevű tervező program segítségével készítettük el, majd a Zortrax M200 [10] típusú 3D nyomtató (amely ABS[11] anyagot használ nyomtatáshoz[12]) segítségével gyártottuk le.

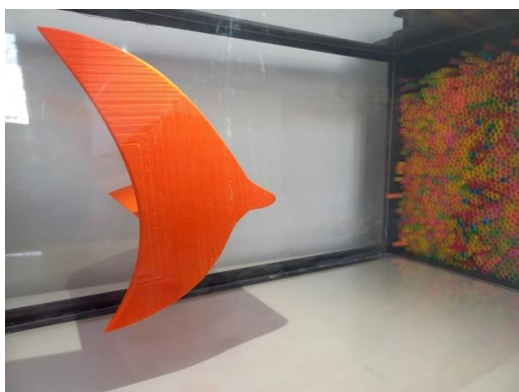
A nyomtatás megkezdése előtt szükséges a nyomtatási paramétereket úgy megválasztani, hogy a kinyomtatott alkatrész a célnak megfeleljen, tehát jól alkalmazható legyen szélcsatornás, aerodinamikai vizsgálatok és szimulációk elvégzéséhez[13]

Így tehát a nyomtatási rétegvastagságot érdemes a lehető legvékonyabbra állítani, jelen esetben ez 0.05 mm volt. Ez ugyan nagyban megnöveli a gyártási időt, de lényegesen jobb

felületi minőséget kapunk, ezzel javítva a mérési eredményeket. A modell szeletelt, illetve támasztékokkal[14] ellátott vázlata az 5. ábrán látható. A modell a nyomtatás után már vizsgálható is a szélcsatornában (6. ábra).

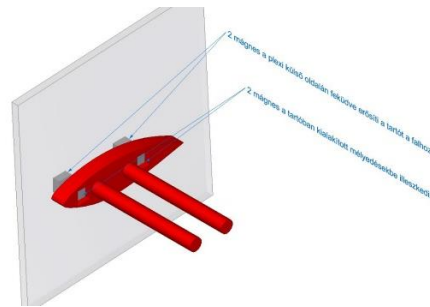


5. ábra: Szeletelt modell

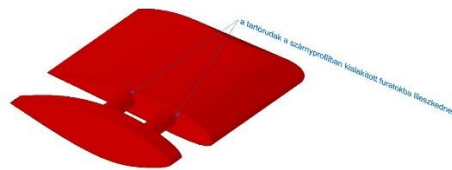


6. ábra: 3D modell a szélcsatornában

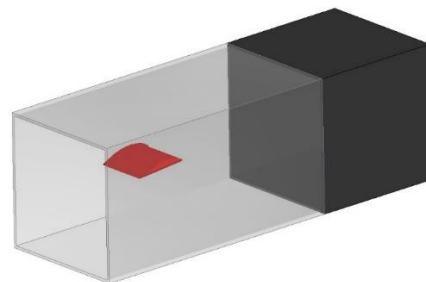
A különböző topológiájú modelleket a szélcsatornában egy univerzális tartó segítségével lehet rögzíteni és a kívánt pozícióba beállítani. A tartót mágnesek erősítik a szélcsatorna oldalához (7-8. ábra), míg a rajta található konzolos rudaknak köszönhetően könnyedén lehet a tesztelendő modelleket fel- és leszerelni (9. ábra).



7. ábra: A tartót 4 mágnes rögzíti a szélcsatorna falához, ezekből 2 a tartóban elhelyezett mélyedésbe, míg 2 a plexi külső oldalához illeszkedik



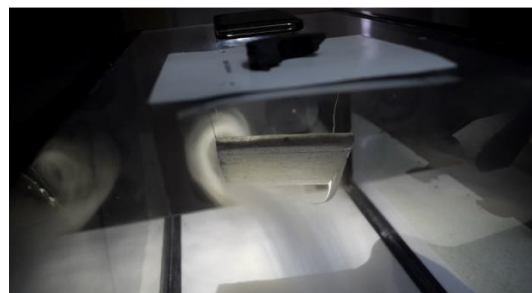
8. ábra: A szárnyprofil furatok segítségével illeszkedik a tartóhoz



9. ábra: A szélcsatornában felszerelt szárnyprofil (3D modell)

### 3.5. Szélcsatornás vizsgálatok értékelése

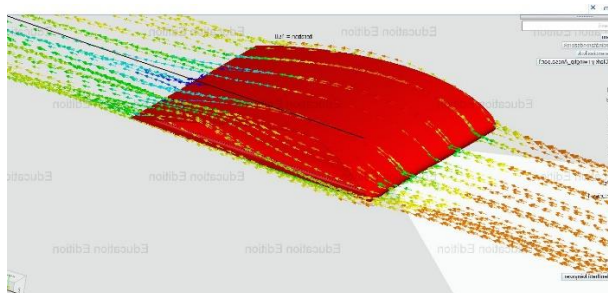
A szélcsatornás vizsgálatok sikeresnek mondhatók, hiszen füsttel láthatóvá tett áramlás segítségével jól kimutatható a szárnyvégi áramlás, mint az a 10. ábrán is megfigyelhető.



10. ábra: Füsttel kimutatott áramlás a szárnyvégen

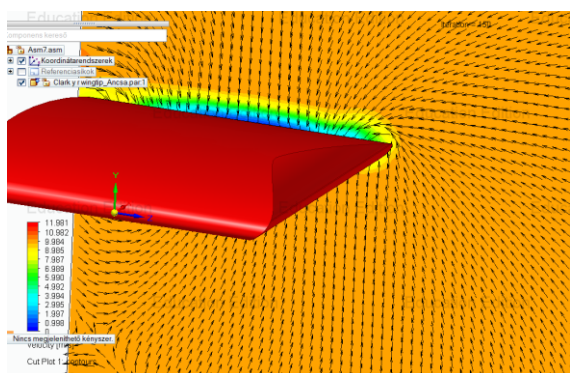
### 3.6. Számítógépes szimulációk

A számítógépes szimulációkat a Solid Edge nevű CFD szoftver FloEFD bővítményével végeztük. Számítógépes szimuláción kissé kevésbé megfigyelhető, azonban még ott is jól látható a szárnyvégi áramlás kialakulása. (11. ábra)

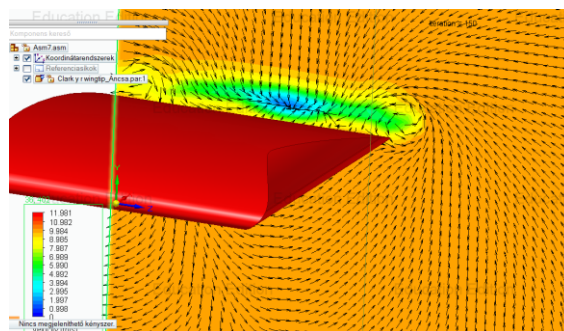


11. ábra: Szárnyvégi áramlás kialakulása számítógépes szimulációban

Ha a szárny körüli áramlást sebességvektorokkal szemléltetjük, akkor jól megfigyelhető (12. és 13. ábra), hogy a szárnyvégeken feláramlik a levegő, majd a szárny mögött létrejön az örvénylés.



12. ábra: Szárnyvégnél történő feláramlás sebességvektorokkal szemléltetve



13. ábra: Szárny mögötti örvény sebességvektorokkal szemléltetve

### 4. KÖVETKEZTETÉSEK

Kutatásunk során egy olyan innovatív szárnyfület terveztünk és teszteltünk, amely hozzájárulhat napjaink dinamikusan fejlődő gazdasági igényeihez gazdaságosabbá és környezetbarátabbá téve a polgári repülést. Emellett fény derül arra is, hogy milyen különbségekkel találkozhat a kutató, ha valós szélcsatornában tesztel vagy pedig számítógépes szimuláció segítségével.

Fontos megjegyezni, hogy a numerikus áramlási szimulációknak nagyon sok buktatója, kényes pontja van. Ezért a szimulációk során kapott eredményeket validálni szükséges[15].

Amennyiben egy adott peremfeltétel esetén a szélcsatornában és a szimulációban kapott áramképek jól korrelálnak, akkor mondhatjuk, hogy a szimuláció beállításai megfelelőek. Ebben az esetben hasonló peremfeltételek mellett könnyen és gyorsan tudunk vizsgálni tetszőleges számú szárnyvég kialakítást. Amelyik kialakítást a szimulációk alapján a legjobbnak véljük azt természetesen le kell gyártani és szélcsatornában végzett kísérletekkel is igazolni kell annak megfelelőségét.

- [1] Crouch, Tom D.. "Otto Lilienthal". *Encyclopedia Britannica*, 19 May. 2022,  
<https://www.britannica.com/biography/Otto-Lilienthal> (Felkeresve: 2022.08.22.)
- [2] Crouch, Tom D.. "Lilienthal standard glider". *Encyclopedia Britannica*, 23 Oct. 2007,  
<https://www.britannica.com/topic/Lilienthal-standard-glider> (Felkeresve: 2022.08.22.)
- [3] <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/aerodynamics/how-winglets-reduce-drag-and-how-wingtip-vortices-form/#:~:text=What%20are%20wingtip%20vortices%3F,rotating%20inwards%20behind%20the%20wing.> (Felkeresve: 2022.08.22.)
- [4] Zepeng CHENG, Shiyang ZHANG, Yang XIANG, Chun SHAO, Miao ZHANG, Hong LIU, Yingchun CHEN,  
Effect of vortex dynamics and instability characteristics on the induced drag of trailing vortices,  
*Chinese Journal of Aeronautics*, 2021,
- [5] [https://www.google.com/search?q=wingtip+vortices&sxsrf=APq-WBv2kLu\\_JLWg\\_DbNYVIx0vii5YdeSg:1648913193984&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj-ncWp2PX2AhVQt6QKHccVAjoQ\\_AUoAXoECAIQAw&biw=1920&bih=969&dpr=1#imgrc=2UHoBpi07ZpFaM](https://www.google.com/search?q=wingtip+vortices&sxsrf=APq-WBv2kLu_JLWg_DbNYVIx0vii5YdeSg:1648913193984&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj-ncWp2PX2AhVQt6QKHccVAjoQ_AUoAXoECAIQAw&biw=1920&bih=969&dpr=1#imgrc=2UHoBpi07ZpFaM) (Felkeresve: 2022.08.23.)
- [6] <https://aviationbenefits.org/case-studies/wingtip-devices/>
- [7] Mirko Zaccara, Gerardo Paolillo, Carlo Salvatore Greco, Tommaso Astarita, Gennaro Cardone,  
Flow control of wingtip vortices through synthetic jets, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Volume 130, 2022,
- [8] [https://www.google.com/search?q=wingtip+vortices&sxsrf=APq-WBv2kLu\\_JLWg\\_DbNYVIx0vii5YdeSg:1648913193984&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj-ncWp2PX2AhVQt6QKHccVAjoQ\\_AUoAXoECAIQAw&biw=1920&bih=969&dpr=1#imgrc=2UHoBpi07ZpFaM](https://www.google.com/search?q=wingtip+vortices&sxsrf=APq-WBv2kLu_JLWg_DbNYVIx0vii5YdeSg:1648913193984&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj-ncWp2PX2AhVQt6QKHccVAjoQ_AUoAXoECAIQAw&biw=1920&bih=969&dpr=1#imgrc=2UHoBpi07ZpFaM) (Felkeresve: 2022.08.23.)
- [9] <https://www.grc.nasa.gov/www/K-12/airplane/tunoret.html> (Felkeresve: 2022.08.23.)
- [10] <https://zortrax.com/3d-printers/m200-plus/> (Felkeresve: 2022.08.23.)
- [11] <https://www.creativemechanisms.com/blog/ev-erything-you-need-to-know-about-abs-plastic> (Felkeresve: 2022.08.23.)
- [12] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer". *Encyclopedia Britannica*, 20 Mar. 2019,  
<https://www.britannica.com/science/acrylonitrile-butadiene-styrene-copolymer> (Felkeresve: 2022.08.23.)
- [13] Sithiprumnea Dul, Brenda J. Alonso Gutierrez, Alessandro Pegoretti, Jaime Alvarez-Quintana, Luca Fambri,  
3D printing of ABS Nanocomposites. Comparison of processing and effects of multi-wall and single-wall carbon nanotubes on thermal, mechanical and electrical properties, *Journal of Materials Science & Technology*, Volume 121, 2022
- [14] <https://all3dp.com/2/cura-support-settings-optimize-your-supports/> (Felkeresve: 2022.08.23.)
- <sup>1</sup>[15] Heteyi, C., Molnár, I., & Szlivka, F. (2020). Comparing different CFD software with NACA 2412 airfoil, *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 16(1), 25-40. Retrieved Aug 9, 2022, from <https://akjournals.com/view/journals/446/16/1/article-p25.xml> , <https://doi.org/10.1556/446.2020.00004>