

Additív gyártástechnológia alkalmazása szélcsatornás szimulációkhoz

The Use of Additive Manufacturing for Wind Tunnel Simulations

PÁLFI T.¹, FICZERE P.²

¹Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Engineering, Department of Railway Vehicles and Vehicle System Analysis, palfi.tamas@yahoo.com, 1111 Műegyetem rkp. 3

²Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Engineering, Department of Railway Vehicles and Vehicle System Analysis, ficzere.peter@kjk.bme.hu, 1111 Műegyetem rkp. 3

Absztrakt. Napjaink gazdasági szemlélete megköveteli többek között a repülőgép 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 csökkentéséhez, ezáltal a repülőgépek légszennyezésének mérsékléséhez.

Kulcsszavak: 3D nyomtatás, szárny véglap, szélcsatorna

Abstract. The current economical 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.

Keywords: 3D printing, wingtip device, wind tunnel

1. Bevezetés

„Szállni szabadon, korlátok nélkül, akárcsak a madár” Ez a gondolat foglalkoztatta az emberiséget évezredek keresztül egészen addig, míg Otto Lilienthal¹ 1892-ben meg nem építette az első repülőgépet². Az elmúlt közel másfél évszázad alatt a repülés rohamosan fejlődött a legelső fából és vászonból készült repülőtől egészen a korszerű, többszáz tonnás, kompozit anyagokból készült repülőgépekig. A 21. 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 örvénylelés

2.1. A szárnyvégi örvénylelés kialakulása

A repülőgép a szárny alsó és felső része között létrejövő légnyomáskülönbségnek köszönhetően képes repülni, ez azonban a szárnyvégeken örvénylest eredményez, ahogy ez az 1. ábrán megfigyelhető.³ A létrejött örvénylelés nagy mértékben növeli a szárny légellenállását⁴.



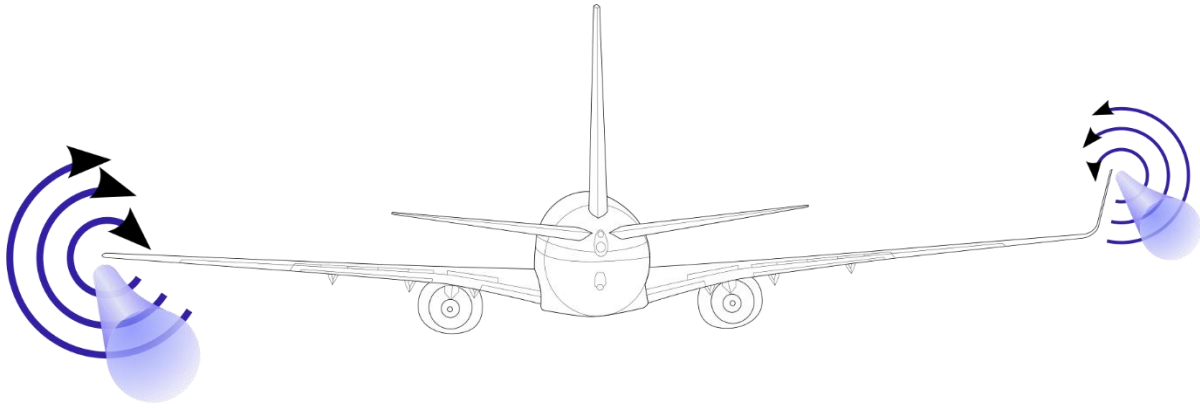
1. ábra: Szárnyvégi örvénylelés⁵

2.2. A szárnyvégi örvénylelés csökkentése

Annak érdekében, hogy a szárnyvégi légörvényt minimalizálják, a gyártók úgynevezett szárnyfüleket terveztek a repülőgépeikre.⁶ Ezek méretükben és formájukban nagyon eltérőek lehetnek egymástól, egy dologban azonban hasonlítanak: egyesek jobban, mások kevésbé, de mindegyik valamilyen szinten és valamekkora százalékban hozzájárul a repülőgép üzemanyag fogyasztásának csökkentéséhez „falat” állítva az örvénylelésnek, így az csak sokkal kisebb mértékben jöhet létre⁷.

2.3. Kialakuló örvénylések összehasonlítása

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 összehasonlítása⁸

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 szélcsatornás tesztekhez 3D nyomtató segítségével készítjük el a darabokat, így gyakorlatilag bármilyen geometriájú alkatrész gyorsan és viszonylag olcsón előállítható. A kutatás során többféle kialakítású szárnyfűlet tesztelünk saját építésű szélcsatornámban, majd a mért adatokat összevetjük a számítógépes szimuláció eredményeivel. Ha ezek megegyeznek, levonhatjuk következtetésként, hogy a mérési eredmények sikeresek.

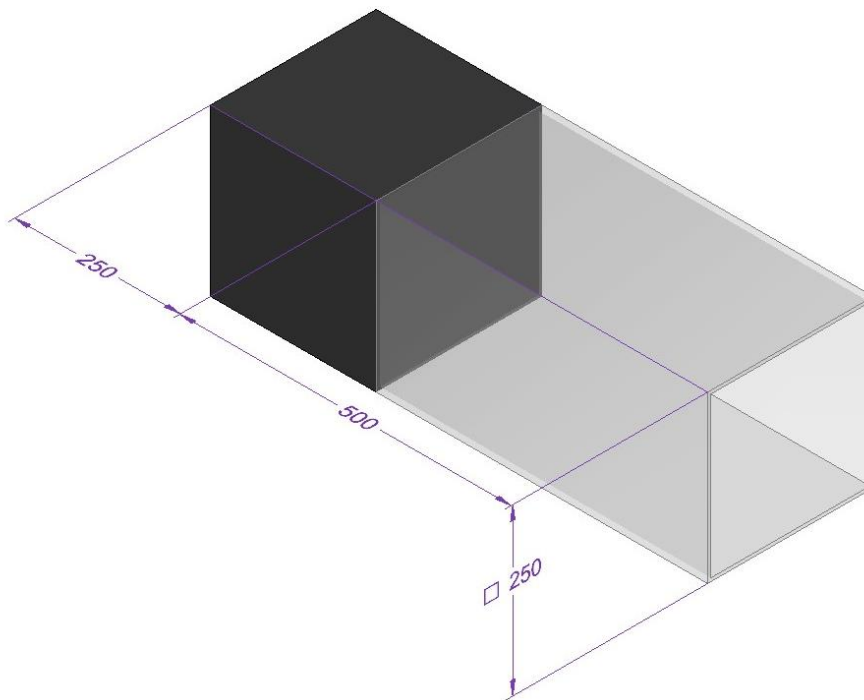
3.3. A szélcsatorna

Az általam épített szélcsatorna (lásd 3. ábra) egy beszívó típusú szélcsatorna⁹, 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 láthatóak.



4. ábra: A szélcsatorna fő méretei

A szélcsatornában mért áramlási sebesség 2 m/s, ami jóval elmarad a repülőgépek valós sebességétől, azonban még ezen körülmények között is létrejön a felhajtóerő valamint az említett örvénylés. Továbbá a hasonló paraméterekkel lefuttatott szimuláció is azonos eredményeket ad (5. ábra), így megállapítható, hogy Solid Edge szimulációi képesek

reprodukálni a valóságban tapasztalható jelenségeket, így a későbbiekben használhatjuk akár nagyobb sebességeken történő vizsgálatok elvégzéséhez is.

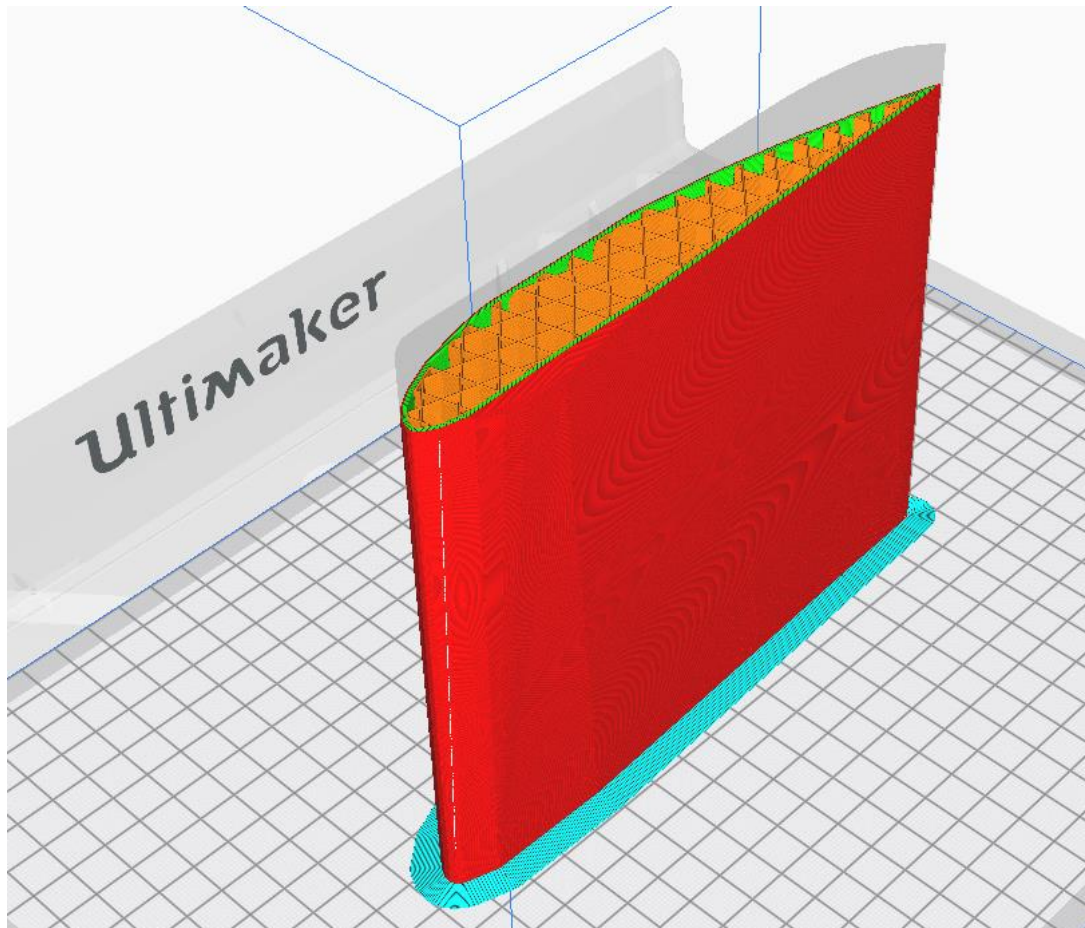


5. ábra: szélcsatornás és számítógépes szimuláció szemléletes összehasonlítása

3.4. 3D nyomtatott modell

A vizsgálatokat először Clark Y¹⁰ profilú szárnykialakítással végezzük. Annak érdekében, hogy a modell jól vizsgálható legyen a szélcsatornában, a geometriai jellemzőit, méretét a Solid Edge nevű tervező program segítségével készítettük el, majd a Zortrax M200¹¹ típusú 3D nyomtató (mely ABS¹² anyagot használ nyomtatáshoz¹³) 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 tesztek és szimulációk elvégzéséhez¹⁴. Így tehát a nyomtatási rétegvastagságot érdemes a lehető legvékonyabbra állítani. Ez ugyan nagyban megnöveli a gyártási időt, de lényegesen jobb felületi minőséget kapunk, ezzel javítva a mérési eredményeket. A modell szeletelt, illetve támasztékokkal¹⁵ ellátott vázlata az 5. ábrán látható. A modell a nyomtatás után már vizsgálható is a szélcsatornában (6. ábra).

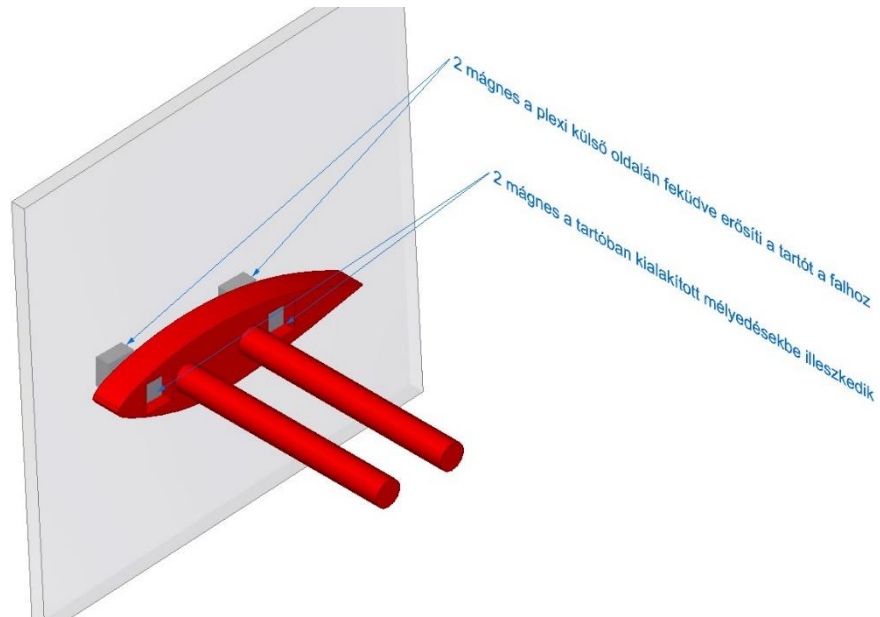


5. ábra: Szeletelt modell

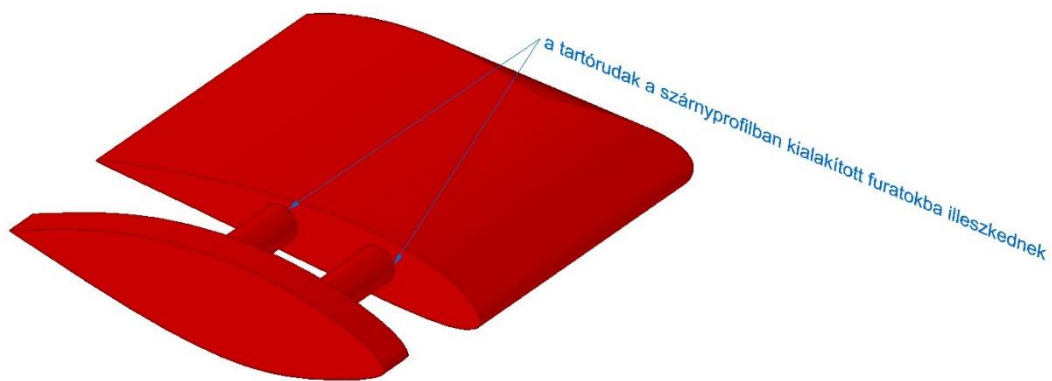


6. ábra: 3D modell a szélcsatornában

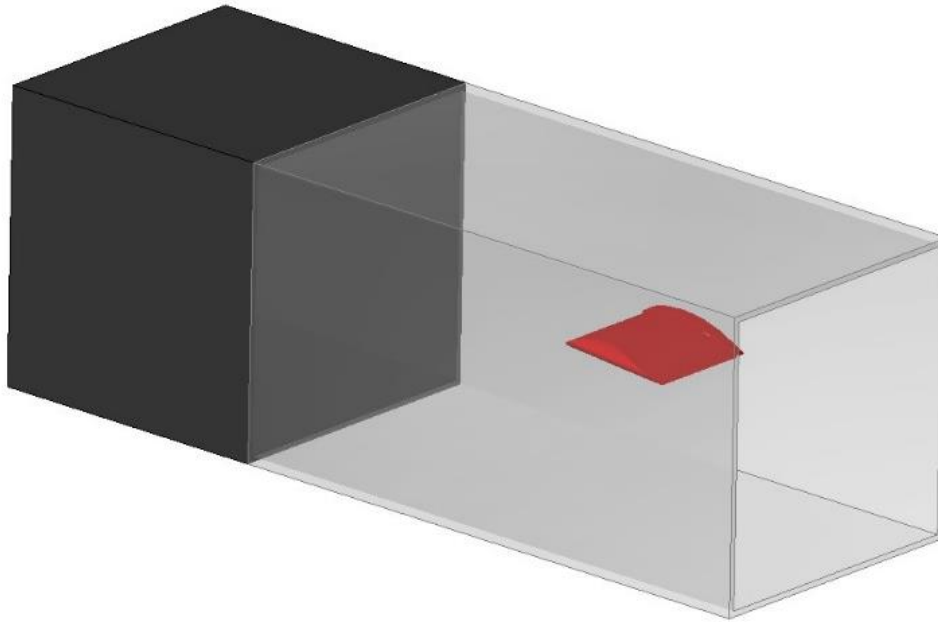
A különböző topológiájú modelleket a szélcsatornában egy univerzális tartó segítségével lehet rögzíteni és a kívánt pozícióba beállítani. A tartót mágnesek erősítik a szélcsatorna oldalához (7-8. ábra), míg a rajta található konzolos rudaknak köszönhetően könnyedén lehet a tesztelendő modelleket fel-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



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

4. Következtetések

Fontos megjegyezni, hogy a numerikus áramlási szimulációknak nagyon sok buktatója, kényes pontja van. Ezért a szimulációk során kapott eredményeket validálni szükséges¹⁶. 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.

5. Hivatkozások

-
- [1] ¹ Crouch, Tom D.. "Otto Lilienthal". *Encyclopedia Britannica*, 19 May. 2022, <https://www.britannica.com/biography/Otto-Lilienthal>
- [2] ² Crouch, Tom D.. "Lilienthal standard glider". *Encyclopedia Britannica*, 23 Oct. 2007, <https://www.britannica.com/topic/Lilienthal-standard-glider>
- [3] 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.>
- [4] 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] ⁵ https://www.google.com/search?q=wingtip+vortices&sxsrf=APq-WBv2kLu_JLWg_DbNYVIx0vii5YdeSg:1648913193984&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj-ncWp2PX2AhVQt6QKHccVAjoQ_AUoAXoECAIQAw&biw=1920&bih=969&dpr=1#imgrc=2UHoBpi07ZpFaM
- [6] ⁶ <https://aviationbenefits.org/case-studies/wingtip-devices/>
- [7] 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] ⁸ https://www.google.com/search?q=wingtip+vortices&sxsrf=APq-WBv2kLu_JLWg_DbNYVIx0vii5YdeSg:1648913193984&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj-ncWp2PX2AhVQt6QKHccVAjoQ_AUoAXoECAIQAw&biw=1920&bih=969&dpr=1#imgrc=2UHoBpi07ZpFaM
- [9] ⁹ <https://www.grc.nasa.gov/www/K-12/airplane/tunoret.html>
- [10] ¹⁰ <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=clarky-il>
- [11] ¹¹ <https://zortrax.com/3d-printers/m200-plus/>
- [12] ¹² <https://www.creativemechanisms.com/blog/everything-you-need-to-know-about-abs-plastic>
- [13] ¹³ Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer". *Encyclopedia Britannica*, 20 Mar. 2019, <https://www.britannica.com/science/acrylonitrile-butadiene-styrene-copolymer>

- [14] ¹⁴ 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
- [15] ¹⁵ <https://all3dp.com/2/cura-support-settings-optimize-your-supports/>
¹⁶ 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>