

Kavas László, Varga Béla, Tóth József

Kapcsolat a különböző gázturbinás hajtóművek és a SAF¹-tüzelőanyagok használatához kapcsolódó károsanyag-kibocsátás között

A publikációban arra a kérdésre keresik a szerzők a választ, hogy meghatározható-e markáns különbség, illetve sajátosság a különböző gázturbinás hajtómű-konstrukciók között a károsanyag-kibocsátási jellemzők területén, amennyiben a jelenleg használatba került alternatív tüzelőanyagok valamelyikével történik a hajtóművek üzemeltetése. A mai napig a légi közlekedés környezetkímélő módjának megvalósításában kulcsszerepet játszanak a különböző alternatív tüzelőanyagok. Az eddigi fejlesztések során mind a szintetikus úton előállított, mind a biológiai eredetű gázturbina-hajtóanyagok körében az úgynevezett SAF-kategóriába sorolható tüzelőanyag-változatok alkalmazására került sor a legelterjedtebb mértékben. A prezentáció néhány léggépjármű-típusban alkalmazott hajtóműváltozat üzemeltetése során a kimutatott károsanyag-kibocsátásban tapasztalt változási trendeket vizsgálja.

Kulcsszavak: alternatív tüzelőanyag, gázturbinás hajtómű, károsanyag, SAF, légi közlekedés

1. Alternatív tüzelőanyag-helyzetkép

„Tüzelőanyagoknak nevezzük azokat az energiahordozókat, amelyből égés (oxidáció folyamat) során hőenergia szabadul fel.” [7] Ehhez a mondathoz csak annyit tennék hozzá, hogy repülésnél ezt a hőenergiát alakítjuk át a tolóerő létrehozásához.

1.1. A légi járművek tüzelőanyagairól általában

A hagyományos tüzelőanyagok közismerten kőolajszármazékok, folyékony szénhidrogén, kén, nitrogén és egyéb kémiai elemek elegyei, amelyek ezeken kívül tartalmazhatnak még vizet és egyéb szennyező anyagokat is.

A kőolaj-finomítás során nyert különböző tüzelőanyagok az 1. táblázatban láthatók:

¹ Sustainable Aviation Fuels – fenntartható léggépjármű-tüzelőanyag.

1. táblázat
A kőolaj-finomítás során nyert termékek [szerkesztette Kavás László]

Ssz.	Hőmérséklet	Szénatomszám	Hajtóanyag
1.	40–70 °C	C ₁ –C ₄	metanol
2.	40–120 °C	C ₅ –C ₁₀	repülőbenzin
3.	40–180 °C	C ₅ –C ₁₀	benzin (gázmotor)
4.	120–140 °C	C ₁₁ –C ₁₂	JP4 (katonai kerozin)
5.	210–280 °C	C ₁₁ –C ₁₂	JP1 (polgári kerozin)
6.	200–360 °C	C ₁₃ –C ₂₀	gázolaj

Jelenleg a légi járművek kivétel nélkül folyékony üzemanyagot használnak, ezen belül is a leg-szélesebb körben elterjedt 2 hagyományos tüzelőanyag: a repülőbenzin, amelynek fűtőértéke 43 000–44 000 kJ/kg, és a repülőpetróleum, amelynek fűtőértéke 42 000–44 600 kJ/kg között mozog.

1.2. A légi járművek alternatív tüzelőanyagai

A légi közlekedési ipar jelenleg az ASTM D7566 szabvány szerint használja az olyan „alternatív tüzelőanyagok” meghatározást, amelyeket már az iparág jóváhagyott, és a kereskedelmi repülőgépekben való használatra biztonságosnak minősülnek. Ez idáig 5 különböző hajtóanyag-előállítási módot definiáltak:

- a Fischer–Tropsch-féle hidroprocesszált szintetikus paraffinos kerozin (FT-SPK)²;
- a hidroprocesszált észterekből és zsírsavakból szintetizált paraffinos kerozin (HEFA-SPK)³;
- a hidroprocesszált erjesztett cukrokból előállított szintetizált izoparaffinok (HFS-SIP)⁴;
- a nem kőolajforrásokból származó könnyű aromás anyagok alkilezésével előállított szintetizált kerozin (SPK/A)⁵;
- az alkoholból származó szintetikus paraffinos kerozin (ATJ-SPK)⁶ [1], [8].

Megemlítendő, hogy számos olyan egyéb tüzelőanyag-előállítási módot is ismerünk, amely jelenleg jóváhagyási fázisban van, és ezeket főként keverőkomponensként határozzák meg a gyártók:

- HDO-SAK⁷ – bioformázó folyamattal készülő hajtóanyag, amely a vizes szénhidrátoldatokat aromás szénhidrogének keverékévé alakítja a HydroDeOxygenation néven leírt eljárással;
- CHJ⁸ – katalitikus hidrotermolízises sugárhajtómű-tüzelőanyag: a katalitikus hidrotermolízis és a vízfeldolgozás kétlépéses folyamata, ahol a bioolajokat (a vizet magas hőmérsékleten és nyomáson, katalizátorként használva) szénhidrogénekké alakítják;

² Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene.

³ Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene.

⁴ Hydroprocessed Fermented Sugars to Synthetic Isoparaffins.

⁵ Synthetic Paraffinic Kerosene with aromatics.

⁶ Alcohol-to-jet Synthetic Paraffinic Kerosene.

⁷ Hydro Deoxygenated Synthetic Aromatic Kerosene.

⁸ Catalytic Hydrothermolysis Jet.

az alkilezés során aromás anyagok keletkeznek, így lehetséges, hogy az üzemanyagot keverés nélkül is fel lehet használni;

- HFP-HEFA⁹ – magas fagypontú HEFA (más néven Green Diesel): hidrogénezésből származó megújuló dízelt használnak a repülőgép-hajtóanyaghoz keverőszerként [1], [8].

Az alternatív repülőgép-tüzelőanyagokon belül napjainkra egy megkülönböztetett kategória, a SAF kiemelt fontosságot szerzett. Egy tüzelőanyag-fajtát akkor nevez a légi közlekedés fenntarthatónak, ha az az éghajlatváltozást nem befolyásolja az életciklusa alatt levegőbe kerülő szén-dioxid-mennyiséggel, folyamatos előállításával az ökológiai egyensúlyt nem borítja fel, és a természeti erőforrásokat nem meríti ki.

Érdemben ez az a tüzelőanyag-fajta, amelytől rövid távon a csökkentett károsanyag-kibocsátással történő légi jármű-üzemeltetést várja a légi közlekedési iparág.

Az 5 féle SAF mindegyike más-más gyártási folyamat alapján készül:

- alkoholból előállított sugárhajtómű-tüzelőanyag;
- olajból előállított sugárhajtómű-tüzelőanyag;
- gázokból előállított sugárhajtómű-tüzelőanyag;
- cukorból előállított sugárhajtómű-tüzelőanyag;
- hulladékból előállított sugárhajtómű-tüzelőanyag [1], [8].

Az eltérő alapanyagokból kiindulva azonban a kapott hajtóanyag a hagyományos repülőgép-tüzelőanyaggal keverve megfelel a hagyományos légi jármű-hajtóanyagra vonatkozó előírásoknak.

2. A gázturbinás hajtóművek családja

A mai polgári és katonai repülőgépek modern, nagy hatásfokú gázturbinás hajtóművekkel működnek [9], [10]. Emellett a segédhajtóművek (APU)¹⁰ is kisebb, de hasonló tervezési elveken alapuló hajtóművek, amelyek szintén kellően megbízhatóak. Bár a tolóerő- (vonóerő-) képzés szerint valamennyi propulziós rendszer (hajtómű) azonos alapelv szerint működik, szerkezeti kialakításukban vannak különbségek.

A gázturbinás hajtóművek a belső égésű motorok csoportjába tartoznak (1. ábra). A kompresszor és a turbina, valamint köztük az égőtér valamennyi gázturbinás hajtómű szerves része, amelyet magnak neveznek.

Az első gyakorlatban alkalmazott gázturbinás hajtóművek esetében a tolóerő létrehozásának eszköze a hajtómű utolsó részegysége, az úgynevezett fúvócső volt. Ezzel meg is született a gázturbinás hajtóművek első kategóriája, nevezetesen az egyáramú gázturbinás sugárhajtómű. Hamarosan azonban megindult további specializálódásuk, és 3 újabb jól elkülöníthető kategória jelent meg. Ezek a turbólégcsavaros hajtóművek (légcsavaros gázturbina), a kétáramú sugárhajtóművek és a tengelyteljesítményt szolgáltató gázturbinás hajtóművek. Az említett eszközök angol terminológia szerinti elnevezése rendkívül rövid és tömör, nevezetesen az előbbi sorrend szerint *turbojet*, *turboprop*, *turbofan* és *turboshaft* hajtóművek.

⁹ High Freeze Point Hydroprocessed Esters and Fatty Acids.

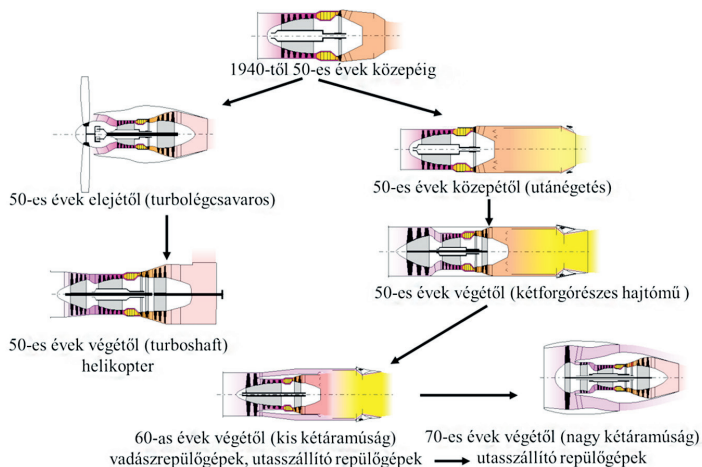
¹⁰ Auxiliary Power Unit.

2.1. Kis kétáramúsági fokú hajtóművek

Manapság a kis kétáramúsági fokú hajtóműveket főként a többfeladatú harcászati repülőgépek erőforrásaiként használják. Szuperszonikus repülési sebességre is képesek, repülési feladataikat 0–18 000 m magasságtartományban végzik. A kisebb méretű, kis kétáramúsági fokú hajtóművek jellemzően utánégető nélkül a kiképző, könnyű harcászati repülőgépek erőforrásai.

2.2. Nagy kétáramúsági fokú hajtóművek

Manapság utasszállító repülőgépeken (és néhány katonai szállító repülőgépen) alkalmaznak kis fajlagos tolóerejű/nagy kétáramúsági fokú hajtóműveket. Működési körülmények tekintetében a maximális repülési sebesség megközelítheti a hangsebesség 95%-át, a repülési magasság 0–12 500 m tartományban változhat. Ezek a hajtóművek összességében több 10 000-es nagyságrendben szolgálják a polgári és a katonai repülést is.



1. ábra

A gázturbinás hajtóművek fejlődési folyamata [8]

2.3. Turboshaft hajtóművek

Az 50-es évek második felétől kezdődően a helikopteres repülésben a dugattyús motorokat a „turboshaft” hajtóművek váltották fel. Erre az időszakra kialakult ennek a gázturbinakategóriának a ma is alkalmazott klasszikus elrendezése, amely leginkább a szabadturbinák alkalmazásában nyilvánult meg. Az úgynevezett gázgenerátor-egység (kompresszor, égőtér, kompresszorturbinák) nincs mechanikai kapcsolatban a szabadturbinával, ami lehetővé teszi, hogy a forgószárny fordulatszáma független legyen a gázgenerátor-egység fordulatszámától. Ennek megfelelően a szabadturbinák csak gázdinamikai kapcsolatban vannak a gázgenerátor-egységgel, vagyis a kompresszorturbinán munkát végző közeg maradék energiája a szabadturbinában hasznosul, biztosítva a szükséges tengelyteljesítményt.

2.4. Kiegészítő hajtóművek (APU)

A segédenergia-egységek olyan kis méretű gázturbinák (*turboshaftok*), amelyek a tolóerőképítéshez közvetlenül nem kapcsolódnak, és alapvető feladatuk a fedélzeti energia biztosítása (elektromos, pneumatikus, hidraulikus).

2. táblázat
A vizsgált gázturbinás hajtómű-kategóriák releváns paramétereit [szerkesztette Varga Béla]

Jellemző paraméterek	alacsony kétáramúsági fokú hajtómű	nagy kétáramúsági fokú hajtómű	turboshaft hajtómű	APU
Tolóerő [kN]/teljesítmény [kW]	50–80 kN	50–500 kN	200–3700 kW	400–1000 kW
Tömegáram [kg/s]	60–100	300–1500	2–15	0,5–3,5
Kompresszor nyomásviszony	25–35	25–45	7–16	3–5
A turbina előtti gáz hőmérséklet [K]	1600–1900	1400–1800	1100–1500	1100
Termikus hatásfok [%]	>40	40–50	25–35	~20–25

3. Károsanyagkibocsátás-csökkentési eredmények

Mint ahogy az a fentebbi táblázatból is érzékelhető, a hajtóművek közötti különbségek jelentősek (nyomásviszonyok, hatásfokok). A hajtómű kora/ledolgozott üzemideje, az utolsó nagyjavítás óta eltelt idő és a tüzelőanyag-rendszerbeli alkatrészek (például a fűvókák tisztasága) is befolyásolhatják az égést és következésképpen a károsanyag-kibocsátást. A tesztsorozatok esetében a kibocsátásban bekövetkező változások a tolóerő-beállításokon alapulnak. Általános tanulságként kijelenthető, hogy az üzemanyag-kémia sokkal nagyobb hatást gyakorol a károsanyag-kibocsátásra, mint a hajtóművek közötti különbség [2].

Az alábbi oldalakon tömör összefoglalásban láthatóak az összefüggések a hajtóanyag-összetétel és a károsanyag-kibocsátás területén bekövetkezett változások között [2], [5], [6].

A mérésekhez használt tüzelőanyagokat 1 kivétellel nem tisztán használták fel, igazodtak a légítársaságok által elfogadott és alkalmazott keverékekhez.

A különböző előállítási módok függvényében eltérő keverési arányokkal lehet a hajtóműveket üzemeltetni!

A „szokásos” tüzelőanyag-keverékek:

- 100% GTL¹¹ tüzelőanyag;
- 50% HEFA + 50% JET A1;
- 50% HEFA + 50% növényiolaj-párlat;
- 10% FAE + 90% JET A1;
- 75% HEFA + 25% JET A1.

A tesztelési célú üzemeltetés tapasztalatait, ahol a megállapítások a tiszta JP-8 és JET A1 tüzelőanyag használatával meghatározott értékekhez viszonyulnak, a következőkben fejtjük ki.

¹¹ Gas-to-liquid.

3.1. A hajtóműből kilépő gázkeverék SO_x ¹² tartalma területén

Nagy kétáramúsági fokú hajtóművel végzett teszteknel:

- 90%-os csökkenés, ha tiszta FT-tüzelőanyagot használtak, mérsékelt csökkenés a keverék-tüzelőanyagnál [5].

Alacsony kétáramúsági fokú hajtóművel végzett teszteknel:

- 50%-os csökkenés az 50/50%-ban kevert tüzelőanyagoknál [5].

3.2. A kis méretű szilárd részecske ($PM_{2,5}$)¹³ kibocsátásának területén

Nagy kétáramúsági fokú hajtóműveknél:

- FT-GTL tüzelőanyag-használat során kimutatható csökkenés tapasztalható (ref. JET A1), átlagosan 86%-os csökkenés (a referencia a JP-8 tüzelőanyag használata);
- kevert tüzelőanyag esetén 66%-os csökkenés (főként alapjáraton);
- HEFA tüzelőanyag esetén: 80%-os csökkenés (ref. JP-8);
- SPK tüzelőanyag esetén: 98% csökkenés alapjáraton, 70% csökkenés 85% teljesítménynél [3].

Alacsony kétáramúsági fokú hajtóműnél:

- állati zsírokból készült tüzelőanyag esetén 63% csökkenés alapjáraton, 50–70% csökkenés a hajtómű 65% teljesítménynél [3].

A többi tesztelt hajtóműnél is kimutatható csökkenés érzékelhető.

3.3. A CO ¹⁴-kibocsátás területén

Nagy kétáramúsági fokú hajtóműveknél:

- FT-GTL tüzelőanyag használata során 9%-os csökkenés (ref. JP-8);
- Bio-SPK tüzelőanyagnál 5–9% csökkenés (ref. JET A1);
- HEFA tüzelőanyagnál kb. 80%-os csökkenés (ref. JP-8) [4].

Alacsony kétáramúsági fokú hajtóműnél:

- állati zsírokból készült tüzelőanyag esetén 20–40% csökkenés (ref. JP-8);
- FT-GTL és HEFA tüzelőanyagnál 0–20% csökkenés [4].

¹² Sulfur oxides.

¹³ Particulate Matter: A $PM_{2,5}$ finom részecskék átmérője 2,5 mikrométer és annál kisebb.

¹⁴ Carbon monoxide.

3.4. Az UHC¹⁵-anyagok kibocsátása területén

Nagy kétáramúsági fokú hajtóműveknél:

- FT-GTL tüzelőanyagnál 40% csökkenés, ha 100% FT (ref. JP-8), keveréknél kisebb csökkenés.

Alacsony kétáramúsági fokú hajtóműnél:

- ATJ-SPK tüzelőanyag esetén csökkenés tapasztalható az alacsonyabb teljesítményeken (ref. JP-8);
- bio-SPK tüzelőanyaggal 5–20% csökkenés az alacsony teljesítményeken (ref. JP-8);
- egyéb bio-tüzelőanyagoknál 20–30% csökkenés [2], [5].

Megállapítás: alacsony hajtómű-teljesítményeken van UHC-csökkenés.

3.5. A NOx¹⁶-kibocsátás területén

Nagy kétáramúsági fokú hajtóműveknél:

- FT-GTL hajtóanyagánál 10% csökkenés tiszta FT-nél, 5% csökkenés 50%-os keverék-tüzelőanyagánál (ref. JET A1) és 0% csökkenés, ha a ref. a JP-8;
- HEFA tüzelőanyagánál 0% csökkenés (ref. JP-8);
- bio-SPK tüzelőanyagánál 1–5% csökkenés (ref. JET A1) [2].

Tesztgéoterekben:

- a *bio fuel* kategória akár 70%-os csökkenést is mutathat!

Megállapítás: a nitrogén-oxid-vegyületek esetében bármely hajtómű bármely alternatív tüzelőanyaggal csekély (0–5%) csökkenést eredményezett [2].

4. Összefoglalás

A légi járművek kisebb károsanyag-kibocsátással járó üzemeltetésének jelenlegi megvalósíthatósága az alternatív tüzelőanyagok használatához köthető. A korábban laboratóriumi körülmények között végzett méréseken kívül ma már valódi, forgalomban részt vevő repülőgép (és hajtómű) -típusok károsanyag-kibocsátási adatait is meghatározták. A károsanyag-kibocsátási vizsgálatokat különböző konstrukciójú hajtóműveknél végezték, változó tolóerő-beállításokkal. A tesztelt hajtóműüzemmódok (tolóerő-kiválasztások) a leszállás és a felszállás (LTO)¹⁷ ciklusához kapcsolódtak. A guruló repülőgépek általában alacsony tolóerőt állítanak be (4%), a teljes tolóerőt (100%) a felszálláshoz használják. A levegőben a tolóerőt némileg csökkentik

¹⁵ Unburned hydrocarbons – el nem égett szénhidrogének.

¹⁶ Nitrogen oxide.

¹⁷ Landing Take-Off.

(85%), ahogy az utazómagasságot elérik. A tolóerőt 30%-os szintre állítják a leszálláshoz való megközelítés során. A tesztek végrehajtásához ezeket a hajtóműüzemmódokat állították be.

Az APU-kon végzett vizsgálatoknál szintén három teljesítményt használnak. Ez a „terhelés nélkül”, „terhelésre készen”, a „környezeti kondicionálás” és a „maximális terhelés”/ „főhajtómű-indítás” teljesítményszint.

A repülőgépek fő hajtóműveit úgy tervezték, hogy a leghatékonyabban az utazóteljesítményen működjenek, mivel a tüzelőanyag-felhasználás nagy része az utazás során történik. A kisebb teljesítményű manőverek esetében, mint például a gurulás, kevésbé hatékonyak a hajtóanyag elégetése szempontjából, ezért az emissziós értékek, főként a CO és az UHC arányaiban magasabbak.

Ezzel szemben a NO_x-kibocsátás magas tolóerőnél magasabb, alacsony tolóerőnél alacsonyabb. Hasonlóképpen az APU-nál a CO- és az UHC-kibocsátás magasabb a „terhelés nélkül” beállításnál és alacsonyabb a „maximális terhelésnél”, míg a NO_x esetében ez fordítva igaz.

Felhasznált irodalom

- [1] ATAG: Beginner's Guide to Sustainable Aviation Fuel. Aviation Benefits Beyond Borders, Edition 3, November 2017. Online: https://aviationbenefits.org/media/166152/beginners-guide-to-saf_web.pdf
- [2] B. A. Hamilton, „State of the Industry Report on Air Quality Emissions from Sustainable Alternative Jet Fuels,” Washington, DC, Amerikai Egyesült Államok: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2018. Online: <https://doi.org/10.17226/25095>
- [3] B. Daily, C. Ginestra, „Reduced Emissions via Synthesized Aromatic Kerosene,” Seattle, WA, Amerikai Egyesült Államok: ASCENT, 2015.
- [4] E. Corporan et al., „Alternative Fuels Tests on a C-17 Aircraft: Emissions Characteristics, Air Force Research Laboratory,” Interim Report, AFRL-RZ-WP-TR-2011-2004, Wright-Patterson Air Force Base, OH, Amerikai Egyesült Államok: 2010.
- [5] E. Corporan et al., „Comparison of Emissions Characteristics of Several Turbine Engines Burning Fischer-Tropsch and Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Alternative Jet Fuels,” in Proceedings of ASME Turbo Expo 2012, Copenhagen, Dánia, 11-15 June 2012. Online: <https://doi.org/10.1115/GT2012-68656>
- [6] M. Colket et al., „An Overview of the National Jet Fuels Combustion Program,” in 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, 4-8 January 2016, San Diego, CA, Amerikai Egyesült Államok: AIAA SciTech Forum, 2016. Online: <https://doi.org/10.2514/6.2016-0177>
- [7] Szabó L., „Szerkezeti és üzemanyagok jegyzet,” Szolnok, Magyarország: Killián György Repülő Műszaki Főiskola, 1989, p. 148.
- [8] The International Civil Aviation Organization (ICAO), „Sustainable Aviation Fuels Guide,” 2017.
- [9] Varga B., „A gázturbinás repülőgép-hajtóművek fejlesztési irányai I. rész,” Haditechnika, 57. évf. 1. sz. pp. 14–21. 8 p. 2023. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.1.03>
- [10] Varga B., Kavas L., Rózsa B., „Repülőgép-hajtóművek hatásfokai, és hatások a szén-dioxid-kibocsátásra,” in Repüléstudományi tanulmányok: Repüléstudományi Szemelvények 2020, Szilvássy László, Békési Bertold szerk. Budapest, Magyarország: Ludovika, 2021, pp. 307–338. 384 p.

The Relationship Between Different Gas Turbine Engines and Emissions Related to the Use of SAF Fuels

In the publication, the authors seek an answer to the question of whether a marked difference or peculiarity can be determined between the different gas turbine engine constructions in terms of emission characteristics, if the engines are operated with one of the currently used alternative fuels. To this day, various alternative fuels play a key role in the implementation of environmentally friendly aviation. During the developments so far, both synthetically produced and biologically derived gas turbine propellants, the so-called SAF (Sustainable Aviation Fuels) fuel versions were used to the most extent. The presentation examines the change trends experienced in the detected harmful emissions during the operation of the engine versions used in some types of aircraft.

Keywords: *alternative fuel, gas turbine engine, pollutant, SAF, aviation*

Dr. Kavás László egyetemi docens Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760	László Kavás, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft and Engine kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760
Dr. Varga Béla egyetemi docens Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék varga.bela@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3454-0825	Béla Varga, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft and Engine varga.bela@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3454-0825
Dr. Tóth József egyetemi docens Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék toth.jozsef@uni-nke.hu orcid.org/0000-0001-8647-3404	József Tóth, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft and Engine toth.jozsef@uni-nke.hu orcid.org/0000-0001-8647-3404

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.”



AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROGRAM

