

Gábor Armand Dávid, Sziroczák Dávid

Nagynyomású földgáz mint tüzelőanyag a forgószárnyas repülőgépek világában

A mai világban a társadalom szemlélet- és értékrendváltása miatt egyre inkább előtérbe kerül a környezetvédelem és a fenntarthatóság a repülés területén is. Ennek egyik lehetősége a CNG hajtásrendszer fejlesztése. A CNG egy olyan metán-etán elegy, amellyel elérhető 15%-kal kevesebb CO_x, 80%-kal kevesebb NO_x és 90%-kal kevesebb HC-kibocsátás és korommentesség. A munkánkban forgószárnyas repülőgépeket vizsgáltam meg, CNG-s hajtásút a benzines esettel szemben. Átépítés esetén az egyik legfőbb szempont, a hatásfok mellett az elérhető maximális hatótávolság alakulása. Forgószárnyas esetben akár a jelenlegi hatótávolság 70%-át is elérheti, 5 kg tömegnövekedéssel, a jelenlegi maximális felszállótömeget 64%-on tartva. Az átépítés költsége közúti közlekedésből vett példa alapján, a karbantartási költségek közel állandósága mellett a kisebb forgószárnyas gépek esetében a megtérülés nagyságrendileg 5400 km-re tehető. A CNG-hajtású kis méretű helikopterek esetében az oktatás és a rövid távú repülés válhat úttörővé a városi közlekedésben.

Kulcsszavak: forgószárnyas repülőgép, CNG, károsanyag-kibocsátás

1. Bevezetés

Jelen világunk egyik legfontosabb kérdése, a károsanyag-kibocsátás mérséklése, illetve a „zöldenergia” felhasználása. Ezt az igényt a társadalom fogalmazza meg, a napjainkban átrendeződő szemléletmód és értékrend szerint; a környezettudatosság és fenntarthatóság egyre jelentősebb faktor az emberek életében. Ennek hatására a törvényhozók, nemzeti és nemzetközi szervezetek, valamint az illetékes hatóságok egyre szigorúbb előírásokat fogalmaznak meg. Európa igen ambiciózus feladatnak kítűzte a NO_x-kibocsátás 90%-kal, valamint a CO₂-kibocsátás 75%-kal való csökkentését [8, 28], [2].

Más nemzeti, nemzetközi és professzionális szervezetek is hasonló igényeket fogalmaznak meg, a legismertebbek az IATA, ICAO és NASA által közzétett célok [13, 8], [14], [17].

A CNG-hez kapcsolódó professzionális szervezetek részéről a 2017-es CNG & LNG Konferencián megfogalmaztak egy olyan európai uniós célt, amely szerint 2030-ra 30%-kal kellene csökkenteni az üvegházhatású gázok kibocsátását [7]. A jelen repülőgép-hajtástechnológia ezeket az ambiciózus célokat tisztán inkrementális fejlesztéssel úgy tűnik, nem tudja elérni, gyökeres változásra van szükség, technológiai és/vagy felhasználói oldalról [14].

Technológiai oldalról napjainkban az elektromos és hibrid repülés abszolút fókuszterület, e mellett a diszruptív technológiák és alternatív, fenntartható hajtóanyagok vizsgálata kerül előtérbe. A felhasználás részről, a repülőeszközök feladatainak (*Concept of Operations* – CONOPS) újragondolása lehet a kulcs úgy, hogy a maihoz képest csökkentett sebességgel vagy hatótávval lehessen üzemeltetni a repülőeszközöket. Lehet, nem elvetni kell az ötletet, hanem azt a megoldást megkeresni, ami működőképes. Tipikusan ilyen lehetőségek az oktatás, regionális, nemzeti szintű közlekedés vagy a kialakuló városi légi közlekedés (UAM).

Az alternatív tüzelőanyagok közül a CNG a hidrogén mellett a legnagyobb potenciállal rendelkező megoldás lehet. A hidrogén régóta foglalkoztatja a kutatókat, napjainkban aktív fejlesztési iránynak számít. Kis méretű repülőeszközöknél (például UAV-k) a hidrogénhajtás, például üzemanyagcella, ma már elfogadható alternatíva, míg nagygépes repülésben egyelőre a rendkívül nagy térfogatigény jelent akadályt. A hidrogén nagy mennyiségű, zöld előállításának, valamint tárolásának és kezelésének fejlesztésével egyre közelebb és közelebb kerülünk a zéró emisszióra képes repülés megvalósításához [20].

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repüléstudományi és Hajózási Tanszéke már korábban több cikket publikált alternatív hajtásrendszerek témájában. Ez a cikkünk most a nagynyomású földgázt (CNG) vizsgálja kis méretű helikopterek használata kapcsán. A cikk a diplomamunkám témájába és az ÚNKP program keretén belül kapcsolódó elvégzett kutatási munkába illeszkedik [9], ahol a CNG- és LNG-hajtás lehetőségeit vizsgáltam különböző kategóriájú repülőeszközök esetén. A CNG használatával várhatóan jobb kibocsátási mutatók és jelentős költségcsökkenés érhető el, az átalakítás nem igényel jelentős áttervezést vagy költségeket, valamint a rendszerek karbantartásigénye és költsége összemérhető a jelenlegi megoldásokkal.

2. CNG és LNG mint tüzelőanyag

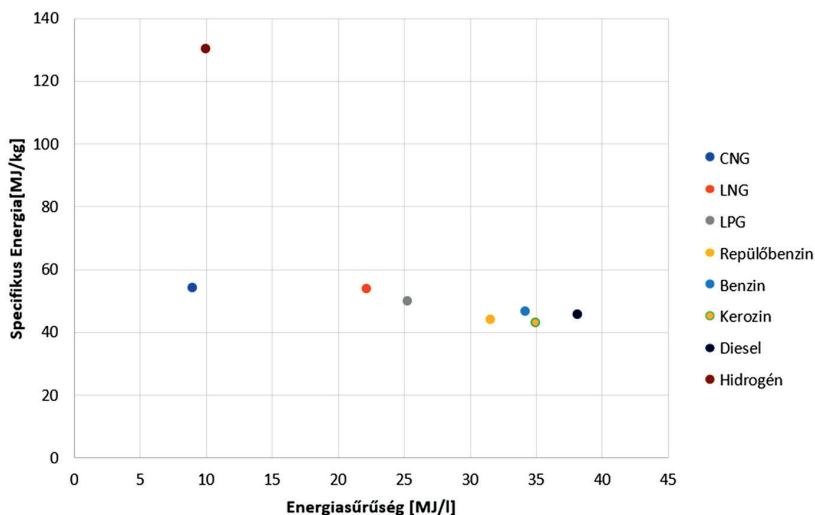
A CNG-hajtás több szempontból jelent fejlődést a korábbi tüzelőanyagokhoz képest [9]. Valójában miért is terjedhet el a CNG-hajtás:

- 15%-kal kevesebb CO_x-kibocsátás [16];
- 80%-kal kevesebb NO_x-kibocsátás [21, 7];
- 90%-kal kevesebb HC-kibocsátás és a korommentesség [7].

Energiasűrűséget tekintve az 1. ábrán láthatjuk a különböző tüzelőanyagok specifikus energia–energiasűrűség viszonyait, és ebből adódó előnyeit, hátrányait.

A repülőgépek fejlődése mellett nem szabad elmenni a károsanyag-kibocsátás szabályozására vonatkozó tervek mellett sem. 2018-ban az Európai Unióban elindult egy törekvés, amely szerint az EU minden tagországnak kötelező teljesíteni a klímasemlegességet 2050-re [17].

Az elérhető hatásokot tekintve előrevetíthető, hogy a CNG-hatásfok kismértékű javulást mutat a repülőbenzines/benzines esettel szemben (CNG-s esetben reális a 30–31% és akár a fölötti, míg repülőbenzines esetben ~30% a maximálisan elérhető hatások) [10].



1. ábra

Energiasűrűség és specifikus energia megoszlása különböző tüzelőanyagok esetén [18]

CNG kapcsán kétfajta gázzal találkozhatunk az iparban. Az egyik a GR, a másik G25 GR, amelyek kompozíciójukban térnek el egymástól (lásd 1. táblázat).

1. táblázat
CNG-típusok [15]

GR (T = 20 °C, p = 101,3 kPa)	
Metán	87%
Etán	13%
G25 GR (T = 20 °C, p = 101,3 kPa)	
Metán	86%
Nitrogén	14%

A különböző gázkompozíciók elfogadhatók a következő határokon belül:

- 83% CH₄ minimum a CNG-ben;
- Olaj % a gázban < 175 ppm.

A rendszer töltése során nem haladhatjuk meg a 260 bar nyomást, illetve az 50 °C-ot. A rendszer névleges üzemi nyomása 200 bar, a hidraulikus tesztnyomás pedig 300 bar. A henger (tartály) esetén a megengedhető maximális külső hőmérséklet 57 °C. A töltési és ürítési ciklus során a tartályokat kimerülési ciklusnak vetik alá, amely elengedhetetlen a tüzelőanyag-feltöltés vagy -kiürítés esetén. A következő 3 feltételt viszont be kell tartani [9]:

1. maximális terhelési hőmérséklet: 50 °C;
2. maximális terhelési nyomás: 220 bar;
3. újratöltési hőmérsékleten és nyomáson úgy, hogy az 50 °C-on történő további melegítés hatására ne haladja meg a 260 bar nyomást.

3. CNG-átalakítás menete

A fejezet a [15] forrás alapján készült el. A működést tekintve, a CNG-t különböző biztonsági szelepekkel felszerelt tartályokban tárolják el. Az indítást követően a jármű alapból az eredeti benzin/dízel üzem szerint lesz beállítva. CNG-re való váltást követően a motor működése közben a CNG gáztömlőkön keresztül a nyomásszabályozókon és a szűrőn át eljut a befecskendezéshez, ahol levegővel keveredve eljut a hengerekbe, majd a munkafolyamat után a kipufogócsövön keresztül az égéstermék távozik a környezetbe.

Az átalakítás során különféle kulcspontokra kell figyelni. Segítségül, egy Chevrolet „Avalanche” típusú gépjármű átalakítási folyamatát vettem alapul.

A lépéseket tekintve:

1. megfelelő tartályok kiválasztása;
2. gázszelep és szűrő megválasztása és beépítése;
3. injektorok beépítése;
4. motortér szerelvényeinek kialakítása;
5. reduktorok és nyomásmérők beépítése;
6. töltőszelepek beépítése;
7. üzemmódváltó kialakítása.

Az átalakítás egyik legfőbb mércéje a költségvonzatok és a hajtásrendszer megtérülésének alakulása. Költségvonzatot tekintve, a pontosabb értékeket és a megtérülés alakulását a 2. táblázat mutatja. A megtérülésszámítást gépjárművekre vonatkozó költségek alapján végeztem el, gépjárművekbe applikálható alkatrészekkel, mert ezek a hajtóművek nem különböznek jelentősen a kis méretű helikoptereken használt motoroktól. Az újraserifikációs költségeket nem vettük figyelembe, további kutatások feladata a motorok közötti különbségek részletes vizsgálata és ezen keresztül a költségek pontosítása [3].

2. táblázat
Megtérülés alakulása forgószárnyas repülőgépek esetén, a piaci árak szerint

Költségek megnevezése	Költségek értékei
Átépités költsége [3]	250 000 Ft
CNG literenkénti ára [3]	330 Ft
Benzin (repülő) literenkénti ára [3]	700 Ft
Megtérülés x liter után	675 l
Megtérülés y km után	5405 km

4. Számítási módszer ismertetése

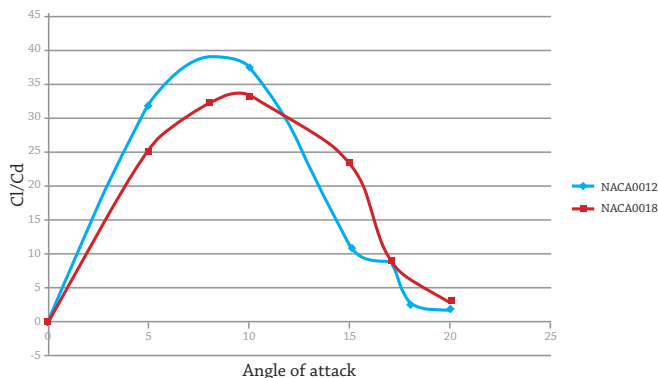
Az előtervezés első fázisában egy egyszerűsített repülési profilt építettünk fel, amelyben a vizsgált hatótávolságot az utazó üzemmódban érvényes adatok segítségével határoztam meg. Elsődlegesen ultrakönnyű, CS-VLR-be tartozó repülőket vizsgáltam, majd további céloom nagyobb, más kategóriába sorolható helikopterek vizsgálata.

A leegyszerűsített repülési profil meghatározása után, a Brequet-egyenlet [19] segítségével, meghatároztuk minden esetben az elérhető maximális hatótávolságát:

$$R = \frac{v \cdot \left(\frac{L}{D}\right)}{g \cdot SFC} * \ln\left(\frac{W_i}{W_f}\right) \quad (1)$$

ahol az R – az elérhető hatótávolság, a v – az utazási sebesség, L/D – a helikopter jósági száma, g – a gravitációs állandó, SFC – a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, illetve a W_i és a W_f a kezdeti és végleges tömeg.

Az egyenlet legfőbb bemenő adatának tekinthető, az L/D viszony, utazó üzemmódot tekintve. Az L/D viszony a poláris felhasználásával meghatározható. Egy kis méretű helikopter forgószárnyának feltételezett profiljait mutatja a 2. ábra.



2. ábra

NACA-0012 és a NACA-0018-as profil jósági számának alakulása 0–20° állásszög-tartományon [1]

Az SFC - (fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás) [12] értékek pedig különböznek mind kerozinosz/benzines hajtást tekintve, mind CNG-s hajtást figyelembe véve (3. táblázat).

3. táblázat
Különböző esetekben az SFC -értékek [12]

	Repülőbenzines eset	CNG-s eset
SFC [12]	3,02 [g/Ns]	2,81 [g/Ns]

A számításaink során a W_i és a W_f értékek között a különbséget a repülés során elfogyasztott benzin/CNG adja. A helikopterek tulajdonságait figyelembe véve megvizsgáltuk, hogy a jelenlegi MTOW (*Maximum Take-Off Weight* – maximális felszálló tömeg) értéket mint limitet figyelmen kívül hagyva, mekkora lehet a repülőgép maximális felszálló tömege. A célunk az, hogy kompromisszumos megoldásként elérjük a maximális hatótávolság minimum 70%-át, mert itt még az előzetes becslések szerint nem jelenik meg jelentős korlátozás a jelenlegi felhasználáshoz képest a csökkentett hatótáv miatt. A többletsúly okozta terhelés hatását a szerkezetre nem ellenőriztük (illetve a súlypont helyzetét), ehhez további vizsgálatok szükségesek, de a hozzáadott tömeg nem képvisel jelentős százalékot. Helikopterek esetében a tartályokat a szerkezeten kívül helyeznénk el. Kis méretű helikopter esetén ez kevésbé rontja az aerodinamikai tulajdonságokat, mint például nagyobb/gyorsabb helikoptereknél vagy merevszárnyú repülőgépek esetén.

A hatótávolság mellett meghatároztuk a különféle dinamikai és teljesítménymutatókat [22]:

- a közeli indukált sebesség a haladási sebesség függvényében;
- az elérhető és a rendelkezésre álló teljesítmény viszonyai;
- az emelkedőképessége;
- illetve a haladási sebesség függvényében az emelkedési sebesség.

A kapott eredményeket figyelembe véve egy előzetes ajánlást fogalmaztunk meg a kis méretű helikopterekre vonatkoztatva, a jövő CNG-hajtását figyelembe véve.

5. CNG-teljesítménymutatók, hatótávolság-analízis

A választott helikopter egy HC02.02 Hungarocopter típusú ultrakönnyű helikopter (3. ábra). Specifikációit [11] a 4. táblázatban látjuk.

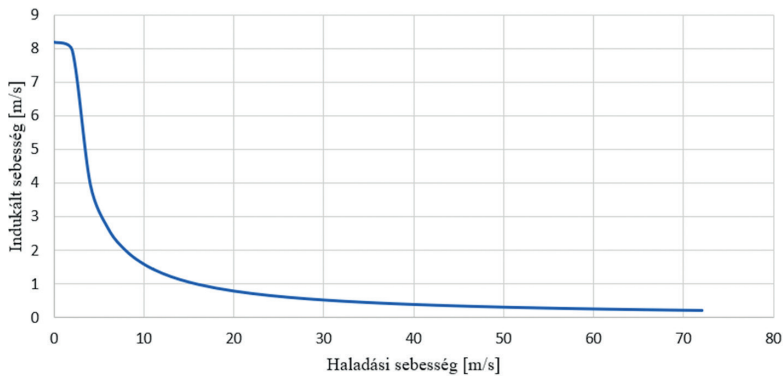


3. ábra
Hungarocopter HC.02 [11]

4. táblázat
HC02.02 Hungarocopter specifikációi [11]

Paraméterek	Megnevezések	Értékek	Mértékegységek
D	Forgószárnyátmérő	7	m
N	Forgószárnylapátok száma	2	db
A_r	Súrolt felület	38,465	m ²
DL	Felületi terhelés	108	N/m ²
n	Fordulatszám	546	1/min
v_{max}	Max. sebesség	200	km/h
P	Teljesítmény	95	kW
h	Tüzelőanyag-kapacitás	40	l
MOE	Szerkezeti tömeg	309	kg
b	Fogyasztás	20	l/h
MTOW	Max. felszálló tömeg	550	kg

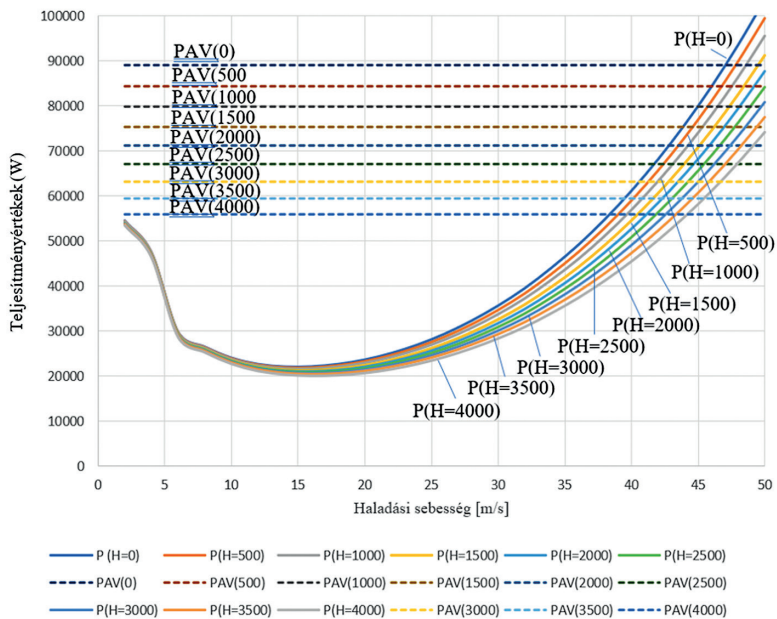
A kiindulási adatok függvényében a közeli indukált sebesség viszonyait mutatja a 4. ábra.



4. ábra

Közeli indukált sebesség alakulása a haladási sebesség függvényében [számításaim alapján készült]

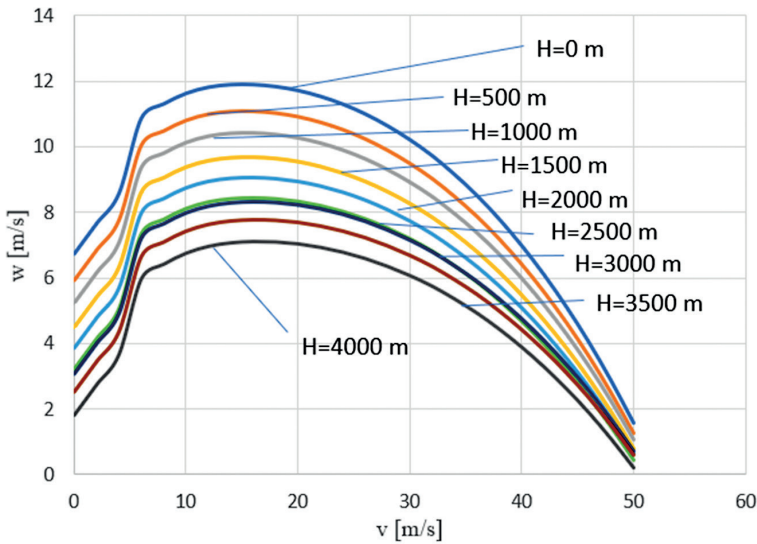
A kiindulási paraméterek függvényében a szükséges és az elérhető teljesítmények alakulását mutatja az 5. ábra.



5. ábra

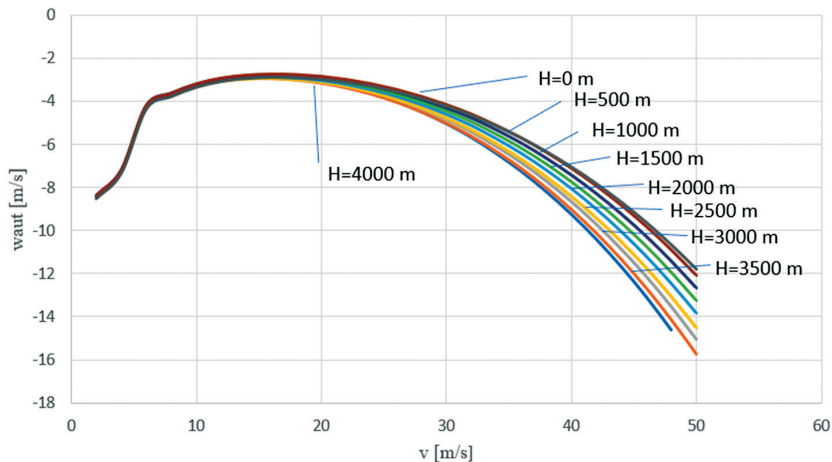
Szükséges (P) és elérhető (PAV) teljesítmények alakulása, magasság függvényében (magasság [m]) [számításaim alapján készült]

Az emelkedőképességet a haladási sebesség függvényében, különböző magasságokra mutatja a 6. ábra.



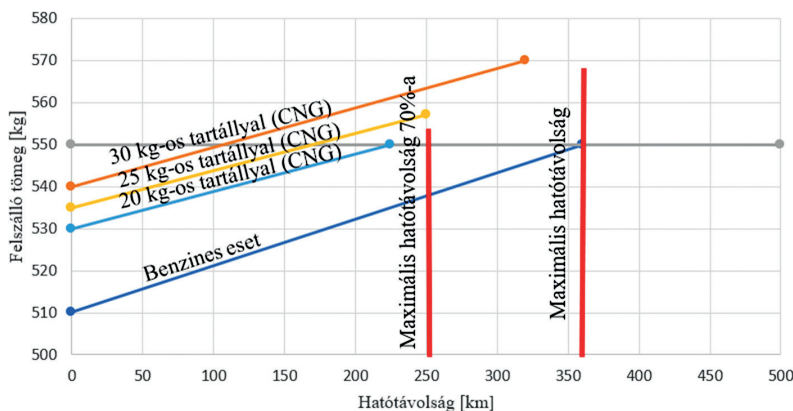
6. ábra
Emelkedőképesség a haladási sebesség függvényében, különböző magasságokra (magasság [m]) [számításaim alapján készült]

Autorotációban a leszállás (w_{aut} sebesség) alakulása, különböző magasságmentekben (lásd 7. ábra).



7. ábra
Süllyedés alakulása autorotációban különböző magasságokra (magasság [m]) [számításaim alapján készült]

A CNG hajtásrendszer legfontosabb teljesítménymutatóit a 8. ábra mutatja. Az ábrán egyértelműen összehasonlítható a CNG-s hajtású jármű a benzines esettel szemben.



8. ábra

A helikopter hatótávolsága a tüzelőanyag-fogyasztás figyelembevételével [számításaim alapján készült]

A vizsgálatban különböző tartálméreteket vizsgáltunk. A jelenlegi MTOW-értéket, illetve a tartálytömegeket figyelembe véve jobb a kisebb tartály választása, mert a nagyobb tartályok nem használhatók ki teljesen a jelenlegi 550 kg maximális felszállótömeg esetén. Az elérhető legjobb megoldást a 20 kg-os tartály jelenti, amellyel 225 km hatótáv elérhető (64%). Nagyobb tartályok esetén látható, hogy az MTOW-limitet figyelembe véve a maximálisan elérhető hatótávolság kevesebb mint 50%-át érhetjük el. Itt feltételeztük, hogy a tartályok standard méretekből, 5 kg lépcsőben érhetők el. A számítás során megvizsgáltuk, hogy a jelenlegi MTOW-t figyelmen kívül hagyjuk úgy, hogy a maximálisan elérhető hatótávolság legalább 70%-át érjük el. Ehhez természetesen a jelenlegihez képest megnövelt tömeggel kell felszállni, viszont a helikopter így is a jelenlegi méretkategórián (CS-VLR) belül marad. A tömegnövekedés további hatását a jelenlegi tanulmány nem vizsgálja. Megoldás tekintetében célszerű a tartályok elhelyezése a szerkezeten kívül, úgy, hogy mindegyiket, a szerkezeten kívül, a törzs mögé helyezzük el. Ez a megoldás kis méretű helikoptereken az aerodinamikai tulajdonságok csak kis méretű zavarása mellett elfogadható lehet. Mivel a tartályok közel azonos pozícióban foglalnának el, mint a jelenlegi, így feltételezhetően nem eredményezne stabilitási problémát az átalakítás, de a hatásának vizsgálatára további kutatások szükségesek.

Az MTOW figyelmen kívül hagyásával látható, hogy a kompromisszumos tartálméretnek tekinthető 25 kg-os tartály esetében a tömegkülönbség kicsi (5 kg nagyságrendileg), viszont a célnak kitűzött 70% hatótáv elérhető. Nagyobb tartály esetén jobban közelíthető az eredeti hatótáv, viszont a tömegnövekedés jelentősebb. A számításaink alapján 20 kg-os tartály esetében tudnánk tartani az MTOW-limitet, amely szintén elfogadható lehet, és csökkentheti az újraszertifikációval kapcsolatos munkát és költségeket.

A vizsgálat alapján elmondható, hogy amennyiben a csökkentett hatótáv elfogadható a jelenlegi helyzethez képest, a CNG elfogadható alternatívát jelenthet. Tipikus felhasználás lehet a városon belüli vagy elővárosi (ingázó) légi közlekedés, civil és katonai kiképző felhasználás

és hasonló alkalmazások, ahol nem kifejezetten a hosszú repülési idő vagy megtett út a cél. Mindent összevetve, a kapott eredményekből látható, hogy célszerű a jövőben olyan irányú kutatásokat indítani, amelyek a kis méretű helikopteres CNG-hajtást tovább vizsgálja, mind technológiai, mind a feladat oldaláról.

6. Összefoglalás

A 2017-es CNG & LNG Konferencián közös európai uniós célt fogalmaztak meg, amely szerint 2030-ra 30%-kal kell csökkenteni az üvegházhatású gázok kibocsátását. Ennek egyik lehetősége a CNG-hajtásrendszer fejlesztése. Munkánk során a CNG-hajtásrendszer kutatásával foglalkoztam. A CNG egy metán-etán elegy, amelynek legfontosabb tulajdonsága a csökkentett kibocsátás: korommentesség, a 15%-kal kevesebb CO_x, 80%-kal kevesebb NO_x, illetve a 90%-kal kevesebb HC-kibocsátás. 220 bar maximális üzemi nyomás és a maximális 50 °C-os terhelési hőmérséklet alatt használható, illetve a kerozinhoz és benzinhez képest nagyjából feleakkora az energiasűrűsége, fajlagos energiatartalma pedig jobb.

Kutatásom további részében egy Hungarocopter (HC02.02) típusú kis méretű forgószárnyas repülőgépet vizsgáltam. CNG-hajtásrendszerre átalakítást feltételezve összehasonlítottam a hagyományos benzin üzeművel. A teljesítmény- és sebességviszonyokat figyelembe véve megvizsgáltam, hogy a CNG-s esetben mekkora az elérhető maximális hatótávolság. Számításaim alapján, ha az MTOW-limitet figyelembe vesszük, akkor az elérhető hatótávolság maximum 64%-a az eredetinek, 20 kg-os tartállyal. A limitet figyelmen kívül hagyva, illetve különböző tartálméreteket vizsgálva a célom az volt, hogy az eredeti hatótáv minimum 70%-át érjük el. Ez elérhető 25 kg tartálmérettel, a limit 1%-os túllépésével. A limitátlépés hatását a teherbírásra tovább kell vizsgálni. A tartályok elhelyezhetők szerkezeten kívül a törzs mögött, amely aerodinamikai és stabilitási szempontokból kis méretű helikopter esetén elfogadható lehet. A gazdasági megtérülés közúti járművekre jellemző átalakítási költségek alapján hozzávetőlegesen 5400 km lehet abban az esetben, ha a tüzelőanyagok árkülönbségét, illetve az átépítés költségét vettük figyelembe közúti példa alapján. A megtérülés esetén további kutatást igényel a karbantartás, a certifikáció és a dokumentációs költségek vizsgálata.

A kutatás további irányai a hajtásrendszer részletesebb tervezése, a költségek becslései, aerodinamikai és stabilitási számítások pontosabb elvégzése, a CNG-hajtástechnológiát a tanszéki repülőgép-tervezési módszerekbe és eszközökbe integrálni, valamint más kategóriájú, nagyobb helikopterek és merevszárnyú repülőgépek vizsgálata is.

Hivatkozások

- [1] Abdus Shadur, Afnan Hasan, Mohamed Ali, "Comparison of Aerodynamic Behaviour between NACA 0018 and NACA 0012 Airfoils at Low Reynolds Number Through CFD Analysis," *Advancement in Mechanical Engineering and Technology*, vol. 3, no. 2, 1–8, 2020. Online: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4003677>
- [2] Advisory Council for Aeronautics Research in Europe, *Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA)*. Volume 1, 2011 – 2017 update

- [3] Bácsgépkar Autógáz, *CNG kompresszor témában is tudunk segíteni*. Online: www.auto-gaz-szerviz.hu/cng/
- [4] D. Sziroczak, I. Jankovics, I. Gal, et al., "Conceptual design of small aircraft with hybrid-electric propulsion systems," *Energy*, vol. 204, 117937, 2020, Online: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117937>
- [5] Rohács J., *A repülőgépek fejlesztésének történetét meghatározó törvényszerűségek*. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszék, 2003.
- [6] E. Helmers, J. Leitão, U. Tietge, et al., "CO₂-equivalent emissions from European passenger vehicles in the years 1995–2015 based on real-world use: Assessing the climate benefit of the European 'diesel boom'," *Atmospheric Environment*, vol. 198, 122–132, 2019. Online: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.10.039>
- [7] Energiaoldal, *Gázüzemű autókkal már ma teljesíthető lenne a 2030-as kibocsátási cél*. 2016. Online: <https://energiaoldal.hu/gazuzemu-autokkal-mar-ma-teljesitheto-lenne-a-2030-as-kibocsatasi-cel/>
- [8] European Commission, *Flightpath 2050. Europe's Vision for Aviation. Report of the High Level Group on Aviation Research*. Luxembourg, Directorate-General for Research and Innovation, Directorate General for Mobility and Transport, 2011. Online: <https://doi.org/10.2777/50266>
- [9] Gábor A. D., *Repülőgépek CNG hajtásának vizsgálata és tervezése*. diplomamunka, Budapest, Budapesti Műszaki Egyetem, 2020.
- [10] Gábor A. D., *Projekt munka – Hatásfok analízis*, Budapest, Budapesti Műszaki Egyetem, 2020.
- [11] Hungarocopter, *HC02-02*. Online: <http://hungarocopter.hu/hu/specifikaciok>
- [12] Lukasz Grabowski, Ksenia Siadkowska, Krystof Skiba: *Simulation research of aircraft piston engine Rotax 914*, Aviation Propulsion Systems, Nadbystrzycka 36 Str., 20-618 Lublin, Poland
- [13] International Air Transport Association, (IATA), *A Global Approach to Reducing Aviation Emissions*. IATA, June 2009 Online: www.iata.org/en/pressroom/pr/2009-12-08-01/
- [14] International Civil Aviation Organization, *ICAO Environment Report*. 2010.
- [15] Iveco, CNG rendszer felépítése Daily NG, Cab40C Daily 4x2 MY2016(B40C), 5000338790
- [16] N. Matsumoto, *Japan's Experience with Short-Lived Climate Pollutants: The Case of Black Carbon*. Institute for Global Environmental Strategies, 2015.
- [17] A. Drake, C. A. Harris, S. C. Komadina, et al., *Environmentally Responsible Aviation N+2 Advanced Vehicle Study*. Final Technical Report, NASA/CR – 2013 – 218304, 2013.
- [18] Sanafarastan: Category, Online: <http://sanafarastan.com/category/news>
- [19] Thermodynamics and Propulsion: Aircraft Range: the Breguet Range Equation. Online: <https://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node98.html>
- [20] Venczel M., Bicsák Gy., Rohács D. et al. „Hidrogéncella alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata hibrid hajtású kisrepülőgépekhez,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. 253–272. 2017.
- [21] W. Mitianiec, "Perspective of Applying of Natural Gas in Internal Combustion Engines in Respect to Environmental Protection: Review Perspektywy Zastosowania Gazu Ziemięnego W Silnikach Spalinowych ze Względu na Ochronę Środowiska Naturalnego: Przegląd," in *Proc. of KONMOT*, Cracow University of Technology, September, 2014.

[22] Z. Petrović, S. Stupar, I. Kostić, et al., "Determination of a Light Helicopter Flight Performance at the Preliminary Design Stage," *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, vol. 56, no. 9, 535–543, 2010.

A mű az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.



Compressed Natural Gas in the World of Rotorcraft

Today, due to the change in society's attitudes and values, environmental protection and sustainability are gaining more and more prominence, even in the field of aviation. One possibility is the development of CNG propulsion systems. CNG is a methane-ethane mixture that produces 15 per cent less CO_x, 80 per cent less NO_x, and up to 90 per cent less HC emissions, while being a soot-free fuel. In our work, I investigated rotary-wing aircraft with CNG propulsion compared to the original petrol case. In the case of conversion to CNG, one of the main aspects is range in addition to propulsion efficiency. In the case of a small rotorcraft, range can reach 70 per cent of the petrol version, for the cost of 5 kg increased MTOW. Maintaining current MTOW, the maximum range is 64 per cent of the current petrol version. Considering the cost of conversion, based on available automotive examples, return on investment is in the order of 5400 km in the case of small rotorcraft. CNG propulsion can be a pioneering solution in the case of small helicopters used in pilot training and short-haul, urban mobility.

Keywords: rotorcraft, CNG, pollutant, emissions

Gábor Armand Dávid
MSc-hallgató
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi
Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Légi járművek szakirány
Repüléstudományi és Hajózási Tanszék

armandgabor@yahoo.com
orcid.org/0000-0002-3015-3564

Armand Dávid Gábor
MSc student
Budapest University of Technology and
Economics
Faculty of Transportation Engineering and
Vehicle Engineering
Aeronautics Specialization
Department of Aeronautics and Naval
Architecture

armandgabor@yahoo.com
orcid.org/0000-0002-3015-3564

Dr. Sziroczák Dávid
egyetemi adjunktus
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi
Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Repüléstudományi és Hajózási Tanszék

sziroczak.david@kjk.bme.hu
orcid.org/0000-0002-0949-8912

Dávid Sziroczák, PhD
Assistant Professor
Budapest University of Technology and
Economics
Faculty of Transportation Engineering and
Vehicle Engineering
Department of Aeronautics and Naval
Architecture
sziroczak.david@kjk.bme.hu
orcid.org/0000-0002-0949-8912
