

Beneda Károly

UGRÁS A JÖVŐBE – A CFM LEAP-1A HAJTÓMŰ RÖVID ISMERTETÉSE

A repülőgép-hajtóművek fejlesztése napjainkban egyre összetettebb feladat; egy-egy konstrukció évtizedeken keresztül meghatározó szerepet játszik, mire egy új típus bevezetésre kerülhet. Az amerikai-francia kooperációban készülő CFM56 nagy múltú típuscsalád munkálatait is jó harminc év és négy fő változat után nyilvánították befejezettnek, amikor elérkezett az idő, hogy az évtizedek alatt felhalmozott tapasztalatot ne egy már meglévő finomítására fordítsák, hanem új alapokon nyugvó gázturbina szülessen. Ez lett a LEAP¹, amelynek neve által sugallt ugrás valóban bekövetkezett, hiszen ez a hajtómű kihasználva az újdonság jelentette szabadságot, ami a korábbi változatok továbbfejlesztése esetén mindenképpen megköti a tervezők kezét, sikerült jelentős előrelépést létrehozni, amely nagy valószínűséggel meghatározó tényező lesz az elkövetkező évek polgári repülésében.

Kulcsszavak: kétáramú gázturbinás sugárhajtómű, CFM LEAP-1A, Airbus A320neo, repülőgép-hajtómű, ultra-nagy kétáramúsági fok

BEVEZETÉS

Elsőként 2010 decemberében hozták nyilvánosságra az inkább csupán új hajtóműveket takaró, és rendszereiben csupán minimális változást hozó Airbus A320neo² (New Engine Option) repülőgépek fejlesztését [1]. Az új erőforrásokat a Pratt & Whitney és a CFM International jegyzi. Ebben a cikkben a kettő közül másodikként szolgálatba álló CFM LEAP-1A típus kerül részletesebben bemutatásra. E típus fejlesztését ugyan két évvel a repülőgép előtt bejelentése előtt megkezdték [2], mégis számos csúszás hátráltatta a folyamatot. Ennek dacára sok tekintetben sikerült olyan megoldással előállni, ami újdonságnak számít az iparágban [3].

A típusmegjelölésben a CFM International (mely az egyesült államokbeli General Electric és a francia SNECMA – most éppen a Safran Group tagjaként – konzorciumaként még az 1970-es években jött létre) szakított a CFM56 megjelöléssel, utalva arra, hogy itt nagyobb átdolgozás készül. Az előző évtizedek fejlesztéseivel (CFM56-2, -3, -5, -7) szemben viszont nem számokkal, hanem egy betűszóval rukkoltak elő, melyben a kezdőbetűket összeolvasva az a bizonyos, a cikk címében is visszatükröződő „leap”, vagyis „ugrás” áll össze. A következőkben részletesen is olvasható, miféle előrelépést is kínál ez a szerkezet a hagyományoshoz képest. Először egy általános bevezetőt olvashatunk, majd ezt követően elsősorban ATA³-fejezetek szerinti sorrendben követik egymást a különböző témakörök, kivételt csak azoknál a rendszereknél találunk, amelyek nem tartalmazznak számottevő változást, és emiatt összevonásra kerültek.

¹ LEAP: Leading Edge Aviation Propulsion, élvonalbeli repülőgép-hajtómű

² neo: new engine option, új hajtóműváltozatok

³ ATA: Air Transport Association, Légiközlekedési Szövetség

ÁLTALÁNOS GONDOLATOK A HAJTÓMŰRŐL

A CFM56 bázisán, de attól mégis számottevő mértékben elrugaszkodva készült ez a jelenlegi szóhasználat szerint ultranagy kétáramúsági fokú ($\alpha = 11$) sugárhajtómű [3], mely az -5B sorozathoz képest kissé megemelt tolóerő-tartományt fed le, míg elődje 22–33 ezer font (98–147 kN) közötti változatokkal rendelkezett [4], itt a felső határ 35 ezer font (156 kN) [5].

Jelenleg sok adatot még nem közölnek, csupán annyit, hogy fajlagos fogyasztása kb. 15%-kal alacsonyabb a jelenlegiekhez képest [3], vagyis kb. 0,29 lb/lbfh (azaz 0,029 kg/Nh) lehet felszálló üzemmódon (az -5B 0,034 kg/Nh értékét alapul véve). Ezen felül a kompresszor nyomásviszonya $\pi_K^* = 40$, mely szintén közel 15%-kal nőtt a megelőző szériákhoz képest, ahol 35 környéki értékekkel találkozhattunk.

A turbina előtti gázhőről semmit nem közölnek, természetesen üzemi paraméterként nem is azt, hanem a kisnyomású turbina belépő hőfokát mérik, ahol felszálló üzemmódon 1060 °C a megengedett határ [5] (a CFM56-5B-n ez 950 °C volt [6]), melyet a hajtómű 5 percen keresztül képes egyhuzamban elviselni. Azt hozzá kell tenni, hogy a CFM56 családon egy fokozattal hátrébb, a KNYT⁴ 2. fokozat állólapátjaiban voltak a hőelemek elhelyezve, vagyis mérsékeltebb hőfokú közegben dolgoztak. A névleges teljesítményhez tartozó MAX. CONTINUOUS gázhő 1025 °C [5]. Ezt nevéből adódóan korlátozás nélkül bármeddig alkalmazhatja a személyzet, ha szükség van rá. A CFM56-nál megszokott módon, az indításkori megengedett érték ehhez képest jóval alacsonyabb, hogy a még hideg alkatrészeket ne érhesse akkora hősokk, az itt definiált határ 750 °C.

Ha becsülni szeretnénk a turbina előtti gázhőt, a megadott maximális KNYT előtti 1060 °C hőfokhoz figyelembe kell vennünk azt az entalpia-változást, amelyet a NNYT⁵ a kompresszorának hajtására fordít. Ehhez legelőször határozzuk meg a KNYK⁶ nyomásviszonyát, az alapján, amit a [7] közöl a NNYK⁷ nyomásviszonyát illetően:

$$\left. \begin{array}{l} \pi_K^* = 40 \\ \pi_{NNyK}^* = 22 \end{array} \right\} \rightarrow \pi_{KNyK}^* = \frac{\pi_K^*}{\pi_{NNyK}^*} = \frac{40}{22} = 1,82 \quad (1)$$

ahol:

- π_K^* – a teljes kompresszor torlópontri nyomásviszonya (-)
- π_{NNyK}^* – a NNYK torlópontri nyomásviszonya (-)
- π_{KNyK}^* – a KNYK torlópontri nyomásviszonya (-)

Következő lépésként becsüljük meg a NNYK belépő hőfokát, a belépésnél a NEL⁸ szerinti 288 K hőmérsékletet, valamint a KNYK izentrópus hatásfokára $\eta_s^{KNyK} = 0,88$ értéket feltételezve:

⁴ KNYT: kisnyomású turbina

⁵ NNYT: nagynyomású turbina

⁶ KNYK: kisnyomású kompresszor

⁷ NNYK: nagynyomású kompresszor

⁸ NEL: Nemzetközi Egyezményes Légkör

$$\begin{aligned}
 T_{1,NNyK}^* &= T_{2,KNyK}^* = T_{1,KNyK}^* \cdot \left[1 + \frac{\left(\pi_{KNyK}^* \frac{\kappa-1}{\kappa} - 1 \right)}{\eta_{KNyK}^s} \right] = \\
 &= 288 \text{ K} \cdot \left[1 + \frac{(1,82^{0,2857} - 1)}{0,88} \right] = 349,06 \text{ K}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Az (2) egyenletben alkalmazott változók:

- $T_{1,NNyK}^*$ – a NNyK belépő hőmérséklete (K)
- $T_{1,KNyK}^*$ – a KNyK belépő hőmérséklete (K)
- $T_{2,KNyK}^*$ – a KNyK kilépő hőmérséklete (K)
- η_{KNyK}^s – a KNyK izentrópikus hatásfoka (-)
- κ – a levegő adiabatikus kitevője (-)

A KNyK számításánál – tekintettel az ott alkalmazott csekély nyomásviszonyra és a belőle következő kismértékű hőfok-változásra – a κ adiabatikus kitevőt állandónak vettük.

Ebből pedig már meghatározható az NNyK-ban végbemenő sűrítés hatására előálló hőmérséklet-különbség:

$$\Delta T_{NNyK}^* = T_{1,KNyK}^* \cdot \left[\frac{\left(\pi_{NNyK}^* \frac{\kappa-1}{\kappa} - 1 \right)}{\eta_{NNyK}^s} \right] = 349,06 \text{ K} \cdot \left[\frac{(22^{0,2857} - 1)}{0,86} \right] = 575,71 \text{ K} \tag{3}$$

ahol:

- ΔT_{NNyK}^* – a NNyK-ban végbemenő hőmérséklet-növekedés (K)
- η_{NNyK}^s – a NNyK izentrópikus hatásfoka (-)

A (3) egyenletben eltekintettünk a κ adiabatikus tényező hőmérséklet-függésétől, az izentrópikus hatásfokra pedig a kompresszor hátsóbb fokozataiban kialakuló kedvezőtlen jelenségek (pl. határréteg megvastagodás stb.) kisebb értéket vettünk fel a kisnyomású fokozatokhoz képest.

Ha elhanyagoljuk a kompresszor és turbina tömegáramai közötti különbségeket, akkor állandósult állapotban a gépegységek technikai munkájának kell egyenlőnek lennie egymással:

$$w_{NNyK} = c_{pl} \cdot \Delta T_{NNyK}^* = w_{NNyT} = c_{pg} \cdot \Delta T_{NNyT}^* \tag{4}$$

ahol:

- w_{NNyK} – a NNyK fajlagos technikai munkája (Jkg^{-1})
- c_{pl} – a NNyK jellemző (levegő) közepes izobár fajhője ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
- w_{NNyT} – a NNyT fajlagos technikai munkája (Jkg^{-1})
- c_{pg} – a NNyT jellemző (gáz) közepes izobár fajhője ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
- ΔT_{NNyT}^* – a NNyK-ban végbemenő hőmérséklet-növekedés (K)

A fajhő a hőmérséklet és az égés során bekövetkező anyagi minőség megváltozása miatt nő, így tehát a turbinában jellemző izobár fajhő közelítőleg 1,2-szerese a kompresszorban áramló levegőének. Emiatt tehát a turbinában lejátszódó hőmérséklet csökkenésre átrendezve a (4) egyenletet kapjuk:

$$\Delta T_{NNyT}^* = \frac{c_{pl}}{c_{pg}} \cdot \Delta T_{NNyK}^* = \frac{1}{1,2} \cdot 575,71 \text{ K} = 479,76 \text{ K} \tag{5}$$

Ezzel megbecsülhetjük a felszálló üzemmódon az égéstér kilépő keresztmetszetében kialakuló gázhőmérsékletet, miután az [5] által megadott maximálisan megengedett hőfok a KNyT belépő keresztmetszetére vonatkozik:

$$T_{3,NNyT}^* = T_{3,KNyT}^* + \Delta T_{NNyT}^* = (1060 + 273) K + 479,76 K = 1812,76 K \quad (6)$$

$$t_{3,NNyT}^* = 1812,76 K - 273 K = 1539,76 \text{ } ^\circ\text{C} \approx 1540 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

Ez teljesen megfelel annak a technológiai szintnek, amelyet bár nem a GE, hanem a RR hajtóművekkel kapcsolatban hoztak nyilvánosságra [8], de feltehetjük, hogy a két gyártó nagyjából azonos képességekkel rendelkezik, így elfogadható a kapott érték.

A hajtómű száraz tömege nagyon sokat nőtt, köszönhetően annak, hogy nemcsak több fokozatot tartalmaz a legtöbb gépegységben (egyedül a kisnyomású kompresszor kivétel, ahol eggyel csökkent a fokozatszám), hanem az átmérők is sokkal nagyobbak a majdnem megduplázott kétáramúsági fok miatt. A hajtómű hossza 292-ről 332 cm-re nőtt [5][6], vagyis 40 cm-rel lett hosszabb, az átmérő pedig közel 25 cm-rel nőtt. Egy érdekesség, bár maga a gázturbina hengeres szegmensekből áll, a segédberendezések a szélességben és magasságban már eltérést okoznak. Míg a CFM56-5 családon a kihajtás a hajtómű alatt, 6 órasi pozícióban helyezkedett el, addig a LEAP-1A-n helyhiány miatt (lásd később) 8 órasi pozícióban, a ventilátorház bal oldalán található, így egy CFM magasabb, mint szélesebb, a LEAP pedig fordítva. Az alábbi fotómon-tázs a CFM LEAP-1A (bal oldalt) és az IAE⁹ V2500-zal (jobb oldalt) szerelt változatokat hasonlítja össze.



2. ábra CFM LEAP-1A összehasonlítása az A320ceo¹⁰ egyik hajtóműváltozatával (IAE V2500) [9]

ATA 71 – HAJTÓMŰ

Már a hajtómű beépítési környezetében, a gondolában találunk érdekességeket kezdve a ventilátor burkolat zárjait ellenőrző elektromos és vizuális biztonsági rendszerrel, amely a nyitva hagyott zárok és ezen keresztül a burkolat elhagyása ellen került bevezetésre. Érdekesség, hogy az utóbbi időben az A320 típuson több „Fan Cowl Loss” is történt, részint a burkolat zárjainak nem megfelelő kezeléséből fakadóan [10]. Emiatt itt már mindhárom zárat ellátták közelségkapcsolókkal, amelyek elektromos jelet szolgáltatnak, az így létrehozott távérzékelés a pilótafülkében rögtön jelzést biztosíthat a burkolati elemek nem megfelelő rögzítéséről. Ezen felül a

⁹ IAE: International Aero Engines

¹⁰ ceo: current engine option, jelenlegi hajtóműváltozatok

helyszínen mechanikus működésű jelzést is beiktattak: a mellső zár horga egy bowdenen keresztül mozgat egy piros-sárga csíkosra festett jelzőzászlót, amely a zár nem teljesen zárt állapotában kibújik a burkolat alól, messziről észrevehetően, ahogy a 3. ábrán is látható. Ez már a repülőgép körüli munkavégzés során figyelmezteti a szerelőt a zárok nem megfelelő állapotára.



3. ábra CFM LEAP-1A ventilátorburkolat feszítőzárjának nyitott állapotát jelző zászló (a szerző felvétele)

A másik igazi eltérés a CFM56-5A/B változatokhoz képest a sugárfékben mutatkozik. Szakítottak az ott alkalmazott négy nagy kibillenő ajtót magában foglaló változattal, és a hátrasikló burkolat mellett döntöttek. A többi CFM változattal ellentétben itt a mozgó felület két oldala zárral kapcsolódik, ez igényli a hidraulikus munkahengerek teljes szinkronizálását a megszorulás ellen. Ez viszonylag ritka megoldás, de pl. az A320ceo gépek IAE V2500 hajtóműveinél van (WizzAir is ilyeneket használ [11]).

ATA 72 – GÁZTURBINA

A hajtómű természetesen sok újdonságot sorakoztat fel. Az első, kívülről szembeötlő jellegzetesség maga a ventilátor, amely a maga 198 cm-es átmérőjével akkora, mint egy Boeing 757-esen alkalmazott PW2000-esé [12]. Természetesen, itt már nem 6, hanem 11 a kétáramúsági fok, így ugyanakkora méretből nem 200, hanem csak közel 150 kN tolóerőt lehet létrehozni. Viszont az előd CFM56-5-höz képest így is 25 cm-rel nőtt az átmérő, így a segédberendezések áttételháza nem fért el a ventilátor alatt, hanem a mellé kellett elhelyezni, úgy, mint a már eleve helyhiánnyal küzdő 737-esekre készült CFM56-3, és -7 esetén [13].

Visszatérve a ventilátorra: természetesen szakítottak az -5-ös változat keskeny húr hosszúságú lapátozásával, és a széles húr hossz mellett döntöttek. Lényegében felezték a lapátok számát, így az összesen 18 lapát eléggé szellős képet nyújt, lényegében átlátni a „kályhacsövön”. Itt szénszálas erősítésű technológiát alkalmaznak a tömegcsökkentés végett, azonban a kompozit ellenállóbbá tétele megkívánja a belépőél titán fóliával való bevonását. Ez a technológia nagyon fontos a tömegcsökkentés miatt, ami a CFM brosúrája szerint kb. 230 kg-mal kisebb össztömeget biztosít [3]. Azt azért hozzá kell tenni, hogy a korábbi változatok 2300 kg-jához képest itt most 2900 kg körül járunk [5].

A hajtómű a szerkezeti kialakítás terén nem kínál újat, a kisnyomású kompresszor ún. buszter fokozatai, melyek a ventilátort követik a belső áramban, a ventilátor tárcsa hátfalára vannak csavarkötéssel rögzítve. Ezáltal a hagyományos kéttengelyes megoldást valósították meg, aminek viszont az a hátránya, hogy a ventilátor nagy átmérője miatt ezek a lapátsorok már csak

csekély kerületi sebességgel, ezen keresztül nyomásviszonnyal rendelkeznek, amint azt fentebb, az (1) egyenletben láthattuk. Továbbá, a mérsékelt fordulatszám miatt elég sok az igényelt turbinafokozatok száma (itt pl. hét).

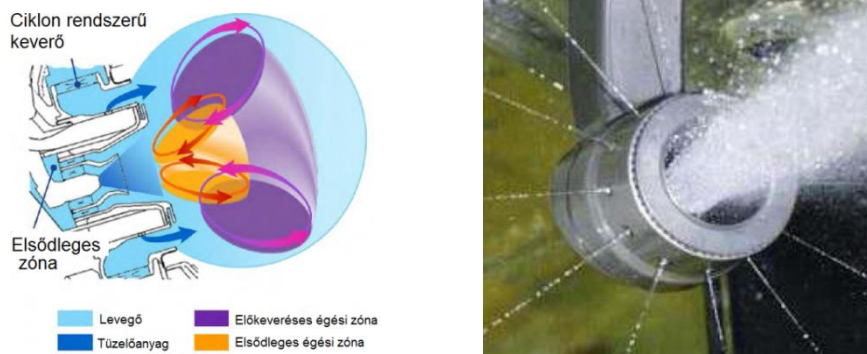


3. ábra Karbon szálerősítésű kompozit ventilátorlapát titán védőréteggel a belépőélen a gyártó brosúrájából (forrás: [3]) valamint beépített állapotban (a szerző felvétele)

A nagynyomású kompresszort tíz fokozat alkotja, amely eggyel több, mint a CFM56 gázgenerátorában alkalmazott fokozatszám, ami egyébként az F110-GE-129 katonai hajtóműből származik [13]. Ami itt érdekes lehet, hogy az első öt fokozatnál szakítottak a hagyományos tárcsalapát összeállítással, és egyben megmunkált lapátos tárcsákat (blisk¹¹) alkalmaznak.

Az égéstér alapjaiban különbözik az eddigi konstrukcióktól, ugyanis előkeveréses kétkoszorús megoldást hoztak létre, mely a GENx hajtómű TAPS¹² továbbfejlesztése [14].

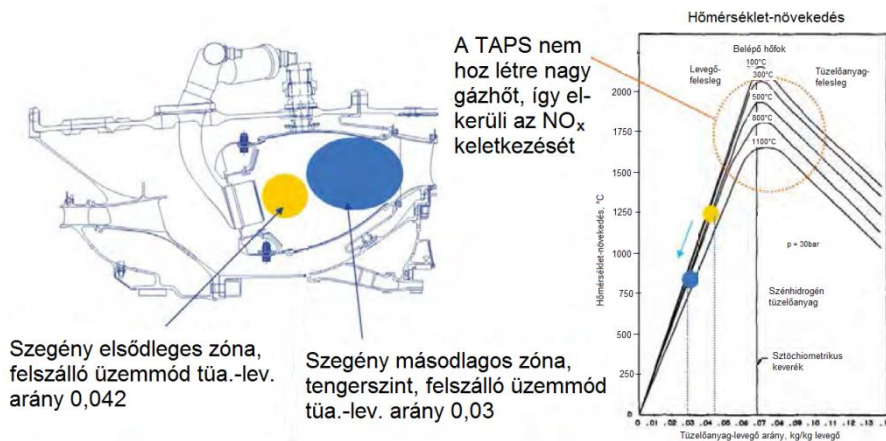
Ez a kialakítás – a szegény keverékképzésnek köszönhetően – nagymértékben javítja a fogyasztás, valamint a károsanyag-kibocsátás jellemzőit, és önmagában elég lenne egy könyv megtöltésére. Érdekesség, hogy a tüzelőanyag-betáplálást viszonylag kevés, ráadásul páratlan számú (19 db.) fűvóka végzi, ez eggyel kevesebb, mint az A320ceo régi hajtóművein alkalmazott fűvókaszám.



4. ábra Tüzelőanyag-fűvóka kialakítása a TAPS égéstérben ([14] alapján)

¹¹ blisk: bladed disk, lapátos tárcsa

¹² TAPS: Twin Annular Pre-Swirl Combustor, iker előkeveréses égéstér



5. ábra Égési zónák a TAPS égéstérben ([14] nyomán)

Egy további érdekesség az additív gyártástechnológiával (háromdimenziós nyomtatással) létrehozott tüzelőanyag fűvóka, amellyel szintén egyszerűsíthető a gyártási folyamat, továbbá az összetett geometria sem jelent nehézséget [3]. Az additív technológia egyre nagyobb teret hódít a gázturbinák terén is, mivel minden tekintetben előnyös konstrukciót lehet elérni. Egyszerre könnyű, olcsó, és ellenálló szerkezetet lehet alkotni, tehát minimális a kompromisszum, amit egy ilyen alkatrész létrehozásakor vállalni kell.



6. ábra Additív gyártási technológiával készült tüzelőanyag-fűvóka (forrás: [15])

A turbinákban mindenütt emelkedett a fokozatszám a CFM régi változataihoz képest, ahol mindössze egy fokozat elég volt a nagy nyomású forgórésznek, és négy (kivéve -5C, ahol 5 fokozat is kellett) a kis nyomásúban. Itt most a megoszlás 2NNyT és 7KNyT. Ez jelentősen kihat a hajtómű statikus elemeire, ugyanis itt a két turbinaegység között is kell egy kellően masszív bordarendszer, mely a nagy nyomású forgórészt hátulról támogatja. Ez, és a 2-es csapágy kialakítása nagymértékben hasonlít a GP7200-as hajtóművön alkalmazott megoldásra, amely ellentétben a szokásos elől golyós-, utána hengergörgős csapágyazással, itt a mellső a görgős, a 2-es számú pedig a mélyhornyú golyós, ami a kis nyomású forgórész axiális erejét hivatott átadni a hajtóműház szerkezetére.

ATA 73 – TÜZELŐANYAG- ÉS SZABÁLYOZÓRENDSZER

A tüzelőanyag-rendszert érte talán a legnagyobb változtatás. Az alap feladatán, az égéstérbe való szabályozott betápláláson túl megmaradtak a szervorendszerek hidraulikus munkahengerei

és az olajrendszer hűtését szolgáló hőcserélők is, de ezeknek a felépítése igen sok ponton módosult a régebbi konstrukciókhoz képest.

A tüzelőanyag hűtőközegként való alkalmazása nem új keletű, mint ahogy az sem, hogy nem csak a hajtómű, hanem az váltófeszültségű generátor (illetve itt már a fordulatszám-állandósító áttétellel egybeépített egység, az IDG¹³) olajának hűtésére is felhasználják. Azonban a CFM56-5 változaton az erre szolgáló hőcserélő még a tüzelőanyag-rendszer visszafolyó ágában került elhelyezésre, ahol már felmelegedett (akár 130°C-nál is forróbb) tüzelőanyag áramlik, értelemszerűen rontva az olaj hűtésének hatékonyságát. Ezt már a -7 változaton módosították úgy, hogy a kisnyomású szivattyúból éppen kilépő, közvetlenül a tartályból érkező friss kerozint vezetik az olajhűtőre, így biztos megfelelő lesz annak működése [4]. Ezt az elrendezést vette át a LEAP-1A is.

A GE és PW hajtóművek között leggyakrabban azt a különbséget lehet látni, hogy míg a Pratt a modulálható rendszerek szervoszelepeit a munkahengereken szokta elhelyezni, és odáig csak egy állandó referencianyomást továbbít a rendszer, ezáltal a tüzelőanyag adagolásért egy önálló egység felel, ez az FMU¹⁴ nevet viseli [4]. A GE hagyományosan kombinálja a tüzelőanyag adagolás és szervó funkciókat egyetlen Hidromechanikus Egységben (HMU¹⁵). Ennél az új hajtóműnél annyi levegőrendszerbeli szervoszelep született, hogy már nem volt lehetséges a régi megoldás alkalmazása, terveztek tehát egy különálló FMU-t, ami a tüzelőanyag adagolásért felelős, és van egy független SCU/SVA¹⁶, amely a szervorendszerek elemeit foglalja magában. Megállapítható, hogy szétvált az adagolás és a szervoszelepek elhelyezése, ez utóbbiak mégsem kerültek egyesével az adott rendszer munkahengereire, ami a Pratt & Whitney hajtóműveire jellemző [17]. További érdekesség, hogy az FMU a ventilátor házon, az SCU/SVA pedig a nagynyomású kompresszor alatt, a belső áram közvetlen közelében található.

Az SCU/SVA tartalmaz ezen felül egy érdekes szelepet, mely szintén modulálható, ez pedig a PMV¹⁷ névre hallgat. A FADEC¹⁸ rendszerek esetében szinte mindenütt FMV¹⁹-nek titulálják az adagolószelepet, ez viszont a Pilot Metering Valve. Feladata a fő fűvókakoszorú egyes fűvókái között osztja meg a folyadékot, mivel a TAPS rendszerrel a primer kör egy dús és egy szegény részre van osztva (4 PPM²⁰ és 15 PPM²¹ az összesen 19 fűvókából).

Egy hagyományosan A320-as megoldás a tüzelőanyag visszaeresztése a tartályokba, amennyiben a hőcserélők működése megkívánja az emelt tüzelőanyag-szállítást, miközben a hajtómű által felhasznált mennyiség nem éri el ezt az értéket, a „fölösleg” visszakeringtethető a tartályba. Természetesen számos hajtóművet és repülőgépet (leginkább a tüzelőanyag-tárolást) érintő feltételnek kell teljesülnie, hogy használható legyen ez az opció, de kétségkívül hasznos, hogy az olajhőmérséklet jobban, extrém körülmények között is kordában tartható. Míg a CFM56-5 esetén a visszaeresztésért felelős FRV²² még csak háromállapotú szelepként

¹³ IDG: Integrated Drive Generator, egyesített meghajtással rendelkező generátor

¹⁴ FMU: Fuel Metering Unit, tüzelőanyag-adagoló egység

¹⁵ HMU: Hydromechanical Unit, hidromechanikus egység

¹⁶ SCU / SVA: Split Control Unit / Servo Valve Assembly, különálló szabályozó egység / szervoszelep egység

¹⁷ PMV: Pilot Metering Valve, elsődleges fűvókakoszorú adagolószelepe

¹⁸ FADEC: Full Authority Digital Electronic Control, teljes hatáskörű digitális elektronikus szabályozás

¹⁹ FMV: Fuel Metering Valve, adagolószelep

²⁰ PPM: Pilot Primary/Main enriched – elsődleges / fő fűvókák dús keverékkel

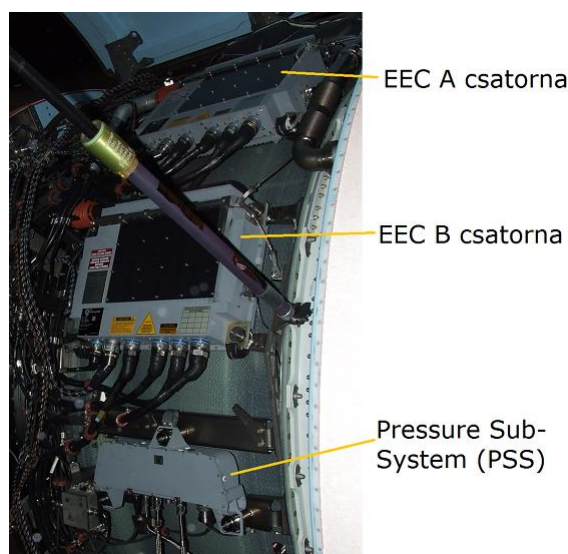
²¹ PPMne: Pilot Primary/Main non enriched – elsődleges / fő fűvókák szegény keverékkel

²² FRV: Fuel Return Valve, tüzelőanyag visszakeringtető szelep

viselkedett, addig az újratervezett FRV már modulálni képes, ezáltal fokozatmentes változtatást tud biztosítani.

Az a nagyobb GE hajtóműveken (pl. CF6-80C2 [16]) volt szokásos, hogy a tüzelőanyag szűrő külön egységet képez, nincs a szivattyúkkal egy házba integrálva, továbbá a fő szűrőn kívül a szervo rendszereknek egy kisebb, öntisztuló szűrőt is tartalmaz. Ez itt is így került kivitelezésre, szemben a CFM56 integrált kialakításával.

A védelem terén is jelentős módosulást tapasztalhatunk, a GE szakított a hagyományosnak mondható, a CFM56-5 és -7 (FADEC-es) és a CF6-80C2 és -E1 változatokon alkalmazott röpsúlyos túlpörgés elleni védelemmel [16]. Ez ugyanis szükségessé tette az HMU összekötését a nagynyomású tengellyel, vagyis az HMU áttételházra való szerelését. Itt vélhetően nem lett volna elég hely, továbbá az elmúlt években a fentebb említett GP7200 hajtómű kapcsán létrejött a GE és a PW között egy bizonyos párbeszéd a közös fejlesztés kapcsán. Ez adhatta minden bizonnyal az „ihletet” arra vonatkozóan, hogy amennyiben a rendszer meghibásodást észlel (pl. túlpörgés), akkor a PW által előszeretettel alkalmazott alapjáratra történő fordulatszám-csökkentést [17] implementálták ebbe a rendszerbe is (a röpsúlyos GE megoldás csak határolásra volt képes, nem engedte a fordulatszám további növekedését túlpörgés esetén, itt pedig drasztikus redukció jön létre). Addig azonban még a Pratt hajtómű szabályozórendszerek sem merészkednek el (csak bizonyos fokig a Rolls-Royce-ok teszik), hogy adandó alkalommal automatikus vészleállítást is eszközöljenek. A LEAP-1A azonban – természetesen szigorúan csak a földön – ilyenre is képes, feltéve, hogy az imént említett fordulatszám-csökkentésre már kiadta a parancsot, a hajtómű azonban még erre sem reagált.



7. ábra A FADEC rendszer elektronikus egységei (EEC A és B csatorna, valamint PSS) a ventilátorház jobb oldalán (a szerző felvétele)

A FADEC rendszer fő számítógépe is számos újdonságot tartogat. Eddig az volt a megszokott, hogy a két csatorna, valamint a nyomásérzékelők egy közös házba kerültek. Vélhetően a már így is tetemes átmérő miatt itt a három funkciót három dobozba szervezték ki: van két egymással egyenértékű EEC²³ csatorna (A és B), valamint a harmadik szerkezet alapvetően a

²³ EEC: Electronic Engine Control, elektronikus hajtóműszabályozó egység

nyomásérzékelőket rejti, ez a PSS²⁴. Ez utóbbinak egyéb funkciója is van, pl. tartalék kommunikációs csatornaként szolgálhat a két csatorna között, illetve a hajtómű beállításait tartalmazó azonosító dugó (Identification Plug) is ide csatlakozik. Az elrendezést a 7. ábrán láthatjuk.

A nyomásérzékelés terén egy további érdekességet szükséges kiemelni. A CFM56 család fejlődéstörténetét végigkísérve a ventilátor előtti nyomásmérés alakulása igen furcsa fordulatot vett. Először is le kell szögezni, hogy a belépő keresztmetszetben legjobb a torlóponti nyomást mérni, ahogyan azt számos PW és RR hajtóművön is teszik [17]. Ezzel szemben a GE-nek egy bevett szokása volt (már a korábbi tervezésű CF6-okon is), hogy mindössze statikus nyomást mérnek itt (ezt PS12-nek nevezik), és abból próbálnak számolni valamit. A korai CFM56 változatokon (-2 és -3) még négy nyomásfelvevő furatot lehetett találni a ventilátorlapátok belépőéle előtt, ezek a MEC²⁵ nevezetű hidromechanikus szabályozóegységbe, valamint a PMC²⁶ elektronikus (analóg) számítógépbe kerülnek feldolgozás céljából [13]. Az első FADEC-es változaton, az -5-ösön még megvolt három az eredeti négyből, de az ECU²⁷ (a rendszer központi, digitális számítógépe) normál esetben az Air Data Computerből származó torlóponti nyomásra támaszkodott alapesetben, és csak ennek hiánya vezetett a saját mérésből származó adat felhasználására. A -7B esetében már ennél is tovább merészkedtek, eltűnt az összes nyomásfelvevő furat, és csak a repülőgép rendszerei által mért érték áll rendelkezésre. Ez természetesen a szabályozást is érintette olyan formán, ha az összes ilyen mérés megbízhatatlan (pl. nem működik a szondák jégtelenítése), akkor nincs saját adat, ami helyettesítőként ilyenkor beléphetne, vagyis tartalék üzemmódot kellett létrehozni. Ez egyébként a CF6-80C2 és -E1 verzióknál is hasonlóképpen végbement, joggal lehet tehát feltételezni, hogy a '80-as években tervezett első generációs FADEC változatok még rendelkeztek saját méréssel, a II. generációs FADEC-ek a '90-es években már nem.

És itt jön a csavar: a LEAP-1A ismét rendelkezik PS12 méréssel, vagyis úgy tűnik, visszatérnek a „kályhához”. Természetesen ebből messzemenő következtetéseket nem szabad levonni, főleg alig egy évvel a szolgálatba állást követően, de mindenképpen érdekes fordulat. Azt azért hozzá kell tenni, hogy a B737MAX változatokra készülő LEAP-1B-n ismét nincs saját PS12 mérés... Vagyis a végső konklúzió olyasformán hangozhat, hogy inkább a repülőgépgyár filozófiája állhat a ventilátor előtti nyomásmérés meglétének vagy hiányának a hátterében.

ATA 75 – LEVEGŐRENDSZER

A hajtómű belső levegőrendszere szintén jelentősen módosult, amelyet a GE gyakorta „parazita” levegőnek is nevez, tekintettel arra, hogy a technológiai célokra elvett levegő közvetlenül nem vesz részt a tolóerő létrehozásában. Ez a rendszer általában turbina részvezérlés és kompresszor szabályozás alrendszerekre bontható, itt is ekképpen tárgyalom az egyes részeket.

A turbina részvezérlés már az első FADEC-es CFM56-5 óta aktív volt mind a kis-, mind pedig a nagy nyomású turbinán. Egymástól függetlenül modulálható rendszer volt kiépítve, különböző forrásokkal az eltérő igényeknek megfelelően. A LEAP-1A-n a két rendszer egymás mellett

²⁴ PSS: Pressure Subsystem, nyomás(mérő) alrendszer

²⁵ MEC: Main Engine Control, fő tüzelőanyag-szabályozó automata (hidromechanikus)

²⁶ PMC: Power Management Control, tolóerő-szabályozó kiegészítő egység (analóg számítógép)

²⁷ ECU: Electronic Control Unit, elektronikus szabályozó egység, lényegében az EEC szinonimája, de egy adott hajtóművön csak egyiket használják megnevezésként

került kiépítésre, mindkettő a ventilátortól elvett levegőt alkalmaz, melyet modulálható mennyiségben képes ráengedni az adott turbínaház külső felületére, ezáltal befolyásolván annak hőtágulását, ezen keresztül pedig a ház és a lapátvégek közötti rést. A két szelep egymással csereszabatos, ami nem volt elmondható a CFM-es megoldásokra, ezáltal egyszerűsödik a karbantartás is.

A hűtést végző rendszerek között megjelent a modulálható turbínahűtés. Olyan már volt korábbi fejlesztéseken (PW2000, PW4000 [17] és CF6-80 típusokon [16]), hogy az utazó üzemmódon, amikor a hajtómű hőterhelései nem kimondottan nagyok, csökkentik a turbínába juttatott hűtőlevegőt, mert ami bent marad a főáramban, az tolóerőt generál, nem pedig veszteség lesz. Így javítható az utazó konfigurációban a hajtómű hatásfoka. Érdekeség, hogy a PW2000-n szintén modulálható a rendszer (igaz, ezt csak 1994-ben vezették be, mint módosítást, és nem a tervezéskor került bele), a másik kettő csak kétállású szelepekkel tudja lépcsőkben befolyásolni a hűtőlevegő mennyiségét. A LEAP-1A-n modulálható a rendszer, az érdekessége, hogy míg az előzőek a NNyT 2. fokozatának hűtésére szolgáló rendszerek, itt rögtön az 1. fokozatról van szó, ahol a hűtőközeg a kompresszor kilépő levegője, mely felszálló üzemmódon már meghaladja a 600 °C-ot is.

A hagyományos kompresszor szabályozások, mint változtatható állólapátok és modulálható pompázsszelepek a kis- és nagynyomású forgórészek között szintén megtalálhatóak.

A változtatható állólapátok VSV²⁸ lényegi változást nem tartalmaz, csupán az eggyel növelt fokozatszámhoz eggyel több állítható terelőlapát-sor tartozik, az eddigi állítható IGV²⁹ és 3 fokozat állólapátját kiegészítették a 4. fokozat állólapátózásával.

A KNyK modulálható pompázsszelep-rendszere, a VBV³⁰ már több újdonságot tartalmaz. Eddig a ventilátor bordázatának osztásközeiben helyezkedett el összesen 12 ajtó a kerület mentén, most ezek számát csökkentették nyolcra. Az igazi eltérés a lineáris hidraulikus munkahengerek alkalmazása a fogaskerekes hidromotor helyett (bár ezt a GE már a CF6-03-on régóta alkalmazta, ill. a CFM56-7-en is megjelent); továbbá az, hogy a VBV ajtók nem kifelé, a külső áram irányába nyílnak, hanem befelé, tehát „belemarnak” a primer áram légtömegébe a csatorna külső oldalán, ahol a centrifugális erőviszonyok miatt nagyobb koncentrációban várható szilárd vagy folyékony halmazállapotú szennyeződés. Ez a megoldás kimondottan a nemkívánatos részecskéknek az eltávolítását hivatott jobb hatásfokkal művelni, amellet, hogy a kieresztett levegő természetesen stabilizálja a KNyK áramlási viszonyait [3].

Az egyre növekvő nyomásviszony, mely egyedül a NNyK esetében 22:1 értéket tesz ki [7], egyre erősebb instabilitásait okozza a kis fordulatszámokon történő üzemállapotokban (alapjárat környéke, avagy indításkori tranziens során). Erre a régebbi CFM56-okon egy indításkor, majd az újabb változatokon egy átmeneti állapotokban (indítástól a NNyK akár 80%-os fordulatszámáig) működtetett pompázsgátló szelep volt hivatott. Itt mindkettő megoldást együttesen alkalmazzák, van Start Bleed és Transient Bleed Valve is. Az előbbit egyébként a buszter fokozatok jégtelenítésével kötötték össze, tehát SB/BAI³¹ elnevezésű rendszerrel lehet találkozni; a második feladat az osztóél jégtelenítéséért felel, és mindkét funkció modulálható (bár nem egymástól

²⁸ VSV: Variable Stator Vanes, állítható terelőlapátsor

²⁹ IGV: Inlet Guide Vane, belépő terelőlapátsor

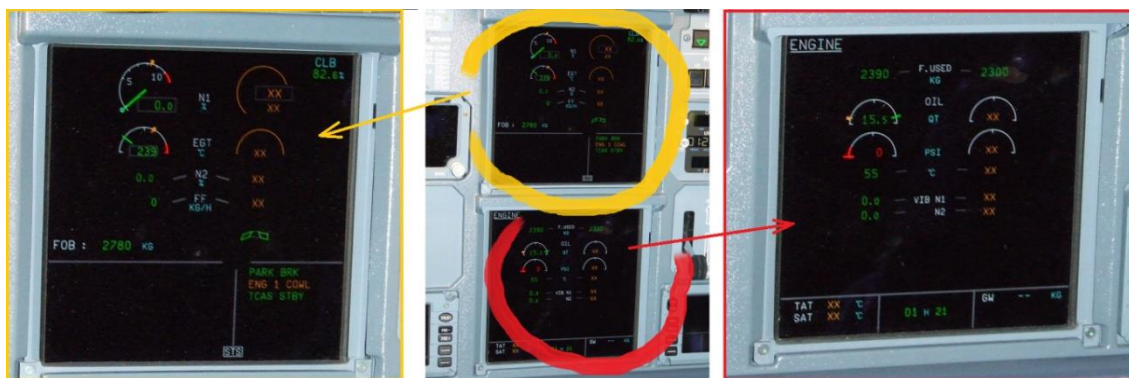
³⁰ VBV: Variable Bleed Valve, modulálható pompázsszelep

³¹ SB/BAI: Start Bleed / Booster Anti-Ice, indításkori pompázsgátló szelep, buszter jégtelenítéssel

függetlenül). A TBV³² annyiban módosult, hogy az általa elvett levegőt nem a KNYT első fokozat állólapátjaiba vezetik többlet hűtőlevegőként, hanem a KNYT kilépéséhez, lényegében a belső áram fűvócsövébe továbbítják, olyan kialakítású csöveken keresztül, mint a CF6-80 Low Pressure Recuperated Air hűtőrendszerrel, bár itt hűtési célt nem emeltek ki a leírások.

ATA 77 – JELZŐRENDSZER

A jelzőrendszer továbbra is az ECAM³³ rendszeren alapul (részletesebb leírását lásd a [18]), de természetesen az A318-nál bevezetett továbbfejlesztett (Enhanced) verziót vették alapul. Új megjelenítendő paraméter nincs, a jelzések a megszokott módon helyezkednek el az alsó és felső képernyőkön (lásd 8. ábra).



8. ábra ECAM képernyők az A320neo repülőgép műszerfalán (a szerző felvétele)

Az egyes szenzorok viszont már bizonyos fokig eltérnek. A kisnyomású forgórész fordulatszám-érzékelője a CFM56-oknál a ventilátorház külső felületén elhelyezkedő, az egyik bordán végighúzódnó nyíláson keresztül ér be a tengelyig. Itt a megnövekedett átmérő miatt nem lett volna gazdaságos olyan hosszú szondát építeni, így nem kívülről, hanem a külső és belső áramokat elválasztó közbülső házon (Fan Frame Mid-box) került elhelyezésre, ami a CF6 és PW4000 hajtóműveknél már látott megoldás (ezek nem a kétáramúsági fokuk, hanem tolóerejükből eredendően rendelkeztek túlzott méretekkkel, amely ezt a kivitelt szükségessé tette).

A nagynyomású forgórész fordulatszámát az áttételház hátuljára erősített szenzor figyelte a CFM56-nál, a LEAP-1A-n ez az áttételházat hajtó tengely burkolatára került át.

A gázhőmérséklet (EGT³⁴) mérése változott számottevően, egyrészt előrébb került (KNyT 2. helyett 1. fokozat állólapátjaiba), másrészt nem 9, hanem csak 8 érzékelőt alkalmaznak, ezek azonban nem közösen futnak a két EEC csatornába, hanem mindkét csatorna 4–4 érzékelőt felügyel, ezáltal a rendelkezésre álló jelek száma – és így a megbízhatóság is – kicsit megnő. Az alkalmazott hőelem típus továbbra is a K, azaz a nikkel-króm–nikkel-alumínium (krómel-alumel) párosítás.

Ami nagy eltérés az előző verziókhoz képest, hogy a vibráció mérését nem különálló elektronikus egység, hanem maga az EEC végzi. Nincs tehát EVMU³⁵, nincs szükség a független

³² TBV: Transient Bleed Valve, átmeneti állapotok pompázsgátló szelepe

³³ ECAM: Electronic Centralized Aircraft Monitoring, Központi elektronikus repülőgép felügyeleti rendszer

³⁴ EGT: Exhaust Gas Temperature, (kilépő) gázhőmérséklet

³⁵ EVMU: Engine Vibration Monitoring Unit, hajtómű vibrációmérő egység

analog fordulatszám-adatra a két tengelyről emiatt, mondhatjuk, „házon belül” megoldja az EEC, mert ezek az információk amúgy is szükségesek a szabályozás és a sorrendvezérlések (pl. indítás) kapcsán. Érdekes lenne az EEC mélységeibe is belelátni, hogy milyen elektronikai áramkörök tették lehetővé a hagyományosan nagy számító kapacitást igénylő vibrációmérés integrálását a szabályozó egységbe. Összehasonlításképpen, az első generációs CFM56-5 ECU 8MHz-es órajellel működő, 16 bites Motorola 68000 processzort alkalmazott, a '90-es évekbeli második generációban ez már 32 bites architektúrára és 20MHz-re módosult [19].

A CFM nem tud szakítani a hagyománnyal, hogy az 1-es csapágy rezgését közvetlenül mérje, ami nemcsak azért érdekes, mert így ez a szenzor nem cserélhető a hajtómű jelentősebb megbontása nélkül, hanem most nem az 1-es, hanem a 2-es csapágy a legnagyobb terhelésű, mélyhornyú golyóscsapágy. Ettől függetlenül van még egy szenzor, ez éppenséggel a turbina középső támjára került (TCF³⁶), és legalább állóhelyen cserélhető (azaz LRU³⁷).

ATA 78 – FÚVÓCSŐ

A CFM megmaradt a szétválasztott áramok alkalmazása mellett ennél a hajtóművénél is, bár az korántsem mondható ki annyira egyértelműen, hogy a nagy kétáramúsági fok ezt a megoldást igényelné. Ott van rögtön az A320ceo V2500-asa a maga 5,5-es értékével és a közös fúvócsővel. De lehetne még folytatni a sort, számos Rolls-Royce Rb.211 változat, a Szolovjov PSz-90 [12], de még a CFM56-5C is ebbe a nem elhanyagolható körbe tartozik.

A sugárféken jócskán változtattak, a CFM56-5A/B változatok kibillenő ajtós megoldását lecserélték a hátrasikló burkolattal megoldott variációra. Ebben a kialakításban természetesen megtalálhatóak az efféle rendszerek záró ajtajai, amelyek a másodlagos áram útját állják és rávezetik a levegőt a kaszkádokra, amik végül a megfelelő axiális sebességkomponens létrehozását végzik.



9. ábra Kibillenő ajtós (CFM56-5B) és hátrasikló burkolatos (CFM LEAP-1A) sugárfékek ([20] és [21])

A kibocsátásban négy hidraulikus munkahengert alkalmaznak, melyek mindannyian mechanikusan szinkronizáltak, mert a hátrasikló burkolat két fele feszítő zárral is kapcsolódik egymáshoz. Így tehát semmilyen eltérés nem engedhető meg a két oldal gyorsaságában, gondoskodni kell az egyttfutásról, melyet a szokásos módon hajlékony tengelyekkel oldanak meg. A munkahengerek közül kettő (a felsők) rendelkeznek belső zárral, az alsók közül csak a jobb oldaliba építettek ilyen lehetőséget, de azt is csak manuálisan, karbantartás céljából lehet

³⁶ TCF: Turbine Center Frame, turbina középső tám

³⁷ LRU: Line Replaceable Unit, állóhelyen cserélhető berendezés

alkalmazni, a normál működésben nem játszik szerepet. A felső munkahengereken kerültek elhelyezésre a lineáris differenciál-transzformátorok, melyek alapján a rendszer a kibocsátottság állapotát képes felügyelni.

A hidraulikus rendszer felépítése igen érdekesre sikerült. Nehéz ennyi információ alapján megállapítani, hogy csupán a helyhiány vezetett ehhez a kialakításhoz, vagy ez éppenséggel egyfajta trendnek nevezhető. Az utóbbi esetben ugyanis megfordulni látszik az elmúlt évtizedek tervezési gyakorlata. Az a megoldás, amely most a CFM LEAP-1A-n visszaköszön, az az 1970-es években tervezett hajtóműveken volt döntően elterjedt (CF6, PW2000 és 4000, RR Rb.211 stb.), ahol a hidraulikus kör elszeparálásáért és a kibocsátó ág vezérléséért felelős szelepek külön egységekben kerültek elhelyezésre, a hajtómű, esetleg a pilon különböző tájain. Aztán a nyolcvanas-ki-lencvenes évek hajtóművein (pl. CFM56-3, -5, -7, V2500) már feltűntek az előbbi feladatokat egyetlen egységben megvalósító szelepblokkok. Úgy tűnt tehát, hogy a csoportosítása a jövő. Itt most azonban valami egészen mást láthatunk. Visszatérés a régi, jól bevált megoldáshoz? Egyszerűbb, olcsóbb karbantartás a cél? Vagy csak a fentebb említett helyhiány? Vélhetően ezekre a kérdésekre csak az üzemi körülmények között eltöltött hosszú évek adhatnak majd választ.

A vezérlésben alapvetően nincs újdonság, itt csupán EEC-nek titulált központi számítógép felel a fő működtetésért, és ahogyan azt az A320ceo-n már megtapasztalhattuk, a nem szándékolt kibocsátást két másik egység képes letiltani: az EIU³⁸ és a SEC³⁹. Ez utóbbi kifejezetten érdekes kapcsolat, sok köze nincsen a hajtóműhöz, de itt mégis komoly szerep hárul rá. Az eredeti konfigurációhoz hasonlóan a gázkar állását potenciométereken keresztül figyeli, emellett az ELAC⁴⁰-tól kap rádiomagasság adatot, amelyet a föld-levegő állapot meghatározására használ. Ha a repülőgép a földön van, és a gázkar a sugárfék tartományban jár, akkor ad engedélyt a rendszer használatára. Az A320ceo-n alkalmazott hidraulikus elzáró szelephez képest azonban itt az A330-ason felbukkanó (azon belül is a PW4000-en megtalálható) mechanikus zárat alkalmazzák a harmadik biztonsági lépcsőben (első az EEC, második az EIU).

ATA 79 – OLAJRENDSZER

A kenésrendszer – bár szintén viszonylag kis számú komponensből álló nem túl bonyolult rendszer – szintén számos változást rejt. Hogy ezekben mennyire a Pratt & Whitney megoldásai tükröződnek, vagy csupán véletlenségből álltak át a GE tervezőmérnökei a „szomszéd várban” alkalmazott kialakításokra, azt döntse el a tisztelt Olvasó, amihez a szükséges információt az alábbi bekezdésekben kaphat.

Az olajrendszer felépítésében egy sarkalatos kérdés, hogy hová kerüljenek a hőcserélők. Ez bizonyos fokig a szivattyúk karakterisztikájával függ össze, de természetesen további tényezők is befolyásolják. Amikor az olajat a visszatérő ágban hűtik le, még mielőtt megérkezne a tartályba, hideg tartályos (cold tank) rendszerről beszélünk, ez a konfiguráció volt megszokott a GE hajtóműveken (CFM56, CF6 stb.). Ehhez képest természetesen elképzelhető olyan is, hogy a nyomóágban találunk hőcserélő(ke)t, ekkor azonban hűtetlenül a forró olaj jut a tartályba,

³⁸ EIU: Engine Interface Unit, hajtómű interfész egység

³⁹ SEC: Spoiler Elevator Computer, spoiler-magassági kormány vezérlő számítógép

⁴⁰ ELAC: Elevator Aileron Computer, magassági kormány-csűrő vezérlő számítógép

vagyis meleg tartályos (hot tank) rendszerrel állunk szemben. Ez a kialakítás olyan helyeken elkerülhetetlen, ahol nincs, vagy nem teljes a visszazállító ág (pl. egyszerűbb fedélzeti gázturbináknál, mint pl. Hamilton Sundstrand APS2000, APS3200), vagy éppen a tervező ezt a megoldást részesíti előnyben (PW és RR hajtóműveken). Szakítva a GE-s hagyományokkal, itt egy meleg tartályos rendszer épült ki.

Egy további eltérés a hagyományos GE fejlesztésekkel szemben, ahol nem szoktak levegős, csak tüzelőanyagos hőcserélőt alkalmazni a hajtómű fő olajkörében (esetleg a generátorban). Ennek tükrében a levegős hőcserélő tekinthető jellegzetes PW vonásnak, ami most egy kicsit elgondolkodtató, hiszen a LEAP olajrendszere szintén tartalmaz levegős olajhűtőt, ráadásul rögtön felületi hőcserélőként a másodlagos áramban, a ventilátor ház belső falára felszerelhető, bordázott ív formájában, amiben az átáramló olaj a ventilátor levegőjének a bordákra kifejtett hőelvonó hatása miatt tud lehűlni. Habár a hűtési feladatot már egy ilyen szerkezet is megoldaná, a biztonság kedvéért ebből az egységből rögtön kettőt alkalmaznak szimmetrikusan, amelyekbe a folyadék megosztva jut.



10. ábra Felületi hőcserélő a ventilátor kilépésénél (a szerző felvétele)

A CFM56-7B után, ahol az olajrendszer főbb paramétereit már az EEC méri, nem meglepő, hogy itt is ezt a sémát alkalmazták, az Engine Interface Unitnak (EIU), amely a CFM56-5 változatokon a jelek döntő többségét kezelte, már csak az alacsony olajnyomás kapcsolója jutott.

Érdekes visszalépésnek könyvelhető el az olajnyomás mérése, vagyis az olajnyomás kapcsoló megléte. A -7B-n ugyanis már csak a nyomástávadó volt meg, amely a pilótafülke szimbolikus műszereinek (lásd [22]) egyikén a nyomással arányos jelet mutatta, az EEC pedig egy egyszerű belső komparálással oldotta meg az olajnyomás alacsony értékének meghatározását – további nyomáskapcsolóra nem volt szükség. Ez szintén inkább a repülőgépgyár filozófiájához köthető módosítás lehet.

A korábbi verziókon még csak választható kiegészítő volt az elektromos forgácsjelző (DMS⁴¹), a mostani fejlesztés ezt már integráltan tartalmazza.

Érdekes még a rendszer szűrőinek elrendezése. A korábbi verziókon (az -5B-t kivéve) mindent külön megvolt a nyomóági és visszatérő ági szűrő. Az -5B-n jelent meg az a koncepció, hogy csak a nyomóágban van szűrő, de annak eltömődése esetén működésbe lép egy durvább tartalék szűrő. Ez a kialakítás egyébként nagyon régi (1970-es évekbeli) Pratt & Whitney

⁴¹ DMS: Debris Monitoring System, (elektromos) forgácsjelző rendszer

hajtóműveken (JT9D, PW4000) is megtalálható [17]. A LEAP-1A-n most szintén csak egy fő szűrőt alkalmaznak a nyomóágban. S ha már szűrés, akkor kell, hogy legyen lehetőség a kopás-termék vizuális értékelésére is: eddig kenési helyenként egyedi mágnesdugókat alkalmaztak, most az öt fő kenési helyre jut összesen kettő ilyen szerkezet, de ezek hossza mentén természetesen elkülönítve 2–3 egyedi helyszín vizsgálható, tehát mindegyik helyszínről meg tudjuk alapítani, történt-e rendellenes kopás.

Az olajterek tömítésében is van némi eltérés. A GE eddig hagyományosan labirint tömítésekkel oldotta meg a kérdést, a PW „felségterülete” volt a karbon tömítőgyűrűk alkalmazása. Ennél a konstrukciónál a CFM szintén az utóbbit választotta. Azonban, hogy ne kelljen nagy nyomásokat alkalmazni, a tömítőgyűrűk előfeszítését a KNyK kilépő nyomásával (kb. 3-as nyomásviszony az atmoszférához képest felszálló üzemmódon) oldja meg. Itt azonban közlik, hogy ez a nyomás alapjárat közelében nem elegendő az olaj bent tartására, ezért egy sugárszivattyús megoldást alkalmaznak az olajtérből történő hatékonyabb elszívás érdekében, melyet a NNYK 7. fokozata táplál.

Az olajrendszer szellőzését továbbra is a kisnyomású tengelyben elhelyezett szellőzőcső oldja meg, ami a széles fordulatszám-tartománya miatt, az alapjárat közelében eltűnő centrifugális hatásból adódóan számottevő olajfogyasztást eredményez. Ez lényegében minden GE hajtóműnek a sajátja: innovatív, mert az olaj kiválasztó nem egy súlyos „bödön” az áttételházon, hanem rejtve bújik meg az olajterekben, de sajnos a kiszolgálási igényt jelentősen megnöveli az gyakori olajutántöltés.

KIS RENDSZEREK

ATA 74 – Gyújtás

A gyújtás önmagában is kis rendszer (természetesen fontossága nem áll arányban kiterjedésével), módosítás sincs sok, hacsak nem gondolunk a gyújtóegységek nagynyomású kompresszor alatti elhelyezésére, amely tipikusan PW megoldás, a GE hajtóműveken inkább előnyben részesítik a ventilátorházat, ami hűvösebb környezetet biztosít, az ott rögzített gyújtóegységeknek nem kell általában saját hűtés. Ha azonban bekerülnek a belső áramot körülvevő katlanba, ott már megfelelő hűtésükről gondoskodni kell, hogy szükség esetén ne azonnali túlmelegedéssel reagáljanak.

ATA 76 – Vezérlés

A vezérlés lényegében változatlan maradt, az A320 korábbi változatain megszokott egy helyben maradó gázkarral, műterheléssel és a szöghelyzetet elektromos jellé átalakító differenciáltranszformátorok, stb. itt is hasonló küllemmel és viselkedéssel megtalálhatóak.

ATA 80 – Indítás

A hagyományos levegős indítóturbinával felszerelt rendszert alkalmazzák itt is, az Airbus filozófiának megfelelő automatikus indítási lehetőséggel. Némi többletet azért fel tud mutatni az elődjéhez képest, amely leginkább a különböző indításkori problémák automatikus kezelésében keresendő. Egy igazi újdonság a deformált rotor (bowed rotor) elleni védelem, amelyet a nagynyomású rotor vibrációja és a kompresszor kilépő hőmérséklete alapján ítél meg az EEC, és

amennyiben szükséges, tovább folytatja a hideg átfogatást, amíg a vibráció normális értékre nem csökken, mielőtt a tüzelőanyag-betáplálást és gyújtást engedélyezné.

ÖSSZEFOGLALÁS

Ha röviden szeretnénk elemezni a korábbi fejezeteket, akkor elmondható, hogy „sok kicsi sokra megy”. Több eltérést tapasztalhattunk a korábbi GE konstrukciókhoz képest, amelyeknek csak egy része magyarázható a megváltozott követelményekkel, esetleg üzemi viszonyokkal. Nem egy módosításra igaz, hogy jól bevált megoldásokat cseréltek le a konkurencia által preferált ötletekre. Az apró részleteken túl azonban bizonyos, hogy a hajtómű továbbra is jellegzetesen tükrözi a GE tervezői filozófiáját, és a kezdeti gyermekbetegségeken túl a nagy előd CFM-család méltó utódja lehet, hogy még jó néhány évtizedig „ugráljanak” a polgári repülőgépek. Ahogy valaki egy internetes fórumon találóan megjegyezte: „Not bad from a light bulb company” – azaz: nem is olyan rossz egy villanykörtéket gyártó cégtől...

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Kerry Reals: Airbus outlines expected market impact of A320NEO. Flight Global Magazine, 2010. december 7., e-dok. <https://www.flightglobal.com/news/articles/airbus-outlines-expected-market-impact-of-a320neo-350463/>
- [2] CFM Unveils New LEAP Engine. e-dok. url: <https://www.cfmaeroengines.com/press-articles/cfm-unveils-new-leap-x-engine/>
- [3] CFM LEAP Brochure. e-dok. url: <https://www.cfmaeroengines.com/engines/leap/leap-brochure/>
- [4] Andreas Linke-Diesinger: Systems of Commercial Turbofan Engines. Springer, 2008, ISBN 978-3-540-73618-9
- [5] CFM LEAP-1A és CFM LEAP-1C típusalkalmassági bizonyítvány adatlap. EASA Type Certificate Data Sheet, 2017. e-dok. url: <https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/EASA%20E110%20TCDS%20Issue%206%20LEAP-1A-1C.pdf>
- [6] CFM56-5B and CFM56-5C típusalkalmassági bizonyítvány adatlap. EASA Type Certificate Data Sheet, 2017. e-dok. url: https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/TCDS%20E.003%20issue%2004_20170928.pdf
- [7] Bill Brown: CFM Technology... realizing the promise. 2010. június. e-dok. url: http://atwonline.com/site-files/atwonline.com/files/archive/atwonline.com/sites/files/misc/BillBrown_Presentation_062410.pdf
- [8] Peter Spittle: Gas Turbine Technology. Physics Education, Vol. 38, No. 6 (2003), pp. 504-511. doi: 10.1088/0031-9120/38/6/002
- [9] Beneda Károly: A small step for CFM, a giant LEAP for aviation... – Gondolatok a CFM LEAP-1A hajtóműről. Repülőfüzetek VI./2., p. 4-16, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék kiadványa.
- [10] Sean Broderick: EASA Moving to Reduce Fan Cowl Door Loss Risk. Aviation Daily, 2015. szeptember 8, <http://aviationweek.com/commercial-aviation/easa-moving-reduce-fan-cowl-door-loss-risk>
- [11] Wizzair hírek (angol nyelven): Wizz Air Orders V2500® Engines to Power 10 A321ceo aircraft. e-dok. url: <https://wizzair.com/en-gb/information-and-services/about-us/news/2017/06/21/wizz-air-orders-v2500-engines-to-power-10-a321ceo-aircraft#/>
- [12] Susztov, I.G.: Repülőgép- és rakétahajtóművek, tengeri és ipari gázturbinák 1944-2000. ISBN 5-900954-04-8 (Шустов, И.Г.: Двигатели 1944 - 2000. Авиационные, ракетные, морские, промышленные)
- [13] CFM56: Engine of Change. Flight International, 1999. május 19-25.
- [14] TAPS II Combustor Final Report. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. 2013. június. e-dok. url: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/aircraft_technology/cleen/reports/media/TAPS_II_Public_Final_Report.pdf
- [15] CFM LEAP 3D printed fuel nozzle. e-dok. url: <https://1gw8o69xb592hainw14caeix-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2016/04/LEAP-Fuel-Nozzle.png>
- [16] Fowler, T. W.: Jet Engines and Propulsion Systems for Engineers. Human Resource Development, GE Aircraft Engines, 1989.
- [17] Pratt & Whitney: The Aircraft Gas Turbine Engine and its Operation. United Technologies, 1988.

- [18] Beneda Károly: Elektronikus kijelzők hajtómű- és rendszerellenőrző feladatkörben III. – ECAM. Repülőfüzetek III/1-2, p. 15-16, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék kiadványa.
- [19] CF6-80C2 Electronic Control Unit training course. GE Aerospace, 1991. október.
- [20] CFM56-5 sugárfék működés közben. e-dok, url: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:F-GTAR_Air_France_\(3698209485\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:F-GTAR_Air_France_(3698209485).jpg)
- [21] Airbus A320-251N Air Asia, F-WNEW, (MSN 6419) Third A320neo / First with CFM LEAP engines. e-dok, <https://a320archive.com/msn/6419>
- [22] Beneda Károly: Elektronikus kijelzők hajtómű- és rendszerellenőrző feladatkörben I. Repülőfüzetek I/2, p. 28, BME Repülőgépek és Hajók Tanszék kiadványa.

LEAP INTO THE FUTURE – BRIEF INTRODUCTION INTO THE CFM LEAP-1A ENGINE

Development of aircraft engines has become an increasingly more complex task; a construction can play an important role for many decades before it can be replaced by a brand new design. CFM56, the highly successful high-bypass-ratio turbofan engine, which has been developed by a cooperation between GE and SNECMA and counts four major variants, has been superseded by a brand new type after more than three decades of manufacturing instead of further refinements. This is the LEAP engine, the name of which suggests a rather large change in contrast to conventional solutions. The developers have taken full advantage of the clean sheet design that has been not limited by constraints of any older solution. This can result easily an another determinative engine type in commercial aviation in the following decades.

Keywords: turbofan engine, CFM LEAP-1A, Airbus A320neo, aviation gas turbine engine, ultrahigh bypass ratio

Beneda Károly (PhD)
mérnök-tanár
AEROK Repülésműszaki Oktató és Szolgáltató kft.
karoly.beneda@aerok.eu
orcid.org/0000-0003-1900-7934

Károly Beneda (PhD)
maintenance training engineer
AEROK Aviation Technical Training Centre
karoly.beneda@aerok.eu
orcid.org/0000-0003-1900-7934



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_3/2018-3-03-0014-Beneda_Karoly.pdf