

Békési Bertold¹ – Gajdács László² – Sári János³

Repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer

A cikkben a szerzők bemutatják a repüléskoordináló és -optimalizáló rendszert. Rövid bevezetést követően bemutatjuk az FMS funkcióit, felépítését. Ismertetjük a rendszer elemeit, típusait, valamint azok alapvető működését is. Célunk egy átfogó, könnyen megérthető összefoglaló elkészítése a repüléskoordináló és -optimalizáló rendszerről.

Kulcsszavak: FMS, FMC, CDU, VNAV, LNAV

Flight Management System

In this article the authors introduce the Flight Management System (FMS). After a short introduction, the functions and structure of the FMS are presented. Then we describe the elements and types of the system, as well as their basic operation. Our goal is to provide a comprehensive, easy-to-understand summary of the flight management systems.

Keywords: FMS, FMC, CDU, VNAV, LNAV

1. Bevezetés

Míg a világ légi forgalma folyamatosan növekszik, az érintett felek, különösen a repülőgép-üzemeltetők, számos kihívással néznek szembe. Mára már a legtöbb ember számára nem ismeretlen tevékenység a légi járművek alkalmazása, használata tömegközlekedés, valamint eszközök szállításának céljából. Az ilyen célokra való megfelelés az évek elteltével folyamatosan szorgalmazta a nagyobb hatótávolsággal, teherbírással és mérettel rendelkező repülőgépek megjelenését. Ezeknek a légi járműveknek a kezelésére már nem volt elegendő a pilótafülkében a pilóta mellett dolgozó rádiókezelő, fedélzeti mérnök és navigátor, szükséges volt a pontosabban, precízebben dolgozó számítógépek beépítése. A pilótára fokozatosan nagyobb felelősség hárult a légi járművek biztonságos kezelésénél, valamint azok költséghatékony

¹ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék, e-mail: bekesi.bertold@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5709-789X>

² Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék, e-mail: gajdacslaszlo@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2334-6859>

³ BSc-hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék, e-mail: sari.janos1999@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8861-3300>

üzemeltetését sem tudták megfelelően elvégezni. Az előbb említett két tényező, illetve probléma megoldásának érdekében, hogy csökkentsék a pilóták leterheltségét és növeljék a költséghatékonyságot, olyan korszerű digitális fedélzeti műszerek és intelligens berendezések kidolgozása volt nélkülözhetetlen, amelyek integrálják azokat a rendszereket, amelyek a repülés végrehajtását segítik. Így született meg a repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer (FMS).⁴ Ez voltaképpen a pilóta és a repülőgép közötti interfész. Működés szempontjából az FMS együtt dolgozik a robotpilótával, illetve a pályavezérlő rendszerrel (FDS),⁵ ezzel segítve az eredményesebb végrehajtást. Ilyen rendszereket alkalmaznak például a Boeing 737-es, valamint az Airbus A320-as repülőgépeken.⁶

2. Az FMS funkciói és képességei

Az FMS-nek az Aeronautical Radio Incorporated (ARINC)⁷ előírása szerint hét darab funkcióval kell rendelkeznie:

- navigáció;
- repüléstervezés;
- LNAV;⁸
- VNAV;⁹
- teljesítményszámítás/-szabályozás;
- adatkapcsolat;
- mozgási pálya előrejelzés.

Ezeket a funkciókat a navigációs és a teljesítmény-adatbázisok támogatják (lásd 1. ábra). Az FMS képes 4 dimenziós navigálásra (szélesség, hosszúság, magasság, idő), miközben optimalizálja a teljesítményt a lehető leggazdaságosabb módon.¹⁰

⁴ FMS (Flight Management System): Repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer.

⁵ FDS (*Flight Director System*): Pályavezérlő rendszer.

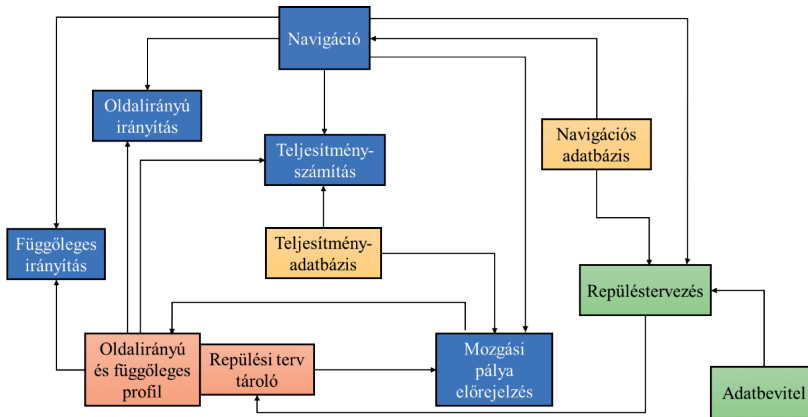
⁶ AviationFocus: *Flight Management System (FMS) Training*. é. n.; Ferenczi István – Ferenczi Ildikó – Szilágyi Dénes: *Légi járművek fedélzeti rendszerei*. Nyíregyházi Egyetem, 2018. 9–30.; Jim Sparks: *Flight Management Systems*, AviationPros, 2006.

⁷ ARINC (*Aeronautical Radio Incorporated*): Konszenzusos technikai sztenderdeket hoztak létre, amelyeket világszerte ARINC Standards néven ismernek. Az ARINC-szabványok és együttműködési megoldások javítják a költséghatékonyságot, növelik a termelékenységet és csökkentik az életciklus költségeit a légitársaságok számára az avionikában. ARINC Industry Activities: *About Aviation Committees*. é. n.

⁸ LNAV (*Lateral Navigation/Guidance*): oldalirányú/laterális navigáció/irányítás. Ahogy az elnevezésből is következik, oldalirányú megközelítést nyújt. Az LNAV minimumai lehetővé teszik az előírt minimális süllyedési magasságig való ereszkedést. *Flight Literacy: LNAV/VNAV and LPV*. é. n.

⁹ VNAV (*Vertical Navigation/Guidance*): függőleges/vertikális irányú navigáció/irányítás. Egy olyan robotpilóta-funkció, amely lehetővé teszi a rendszer számára, hogy beállítsa a repülőgép függőleges sebességét, hogy megfeleljen egy előre meghatározott magasságnak egy bizonyos útponton. Továbbá kiszámítja a kívánt emelkedési, süllyedési sebességet, amit a körülmények változásával képes módosítani, feltéve, ha a repülési tervben szerepel legalább egy magasságkorlátozással rendelkező útpont. *Infinite Flight: Vertical Navigation (VNAV)*. é. n.

¹⁰ Jonas Schulze: *Architectural Design of a Future Flight Management System Supporting 4D Trajectories*. M.Sc. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2018; Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Amaro Carmona, Manuel Angel – Darius Rudinskas, Cristina Barrado: Design of a flight management system to support four-dimensional trajectories. *Aviation*, 19. (2015), 1. 58–65.; John Croft: *FARNBOROUGH: NextGen flight management system: masterminding the cockpit*. Flight Global, 2010.



1. ábra

FMS funkciói. Forrás: Randy Walter: Flight Management System. Cary R. Spitzer (ed.): *The Avionics Handbook*. Boca Raton, CRC Press, 2001. Figure 15.2 alapján dr. Békési Bertold szerkesztése

2.1. Az FMS felépítése

A repüléskoordináló és -optimalizáló rendszert két fő egységre oszthatjuk:

- Flight Management Computer (FMC) – repülésvezérlő-optimalizáló számítógép;
- Multi Function Control and Display Unit (MCDU) – multifunkciós vezérlő- és kijelző-egység.¹¹

Az FMS nem egy önállóan működő rendszer. A bonyolult feladatok ellátását számos más egység kooperációjával hajtja végre. Ezek a következők:

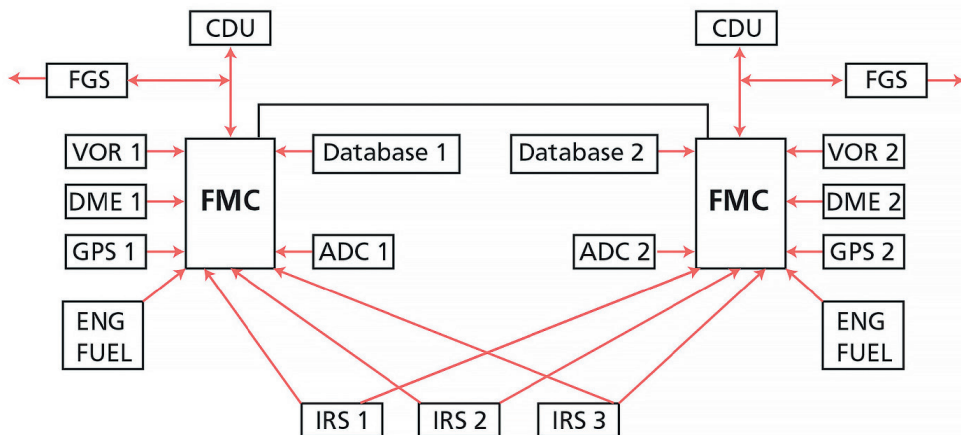
- Autopilot/Flight Director System (AFDS) – robotpilóta/pályavezérlő rendszer;
- Autothrottle System (A/T) – automatikus tolóerő-szabályozó rendszer;
- Inertial Reference System (IRS) – inerciális vonatkoztatási rendszer (tehetetlenségi-referencia-rendszer);
- Flight Guidance System (FGS) – repülésirányítási rendszer;
- Distance Measuring Equipment (DME) – távolságmérő berendezés;
- Air Data Computer (ADC) – levegőjelek számítógégsége;
- Global Positioning System (GPS) – globális helymeghatározó rendszer;
- VHF¹² Omni-directional Radio Range (VOR¹³) – URH-tartományú körsugárzó rádióirányadó.¹⁴

¹¹ Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.

¹² VHF (Very High Frequency): Ultrarövidhullám (URH). A rádióhullámok 30 MHz-től 300 MHz-ig terjedő skáláját jelenti.

¹³ VOR (Very High Frequency Omni-directional Radio Range): Ultrarövidhullámú körsugárzó adóberendezés (URH-tartományú körsugárzó rádióirányadó).

¹⁴ CAE Oxford Aviation Academy: Instrumentation, ATPL Ground Training Series, United Kingdom, 2014. 269–278.; Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Jeppesen GmbH: Joint Aviation Authorities Airline Transport Pilot's Licence, Theoretical Knowledge Manual, Aircraft General Knowledge 4, 022 Instrumentation, Second Edition, First Impression, Frankfurt, Germany, 2001, Chapter 21; Sparks (2006) i. m.



2. ábra

Példa az FMS-architektúrára. Forrás: CAE Oxford Aviation Academy: Instrumentation, ATPL Ground Training Series, United Kingdom, 2014. Figure 21.1

Mint ahogy az a 2. ábrán is látható, a rendszer központi eleme a repüléskoordináló számítógép. Természetesen a repülésbiztonság érdekében az FMC számos rutinfeladatot és számítást végez el a repülőgép-vezető helyett, de a működés helyességét a személyzet bizonyos rendszerességgel ellenőrzi.¹⁵

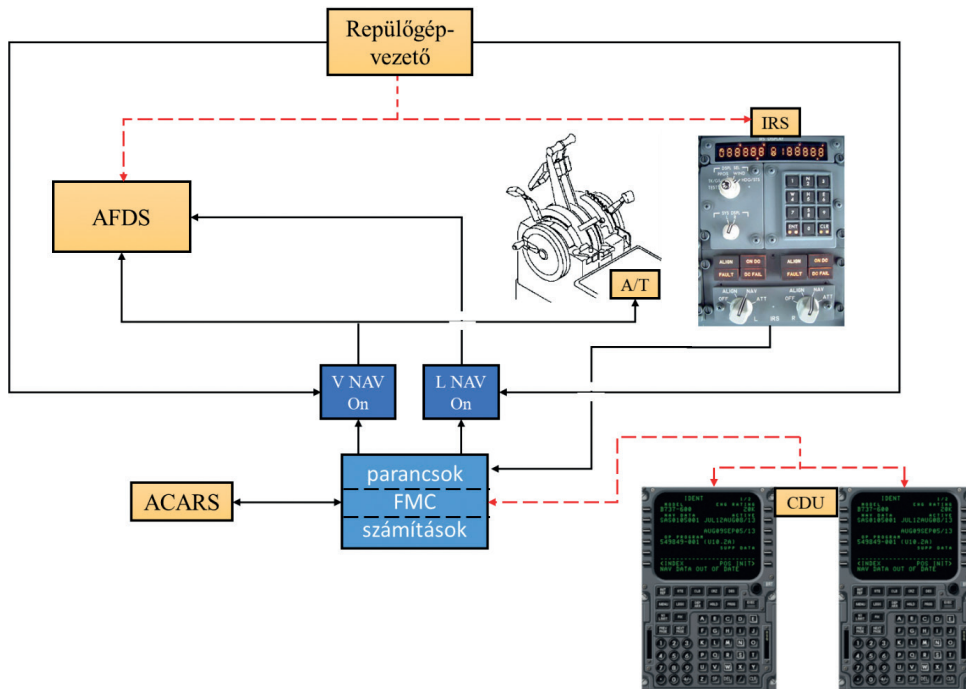
2.2. Az FMS működése

A repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer kezelése a CDU¹⁶-n keresztül történik. Használatával lehet betáplálni a megfelelő repülési és teljesítményadatokat a repüléskoordináló számítógépbe. A bevitt követően a számítógép által elvégzett számítások megjelennek a vezérlőegység kijelzőjén, így azt a személyzet könnyedén leellenőrizheti. Az oldalirányú, illetve a függőleges irányú FMC-parancsokat is a CDU-n keresztül lehet a robotpilóta/pálya-vezérlő-rendszer, valamint az automatikus tolóerő-szabályozó rendszere felé továbbítani. Mindemellett az IRS és különféle szenzorok egyéb más információkkal látják el a számítógépet. A repülőgép földdel való összeköttetését szintén a CDU biztosítja az ACARS¹⁷-rendszer segítségével. Abban az esetben, ha a rádió navigációs jelek nem állnak rendelkezésre, az FMS a tehetetlenségi referenciarendszert használja a helyzet-meghatározáshoz. Természetesen ilyen esetben az FMC automatikusan javítja, korrigálja az IRS-től kapott adatokat, értékeket a lehető legnagyobb pontosság érdekében. Mindezek mellett üzenet jelenik meg a pilóta számára, figyelmeztetve a kisebb precizításra.

¹⁵ Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.

¹⁶ CDU (Control and Display Unit): Vezérlő- és kijelzőegység

¹⁷ ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System): Digitális adatkapcsolati rendszer, amelynek protokollját az ARINC cég dolgozta ki. Az ACARS üzeneteknek három fő csoportja van: Air Traffic Control üzenetek, Airline Administrative Control, Aeronautical Operational Control. BME: 8. előadás – ATN és a CPDLC. é. n.



3. ábra

Az FMS integrációja. Forrás: *Instrumentation*. Sandefjord, Nordian AS, 2010. Fig. 7.1; <https://digilander.libero.it/andreathone/Throttles.gif>; Boeing 737 IRS display. alapján dr. Békési Bertold szerkesztése

Az automatizáció mértékét a személyzet határozhatja meg. Így tehát lehetőség van csak CDU, vagy csak FMS által irányított repülésre, illetve használható a hagyományos robotpilóta-funkció is. Tehát használhatjuk csak CDU-val történő repülésnél, mint egy adatkijelző referenciaként a kézi repülés során (tanácsadói szerep),¹⁸ vagy hagyományos robotpilóta-funkcióként, vagy teljes FMS-művelet kiválasztását automatikus repülésiútvonali-irányítással és teljesítményszabályozással (repüléskoordináló és -optimalizáló szerep).¹⁹

A teljes FMS-üzemeltetés mellett is a repülőgép irányítása és kezelése mindig a hajózó-személyzet feladata marad és teljes ellenőrzésük alatt áll.

Bizonyos funkciókat csak a repülőgép-vezetők tudnak megvalósítani, például: kezdeti gázadás, felszállás, magasság kiválasztása, ILS lehangolása, repülőgép-konfiguráció és kigurulás leszállás után. A hajózószemélyzetnek további fontos feladata, hogy figyelemmel kell kísérnie az FMC navigációját a repülés során annak biztosítására, hogy a kívánt repülési útvonalt az automatikus rendszerek pontosan követik, nem térnek-e el a kívánt repülési pályától.²⁰

A tanácsadói szerep egy másodlagos funkció. Ebben a szerepkörben megfelelő pilótafülke-kijelzőket táplál, például térképet (tájékoztatóhoz) és hibákat vagy céladatokat szolgáltat

¹⁸ Advisory role.

¹⁹ Flight management role.

²⁰ CAE Oxford Aviation Academy, *Instrumentation*. i. m.; Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Flight Literacy: *Flight Management System (FMS)*. é. n.; Jeppesen *Joint Aviation Authorities ...* i. m. (14. lj.); Sparks (2006) i. m.

a pontos repülési profilok kézi repüléséhez. Így ebben az üzemmódban a rendszer az optimális teljesítmény elérése érdekében tanácsokat is ad a hajózárszemélyzetnek a beállításokról. A legtöbb korai FMS-egység erre a szerepre korlátozódott.

A repüléskoordináló és -optimalizáló szerepkörben az FMS összeköttetésben áll a hajtómű-teljesítmény-vezérlő rendszerrel (PMC)²¹ és az automatikus repülésvezérlő rendszerrel (AFCS).²²

Ez kizárja a hajózárszemélyzetet a vezérlési körfolyamatból és lehetővé teszi az FMS számára, hogy teljesen integrált módon járjon el, biztosítva a motor teljesítményének és a teljes repülésiútvonal-vezérlés optimális szabályozását.

A modern FMS-egységek mind a két fentebb említett szerepkört betölthetik, azonban az elsődleges funkcióik a következők kezelése: repülőgépteljesítmény-szabályozás; repüléstervezés; navigáció; három dimenziós vezérlés.²³

2.3. Vezérlő- és kijelzőegység

Az előzőekben már részlegesen említettük a CDU elsődleges feladatát, valamint alapvető használatát. Ellenben úgy gondoljuk, hogy szükséges e rendszerem bővebb bemutatása, ismertetése a témakör jobb megértése érdekében.



4. ábra

CDU megvalósítása (Boeing 737-600). Forrás: CAE Oxford Aviation Academy, Instrumentation. i. m. alapján dr. Békési Bertold szerkesztése

²¹ Power Management Control.

²² Automatic Flight Control System.

²³ Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Instrumentation. Nordan AS, Sandefjord, 2010.

Általában kettő darab CDU-t szoktak felszerelni a középkonzol mindkét oldalára úgy, hogy a bal oldali (repülési irány szerint) javarészt a „master” (a Boeing 747-en egy harmadik CDU-t is elhelyeztek a középkonzolon, amit elsősorban a mérnöki személyzet használ). Ezek egy monokróm vagy színes katódugárcsöves (CRT) kijelzőt tartalmaznak, amelyen a kiválasztott „oldal” adatai jeleníthetők meg (lásd 4. ábra).

Az ábrán látható, hogy az alfanumerikus CRT-képernyő uralja az egység felső részét. Az alsó része billentyűzettel rendelkezik, amelynek segítségével a hajózárszemélyzet beírhatja a kívánt függőleges és oldalirányú repülési terv adatait az FMC-be. A CDU részei és azok egyedi funkciói a következők:

- 1 – Oldal címe:²⁴ A megjelenített adatok típusát jelzi. Oldalsó vagy függőleges navigációs módban az ACT vagy a MOD felirat jelenik meg, jelezve az oldal állapotát.
- 2 – Üzenet jelzés:²⁵ fehér színnel világító figyelmeztető, tanácsadó vagy függőben lévő üzeneteket jelöl.
- 3 – Offset jelzés:²⁶ fehér színnel világít, ha párhuzamos eltolást használnak (azaz a repülőgép párhuzamosan, de rögzített távolságban repül az FMS előre beprogramozott útvonalával).
- 4 – Sorválasztó gombok:²⁷ A képernyő mindkét oldalán hat darab van. Az adatok kiválasztásához vagy beviteléhez a szomszédos sorban meg kell nyomni.
- 5 – Jegyzettömb:²⁸ Ez a kijelző alsó sora, és megjeleníti a sorválasztó gombokkal a rendszer által létrehozott üzeneteket a hajózárszemélyzet számára; minden billentyűzet bejegyzést, mielőtt átkerülne a kívánt sorra; és a sorok vagy oldalak között átvitt adatokat.
- 6 – Kijelző fények:²⁹ fehér színnel világít, ha a megjelenített oldal nem kapcsolódik az aktív repülési terv szakaszához vagy az aktuális működési üzemmóddhoz.
- 7 – Hiba lámpa:³⁰ borostyán színnel világító; világít ha az FMC hibát észlel.

A CDU segítségével a személyzet kinyerheti a tárolt vagy a feldolgozott információkat az FMC-ből, vagy betölthet új vagy friss információkat.

A CDU-k általában három üzemmóddal rendelkeznek: független üzemmód (*Independent mode*); kettős üzemmód (*Dual mode*); szimpla üzemmód (*Single mode*).

Az Independent mode az FMC-k leválasztásával érhető el. Ez a független üzemmód egyáltalán nem szokványos, mivel a két FMC között nem lesz biztonsági, keresztellenőrzés. Dual mode esetén mindkét FMC egymástól függetlenül feldolgozza a pilóta által bevitt adatokat és összehasonlítja az eredményeket annak érdekében, hogy a döntő, létfontosságú értékek konzisztensek (következetesek) legyenek mindkét rendszerben. Ezután ugyanazt a kimenetet továbbítja mindkét FMC-nek. A single mode-ot akkor alkalmazzák, ha az egyik repüléskoordináló

²⁴ Page title.

²⁵ Message light.

²⁶ Offset light.

²⁷ Line select keys.

²⁸ Scratch pad.

²⁹ Display light.

³⁰ Fail light.

számítógép meghibásodott. Természetesen ez az üzemmód csakis akkor valósulhat meg, ha az üzemképes FMC alkalmas az önálló működésre és a hajózószemélyzet igényli ezt.³¹

2.4. CDU üzenetek

A vezérlő- és kijelzőegység (CDU) által kijelzett üzeneteket alapvetően kétféle módon különböztethetjük meg: figyelmeztető és tanácsadói üzenetek. A figyelmeztető üzenetek rendelkeznek a legmagasabb prioritással. Ilyenkor a helyzet felismerése után korrigálni kell az adott problémát, mielőtt folytatódna az FMC által irányított, koordinált repülés. A tanácsadói üzenetek informálják a pilótákat az esetlegesen rosszul bevitt adatról, vagy a rendszer állapotáról.³²

1. táblázat

A kijelző- és vezérlőegység (CDU) billentyűi és azok funkciói. Forrás: CAE Oxford Aviation Academy: Instrumentation, ATPL Ground Training Series, United Kingdom, 2014. 269–278 alapján Sári János szerkesztése

CLB	CLB (emelkedés) ³³ – az aktuális vagy alternatív emelkedési módot jeleníti meg az értékeléshez és a kiválasztáshoz. Megadható az utazási magasság, valamint a sebesség-/magasságkorlátozás.
CZR	CRZ (utazás) ³⁴ – az aktuális vagy váltakozó sebességtartó módot jeleníti meg az értékeléshez és a kiválasztáshoz. Információt nyújt az optimális magasságról és a turbulenciáról.
DES	DES (süllyedés) ³⁵ – megjeleníti az aktuális vagy alternatív süllyedési módot az értékeléshez és a kiválasztáshoz. Megadható a célsebesség, csakúgy, mint a sebesség-/magasságkorlátozás.
INIT REF	INIT/REF (inicializálás/referencia) ³⁶ – hozzáférést biztosít az FMC és az IRS indításához szükséges „adatoldalakhoz”.
N1 LIMIT	N1 Limit – lehetővé teszi az aktív „N1 limit” kézi vezérlését és az esetlegesen alkalmazható „Reduced Climb N1 Limit” kiválasztását.
MENU	Az „N1 Limit” menü gombként megjelenhet a „master” CDU-n, amin keresztül a felhasználó hozzáférhet a rendszeren belüli adatokhoz.
DEP ARR	DEP/ARR (indulások/érkezések) ³⁷ – az indulási és a célrepülőtér eljárásainak és kifutóinak kiválasztására szolgál.
RTE	RTE (útvonall) ³⁸ – lehetővé teszi a repülési terv adatainak bevitelét.
LEGS	LEGS (útvonall szakaszok) ³⁹ – megjeleníti és elfogadja a repülési terv egyes szakaszaira vonatkozó részletes adatok beírását, a különféle típusú útvonallakra.
HOLD	HOLD – lehetővé teszi a tervezését vagy a megkezdését a „holding” (várakozási eljárás)-nak egy kijelölt útponton.
DIR INTC	DIR/INTC (ráirányítás/elfogás) ⁴⁰ – adatokat biztosít ahhoz, hogy a kívánt, illetve a repülési tervben meghatározott pontokat sikeresen elérjék (rárepülés az adott pontra).
FIX	FIX („fix” információk) ⁴¹ – megjeleníti a tartományt és annak adatait, a repülőgép aktuális pozíciójától az előre rögzített „fix” pontig. Továbbá megkönnyíti a repüléstervezésben használt „fix”-ek létrehozását.

³¹ CAE Oxford Aviation Academy, Instrumentation. i. m.; Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Flight Mechanic: Flight Management System (FMS). é. n.; Jeppesen: Joint Aviation Authorities ... i. m.; Sparks (2006) i. m.

³² Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.

³³ Climb.

³⁴ Cruise.

³⁵ Descent.

³⁶ Initialization/reference.

³⁷ Departures/arrivals.

³⁸ Route.

³⁹ Route legs.

⁴⁰ Direct/intercept.

⁴¹ Fix information.

PROG	PROG (repülés folyamata) ⁴² – megjeleníti az aktuális repülési állapotinformációkat, mint például a hátralévő üzemanyag-mennyiséget, a navigációs rádióhangelő állapotát és az útvonalon keletkezett hibákat.
EXEC	EXEC (végrehajtás) ⁴³ – akkor működtethető, ha annak jelzősávja világít. A repülési terv aktiválására, az aktív repülési terv megváltoztatására, az aktív irányítási mód megváltoztatására vagy az aktív repülési tervet, irányítási módot vagy adatbázist befolyásoló információk bevitelére szolgál.
+/-	Jelkulcs módosítása – képes megváltoztatni az adatokat a jegyzettömbben (scratch pad) pozitívról negatívra és vissza. Továbbá kötőjel beszúrására is használható a speciális adatbevitelhez.
NEXT PAGE	Oldalváltó gombok – ha több oldalas kijelző jelenik meg, a „NEXT PAGE” gomb megnyomásával a kijelző a következő „magasabb” oldalszámra lép.
PREV PAGE	A PREV PAGE megnyomásával a kezelő visszamehet az előző „alacsonyabb” oldalszámra.
CLR	„Clear” gomb ⁴⁴ – a „scratch pad” tartalmát a CLR billentyű megnyomásával lehet szerkeszteni vagy törölni, attól függően, hogy a gombot mennyi ideig tartja lenyomva a kezelő. Továbbá a CLR arra is használható, hogy figyelmeztető üzeneteket töröljön a „scratch pad”-ről.
DEL	„Delete” gomb ⁴⁵ – a törlés (DEL) gomb arra szolgál, hogy adatokat távolítson el a kijelzőről (és így egy repülési tervről), miután azokat kijelölte és elfogadta egy adatmezőben. Természetesen a rendszer megakadályozza a DEL érvénytelen használatát.

2.5. FMC adatbázis

A személyzet a CDU segítségével kinyerheti a tárolt vagy a feldolgozott információkat az FMC-ből, illetve betöltheti az új vagy friss adatokat. Ez az adatbázis két külön részre van felosztva. Az egyik a teljesítménnyel kapcsolatos információkat, a másik pedig a navigációval kapcsolatos információkat tartalmazza.

A teljesítmény-adatbázis lehetővé teszi a hajózsémélyzet számára a Cruise Control Manual⁴⁶ nélkülözését repülés közben, illetve információkat szolgáltat az FMC számára a szükséges számítások elvégzéséhez. Az adatbázisban tárolt adatok tartalmazzák a repülőgép ellenállását, aerodinamikai tulajdonságait, valamint a hajtómű jellemzőit, paramétereit (például üzemanyag-fogyasztás, tolóerő, határértékek, turbulencia esetén használatos üzemeltetési értékek). Az üzembentartók újrakalkulálhatják az egyes repülőgépek adatbázisát az ellenállás és az üzemanyag-áramlás tényezőinek megadásával.

Az FMC navigációs adatbázis tartalmazza a legtöbb információt. Ezeket általában navigációs táblázatokra hivatkozva határozzák meg. A tárolt információk tartalmazzák a navigációs segédeszközök (például azonosító, pozíció, frekvencia, típus), repülőterek (például 4 betűs ICAO-azonosító, pozíció, tengerszint feletti magasság), fel- és leszállópályák (például szám, hossz, FAF⁴⁷) és egyéb, a légitársaság által kiválasztott adatokat (például SID,⁴⁸ STAR⁴⁹). Továbbá raktározza a vállalati, céges útvonalak, az útvonali légi folyosók és az útvonalpontok adatait is. Az FMC két navigációs adatsort tartalmaz, amelyek mindegyike 28 napig érvényes.

⁴² Flight progress.

⁴³ Execute.

⁴⁴ Clear key.

⁴⁵ Delete key.

⁴⁶ Cruise Control Manual: Hajóközi Kezelési Kézikönyv.

⁴⁷ FAF (*Final Approach Fix*): Végső megközelítés pontja. A nem precíziós műszeres megközelítés meghatározott pontja, amely meghatározza a végső szakasz kezdetét. Jeppesen: Joint Aviation Authorities ... i. m.

⁴⁸ SID (*Standard Instrument Departure*): Sztenderd műszeres elindulás.

⁴⁹ STAR (*Standard Terminal Arrival*): Sztenderd terminál érkezés

Repülés előtti ellenőrzés közben a hajózószemélyzet kiválaszthatja, melyik készlet aktív. Ezután az FMC az aktív készletet használja a navigációs számításokhoz.⁵⁰

2.6. VNAV

A „tökéletes” felszállási, leszállási szög és sebesség nagyban befolyásolja egy repülőgép maximális hatótávolságát. Ennek elérését hivatott segíteni a VNAV (függőleges irányú navigáció) üzemmód. A VNAV mód akkor kapcsol be, ha a teljesítménybeállítás a felszálló-teljesítményhez képest megváltozik, valamint, ha az MCP⁵¹-n található magasság nagyobb, mint a légi jármű pillanatnyi magassága.

Aktív VNAV esetén az MCP-n beállítható az elérni kívánt magasság, azonban ha ezt a repülőgép hamarabb eléri, mint az FMC szerinti utazómagasságot, a VNAV mód lekapcsol. Az FMC által alapul vett VNAV egy olyan emelkedési profil, amely megtartva az összes sebességet és magasságkorlátot vezeti a gépet a megadott tengerszint feletti magassáig. Ezután átvált az emelkedéshez előírt gazdaságos sebességre, amíg el nem éri az utazómagasságot. Ezen a magasságon a süllyedés megkezdésének pillanatáig optimalizált, gazdaságos teljesítménybeállítást használ. Ha a repülésnél az emelkedési profil valamilyen magassági korlátozás megsértését okozná, megjelenik az „UNABLE NEXT ALT” üzenet. Ilyenkor a pilótának manuálisan egy másik sebességet kell választania az FMS-CDU-n, amely meredekebb emelkedési szöveget biztosít.

Süllyedésnél amint az E/D⁵² pontot betáplálják, az FMC kiszámolja az ereszkedési pályát. A süllyedési profil minden esetben a TOD⁵³-ban indul. Természetesen a kalkulált profilnak meg kell felelnie a magassági és egyéb korlátozásoknak. Ha az MCP-n betáplált magasságot hamarabb eléri a légi jármű, a VNAV lekapcsol. Süllyedésnél gyakorta alkalmaznak automatikus tolóerő-vezérlő rendszert is a nagyobb pontosság érdekében. Ennek elmulasztásánál a „THRUST REQUIRED” üzenet jelenik meg a CDU-n. Hátszél esetén „DRAG REQUIRED” figyelmeztetést küld a rendszer a hajózó állomány számára.⁵⁴

2.7. LNAV

Az LNAV (magyarul: oldalirányú/laterális navigáció) támogatásának köszönhetően lehetséges a gömbi főkörön két útvonalpont között repülést végrehajtani. Ugyanakkor, ha az FMS adatbázisban tárolt eljárás bevitelre kerül az aktív útvonalba, az FMC parancsokat adhat

⁵⁰ CAE Oxford Aviation Academy, Instrumentation. i. m.; Jeppesen: Joint Aviation Authorities ... i. m.; Sparks (2006) i. m.

⁵¹ MCP (*Mode Control Panel*): Üzem mód-szabályozó.

⁵² E/D (*End of Descent*): Süllyedés vége. Olyan állandó magasság, amelyet útvonali pontként szokás betáplálni, annak érdekében, hogy a számítógép tudjon süllyedési profilt számolni. Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.

⁵³ TOD (*Top of Descent*): Süllyedés kezdeti pontja.

⁵⁴ CAE Oxford Aviation Academy, Instrumentation. i. m.; Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Flight Literacy: LNAV/VNAV and LPV i. m.; Infinite Flight: *Vertical Navigation (VNAV)* i. m.; Jeppesen: Joint Aviation Authorities ... i. m.; Sparks (2006) i. m.

egy állandó irány, sáv vagy DME⁵⁵ ív követésére. Az FMC meghatározza a repülőgép aktuális helyzetét az IRS/INS,⁵⁶ DME, VOR felhasználásával, valamint egyéb navigációs rendszerek (*localiser*) segítségével. Ezt a számított helyzetet felhasználva laterális kormányparancsokat generál az aktív útvonalpontig. Amíg a repülőgép a fel- és leszállópályák, földön tartózkodik, az FMC az aktuális pozíciót csak az IRS/INS-től vagy a GNSS⁵⁷-rendszerrel kapott információk alapján számítja ki. Működéséhez az FMC legalább egy IRS/INS-től igényel helyzetinformációt. Az FMC pillanatnyi helyzete általában az összes IRS/INS pozíció kombinációja. Mivel az IRS az idő függvényében változik, tehát fokozatosan egyre pontatlanabbá válik, az FMC is egyre inkább pontatlan lesz repülés közben. Ezek a helyzet-, illetve pozícióhibák a HSI⁵⁸-vel figyelhetők meg. Ezt az IRS újrapályázásával lehet megoldani.⁵⁹

3. Befejező gondolatok

A mai FMS-rendszerek fő problémája, hogy feladatok sokaságát kell elvégezniük a repülésbiztonság megsértése nélkül. Ezeknek a feladatoknak az összetettsége következtében a támogató szoftver is egyre komplexebbé vált, amelynek kivitelezése egyre bonyolultabb és költségesebb. Habár folyamatosan zajlanak a fejlesztések, az előbb említett problémák kiküszöbölésére jelenleg sincsen kiemelkedő alternatíva. Hiszük, hogy a technológia gyors fejlődésének köszönhetően pár éven belül kivitelezhetővé válik a megoldás.

Felhasznált irodalom

- Amaro Carmona, Manuel Angel – Darius Rudinkas – Cristina Barrado: Design of a flight management system to support four-dimensional trajectories. *Aviation*, 19. (2015), 1. 58–65. Online: <https://doi.org/10.3846/16487788.2015.1015284>
- ARINC Industry Activities: *About Aviation Committees*. é. n. Online: www.aviation-ia.com/about-us
- AviationFocus: *Flight Management System (FMS) Training*. é.n. Online: www.aviationfocus.aero/flight-management-system-fms-training/
- BME: 8. előadás – ATN és a CPDLC. é. n. Online: http://kjit.bme.hu/images/stories/targyak/LEGIR2/II_8_ea_ATN_CPDLC_2015_16_MU.pdf
- Boeing 737 IRS display. Online: www.b737.org.uk/images/irspanel.jpg
- Croft, John: *FARNBOROUGH: NextGen flight management system: masterminding the cockpit*. Flight Global, 2010. Online: www.flightglobal.com/farnborough-nextgen-flight-management-system-masterminding-the-cockpit/94331.article

⁵⁵ DME (*Distance Measuring Equipment*): Távolságmérő berendezés. Egy olyan navigációs berendezés, amely a repülőgép és a földi állomás közötti távolságot méri.

⁵⁶ IRS/INS (*Inertial Reference System/Inertial Navigation System*): Inerciális vonatkoztatási rendszer (tehetetlenségireferencia-rendszer) / Inerciális navigációs rendszer (giroszkóp).

⁵⁷ GNSS (*Global Navigation Satellite System*): Globális helymeghatározó műholdrendszer.

⁵⁸ HSI (*Horizontal Situation Indicator*): Műhorizont.

⁵⁹ CAE Oxford Aviation Academy, Instrumentation. i. m.; Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Jeppesen: Joint Aviation Authorities ... i. m.

- Ferenczi István – Ferenczi Ildikó – Szilágyi Dénes: *Légi járművek fedélzeti rendszerei*. Nyíregyházi Egyetem, 2018.
- Flight Literacy: *Flight Management System (FMS)*. é. n. Online: www.flightliteracy.com/flight-management-systems-fms-2/
- Flight Literacy: *LNAV/VNAV and LPV*. é. n. Online: www.flightliteracy.com/lnav-lnav-vnav-and-lpv/
- Flight Mechanic: *Flight Management System (FMS)*. é. n. Online: www.flight-mechanic.com/flight-management-system-fms/
- Infinite Flight: *Vertical Navigation (VNAV)*. é.n. Online: [https://infiniteflight.com/guide/flying-guide/descent-to-landing/vertical-navigation-\(vnav\)#what-is-vnav%3F](https://infiniteflight.com/guide/flying-guide/descent-to-landing/vertical-navigation-(vnav)#what-is-vnav%3F)
- Instrumentation*. Sandefjord, Nordian AS, 2010.
- Instrumentation ATPL Ground Training Series*. CAE Oxford Aviation Academy, 2014. 269–278.
- Jeppesen GmbH: Joint Aviation Authorities Airline Transport Pilot's Licence, Theoretical Knowledge Manual, Aircraft General Knowledge 4, 022 Instrumentation, Second Edition, First Impression, Frankfurt, Germany, 2001, Chapter 21.
- Sparks, Jim: *Flight Management Systems*. AviatonPros, 2006. Online: www.aviationpros.com/home/article/10383545/flight-management-systems
- Schulze, Jonas: *Architectural Design of a Future Flight Management System Supporting 4D Trajectories*. M.Sc. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2018. Online: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/8386/1/DissertationSchulze.pdf>
- Walter, Randy: *Flight Management Systems*. In Cary R. Spitzer (ed.): *The Avionics Handbook*. Boca Raton, CRC Press, 2001. 265–289. Online: <https://avocado82.files.wordpress.com/2011/06/avionics-handbook.pdf>