



Nemzeti Közzolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Intézményi Tudományos Diákköri Konferencia

KATONAI SZÁLLÍTÓREPÜLŐGÉPEK ELEKTRONIKUS REPÜLŐGÉPVEZETÉSI MŰSZERRENDSZEREI

JELIGE: AVIONICS

2024.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	3
1.1. A témaválasztás indoklása	3
1.2. A feldolgozás célkitűzései	3
1.3. A dolgozat felépítése	4
2. REPÜLŐGÉPMŰSZEREK FEJLŐDÉSÉNEK TÖRTÉNETE.....	5
3. MŰSZERRENDSZEREK CSOPORTOSÍTÁSA	12
4. AZ EFIS AVIONIKAI RENDSZER	14
4.1. Az EFIS műszerrendszerei.....	14
4.2. Az EFIS vezérlése	15
4.3. Az EADI (PFD).....	18
4.4. Az EHSI (ND).....	22
4.4.1. MAP mód	23
4.4.2. PLAN mód.....	24
4.4.3. ILS mód	26
4.4.4. VOR mód.....	27
4.5. A PFD, ND és MFD összehasonlítása	28
4.5.1. PFD.....	28
4.5.2. ND	28
4.5.3. MFD	28
4.6. A DSP, DPU, MPU, WXP és FDS rendszerek	29
4.6.1. DSP.....	29
4.6.2. DPU	30
4.6.3. MPU	30
4.6.4. WXP	30
4.6.5. FDS.....	30
5. AZ EICAS ÉS ECAM AVIONIKAI RENDSZEREK	32
5.1. Az EICAS működése	33
5.1.1. Használati mód (operational).....	34
5.1.2. Állapotjelző mód (status).....	35
5.1.3. Karbantartó mód (maintenance).....	38
5.1.4. EICAS vezérlőpanel/kijelző kiválasztó panel.....	38
5.1.5. Kényszerkijelzések.....	39

5.2. Az ECAM működése	41
5.2.1. NORMAL mód	42
5.2.2. ADVISORY mód	43
5.2.3. FAILURE mód	43
5.2.4. MANUAL mód	45
5.2.5. STATUS kijelzés	46
5.2.6. ECAM vezérlőpanel	47
6. AZ FMS AVIONIKAI RENDSZER	49
6.1. Az FMS funkciói	49
6.2. Az FMS felépítése	50
6.3. Az FMS üzemeltetése és a CDU	51
6.4. A CDU felépítése	57
6.5. Az FMC adatbázisa	60
7. KIEGÉSZÍTŐ ELEKTRONIKUS MŰSZERRENDSZEREK	61
7.1. HUD	61
7.1.1. A HUD felépítése	61
7.2. ISIS	62
8. ÖSSZEFOGLALÓ A MAGYAR LÉGIERŐ SZÁLLÍTÓ REPÜLŐGÉPEIRŐL	64
8.1. Az Airbus A319-es típus műszerrendszerei	64
8.2. A Falcon 7X típus műszerrendszerei	65
8.3. A KC-390 típus műszerrendszerei	66
9. BEFEJEZŐ GONDOLATOK	68
HIVATKOZÁSOK JEGYZÉKE	71
MELLÉKLETEK	74

1. BEVEZETÉS

1.1. A témaválasztás indoklása

A repülőgépek műszerezettsége számomra nem csupán kijelzők és mutatók gyűjteménye, hanem úgy gondolom, ez a repülőgépipar és a légijárművek szíve, amit az évtizedek során a tudomány szinte tökéletesre hangolt. A jelenkorban alkalmazott, pilóták által használt és a világ összes modern repülőgépére telepített műszerrendszer a mai technológia, ipar, emberi találékonyság vívmánya, az innováció egyik jelzőfénye, valamint bizonyítéka annak, hogy a repülés világában a pontosság, a biztonság és a megbízhatóság figyelemre méltó elsőbbséget élvez. Minden komponens, kódsor és vezeték, amely összeköti ezt a rendszert, számtalan órányi kutatás és tesztelés eredménye. Olyan kifinomult digitális kijelzőkkel rendelkezik, amelyek információk sokaságát képesek biztosítani a pilóták számára, hogy így még precízebben tudjanak róluk tájékozódni, a szükséges adathalmazt gyorsabban ellenőrizni és rövidebb idő alatt hozni akár olyan döntéseket, amelyek vészhelyzet esetén életeket menthetnek. A személyzet tehermentesítésében ezért a fejlett fedélzeti rendszereknek hatalmas szerepe van. A Magyar Honvédség a Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretén belül olyan változásokat tapasztal, amelyekre eddig sosem volt példa. Ezek a változások nem csak az új eszközök beszerzését, illetve a hadiipar fejlesztését jelentik a haderőnk modernizálását megcélózva, hanem az új szakemberek, katonák alkalmazását is, akiknek szakmai tudásukat egy új rendszer, a legmodernebb technológia ismertetésével érdemes létrehozni. Az új technikán alkalmazott szakembereknek meg kell ismerkedniük a repülőgépeknek a legkorszerűbb tulajdonságaival, melyek nagy részét az új elektronikus műszerrendszer teszi ki, akár merevszárnyas, akár forgószárnyas technikáról beszélünk. Hajózó-jelöltként céloim, hogy mélyebben megismerkedjek a műszerek világával, mivel tanulmányaim során ez a téma a kedvenceim közé tartozott és úgy tartom, hogy nem csak egy mérnöknek, vagy repülőműszaki szakembernek kell részletesebben elsajátítania, hanem a repülő-hajózó állományoknak is érdemes. A témaválasztásomat nagyban befolyásolta az érdeklődési köröm is, amely a merevszárnyú teherszállító és utasszállító repülőgépek. Ezért úgy döntöttem, hogy dolgozatomat egy ehhez kapcsolódó témáról fogom írni. Az előbbiek következtében a témakörben való érdeklődésem túl témaválasztásom során fontosnak, időszerűnek tartottam a jelenkor repülőgépeinek, ezen belül elsősorban a katonai szállítórepülőgépek műszeres felépítésének, elektronikus berendezésének, avionikájának összefoglaló bemutatását.

1.2. A feldolgozás célkitűzései

A dolgozatommal fő céloim a merevszárnyú katonai szállítórepülőgépeken alkalmazott műszerrendszerek felépítésének és funkcióinak összefoglaló bemutatása úgy, hogy lényegre törő legyen. A

szakirodalomban egyes műszerrendszerek, vagy avionikai rendszerek nagy részletességgel írnak le, azonban csak ritkán vannak általánosan, de ugyanakkor átfogóan ismertetve. Még kevesebb a magyar nyelven íródott szakirodalom a témával kapcsolatban. Ezeknek tudatában, illetve ezeken a tényeken javítva szándékozom dolgozatommal hozzájárulni a téma kiegészítéséhez, színesebbé és több szemszögből megvilágíthatóvá tételéhez. A szállítórepülőgépek vezetésében elsődleges szerepet játszó, elektronikus kijelzővel rendelkező műszerrendszereket mutatom be. Néhol elkerülhetetlen a civil szféra alkalmazási területeinek és lehetőségeinek említése, hiszen az itt használt fedélzeti rendszerek tulajdonságai, sajátosságai nagy hasonlóságot mutatnak a katonai szállítórepülőgépek rendszereivel, vagy akár majdnem teljes mértékben megegyezhetnek velük.

1.3. A dolgozat felépítése

A **bevezető fejezetben** olyan gondolatokat fogalmaztam meg, amelyekre emlékeztetésképpen visszanézve folyamatosan törekedhetem arra, hogy egy világos és részletes dolgozatot írjak a megadott témakörről, továbbá amelyekkel kezdeti gondolatként megkezdhetem a témakör kibontakozását.

A **2. fejezetben** ismertetem a repülőgépműszerek alkalmazásának kialakulását és fontosságát a repülés kezdetétől napjainkig. Kitérek a repüléstörténet során megjelent különböző fedélzeti elrendezésekre és a kijelzők fizikai felépítésére is.

A **3. fejezetben** felsorolom a műszerek, műszerrendszerek különféle csoportosítási lehetőségeit, ennek segítségével rávezetem a témakört a tárgyalt avionikai rendszerekre és műszerrendszerekre.

A **4. fejezetben** az elektronikus repülési műszerrendszer, mint fogalom elhelyezését mutatom be a szakirodalomban, majd működési elvét, felépítését és funkcióit részletezem számos ábrával illusztrálva.

Az **5. fejezetben** az előző fejezetben leírt séma alapján folytatom a gondolatmenetet és ismertetést az elektronikus hajtómű-ellenőrző műszerrendszerekről.

A **6. fejezetben** a repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer összetett felépítését mutatom be.

A **7. fejezetben** két kiegészítő elektronikus repülőgépvezetési műszerrendszerről írok röviden.

A **8. fejezetben** a magyar légierőben jelenleg és jövőben rendszeresített szállítórepülőgépek műszerrendszereit foglalom össze.

A **9. fejezetben** összegzésként zárom dolgozatomat a befejező gondolatokkal.

2. REPÜLŐGÉPMŰSZEREK FEJLŐDÉSÉNEK TÖRTÉNETE

Ha ma fellépnénk egy modern szállítórepülőgép fedélzetére, olyan fedélzeten találnánk magunkat, amely magas szintű automatizáltsággal rendelkezik. Az ott található műszerek rendkívül ergonomikus kijelzőkön mutatják a pilótáknak a repülőgép helyzetét, magasságát, emelkedési sebességét, sebességét és Mach-számát, a hajtóművek állapotát, paramétereit és egyéb tényezőket, mint például a külső levegő hőmérsékletét, a szél sebességét és irányát. A fedélzeti időjárásradar részletes információkkal tájékoztat az útvonalon lévő viharokról, csapadékról, turbulenciáról, a viharok oldalirányú és függőleges kiterjedéséről. Navigációs rendszere bemeneteket vesz a GPS¹ műholdaktól, helyzetmeghatározó rendszerektől és VHF² rádiójeladóktól. Az információkat elemezve három dimenzióban néhány méteres pontossággal tudja jelezni a repülőgép helyzetét. Ugyanezek a műszerek és navigációs rendszerek szolgáltatnak információt a robotpilótának, amely maga képes vezetni a repülőgépet adott magasságban, adott repülési tervet követve és képes leszállni a célrepülőtérre, ha az rendelkezik az ehhez szükséges földi be rendezésekkel. Egyes számítógépek részletes navigációs adatbázist tartalmaz az összes lehetséges akadályról és ezekről szükség esetén figyelmeztetést ad le. A rendszer nemcsak figyelmezteti a pilótákat a közeli forgalomra, hanem szélsőséges esetben tájékoztatja őket arról is, hogy milyen kitérő manővert kell tenniük. Háromdimenziós térképet készít az összes közeli gépről, hogy a földi légiforgalmi irányító egységektől független, forgalmat elkerülő lehetőséget biztosítson. Katonai szállítórepülőgépek további védelmi- és radarrendszereket tartalmazhatnak. Jogosan vetődhet fel tehát a kérdés, hogy hogyan volt képes idáig eljutni a repüléstudomány ezen a területen (mint bármelyik másikon) 100 év alatt. A következőkben célom erre a kérdésre egy átfogó választ adni.

A dinamikus repülés hajnalán a pilóta érzékszervei helyettesítették a műszereket, hiszen a kis repülőteljesítmények idején, amelyek szinte kizárólag kedvező időjárási körülmények között alakultak, nem volt szükség műszerekre. A kezdetleges repülőgépek által produkált teljesítmények olyan mértékűek voltak, hogy azokat hozzávetőlegesen meg lehetett állapítani az emberi érzékszervekre hagyatkozva. A repülőgépműszereket 3 csoportba szokták osztani, azonban ezek közül kezdetben elég kevés jelent meg a pilóta előtt. Repülés-ellenőrző műszereket nem használtak, hiszen a pilóta szeme segítségével megbecsülte a magasságot, helyzetét és esetleg órájával együtt számítva vagy bőrén észlelve a sebességet is. A gyorsulásokat, emelkedéseket,

¹ Global Positioning System

² Very High Frequency

koordinált fordulokat képes volt kontrollálni az egyensúlyi szervével. Navigáció-ellenőrző műszerek közül az iránytű volt az egyik első, viszont megfelelő időjárással a leszállás helyét könnyen észre lehetett venni és az alapvető rövidtávú navigáláshoz is elégséges volt a látási körülményeknek és alacsonyabb repülési magasságnak köszönhető egyszerűbb térbeli tájékozódás, illetve a viszonyítási pontok a terepen. Motorellenőrző műszerek közül az üzemanyagszintjelző és a fordulatszám-mérő kerülhetett be elsőként a fedélzetbe, de a motor működését, állapotát alapvetően hallással és szaglással ellenőrizték. A közvetlen érzékelés szerepe a repülésben mindig megmaradt, viszont az információ gépi úton történő kijelzésére a motoros repülés kezdetétől folyamatosan bővült az igény. A Wright fivérek által felépített, a történelemben az első motoros repülést végrehajtó (1903. december 17.) „Flyer - I” repülőgépen egy stopperórát használtak, amellyel a repülések időtartamát mérték, egy szélmérőt és egy „Veedor” fordulatszám-mérőt. A repülés fizikai lebonyolításában viszont csak az érzékszervekre volt szükség, amelyekre való támaszkodás még az első világháborúban is nagyobb teret kapott a repülésben, mivel a háborúban csak alapvető műszereket kezdtek alkalmazni rendszerszintűen, beleértve a magasságmérőt, sebességmérőt, fordulatszám-mérőt és olajnyomásmérőt. A pilótáknál kialakult az ösztönös egyensúlyérzéken, érzékszerveken alapuló mozgáskoordinációban való bizalom. Ez idővel „megszokássá” vált és mivel rossz időben ritkán repültek, csak néha tűnt fel a műszerek meglétének és ellenőrzésének fontossága, esetleg egy-egy felhőn történő átrepülés után a felhőből kirepülve, ha a pilóta észlelte, hogy térbeli helyzete teljesen másként alakult ki a normálishoz képest. Csak a világháború végére vették észre a probléma súlyosságát, hogy felhőbe repülve, ahol a látástávolság nullára csökken, a térbeli dezorientáltság következtében egy normálistól eltérő repülési helyzet is normálisnak tűnik, vagy fordítva. Ennek oka, hogy a belső fülben lévő érzékszervek, amelyek a hallás, egyensúlyozás, lineáris- és szöggyorsulás ingereit továbbítják az agyhoz, a földi életre fejlődtek ki, míg a repülőgépben félrevezető érzéseket adnak. Feltételezve, hogy a látástávolság nulla, példa erre a szomatogirális és szomatogravikus illúzió. A szomatogirális illúzió szerint egy olyan bedöntött fordulónál, amelynél a szöggyorsulás nem érzékelhető és így maga a forduló sem, abból kivéve a repülőgépet a másik irányba bedöntött fordulót lehet érzékelni. A szomatogravikus illúzió szerint a vízszintes gyorsítás és lassítás a bólintási szög növekedésének és csökkenésének tűnhet. Bár a giroszkopikus műszerek elérhetőek voltak már 1918-ban, a pilóták megfelelő képzettség hiányában, beidegződésükre hagyatkozva továbbra is érzékszerveiket követték a műszerek helyett [1].

A műszeres repülés első úttörői két amerikai katonai pilóta, William Ocker és Carl Crane voltak. 1918-ra már kész volt az első (Elmer Sperry által feltalált) giroszkóp-alapú műhorizont és

Ocker az elsők között volt, aki kipróbálhatta hosszabb ideig felhőrepülésben. A repülőgép zuhanóspirállal jött ki a felhőből, Ocker beismerése szerint viszont nem bízott meg teljesen a műszerben, ellenkezőleg téves érzékeléseivel, amelyekre nagyobb figyelmet fordított. Crane 1925-ben szinte belehalt egy ugyanilyen manőverbe, mikor már jól ismerte a felhőrepülés veszélyeit. Az 1920-as évekre már rendelkezésre álltak különféle barometrikus, giroszkópikus és rádiónavigációs műszerek. A gépszemélyzetek életében megjelent az egyre nagyobb hatótávolságú repülések okozta fáradtság, amit az 1930-as évek végén a robotpilóta rendszeresítésével mérsékeltek és ezzel a műszerellenőrzés hatékonyságában is segítettek. A leggyakrabban nézett műszerek egységesítése egyre fokozottabb volt biztonsági és ergonómiai okokból, így ugyanekkor az évtized végén kialakult annak a hat alapvető műszernek az elrendezése, amely egy mai kis-motoros repülőgépben is megtalálható: magasságmérő, műhorizont, sebességmérő, csúszás- és dőlésjelző, vízszintes helyzetjelző és variométer. Később, az 1950-es évekre ennek a hat műszernek az egymás mellett történő szabványosítása ment végbe és a leghatékonyabb elrendezésnek tűnt, amit angolul úgy is emlegetnek, hogy „six pack” (hatos elrendezés). A hasonló betűk és számok például a szabványosítás jelei. Ez a hat műszer (1. ábra) a korai nagygépes repülésben is ilyen alapvető szerepet kapott közvetlenül a pilóta előtt, azonban további analóg motorellenőrző és navigációs műszerek sokaságába lett beágyazva [1], [38].



1. ábra Hatos elrendezés („6 pack”) [9] Szerkesztette: Solymossi László

A hatos elrendezés soronként, balról jobbra:

- sebességmérő - a levegőtömeghez viszonyított sebességet mutatja csomóban, óránként megtett tengeri mérföldben, vagy km/h-ban;
- műhorizont (ADI³) - a horizonthoz viszonyítva megadja a légijármű fokban mért dőlési és bólintási szögét. Később más paraméterek megjelenítését is ebbe integrálták, például a sebesség- és magasságváltozást, csúszásjelzést.
- magasságmérő - a barometrikus magasságot, másnéven nyomásmagasságot mutatja láb mértékegységben;
- csúszás- és dőlésjelző - mutatja, hogy a manőver csúszásmentesen van-e végrehajtva;
- vízszintes helyzetjelző (HSI⁴) - vízszintes szöginformációt mutat, amely a pörgettyűs irányrendszertől, rádióíránymérő rendszertől és más rendszerektől érkezik. Idővel kiegészült más, például DME⁵ rendszerrel.
- variométer (VSI⁶) - a függőleges sebességet mutatja percenként megtett lábban, amely lehet 100 vagy 1000 egység kijelzőtől függően [2].

A hatos elrendezés után a rajta látható 4 fő műszerből álló letisztult T-alakzat vált jellegzetessé az elektromechanikus műszerek idején és az elektronikus kijelzők kezdetén. A mechanikus és elektromechanikus korszak egyik hátránya az analóg rendszerek megbízhatatlansága volt jelszint- és feszültség ingadozásaik, valamint egyéb lineáris és nemlineáris problémáik miatt. Ezt nehezítette, hogy mind a civil és katonai repülés a tudományos és technológiai fejlődéssel együtt nagyobb és gyorsabb repülőgépeket eredményezett, több és más elven működő gázturbinás sugárhajtóművel, behúzható futóművel, elektromos rendszerekkel, amelyek mind újabb, pontosabb és megbízhatóbb műszereket igényeltek. A fejlődés a repülőgépvezető személyzet létszámát is megváltoztatta, mivel régebben ez több főből állt. A pilótákon kívül fedélzeti mérnökök, navigátorok, rádiókezelők, esetleg bombázótisztek vagy faroklövészek is szolgáltak a fedélzeten, akik előtt szintén műszerfal volt, fokozva a fedélzet zsúfoltságát és áttekinthetlenségét. Idővel tehát szerepüket a technika felváltotta (később számítógépek) így a pilótákra szélesebb körű felelősség hárult. Megbízhatóbb, üzembiztosabb és áttekinthetőbb környezetre volt szükség. Ezekkel a dinamikus változásokkal együtt járó igényeket a félvezető alapú tranzisztor feltalálása segítette, amely a berendezésekben kezdte felváltani az addig használt elektroncsöves technikát. Az 1960-as évekre ezek következtében megjelentek a fedélzeti elektronikus műszerek. Az évtized végére ugyanis létrejött

³ Attitude Direction Indicator

⁴ Horizontal Situation Indicator

⁵ Distance Measuring Equipment

⁶ Vertical Speed Indicator

egy új elrendezés, az üveg pilótafülke (angolul „glass cockpit”), amely a korábbi műszerek által kijelzett, különálló adatokat már digitálisan, ugyanazon a kijelzőn, egyben jelenítette meg. A kifejezés első ránézésre megtévesztő lehet, hiszen üvegből (glass) lehetséges, hogy kevesebbet tartalmaz, mint a korábbi analóg műszerek, azonban inkább arra utal, hogy elektronikus felületen adja át az információt és másképpen működik, mint a hagyományos barometrikus vagy giroszkópikus műszerek. Az 1970-es években a repülőgépekhez már digitális tranzisztoros áramköröket fejlesztettek ki, viszont kezdetben csak a katonai repülésben használták fel navigációs és különféle harci berendezésekbe építve. A digitális technika az 1980-es évek elejétől nagy ütemben került alkalmazásra. Széleskörű elterjedését a mikroprocesszorok megjelenése, továbbá a szoftveres fejlesztések tették lehetővé. A 20. század második felében a digitális fedélzetekre való áttérés jelentette a váltást a közvetlen érzékelésű műszerekről a távérzékelésű műszerekre. A régebbi közvetlen érzékelésű barometrikus műszerekhez a megmért nyomás csöveken keresztül a műszer hátuljába lett vezetve, ahol szelence alkalmazásával az előlapon mutatott értékre lett átalakítva mechanikus segítséggel. Ez a műszerfal mögötti sok cső és vezeték keveredését, összetömörülését eredményezte. A távérzékelés során egy jelátalakító méri a beáramló nyomásmennyiséget és elektronikus jellé alakítja, majd továbbítja egy fedélzeti számítógéphez vagy akár más, egyedi műszerhez. Az üveg pilótafülke ezen az elven alapul. Hosszú fejlődés eredménye, hogy a nagygépes légijármű-vezetők ma már minden oldalról ilyen üvegfelületekkel vannak körülvéve, hiszen a legtöbb gyártó eljutott az ilyen kialakításokhoz, az egymonitorostól akár a tízmonitoros fülkéig. A mai trend a monitorok egységesítésén dolgozik, azonban a formátumok megjelenítése a régi elrendezések alapján megmaradt, például a kör alakú, egységes átmérővel rendelkező műszerek digitális kijelzése. Ezen kívül a műszerek különböző elvek szerinti csoportosítása is megmaradt (a „csoportosítás” részben látható), viszont a sok repüléselektronikai rendszer adatainak kombinálásával és ezek sokféle módon történő megjelenítésével most már magas szintű integráció lehetséges.

A következő felsorolásban az üveg pilótafülkéhez vezető fénytechnikai eszközök láthatók időrendben. Ezek közül a három kiemelt eszközzel a dolgozat részletesebben foglalkozik:

- Izzószálas lámpa (filament lamp) - műszerfalak és műszerek belső megvilágítására, jelzőlámpákhoz használták.
- Gázkisüléses lámpa (parázsfénylámpa - glimmlámpa - fénycső - angolul gas-discharge lamp) - műszerfalak megvilágítására és jelzőlámpákhoz használták.

- Katódsugárcső (CRT⁷) - a legrégebbi tényleges digitális technika a modern repülőgépekben. Kora ellenére sokféle előnyt nyújt, beleértve, hogy rendkívül éles színeket tud megjeleníteni és elég széles látószögben lehet rálátni. Ezen két előnye miatt ma még mindig meg lehet találni korszerű repülőgépekben is annak ellenére, hogy fokozatosan nő az igény a modern kijelzőkre való lecserélésére. Radarinformáció, valamint széles tartományú, színes alfanumerikus és grafikus adatok megjelenítésére használatos.
- Plazmamegjelenítő (plasma display) - a repülésben nem terjedt el.
- Fénykibocsátó dióda (LED⁸) - általános célú jelzőfény a repülésben. A hagyományos izzószálas lámpához képest lényegesen kisebb feszültséggel és árammal működik, továbbá sokkal megbízhatóbb. A legtöbb LED megfelelő szintű fénykibocsátást biztosít, ha egy 5 mA és 20 mA közötti előremenő árammal van terhelve. Sokféle típusú LED létezik, a kerek típusúak a legnépszerűbbek. Ezek látószöge 20-40° között van, míg a négyszögleteseké 100°. A LED-es kijelzőt jelzőlámpákhoz, célműszerekhez de gyakran számadatok megjelenítésére is használják. Utóbbira példa az egy kódelemet alkotó hétszegmenses kijelző. Ilyen kódelemekből egymás után többet is alkalmaznak a kijelző rendeltetésétől függően.
- Folyadékkristályos megjelenítő (LCD⁹) - ma már csak ezeket a megjelenítőket alkalmazzák a modern civil és katonai szállítórepülőgépeken is az általános színes megjelenítéshez. A CRT kijelzők után nagy térfogatnyereséget eredményeztek, mivel azoknál kisebbek. Olyan teljesítmény paraméterekkel rendelkeznek, amelyek meghaladják a korábbi CRT-k tulajdonságait. Fő előnyük a tömegben, teljesítményben, méretben és a megbízhatóságban rejlik, továbbá számos más szempontból is jobb teljesítményt nyújtanak:
 - kijelzőjük nagyobb felbontással és fénysűrűséggel rendelkezik;
 - ellenállóak a színtelenedéssel és az elmosódással szemben;
 - széles fényerőszint skálában képesek a megjelenítésre;
 - adott panelméret esetén képesek a megjelenítés hasznos területének maximalizálására;
 - nagyfokú hibatűrő-képességük van;
 - ellenállóak a rezgéssel és mechanikai kölcsönhatásokkal szemben;
 - teljesítményük széles hőmérsékleti skálában fenntartható;
 - elektromágneses kompatibilitásuk mellett ellenállóak a nagyenergiájú rádiófrekvenciás sugárzásokkal szemben [3], [38].

⁷ Cathode ray tube

⁸ Light emitting diode

⁹ Liquid crystal display

A folyadékkristályok fizikai tulajdonságai valahol a szilárd és a folyékony halmazállapot között vannak. Míg a szilárd testek merev molekulaszerkezettel rendelkeznek, a folyadékokban a molekulák változtatják pozíciójukat és folyamatosan képesek mozogni. Ami különlegessé és vonzóvá teszi a folyadékkristályos kijelzőket a repülőgépiparban, az, hogy az ezeket felépítő molekulák mozgását, orientációját elektromos mező alkalmazásával lehet szabályozni, következésképpen a kristályokon áthaladó fény útját is, amiből létrejön a színes mozgókép. Megkülönböztetünk passzív (PMLCD¹⁰) és aktív mátrix folyadékkristályos megjelenítőket (AMLCD¹¹). Utóbbiak előnyösebbek, mert a passzív mátrix folyadékkristályos megjelenítőknek viszonylag lassú válaszidejük van, valamint kijelzőjük nem annyira éles (felbontás tekintetében), mint az aktív mátrixos kijelzőké. A színes AMLCD-k három szín, a piros, zöld és kék árnyalatait tudják kombinálni. A megfelelő pixelekre való elektromos töltések alkalmazásával olyan kijelzők előállítását érhetik el, amelyek a piros, zöld és kék 256 árnyalatával rendelkeznek, így összesen több mint 16 millió színt tudnak alkotni. Ezek az AMLCD kijelzők tehát lehetővé teszik, hogy a fülkében a legkorszerűbb, sokrétű grafikai képességgel rendelkező műszerek segítsék a légijármű-vezetők munkáját. A repülőgépiparban szinte mindenhol átvették a szerepet [3].

A mai legkorszerűbb fedélzeti rendszerekben, akár modern civil vagy katonai szállítórepülőgépeken egy digitális adatbuszon keresztül továbbítják az összes érzékelőtől származó információt a digitális AMLCD kijelzőkig. Ez az eljárás jelentősen csökkenti a kábelezés, vezetékelés bonyolultságát. Egyes nagygépes fedélzetek még mindig rendelkeznek közvetlen érzékelésű tartalék műszerekkel, ha vészhelyzetbe kerülne a repülőgép és az energiaellátása, így a digitális vezérlése, kijelzőinek működése megszűnne. Ezáltal a személyzet bármilyen körülmények között, ha nem is a legpontosabb, de létfontosságú adatokhoz juthat. Erre példa az Airbus A320-as család gépei, amelyekben először jelent meg a digitális vezérlés, viszont még ki vannak egészítve mechanikus biztonsági rendszerrel. A családba tartozik a Magyar Honvédség vitéz Szentgyörgyi Dezső 101. Repülődandárnál rendszeresített Airbus A319-es katonai szállítórepülőgép is. Az Airbus A380-as és Boeing 787-es típusokon azonban mechanikai biztonsági rendszerek már nincsenek, csak digitális szabályozó berendezések vannak, vagyis a segédberendezések is teljesen digitálisak, ahogyan ez a mai modern típusokra már általánosságban jellemző.

Megjegyzés: a dolgozatban sokszor csak angol elnevezésekkel vagy rövidítésekkel találkozhatunk, mivel a légiközlekedésben a műszerrendszerek angol elnevezései használatosak.

¹⁰ Passive Matrix Liquid Crystal Display

¹¹ Active Matrix Liquid Crystal Display

3. MŰSZERRENDSZEREK CSOPORTOSÍTÁSA

Az első típusú csoportosítás szerint a repülőgép, mint rendszer, további 4 fő rendszerre osztható: sárkányszerkezet, kiszolgáló rendszer, avionikai rendszer, küldetési rendszer [4]. A dolgozat témája az utóbbi 2 rendszerben helyezhető el.

- Sárkányszerkezet: a repülőgép vázszerkezete, a kiszolgáló rendszer nélküli szerkezete.
- Kiszolgáló rendszer: minden olyan sárkányszerkezetbe épített rendszer, amely a repülés folyamatának biztonságát fenntartja és az energia átalakításában vesz részt (pl. hajtómű, kormányvezérlés, hidraulika rendszer).
- Avionikai rendszer: minden olyan sárkányszerkezetbe épített rendszer, amely a repülés célját biztosítja információ közvetítésével, elektromos és elektronikus úton (pl. műszerek, fedélzeti számítógépek, kijelzők, navigációs berendezések), meglete elengedhetetlen minden nagygépes rendszerben, függetlenül a légi jármű polgári vagy katonai céljától. A dolgozatban részletezett fő avionikai rendszerek a következők: EFIS¹², EICAS¹³, ECAM¹⁴, FMS¹⁵. Ezekben belül vannak a műszerrendszerek, vagyis az avionikai rendszerek magukba foglalják az általános elektronikus repülőgépvezetési műszerrendszereket és kijelzőket, amelyek polgári vagy katonai szállítórepülőgépeken hasonlóan vannak beépítve. A felsorolásban az első négy avionikai rendszerben vannak elektronikus kijelzővel rendelkező műszerek, valamint a repülőgép vezetésével ezek állnak közvetlen kapcsolatban, így főképpen ezeket tárgyalja a dolgozat.
- Küldetési rendszer: olyan avionikai rendszer vagy fegyverrendszer, amely a repülés katonai célját biztosítja (pl. szenzorika) [4].

A katonai légi járművek elektronikus repülőgépvezetési műszerrendszerének bemutatásakor ezért szükséges ugyanolyan mértékben kitérni az általános elektronikus repülőgépvezetési műszerrendszerre is, abból következően, hogy minden légi járműben alapvető rendszerként szerepel, így a katonai légi járművekben is.

A szállítórepülőgépek műszereit egy szűkebb körű csoportosítással is lehet jellemezni. A következőkben ezek is bemutatásra kerülnek a teljesség igénye nélkül, egy régebbi csoportosítást felhasználva. A csoportosítás ennek alapján lehetséges rendeltetési és működési elv szerint, illetve meghajtás szerint [6].

¹² Electronic Flight Instrument System

¹³ Engine Indicating and Crew Alerting System

¹⁴ Electronic Centralised Aircraft Monitoring

¹⁵ Flight Management System

Rendeltetés szerint csoportosítunk repülésellenőrző- és navigációs, hajtóműellenőrző, a repülőgép segédszerveket ellenőrző, valamint a személyzet és utasok normál életkörülményeit ellenőrző műszereket [6].

Működési elv szerint csoportosítunk szelencés, mechanikus, pörgettyűs, villamos és elektronikus műszereket. Utóbbi csoportot a nagygépes repülésben az elektronikus műszerrendszerek tartalmazzák egyben, ergonómiai okokból, kiegészítve az eddig felsorolt összes műszer elektronikus megjelenítésével is, illetve egyéb hasznos információt szolgáltató kijelzőkkel együtt [6].

Meghajtás szerint csoportosítunk villamos, pneumatikus-hidraulikus és villamos-hidraulikus táplálású műszereket és műszerrendszereket [6].

Az elektronikus rendszerek funkciója a közforgalmi- és állami-légijárművek esetében megegyezik, de a fejlesztésük és tesztelésük eltérhet egymástól. Mindegyik típus kora és rendeltetése határozza meg a benne telepített rendszereket. A legtöbb mai rendszer adatot gyűjt, feldolgoz, továbbít és válaszol az adatokra, mindezt nagyon rövid időn belül az információ minél gyorsabb áramlása érdekében. Bármilyen energiaátvitel rendszerint egy kiszolgáló rendszerhez intézett parancs útján történik. Példa erre a repülőgép helyzetének megváltoztatása, amelyet a repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer (FMS) parancsol, majd a robotpilóta és a repüléskoordináló-optimalizáló számítógép hajt végre [4].

Egy másik csoportosítás szerint ezeket a műszerrendszereket a különböző fedélzeti rendszerek foglalják magukba. A fedélzeti rendszerek fő részei az FMS, a hajtómű-ellenőrző rendszer, az automatikus repülésvezérlő és repülésitúlajdonság-javító rendszer (AFCAS¹⁶), a vészjelző és adatrögzítő rendszerek, valamint az adatkommunikációs rendszerek [7].

¹⁶ Automatic Flight Control and Augmentation System

4. AZ EFIS AVIONIKAI RENDSZER

Az elsődleges, legszembevetőbb elektronikus kijelző rendszer összefoglaló neve az elektronikus repülési műszerrendszer vagy repülést ellenőrző adatok elektronikus műszeren történő megjelenítése [38]. Az EFIS egy gyűjtőfogalomra vált, ugyanis ezzel szoktak általánosítani minden olyan elektronikus kijelzőt, amely megtalálható a pilóta fülkében, vagy minden olyan pilóta fülkét szoktak ezzel jellemezni, amelyben ilyen kijelzők vannak (glass cockpit). A hivatalos szakirodalomban egy több elektronikus műszerrendszert magába foglaló avionikai rendszer, két fő műszerrendszere pedig az EADI¹⁷ és EHSI¹⁸. Minden kijelzőre kijelző egységként (DU¹⁹) szoktak utalni, így utóbbi kettő is egy-egy kijelző egység abból adódóan, hogy külön kijelzőt képeznek a fülkében.

4.1. Az EFIS műszerrendszerei

- Elektronikus helyzetjelző és parancskijelző (EADI), vagy elsődleges repülési kijelző (PFD²⁰);
- Elektronikus vízszintes helyzetjelző (EHSI), vagy navigációs kijelző (ND²¹);
- Kijelző vezérlőpanel (DSP²²);
- Kijelző processzoregység (DPU²³);
- Multifunkciós processzoregység (MPU²⁴);
- Időjárásradar panel (WXP²⁵) [3].

A kezdetleges EFIS kijelzők színes katódsugárcsővekről voltak táplálva, a korszerű kijelzők színes AMLCD technológiával rendelkeznek. Az EFIS ezért különféle elektronikus kijelzők integrált rendszere lett, így különböző forrásból (pl. hajtómű felől, navigációs berendezések felől) tud megjeleníteni adatokat ugyanazon a kijelzőn, következképpen csökkenti a munkaterhelést a személyzetén, gyors információfeldolgozást tesz lehetővé és ezzel pozitívan járul hozzá a humán tényezőhöz. További pozitívum, hogy tiszta és nagy felbontású kijelzői vannak, amelyeken az igényesen és rendezetten megjelenített információt a külső fényszennyezés intenzitásától függetlenül egyszerűen le lehet olvasni. Jelentős hátránya az elektromágneses interferencia (EMI²⁶) fokozott jelenléte más elektronikus eszközökkel. Több EFIS rendszer is létezik (ahogyan a többi rendszernél is), mert a gyártók saját maguk tervezik [3].

¹⁷ Electronic Attitude Direction Indicator

¹⁸ Electronic Horizontal Situation Indicator

¹⁹ Display Unit

²⁰ Primary Flight Display

²¹ Navigation Display

²² Display Select Panel

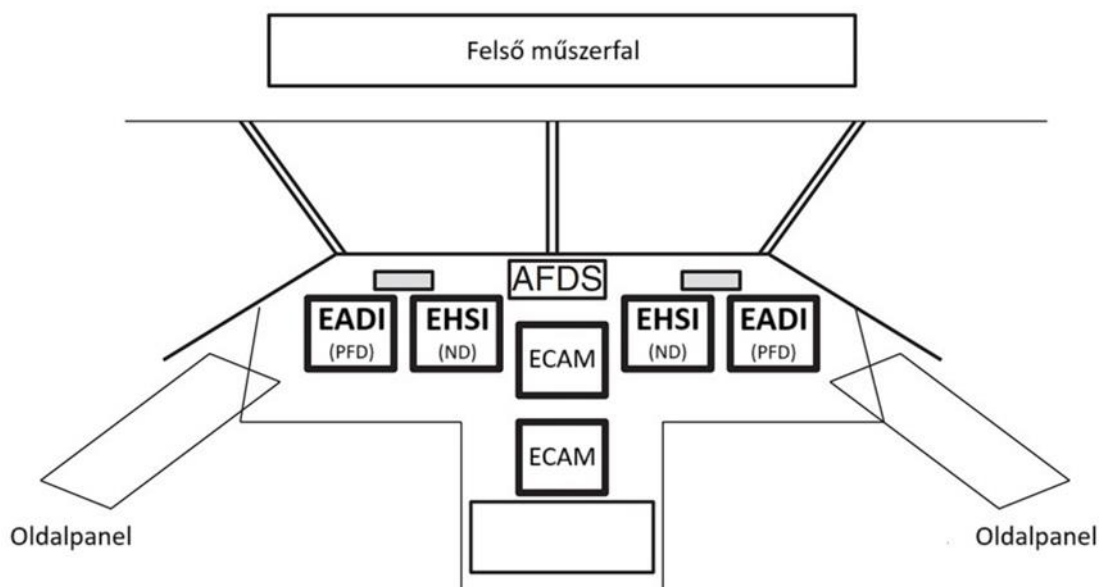
²³ Display Processor Unit

²⁴ Multifunction Processor Unit

²⁵ Weather Radar Panel

²⁶ Electromagnetic Interference

A 2. fejezetben tárgyalt ADI és HSI voltak az első műszerek, amelyek analóg kijelzésről áttértek digitális, elektronikus kijelzésre, így elektronikus megfelelőjük lett az EADI és EHSI, amelyek a hatos elrendezés közepén egyszerűen megkülönböztethetőek lettek analóg társaiktól. Később a hat alapvető műszert megjelenítették egy kijelzőn és a hat műszer adatait az EADI-be integrálták, ezzel megoldva az egy kijelzős megjelenítést. Az EADI rendszernek így jött létre egy másik elnevezése, a PFD, vagyis az EADI és PFD valójában ugyanazt jelenti, a szakirodalomban szoktak felváltva használni. Ugyanez a folyamat igaz az EHSI és az ND-re, ugyanis az EADI mellett elhelyezkedő másik fő kijelző az EHSI, amelyre ND néven is szoktak utalni. Olyan EFIS rendszerek is léteznek már, amelyeken egyszerre szerepel az EADI és EHSI (vagy PFD és ND), azonban ezek csak korszerűbb repülőgépeken találhatók meg. A Magyar Honvédség részére vásárolt két Embraer KC-390 katonai szállítórepülőgép is ilyen kijelzőkkel van már felszerelve, míg például a honvédség A319-es típusán a hagyományos szétválasztott EFIS rendszer van (lásd 8. fejezet).



2. ábra Az EFIS avionikai rendszer kijelzőinek vázlatos elhelyezkedése [4] Szerkesztette: Solymossi László

4.2. Az EFIS vezérlése

A katonai szállítórepülőgépeken is hasonló, vagy ugyanolyan jellegzetes elrendezésben látja a fent említett kijelzőket a gépparancsnok és a másodpilóta, mint polgári szállítórepülőgépeken a kapitány és az első tiszt, ugyanis az elrendezésben mindkét pilóta előtt van egy PFD és egy ND, vagyis mindkét kijelzőből 2 db van a fülkében a két pilóta oldalán. Az EFIS műszereken megjeleníteni kívánt adatok, funkciók, beállítások vezérlése az EFIS vezérlőpaneleken lehetséges, amelyek így szintén két részre vannak osztva a PFD és ND részére. A fényerő szabályozása alapvetően automatikusan működik mindkét oldalhoz tartozó fényszensorokkal (light sensor

unit) úgy, hogy ezek a fülkében lévő fény intenzitásához viszonyítva szabályozzák a kijelzők fényerejét. A fülkében több ilyen fényszenzor is lehet, például kettő a kijelzőket borító védőpajzs, valamint minden egyes PFD és ND kijelzőn (vagy más kijelzőkön is). A szenzorok automatikus szabályozását a pilóták felül tudják írni manuálisan egy adott vezérlőpanelen [5]. A vezérlőpanelekhez és a hozzájuk kapcsolódó kijelzőkhöz tartozik egy-egy jelgenerátor, amely egy mikroprocesszor alapú, adatfeldolgozó számítógép. A különböző érzékelőktől, szenzoroktól, berendezésektől érkező információt az információáramlást biztosító digitális adatbuszokon keresztül kapja, majd a benne lévő grafikai generátor (graphics generator) és egy kijelző vezérlő hardver eszköz (display driver) segítségével olyan jelekké alakítja, hogy ezeket a jeleket ábrázolás (kép) formájában a kijelzőkhöz továbbítja azoknak megvilágításával, miközben a vezérlőpanellel kapcsolatban áll, tehát részt vesz az utasítások végrehajtásában is. (Angolul a jelgenerátor neve „symbol generator”, viszont több más neve is van, pl. „Display Management Computer”, „Display Processing Computer”, „Display Electronics Unit”). Fontos, hogy a két jelgenerátor mellett egy harmadik is be van építve a szállítórepülőgépeken tartalékként arra az esetre, ha a gépparancsnok vagy a másodpilóta jelgenerátora meghibásodik. A vezérlőpanelen valamennyi típuson lehetséges kiválasztani, hogy melyik jelgenerátort szeretnénk használni. A jelgenerátor nem csak információt gyűjt és utasítást továbbít a vezérlőpanelről, hanem ellenőrző funkciója is van. Adatérvényesítést hajt végre a berendezésektől érkező információ érvényesítésével (data validation), adatösszehasonlítást végez a többi jelgenerátorral (data comparison), illetve a kijelzők sértetlenségét ellenőrzi (display monitoring) [3], [5].

Az EFIS jelgenerátorai számos forrásból szereznek információt, például: VOR²⁷, ILS²⁸, MLS²⁹, DME, RNAV³⁰, VNAV³¹, RAD ALT³², WXR³³, ADF³⁴, IRS³⁵, FCC³⁶, FMCS³⁷, TMC³⁸, iránytűrendszer (compass system), vagy hosszadőlési, bedöntési, irányszög- és gyorsulási adatok az AHRS³⁹ rendszertől, vagy hagyományos giroszkóptól [3], [5].

²⁷ Very High Frequency Omnidirectional Range

²⁸ Instrument Landing System

²⁹ Microwave Landing System

³⁰ Area Navigation

³¹ Vertical Navigation

³² Radar Altimeter

³³ Weather Radar

³⁴ Automatic Direction Finder

³⁵ Inertial Reference System

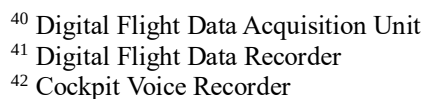
³⁶ Flight Control Computer

³⁷ Flight Management Computer System

³⁸ Thrust Management Computer

³⁹ Attitude Heading Reference System

40 Digital Flight Data Acquisition Unit
41 Digital Flight Data Recorder
42 Cockpit Voice Recorder

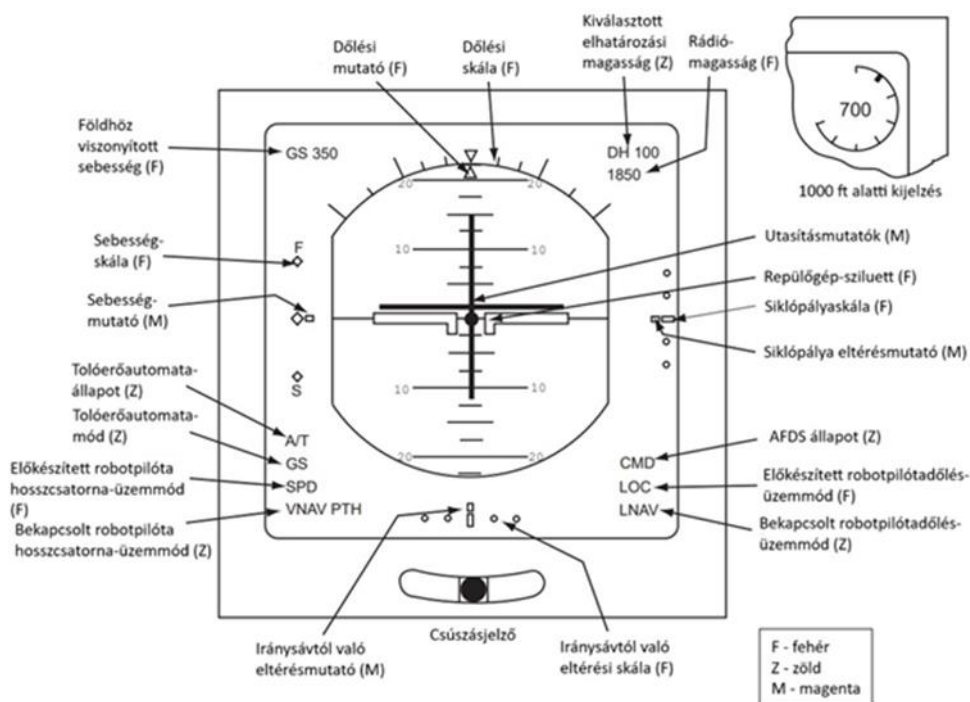


40 Digital Flight Data Acquisition Unit
41 Digital Flight Data Recorder
42 Cockpit Voice Recorder

4.3. Az EADI (PFD)

Repülésellenőrző műszernek felel meg. Az EADI (4. ábra) a sima ADI műszer utódjaként alapvetően az alábbiakkal rendelkezik:

- műhorizont (attitude indicator);
- egy fix repülőgép sziluett (aircraft symbol);
- repülésvezérlő rendszer utasításmutatók (flight director command bars);
- siklópálya kijelző (glide slope indicator);
- irányász eltérés kijelző (localiser deviation indicator);
- csúszásjelző (slip indicator);
- repülési üzemmód kijelző (FMA⁴³);
- hibajelző zászlók (warning flags) [3].



4. ábra Egy EADI kijelző vázlatos tartalma [5] Szerkesztette: Solymossi László

Az EADI elsődlegesen a hosszidő és a bedöntés (keresztidő) mértékét jelzi ki egy műhorizonttal, amelynek felső része kék színű (az eget jelképezi) és alsó része általában sárga, de lehet homok színű is (a földet jelképezi), köztük helyezkedik el a horizont vonala. A dőlésmértékekhez az információ a tehetetlenségi helyzetmeghatározó rendszerből jön. A műhorizonton jelennek meg a bólintási szögmértékek egy bólintási skálát (pitch scale) alkotva, 10 fokként ellátva fő beosztásokkal. Az EADI kijelzőn kerülnek megjelenítésre a repülési terhelésterület védelemmel kapcsolatos bólintó mozgás limitációk is. Ezeket a bólintó mozgás határértékeket a terepszint

⁴³ Flight Mode Annunciator

A siklópálya kijelzőn lévő siklópálya eltérésmutató (glideslope deviation pointer) az ILS siklópálya közepét ábrázolja és megmutatja, hogy a repülőgép milyen mértékben tér el a siklópálya közepétől (5. ábra). Mellette a siklópálya skálája (glideslope scale) a repülőgép helyzetét mutatja a siklópályához képest. Az irányász eltérés kijelzőn lévő irányásávtól való eltérésmutató (localiser deviation pointer) az ILS irányász középvonalát ábrázolja és a siklópálya elfogásakor bukkan fel. A mutatótól való eltérést az alatta lévő irányásávtól való eltérési skála (localiser deviation scale) mutatja. Ez a skála nagyjából kétszer olyan érzékeny, mint a sima HSI műszereken lévő oldalirányú eltérést mutató sáv (lateral deviation bar) [3].



5. ábra Az A320-as típuscsalád EADI kijelzője emelkedés közben [8] Szerkesztette: Solymossi László

A csúszásjelző két változatát találhatjuk meg a műszeren. Analóg változata a műszer alján szokott elhelyezkedni, elektronikus változata a műhorizont felett lévő dőlési skálához (roll scale) csatlakozik és ezzel együtt forduló és csúszásjelzőként is szokták hívni (turn and bank indicator). A dőlési skála általában 10, 20, 30, 45 és 60 fokos beosztásokkal van ellátva. A dőlési skála felső részén helyezkedik el egy lefele mutató háromszög (roll scale zero). Alsó részén van a felfele mutató háromszöggé alakuló dőlési mutató (roll pointer/bank pointer). Szállítórepülőgépekkel végrehajtott fordulókban ezeknek a mutatóknak az együttes mozgása úgy valósul meg, hogy a „roll scale zero” a dőlési skála közepén marad, nem mozdul el, közben a dőlési mutató a fordulóval ellentétes irányba tér ki a skálán, tengelye a horizontra merőleges marad, azzal együtt mozog (a horizont mozgása abból adódik a fordulóban, hogy mindig párhuzamos marad a földfelszínnel). A dőlési mutató alatt helyezkedik el egy téglalap alakú elektronikus csúszásjelző (slip/skid indicator). Ha egy fordulóban a dőlési mutatótól a forduló középpontja fele tér ki, a repülőgép befele csúszik (slip), ha a fordulótól kifelé tér ki, a repülőgép kifelé csúszik (skid) [3].

A repülési üzemmód kijelző műszer jelzi ki az egész robotpilóta rendszer állapotát, így fontos szerepe miatt a felülvizsgálata fokozottan lényeges. Korábbi típusoknál színes jelzőfényekkel volt megvilágítva és szöveges üzenetekből állt, a korszerű EFIS rendszerekben azonban már az EADI felső részén helyezkedik el annak részeként, ezért is került bele itt az EADI kijelző egységeinek felsorolásába [7].

A rádiomagasságmérő, a sebességmérő, a függőleges sebességmérő (variométer), a géptengely- vagy útirányszög értékek, a kiválasztott sebesség- és magasságértékek, így például az elhatározási magasság (DH⁴⁴), illetve az automatikus vezérlés beállításai a műhorizont körül jelennek meg az EADI kijelzőn. Utóbbi két beállítási csoport alul és felül helyezkedik el. Ez az elhelyezkedés gyártónként különbözhet, ezért bár mindegyik EADI hasonló, elrendezésük más lehet és működésük is változó. Ez különösen látszik az EADI-t részletező ábrákon. 1000 láb és 2500 láb között a rádiomagasságmérő csak digitális formátumban van megjelenítve, viszont 1000 láb föld feletti magasság (AGL⁴⁵) alatt a kijelző már egy kör alakú, analóg magasságmérőt is mutat. Ezen a magasság csökkenésével a fehér színű beosztásokkal ellátott értékeket automatikusan kitörli a rendszer, az óramutató járásával ellentétesen. Az elhatározási magasságot egy bíborvörös (magenta) színű jel jelzi ki, ezt az EFIS vezérlőpanelén lévő vezérlőgombbal (forgatógombbal) lehet beállítani. 50 lábbal felette egy csengő hangot lehet hallani, ennek frekvenciája az elhatározási magasság eléréséig növekszik, majd elérésekor a kör alakú magasságmérő és a

⁴⁴ Decision Height

⁴⁵ Above Ground Level

magenta jel borostyán színűre változik és villogni kezd. Ezt a figyelmeztetést az EFIS vezérlő-panelén egy nyomógommbal lehet kikapcsolni. A JAR-OPS⁴⁶ 25 Egységes Légügyi Előírásban meg van határozva, hogy az EADI (és EHSI) kijelzőjének egyes részei milyen színűek legyenek, tehát az EFIS kijelzők színekódoltak. Ez a következő felsorolásokban látható [5].

- figyelmeztetések – piros;
- üzemeltetési határértékek – piros;
- emlékeztető figyelmeztetés, hiba – sárga/borostyán;
- föld – cserszínű/barna;
- ég – cián/kék;
- aktivált (bekapcsolt) üzemmód – zöld;
- ILS eltérést jelző pontok (magenták) – bíborvörös;
- repülési irányjelző ábrák – bíborvörös/zöld [5].

A kijelző felsorolt adattömbjeit az 1. táblázatban látható következő színekombinációk valamelyikével kell ellátni [5].

1. táblázat A kijelző adattömbjeinek színekombinációi [5]

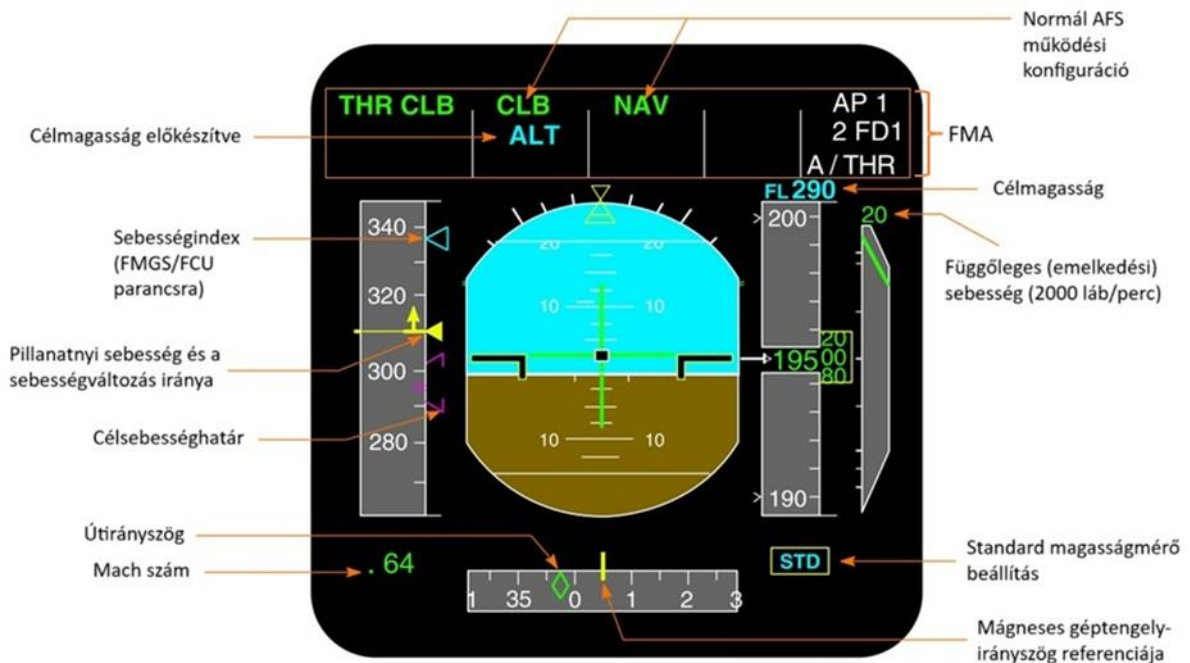
	1. kombináció	2. kombináció
Fix referencia szimbólumok	fehér	sárga
Aktuális adat/érték	fehér	zöld
Kiválasztott eljárás	fehér	cián
Kiválasztott adat/érték	zöld	cián
Kiválasztott irányszög	bíborvörös	cián
Aktív útvonal	bíborvörös	fehér

A sárga szín túlzott használata nem ajánlott az „emlékeztető figyelmeztetés/hiba” kategóriájú megjelenítéseken kívül. Az 1. kombinációban a bíborvörös szín azokra az analóg paraméterekre vonatkozik, amelyek a „fly to” (repüljön valami fele) vagy „keep centred” (tartsa középen) típusú információból állnak [5]. Az előrejelzett csapadék és turbulencia adatokat a 2. táblázatban látható színekkel kell jelölni [5].

2. táblázat Az előrejelzett csapadék és turbulencia színekombinációi [5]

Csapadék (mm/h)	0–1	fekete
	1–4	zöld
	4–12	sárga/borostyán
	12–50	piros
	50 –	bíborvörös
Turbulencia	fehér vagy bíborvörös	

⁴⁶ Joint Aviation Requirements - Operations



6. ábra Az A320-as típuscsalád EADI kijelzője megközelítés közben [8] Szerkesztette: Solymossi László

4.4. Az EHSI (ND)

Az elektronikus vízszintes helyzetjelző a pilótákat segíti különféle navigációs segédeszköz, berendezés felől érkező információ értelmezésében. Navigáció-ellenőrző műszernek felel meg. Számos változata létezik, de gyakorlatilag mindegyik ugyanazt a funkciót látja el és sokféle-képpen, különböző módon konfigurálható, többek között a következők megjelenítésére:

- géptengelyirányszög (heading indication);
- rádiómágneses irányszög (RMI⁴⁷);
- útirányszög (track indication);
- hatótávolság (range indication);
- szélesebbesség és szélirány (wind speed and direction);
- VOR, DME, ILS, ADF [3].

Összesen kilenc féle módon mutathatja ki a navigációs adatokat, attól függően, hogy az EFIS vezérlőpanelén melyiket választjuk ki a HSI szekcióban:

- MAP. Ez az utazórepülésben leggyakrabban használt, útközbéli navigációs információt szolgáltató mód az EHSI-n. A repülőgép előtt lévő, az útvonalat keresztező, vagy annak közelében lévő körülményeket mutatja szimbólumokkal, ábrákkal, egy repülőgép sziluettal az alján. Megjelenítésére egy példa a 7. ábrán látható.
- CTR MAP. Gyakorlatilag ugyanaz, mint a MAP mód, azonban itt a kijelző központosítja a repülőgép aktuális helyzetét, így a repülőgép sziluett középen van.

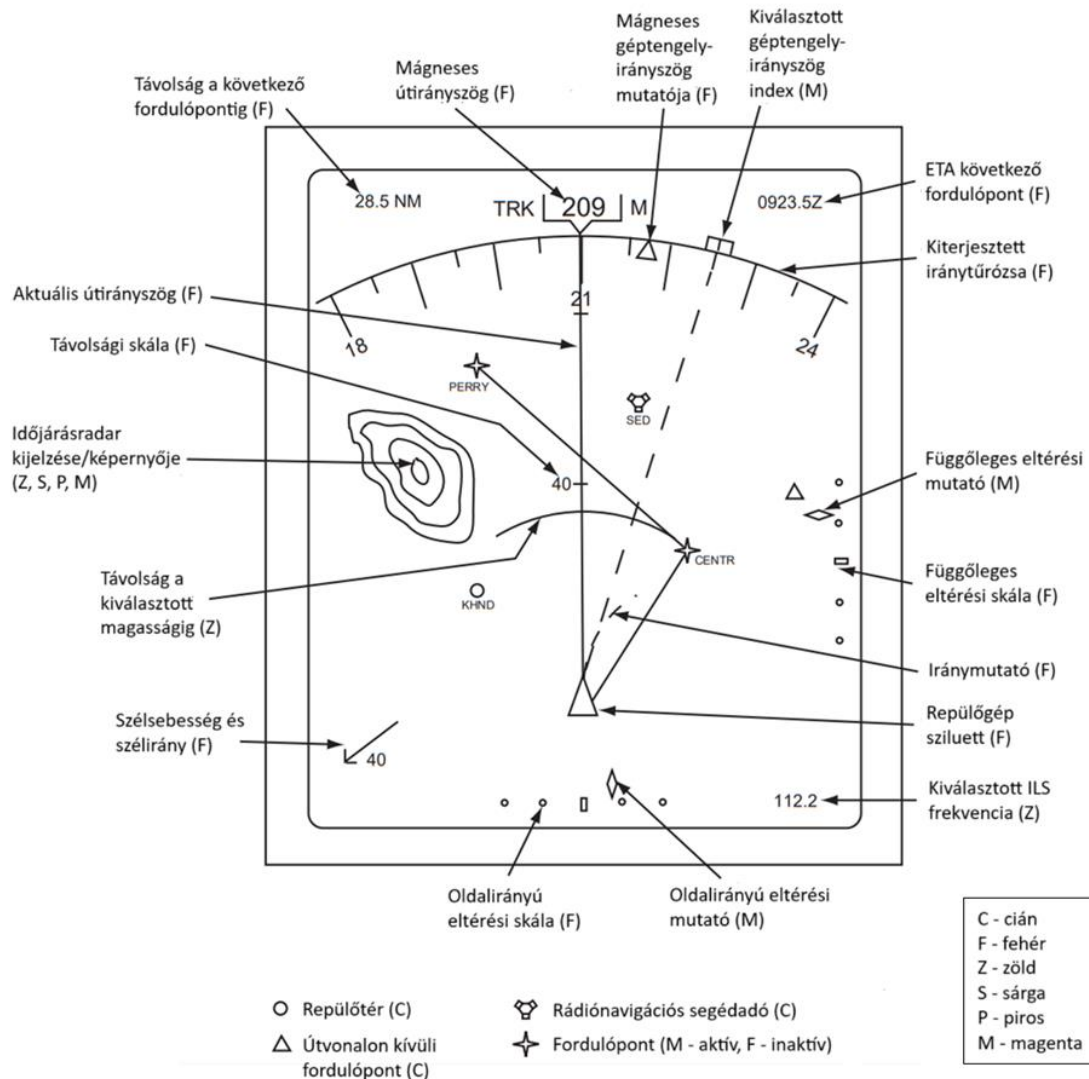
⁴⁷ Radio magnetic indication

- PLAN. Kijelzi az útvonalat a fordulópontokkal együtt, elsősorban akkor használják, amikor a repüléskoordináló- és optimalizáló rendszer számítógépébe táplálnak új fordulópontot a repülés megkezdése előtt, vagy ha az útvonal terven akarnak változtatni.
- FULL VOR/FULL ILS. Ezek a kijelzők alapvetően azonosak és egy iránytű rózsát mutatnak irány- és eltéréskijelzésekkel, hagyományos formátumokat követve (egységesek). Az út-irányszög rádió irányadó irányszöggel vagy ILS irányávval való egyeztetésénél használják.
- EXP VOR/ILS. Kibővített VOR/ILS módban a kijelző olyan, mint az előbbiben, csak féltérképes formátumban. A kijelző tetején csak az iránytű rózsza lényeges szegmense jelenik meg egy géptengely-irányszög mutatóval. A repülőgép aktuális (pillanatnyi) pályája a repülőgép sziluettől az iránytű tárcsa ívéig egybefüggő vonalként jelenik meg. A kiválasztott navigációs segédrendszer – ILS vagy VOR – irányszöge szintén egy folytonos vonalként jelenik meg az eltérési skála közepétől az iránytű tárcsa ívéig.
- EXP NAV/FULL NAV. Ez a két mód oldalirányú és függőleges navigációs adatokat mutat ki nagyjából ugyanúgy, mint egy hagyományos HSI kijelző. A kibővített NAV mód csak egy iránytű tárcsa ívet, míg a teljes NAV mód egy egész iránytűrózsát mutat és nem engedi az időjárás radar kijelző felülre helyezését csak úgy, mint a full VOR/ILS módok esetében [5].

4.4.1. MAP mód

65°S és 73°N földrajzi szélességek között a kiterjesztett iránytűrózsát szükség szerint lehet mágneses földrajzi, vagy tényleges földrajzi északhoz vonatkoztatni, ezeken kívül viszont csak a ténylegeshez. A géptengelyirányszög adatok a tehetetlenségi helyzetmeghatározó rendszerből vannak ki-mutatva és a mágneses géptengely-, illetve útirányszög mutatók természetesen csak akkor fognak megegyezni, ha nincs széleltérítés. A függőleges eltérési skála és mutató jelzi, hogy a repülőgép a tervezett repülési útvonalmagasság felett vagy alatt repül, az oldalirányú eltérési skála és mutató pedig azt, hogy a tervezett repülési útvonaltól jobbra, vagy balra (milyen irányba) tér el. A szélesség és szélirány a 7. ábrán felvázolt kijelző esetében a bal alsó sarokban egy értékkel és nyíllal jelenik meg digitálisan, az útirányszöghöz igazítva. A pillanatnyi útirányszög a háromszög alakú repülőgép szimbólum csúcsától az iránytűrózsáig terjedő, egybefüggő vonalként jelenik meg. Magasságváltoztatáskor, egy új magasság kiválasztásánál új ívjelzés jelenik meg, amely megmutatja, hogy az aktuális emelkedési/süllyedési sebességgel számolva mekkora távolság megtétele után lehet elérni az adott magasságot. Géptengelyirányszög változtatás közben egy ívelt, szaggatott, változó irányt mutató vektor mutatja a jelenlegi helyzethez képest 30, 60 és 90 másodperc múlva várható géptengelyirányszöget. A tervezett repülési útvonalat egy folyamatos vonal ábrázolja a repülőgép szimbólum csúcsától a következő, valamint az azt követő fordulópontokig. A földön lévő tereptárgyakat, így például a rádiónavigációs berendezéseket és a repülőtereket is az FMS helyezi

el a kijelzőn a VOR/DME állomásokból nyert adatok alapján, továbbá ezek és az INS⁴⁸ (vagy IRS) adatok alapján van meghatározva a repülőgép helyzete. A VOR/DME állomások lefedettségének hatótávolságán kívül a helyzet csak az INS/IRS-ből van kimutatva, viszont szükség esetén manuálisan is frissíthető. Az időjárásradar kijelzőt a MAP kijelző fölé lehet helyezni, a radarjelzéseket pedig sorrendben zöld, sárga és piros színnel jelzi intenzitás szerint. Egyes kijelzők az előre jelzett turbulenciát is mutatják fehér vagy magenta színnel, nagyon erős intenzitású visszatérített radarjelek alapján [5].



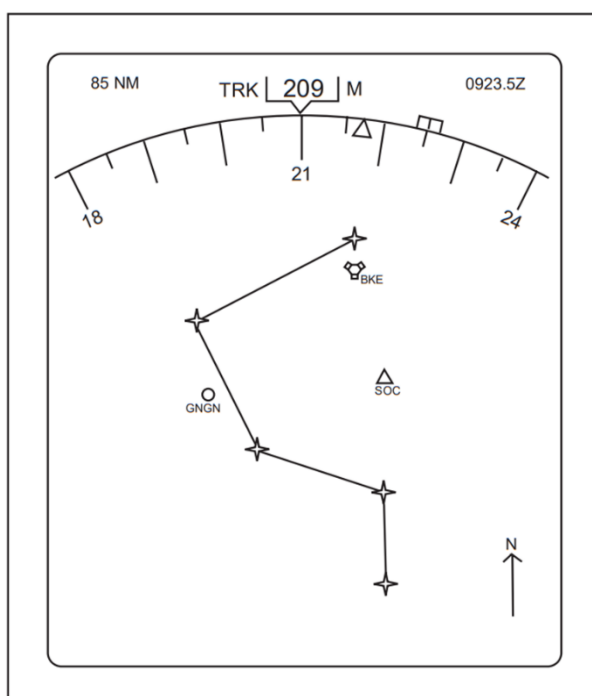
7. ábra EHSI MAP mód [5] Szerkesztette: Solymossi László

4.4.2. PLAN mód

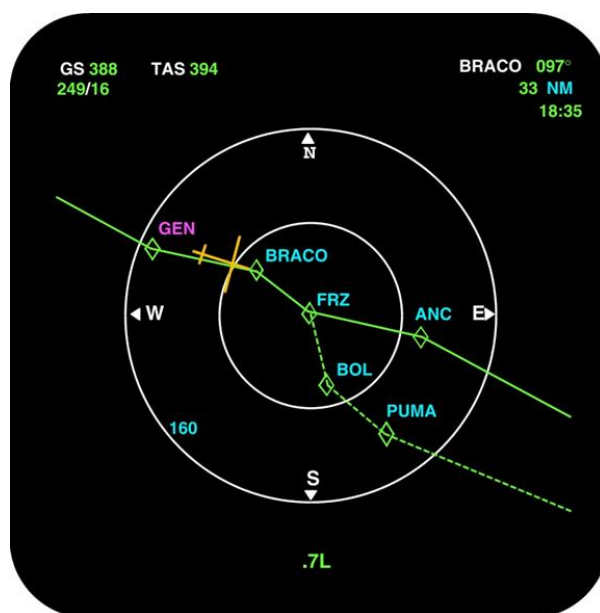
Elsősorban repülési terv bevitelére, vagy módosítására szolgál fordulópontok beillesztésével (8., 9. ábrák). Az aktív útvonal útvonalpontonként a kijelző alsó részén van, földi rádióadók, repülőterek és egyéb fontos pontok útvonalhoz viszonyított elhelyezkedésével együtt. Meg kell

⁴⁸ Inertial Navigation System

jegyezni, hogy ebben a módban a kijelző a tényleges földrajzi északhoz van viszonyítva. A szélsébséget és szélirányt, valamint az időjárásradart PLAN módban nem lehet egymásra helyezni. Csak úgy, mint a MAP módnál, a kiterjesztett iránytűrózsa itt is megmarad, (tényleges) útirányszöggel és géptengelyirányszöggel, a következő fordulópontig hátralévő távolsággal és idővel együtt. Ez a mód különösen hasznos ellenőrző eszköz lehet fordulópont koordináták beillesztésekor, FMC⁴⁹-be történő bevitelük előtt [5].



8. ábra EHSI PLAN mód [5]

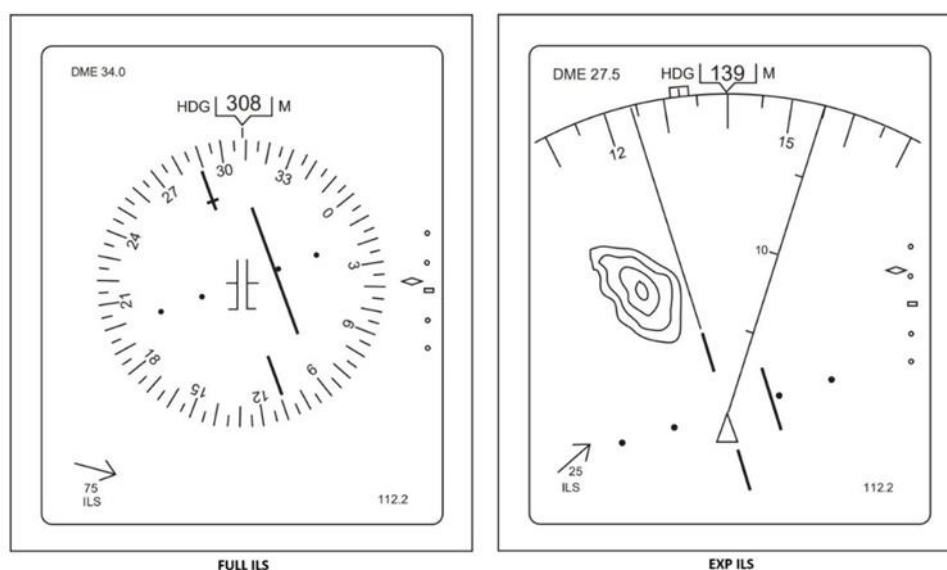


9. ábra Az A320-as típuscsalád ND kijelzőjének PLAN módja [8] Szerkesztette: Solymossi László

⁴⁹ Flight Management Computer

4.4.3. ILS mód

Ebben a módban a teljes és kiterjesztett kijelzés lehetséges. Elsősorban bejövétel során kell használni őket. Teljes módban (FULL ILS) egy teljes iránytűrózsa tölti ki a kijelző középső részét egy repülőgép sziluettel, illetve ezekre rá van helyezve a repülőgép ILS irányához viszonyított helyzetét jelző irányávától való eltérési skála és mutató. Az iránytűrózsa, amelyet az IRS bemenete vezérel, irányváltoztatás közben forog. A tetején lévő géptengelyirányszög mutató ez alatt le van fixálva, nem mozdul. A géptengelyirányszög értéke (mágneses vagy tényleges) a mutatón belül jelenik meg digitálisan. A kijelző (10. ábra) bal felső sarkában látható a DME távolság, bal alsó sarkában a szélesebbesség és szélirány (illetve alatta egy emlékeztető ILS felirat), jobb alsó sarkában a kiválasztott rádiójeladó (ebben az esetben ILS) frekvenciája, jobb oldalt a függőleges eltérési skála és mutató (siklópályához viszonyított helyzetjelzéshez). Kiterjesztett ILS módot választva (EXP ILS) kiterjesztett iránytűrózsát kapunk a kijelző tetején (mint MAP vagy PLAN módban), digitális vagy analóg (ábrázolt) formájú géptengelyirányszöggel. Ezeken kívül a kijelző hasonlít a FULL ILS mód esetéhez (11. ábra). Alsó részén egy féltérképes megjelenítés van egy háromszög alakú repülőgép sziluettel, amely közel az alján helyezkedik el. Az oldalirányú eltérési skála közepe keresztezi a sziluett csúcsát és egy folyamatos vonallal meg van meghosszabbítva a kiterjesztett iránytűrózsa skáláig, ezzel mutatva a rádiójeladó irányszögét. A sziluett csúcsából az iránytűrózsaig egy pillanatnyi útirányszöget mutató, másik folyamatos vonal is megjelenik távolsági beosztással. Új géptengelyirányszög kiválasztásánál szaggatott vonal jelenik meg egy rövid ideig a sziluettcsúctól a géptengelyirányszög indexig. Időjárásradar kijelzést a kijelzőre lehet helyezni ILS módban, ha szükséges [5].



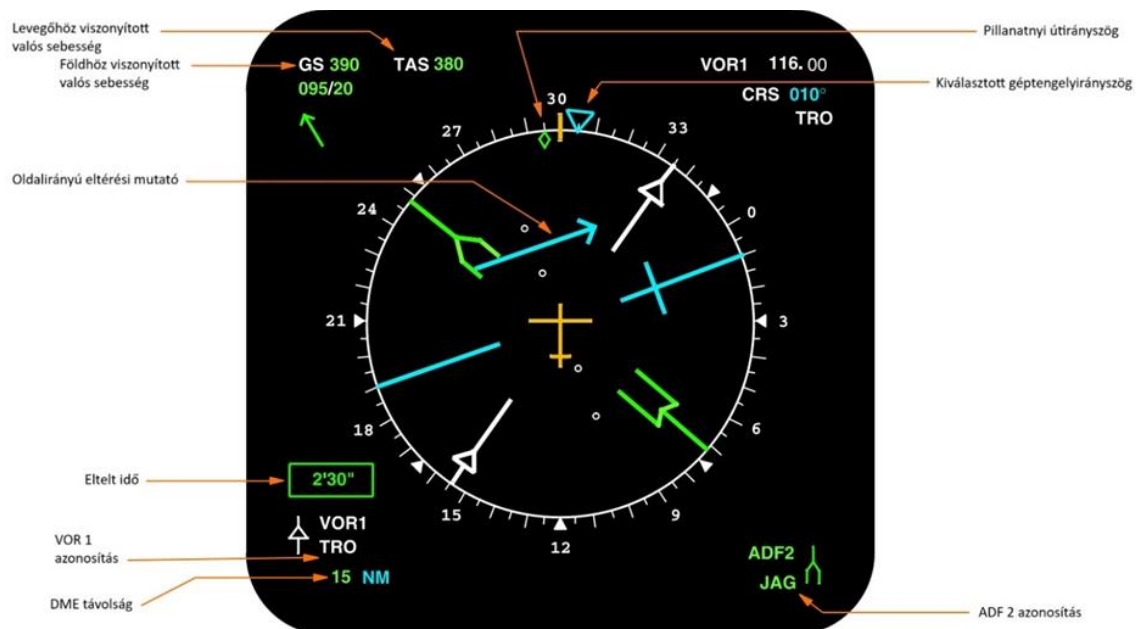
10. ábra EHSI FULL ILS és EHSI EXP ILS mód [5] Szerkesztette: Solymossi László



11. ábra Az A320-as típuscsalád ND kijelzőjének ILS módja [8] Szerkesztette: Solymossi László

4.4.4. VOR mód

A teljes (FULL) és kiterjesztett (EXP) VOR módú kijelzők lényegében ugyanolyanok, mint a fentiekben leírt ILS kijelzők. Hasznosak lehetnek útirányszög és géptengelyirányszög ellenőrzésnél egy kiválasztott VOR/DME jeladóhoz viszonyítva. Jellemző különbség más kijelzőkhöz képest, hogy ezek felismerik az adott rádiójeladóhoz tartást (to), vagy az attól való távolságot (from). Ezekben a módokban nincs függőleges iránytartási kijelzés [5].



12. ábra Az A320-as típuscsalád ND kijelzőjének VOR módja [8] Szerkesztette: Solymossi László

4.5. A PFD, ND és MFD⁵⁰ összehasonlítása

Korábban utaltam rá, hogy ezek a kijelzők EADI és EHSI megnevezésűek is lehetnek. Ezek és az MFD közötti összehasonlításra teszek próbát a következőkben. Közös tulajdonságuk, hogy az EFIS-hez tartozó színes CRT vagy AMLCD elektronikus kijelző egységek lehetnek, így ez a továbbiakban nem kerül említésre. Az összehasonlítással egyúttal összefoglalom az eddigieket, az EFIS rendszerben lévő AMLCD (korábban CRT) kijelzőket.

4.5.1. PFD

Összetett repülésellenőrző műszeregységként határozható meg. Kijelzi a repülőgép különböző helyzeteit (hosszdőlés/bólintási helyzet, bedöntés, csúszás), különböző repülési paramétereket (sebességadatok, magasságadatok, nyomásadatok), a robotpilótára vonatkozó adatokat (FMA), illetve különböző, navigáláshoz és bejövetelekhez/megközelítésekhez szükséges repülésvezérlési parancsokat rádiójeladók/leszállító rendszerek (például VOR, DME, ILS, PAR⁵¹, TACAN⁵²) vagy műholdak segítségével (RNP⁵³).

4.5.2. ND

Sík képet vetít ki a vízszintes helyzetjelzésről, navigációt ellenőrző műszeregységként határozható meg. A rajta megjelenő adatok a következők lehetnek: mágneses vagy tényleges géptengelyirányszög és útirányszög, VOR, ILS vagy RNAV irányszögek és eltérések, navigációs forrásból való kijelzések, „-tól/-ig”, távolság/irány, hátralévő idő, eltelt idő, irányszög- és forrás-kijelzés egy másodlagos navigációs forrásból, illetve időjárásradar információ. Utóbbi információt megközelítés közben, vagy útközben is lehet használni a kijelzőn, amit viszont nélküle is lehet működtetni. Az egyéb működtetési paramétereket (például földhöz viszonyított sebesség vagy széladatok) a DSP segítségével lehet kiválasztani.

4.5.3. MFD

Nevéből adódóan többféle, alapvetően eltérő információt mutató kijelzőként tud üzemelni. Erre példa a képes navigációs térkép, checklist-ek, illetve az időjárásradar (amelyben a zöld, sárga és piros színek egyre növekedő vihar intenzitást ábrázolnak). Előnye, hogy egy másik kijelző meghibásodásakor képes azt helyettesíteni (akár PFD, vagy ND kijelzőt), míg erre a PFD/ND önmagában nem képes, tehát összefoglalva ez és a multifunkciós képessége a nagy előnye az utóbbi két kijelzőhöz képest. Az MFD más rendszerek kijelzőit is megjelenítheti. Például az

⁵⁰ Multifunction Display

⁵¹ Precision Approach Radar

⁵² Tactical Air Navigation

⁵³ Required Navigation Performance

EICAS rendszer másodlagos kijelzőjét is szokták MFD-nek hívni, annyira sokféle felületet és adatot képes megjeleníteni (lásd később). A gurulást mutató kamerarendszertől érkező képeket/videót is képes kivetíteni. Olyan repülőgép is van, amelyben csak ilyen fő kijelzők vannak, például a C-17-es típus (13. ábra) [11].



13. ábra A SAC⁵⁴ program keretében Pápán állomásozó, F-207 SAC-01 oldalszámú C-17-es katonai szállítórepülőgép és négy MFD kijelzője. Képet készítette: Martényi Tamás (Pápa, 2009.)

4.6. A DSP, DPU, MPU, WXP és FDS⁵⁵ rendszerek

4.6.1. DSP

A képernyőt kiválasztó panel lehetővé tesz navigációs szenzorkiválasztást, irányszögmutató kiválasztást, formátumkiválasztást, navigációs adatkiválasztást (földhöz viszonyított sebesség, idő, szélirány/szélesség), VNAV kiválasztást (ha a repülőgépen van ilyen rendszer), időjárással kapcsolatos vagy másodlagos navigációs forrást az ND kijelzőn. Egy „DH SET” kiválasztó is van rajta a PFD-n lévő elhatározási magasság beállításához. Ezen kívül az útvonalirányszög és a géptengelyirányszög kiválasztása is ezen a panelen történik. Az EICAS (lásd később) vezérlőpanelére is szoktak utalni DSP néven [3], [5].

⁵⁴ Strategic Airlift Capability

⁵⁵ Flight Director System

4.6.2. DPU

A képernyő feldolgozóegység feldolgozza az érzékelők bemeneteit, videójeleket szolgáltat, így táplálja az elektronikus kijelzőket. Egyszerre két kijelzőt is képek ellátni, például egy PFD-t és egy ND-t egyszerre [3].

4.6.3. MPU

Az MFD kijelzőket látja el ugyanolyan módon, mint a DPU. Ha egy, vagy mindkét DPU meghibásodik, a feladatát átveszi és a PFD/ND kijelzőket ezt követően ez az egység látja el [3].

4.6.4. WXP

Az időjárásradar-panel (WX=időjárás, P=panel) lehetővé tesz üzemmód kiválasztást (OFF, STBY, TEST, NORM, WX, MAP), hatótávolság kiválasztást (10, 25, 50, 100, 200, 300 tengeri mérföldre), illetve vezérlést az időjárásradar képernyőjéhez az ND vagy az MFD kijelzőn, amikor az „RDR” (radar) van kiválasztva az MFD-n és/vagy a DSP-n [3].

4.6.5. FDS

A repülési pályavezérlő rendszer fő részei az eddig tárgyalt EADI és EHSI, kiegészítve egy üzemmód kiválasztóval (mode selector) és a repülési pályavezérlő rendszer számítógységével. Az EFIS műszerek kimeneteit egyesíti, hogy a repülőgép repülési útvonala egy könnyebben értelmezhető módon jelenjen meg. A műszerekből kinyert információt összehasonlítva az előre beprogramozott repülési útvonallal a rendszer automatikusan ki tudja számítani a szükséges repülésvezérlést a kívánt útvonal eléréséhez és megtartásához [3].

Az FDS a következőktől szerez információt:

- függőleges pörgettyű;
- VOR-/iránysáv-/siklópályavevő;
- rádiómagasságmérő;
- irányszög rendszer;
- barometrikus szenzorok [3].

A repülési pályavezérlő rendszer számítógysége az ezekből érkező adatokat repülésvezérlési információt továbbításához használja, amely lehetővé tesz:

- kiválasztott géptengelyirányszögön repülést;
- előre meghatározott bólintási helyzetben repülést;
- magasságtartást;
- kiválasztott VOR útirányszög elfogását és annak tartását;
- ILS siklópályán/iránysávon való repülést [3].

A repülési pályavezérlő rendszer vezérlőpultja egy üzemmód kiválasztó kapcsolóból és egy olyan vezérlőpultból áll, amely az FDS által használt bemeneti információkat szolgáltatja. A bólintási utasítás/vezérlés funkciója előre beállítja a repülőgép bólintási szögét emelkedéshez vagy süllyedéshez. Ezt követően az utasításmutatók a számított bólintási helyzetet mutatják az előre beállított bólintási szöggel történő repüléshez. A pilóta sokféle mód közül választhat itt is, beleértve: HDG⁵⁶ mód, VOR/LOC (iránysávkövető) mód, illetve AUTO APP vagy G/S mód (ILS és siklópálya automatikus elfogása és követése). AUTO módban egy bólintási helyzetet teljesen automatikusan kiválasztó számítógép irányít önállóan, amint a pilóta elérte az ILS siklópályát, közben számításba veszi a repülőgép teljesítményét és az időjárási körülményeket (széladatokat). Az elmúlt években a repülési pályavezérlő rendszerek egyre kifinomultabbak lettek [3].

⁵⁶ Heading

5. AZ EICAS ÉS ECAM AVIONIKAI RENDSZEREK

A központi elektronikus repülőgépállapot megfigyelő rendszer (ECAM) az Airbus típusú repülőgépekre gyártott hajtómű- és egyéb rendszereket ellenőrző, figyelmeztetések kijelzésére szolgáló rendszer, amely két kijelzőből áll. Először az A310-es típuson használták, amelyen még csak rendszerellenőrző ábrákat és figyelmeztető üzeneteket jelenített meg, a hajtómű paramétereit csak később tudták a rendszerbe integrálni. A Magyar Honvédség típusai közül az A319-es típuson található meg, a külföldön lévő repülőgépek közül pedig a nagyobb légierőknél rendszeresített A330 MRTT⁵⁷ katonai repülőgép jó példa rá [3], [7], [8].

A hajtómű-ellenőrző és személyzetfigyelmeztető rendszer (EICAS) alapvetően a Boeing típusú repülőgépekre gyártott rendszer, amelyhez szintén két kijelző tartozik. A Boeing cég a 757-es és a 767-es típusokon kezdte alkalmazni. Gyakorlatilag az Airbus ECAM rendszerével ekvivalens, illetve az Embraer, vagy a Canadair típusokon is előfordul [7], [12], [13], [14].

A 2. ábrán az ECAM rendszer két kijelzőjének elhelyezkedése szintén látható. EICAS rendszert használó típuson is ugyanígy középen, egymáson, függőlegesen helyezkednek el az EICAS kijelzők, ahol mindkét pilóta számára egyszerűen láthatók. Tartalmuk hasonló mindkét rendszerben. A felső (elsődleges) kijelző mutatja a fő hajtómű-paramétereit, a tüzelőanyag-fogyasztással kapcsolatos adatokat, a felhajtóerőt elősegítő szerkezetek állapotát (a fékszárnny és orrségédszárnny pozícióit) egyéb információval együtt. Az alsó (másodlagos) kijelzőn bármely rendszer meghibásodása, annak következményeivel kapcsolatos adatok jelennek meg további kiegészítő adatokkal együtt. Az ECAM és EICAS rendszerek közötti különbségeket nézve a különböző gyártóknál és típusoknál való felhasználás nem az egyetlen. Nagy eltérésnek számít, hogy míg az EICAS kijelzői csak figyelmeztető üzeneteket mutatnak, addig az ECAM kijelzői emellett rögtön kimutatják az ajánlott ténykedést is. Ez az ajánlás az EICAS kijelzőn csak a „STATUS” mód kiválasztásakor látható, ECAM esetében ez a lépés nem szükséges. Ezen kívül a funkciók kiválasztása eltérő, valamint az ECAM kijelzőkön sokkal több az illusztráció. Az ECAM/EICAS rendszer bevezetése redukálta a személyzetet két pilótára, ugyanis eddig az ezekhez kapcsolódó feladatokat a fedélzeti mérnök látta el. Összefoglalóan mindkét rendszer lényeges elem, segíti a pilóták munkáját, éberségét, feladatmegoldását, helyzetismeretét, ezzel a humán tényezőhöz nagyban hozzájárul [3], [5], [11], [12], [15], [17].

Az alábbiakban mindkét rendszer által kimutatott adatok lettek összegyűjtve. Köztük előfordul olyan adat is, amelyet az LCD kijelzőn kerek műszer alakú rajzzal, az analóg formát utánozva jelenítenek meg. Az elsődleges kijelző tartalma lehet:

⁵⁷ Multi Role Tanker Transport

- hajtóműnyomaték, hajtómű nyomásviszony (EPR⁵⁸);
- fokozatok közötti turbinahőmérséklet (inter-stage turbine temperature);
- kisnyomású kompresszor, valamint kis- és nagynyomású forgórész fordulatszámok (N1, N2, N3) (a másodlagos kijelzőn is megjelenhetnek);
- olajnyomás, olajhőmérséklet;
- kiáramló gázhőmérséklet (EGT⁵⁹);
- tüzelőanyag átfolyása, fogyasztása, mennyisége;
- hajtómű vibráció;
- hidraulikanyomás és -mennyiség (a másodlagos kijelzőn is megjelenhetnek);
- futómű és kormányfelületek pozíciója (a másodlagos kijelzőn is megjelenhetnek);
- figyelmeztető rendszerüzenetek (színkódolt a fontossági sorrend alapján) [3], [5], [11], [16].

A másodlagos kijelző rendkívül sokrétű információt képes megjeleníteni, ezért MFD kijelzőként is felfogható. Tartalma lehet:

- segédhajtómű (APU⁶⁰);
- kabinnyomás, jégtelenítőrendszer;
- tüzelőanyag- és hidraulika-rendszer;
- repülésvezérlési beállítások;
- kommunikációs adatok és elektronikus checklistek;
- egyenáramú és váltóáramú, elektromos rendszeradatok [3], [5], [11].

5.1. Az EICAS működése

A kivetítésért két számítógép felel, amelyek folyamatos adatellátást kapnak a hajtóművek felől és a különböző rendszerektől. Mindig egy számítógép vezérli a rendszert, a másik tartalékként marad meg. A kijelzők az EICAS adatátalakító egységén (DCU⁶¹) keresztül szerzik meg az adatbusz bemeneteken / érzékelőkön beérkező információhalmazt (beleértve például az ARINC⁶² 429-est, egy népszerű adatbuszt), amely az EICAS kijelzőkön kívül a többi kijelzőhöz is továbbítva van [3], [5].

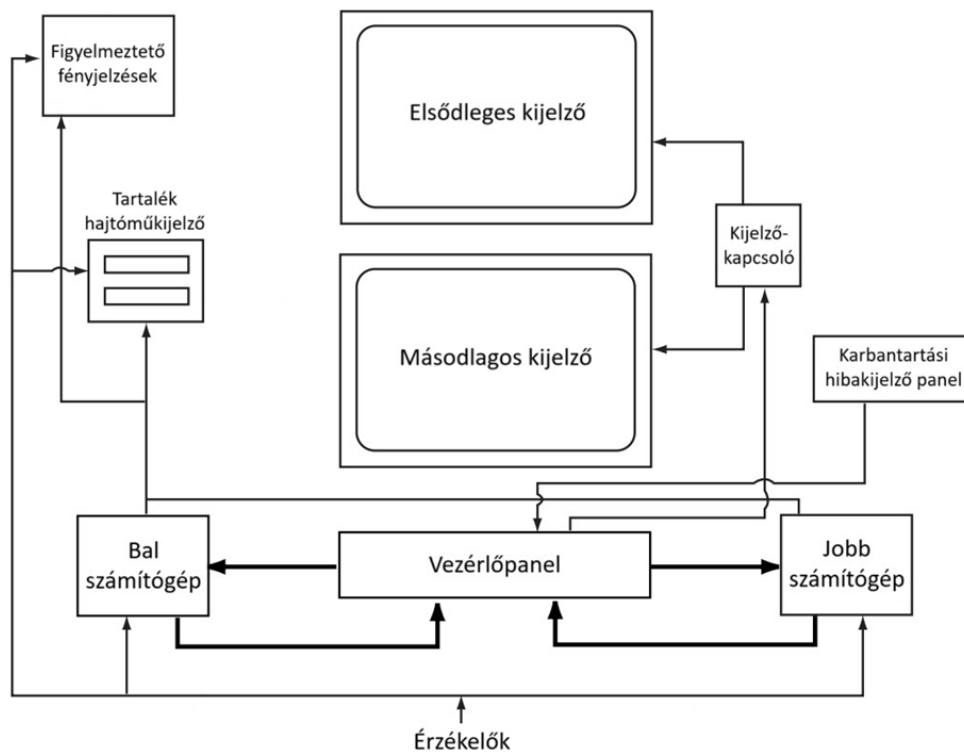
⁵⁸ Engine Pressure Ratio

⁵⁹ Exhaust Gas Temperature

⁶⁰ Auxiliary Power Unit

⁶¹ Data Conversion Unit

⁶² Aeronautical Radio, Incorporated



14. ábra Az EICAS rendszer sematikus ábrája [5] Szerkesztette: Solymossi László

A pilóták egy kijelző kiválasztópanelen/vezérlőpanelen (14. ábra) keresztül választhatnak ki egy módot a kettő közül (operational, status). Egy harmadik mód is elérhető (maintenance) karbantartók számára [5], [7].

5.1.1. Használati mód (operational)

Repülés közben ebben a módban van a rendszer. Az elsődleges kijelző a fent leírt hajtómű- és egyéb paramétereket mutatja és normális körülmények között csak ez látható. Ha egy hajtómű-hiba vagy rendszerellenes működési állapot alakul ki, egy annak megfelelő figyelmeztetés jelenik meg az elsődleges kijelző bal oldalán egy sor mutatóval együtt, amelyek a másodlagos kijelzőre irányítják a figyelmet, ahol a hiba természete, háttere részletezve van. A figyelmeztető üzenetek az EICAS számítógépe által fontossági/sürgősségi sorrendbe vannak állítva, ha több jelenik meg, továbbá a rendszer minden újan megjelenő hibát a sorrendnek megfelelő szintjére ír ki, ezzel egyidőben a korábbi üzenetek egy sorral lejjebb kerülnek. Ha több üzenet jön létre, mint amennyi egyszerre kijelezhető, akkor a legalsó eltűnik és egy másik oldalon lesz látható, amit egy fehér szám mutat a jobb alsó sarokban. Ha egy hiba megszűnik, az üzenet magától eltűnik és az alatta lévő szöveg ugrik fel a kijelző tetejére. Az azonnali ténykedést sürgető üzenetek (warning) a kijelző tetején piros színnel (például hajtóműtűz), az azonnali figyelmet vagy rövid időn belüli korrekciót igénylő üzenetek (caution) és az egyszerű tájékoztató üzenetek (advisory) (borostyán)sárga színnel jelennek meg. Utóbbiak beljebb kezdődnek, hogy így elkülöníthetőbbek legyenek a többi jelzéstől (15. ábra).



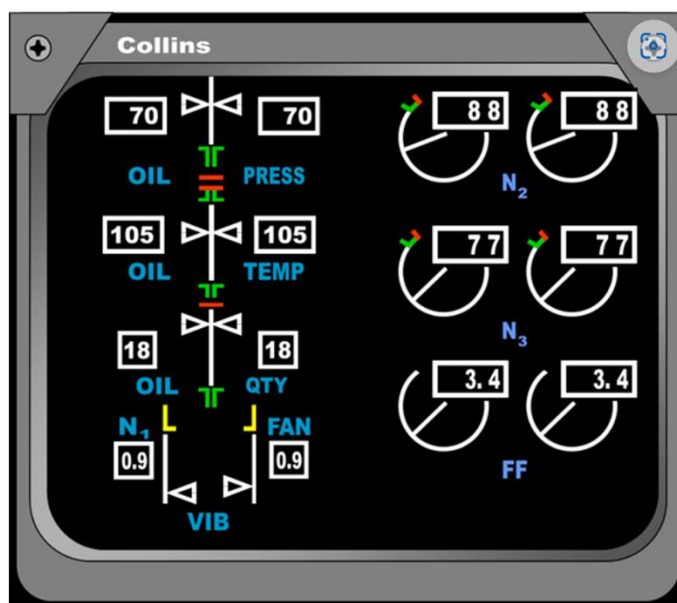
15. ábra Az elsődleges EICAS kijelző összetettebb figyelmeztető üzenetekkel [16]
Szerkesztette: Solymossi László

Az első két típusú üzenet közül van olyan figyelmeztetés, amelyet szóbeli tájékoztatás és „master warning” vagy „caution” fényjelzés követ. Ekkor két lámpa jelez és ezek addig világítanak, amíg a hiba oka megmarad vagy a jelzés gombját meg nem nyomják. Mindegyik üzenetet hangjelzés kísér, kivéve a legutóbbiakat (advisory). Az üzenetek sorrendje megváltoztatható a „cancel” vagy „recall” gombokkal. Cancel gombbal a caution és advisory besorolású üzenetek el is távolíthatók. Ezt nem lehet megtenni a warning üzenetekkel. Cancel gombbal oldalt is lehet váltani, viszont a warning üzenetek ekkor is a kijelzőn maradnak. Ha az utolsó oldalon vagyunk, megnyomásával eltűnik az utolsó caution vagy advisory üzenet. A recall gomb megnyomásával a kitörölt előzmények visszakérhetők, ekkor a bal alsó sarokban megközelítőleg egy másodpercig fehér felirat figyelmeztet. Az új figyelmeztetéseket azon az oldalon jeleníti meg a rendszer, amelyiket nézik. Ha a recall gombot ezután nyomják meg, az új figyelmeztetés az első oldalra kerül át [5], [7].

Van olyan repülési fázis, amelyben a figyelmeztető rendszer deaktiválódik, így nem vonja el a figyelmet feleslegesen. Az ezekkel kapcsolatos intézkedéseket hívjuk figyelmeztetésgátlóknak (inhibits). Azonos természetű hibáknál csak egy üzenet jelenik meg. Ha például egy ajtó maradt nyitva, akkor csak arra figyelmeztet, ha mindkettő, akkor nem külön-külön, hanem egy felirattal figyelmeztet. Néhány üzenet rövid ideig megszűnhet, míg a jelzőfényei megmaradnak [7].

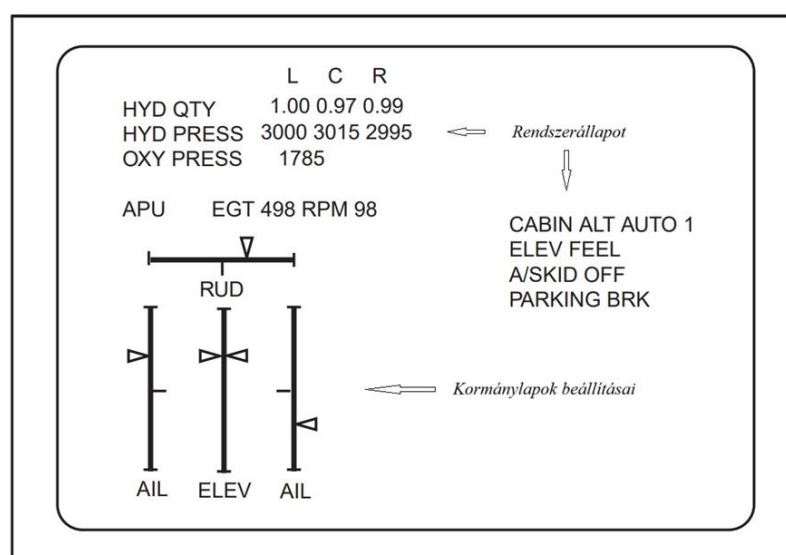
5.1.2. Állapotjelző mód (status)

Repülés előtti előkészületek alatt ebben a módban van a rendszer, a vizsgált rendszerek készenléti állapotát mutatja (16. ábra).



16. ábra A másodlagos EICAS kijelző egy másik változata [16]

A kijelzett információ a repülőgép minimálisan szükséges berendezéslistájával (MEL⁶³) van egyesítve és a másodlagos kijelzőn jelenik meg a „status” gomb lenyomásával, amelyre az irányító felületek (kormánylapok) beállítása/helyzete (bal alsó sarok), különféle rendszerjelző adatok (bal felső sarok), üzenetek vagy a fűkhőmérséklet (jobb alsó sarok) jelenhet meg.



Másodlagos kijelző status módban

17. ábra EICAS másodlagos kijelző állapotjelző (status) módja [5] Szerkesztette: Solymossi László

A rendszerjelzők mutatóival látszik az olajmennyiség, az oxigénnyomás, a hidraulika folyadék mennyisége és nyomása, az EGT, az RPM⁶⁴ vagy a segédhajtómű kiáramló gáz hőmérséklete (APU EGT) (18. ábra). A kijelző jobb oldalán fehér helyzetjelző üzenetek találhatóak, amelyek más műszeren nem észlelhető hibákat jeleznek. Ebben az esetben viszont nem fontossági, hanem észlelési

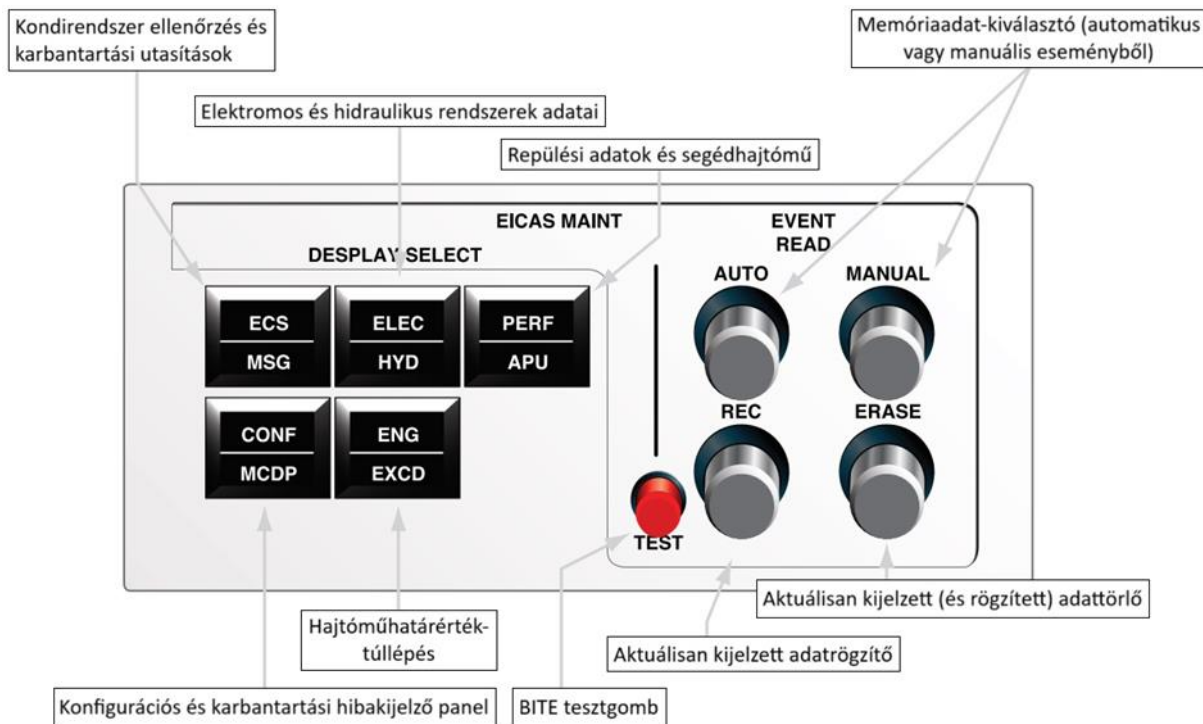
⁶³ Minimum Equipment List

⁶⁴ Rounds per minute



5.1.3. Karbantartó mód (maintenance)

Ezt az üzemmódot karbantartó mérnökök használhatják üzemhibák észleléséhez és csak a földön lehet használni. Rögzíti és kijelzi a hajtóművek és rendszerek által korábban továbbított adatokat. A karbantartási adatok megjelenítéséhez külön vezérlőpanel tartozik (20 ábra) [5], [7], [11].



20. ábra EICAS karbantartó vezérlőpanel [11] Szerkesztette: Solymossi László

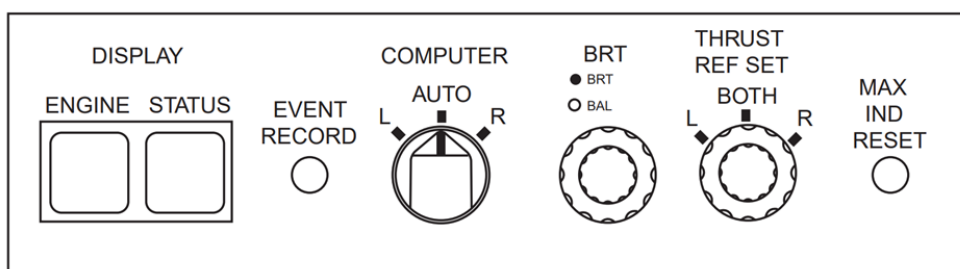
5.1.4. EICAS vezérlőpanel/kijelző kiválasztó panel

A 21. ábrán látható panel a szükséges EICAS kijelző kiválasztására szolgál és általában a középkonzolon, a kijelzők mellett található. A különböző kezelőszervek funkciója a következő:

- Kijelző nyomógombok („display”). A hajtómű („engine”) gomb lenyomásával másodlagos információ jelenik meg az alsó kijelzőn. Az állapotjelző („status”) gomb lenyomásával a fent leírt status mód jelenik meg.
- Adatrögzítő gomb („event record”). A repülés közbeni meghibásodások automatikusan vannak rögzítve és tárolva az EICAS számítógép memóriájában. Ha a személyzet valamilyen oknál fogva gyanítja, hogy hiba lépett fel, ennek a gombnak a lenyomásával kiemelhetők és rögzíthetők a számítógépből a releváns adatok a karbantartó személyzet általi későbbi vizsgálatok céljából. A karbantartó személyzet a korábban leírtak szerint, karbantartó módban, a karbantartó vezérlőpanelt használva nézheti meg a rögzített adatokat. Ehhez segítségül hívhatja a beépített tesztberendezés (BITE⁶⁵) számítógépeit is.

⁶⁵ Built-in Test Equipment

- Számítógép forgatókapcsolója („computer rotary switch”). A használni kívánt számítógépet lehet kiválasztani ezzel. „AUTO” pozícióban alapvetően a bal számítógép működik. „L” és „R” állásban a bal és jobb számítógépet lehet manuálisan kiválasztani, hiba esetén a rendszer automatikusan a jobb állásba kapcsol.
- Fényerősség-szabályozó (BRT⁶⁶). Ez egy kettős forgatógomb. A belső gomb szabályozza a kijelző intenzitását, a külső gomb a két kijelző közötti fényerő egyensúlyát.
- Tolóerőreferencia-beállító gomb („thrust reference setting”). Ez szintén egy kettős forgatógomb. A külső gombbal lehet kiválasztani egy hajtóművet (bal, mindekettő vagy jobb), a belső gomb meghúzásával és elforgatásával el lehet helyezni egy indexet/kurzort az EPR vagy N1 körskáláján.
- Határértékjelzés-visszaállító („maximum indicator reset”). Ha egy paraméter, például az olajhőmérséklet túllép egy előre beállított határértéket, figyelmeztetés jelenik meg az EICAS kijelzőn. Ha a túllépést megszüntették, a gomb lenyomásával törölni lehet a figyelmeztetést [3], [5], [11].



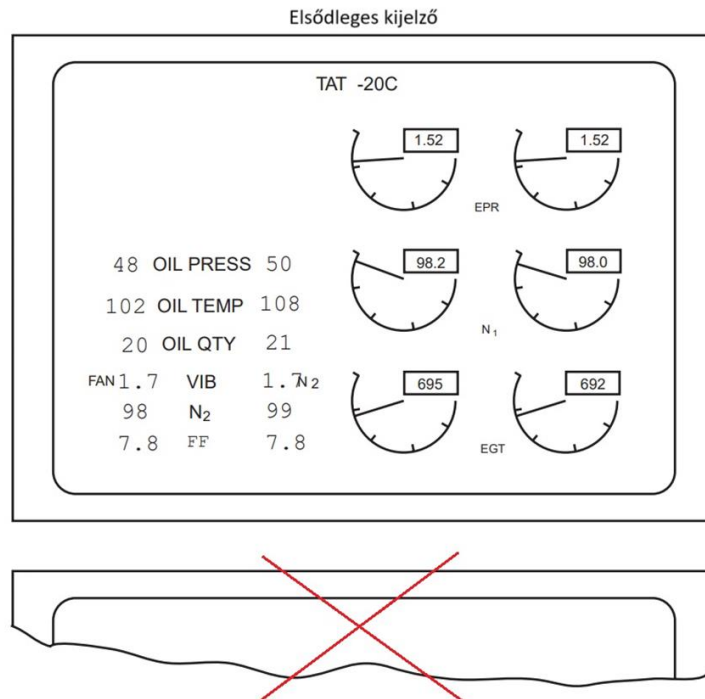
21. ábra EICAS vezérlőpanel [5]

5.1.5. Kényszerkijelzések

Korábban említésre került, hogy a kiszolgáló számítógép meghibásodásakor a tartalék számítógép fog működni a továbbiakban (automatikusan vagy a pilóták által manuálisan). Bármelyik kijelző meghibásodása az adott kijelző elsötétülését eredményezi, a kijelzések, figyelmeztetések ezután a működő kijelzőn jelennek meg. Ha ilyen hiba a másodlagos kijelzővel történik, a rajta lévő másodlagos információ az elsődleges kijelző alsó részén jelenik meg rövidített formában, így kialakul az összevont (tömörített) EICAS kijelzőmód (22. ábra).

Ez meggátolja az állapotjelző mód (status) használatát, amelyhez ezáltal csak a földön lehet hozzáférni, illetve a figyelmeztető üzenetek közül is csak a fontosabbak láthatóak (piros, borostyán). A vezérlőpanel esetleges meghibásodását az elsődleges kijelző jelzi, amely ekkor a másodlagos kijelzővel együtt a szokásos adatokat továbbra is mutatja, azonban a vezérlőpanel kapcsolói, valamint a cancel és recall kapcsolók ebben az esetben nem működnek.

⁶⁶ Brightness control

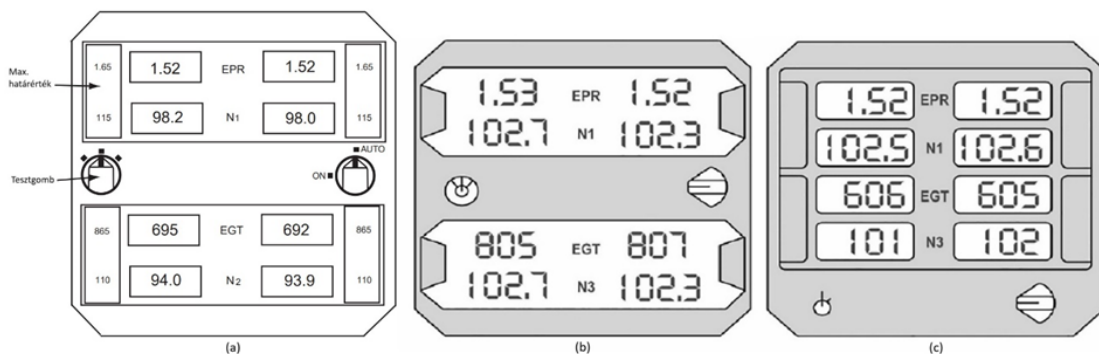


22. ábra Összevont EICAS kijelző a másodlagos kijelző meghibásodása után [5]

Szerkesztette: Solymossi László

Automatikusan megjelenhet az „EICAS CONT PNL” üzenet és az „EICAS full up engine mode” felirat. Mindkét kijelző, vagyis a teljes EICAS rendszer meghibásodása esetén automatikusan bekapcsol egy LCD vagy LED alapú kijelzővel rendelkező tartalék hajtómű kijelző (SEI⁶⁷) (23. ábra). Nem nyújt olyan szintű információt, mint az EICAS vagy EFIS rendszerek, csak a lényeges hajtómű paramétereket, a legfontosabb adatokat mutatja (EPR, EGT, N1, N2, N3). Egyik forgatógombja két pozícióval rendelkezik, AUTO pozícióban működik, de nem jelez kisemmit, hacsak egy EICAS kijelző meg nem hibásodik. ON pozícióban működik és megjelenít. Másik forgatógombja a tesztgomb, amelynek három pozíciója van és a SEI energiaellátásának tesztelésére szolgál [3], [5], [7].

Az EICAS kijelzők szintén színekódoltak, ugyanúgy, mint az EFIS kijelzők esetében a JAR Ops 25 Egységes Légügyi Előírásban meghatározottak szerint [5].



23. ábra Sematikusan ábrázolt (a), LCD (b) és LED (c) tartalék hajtómű kijelző [3], [5]

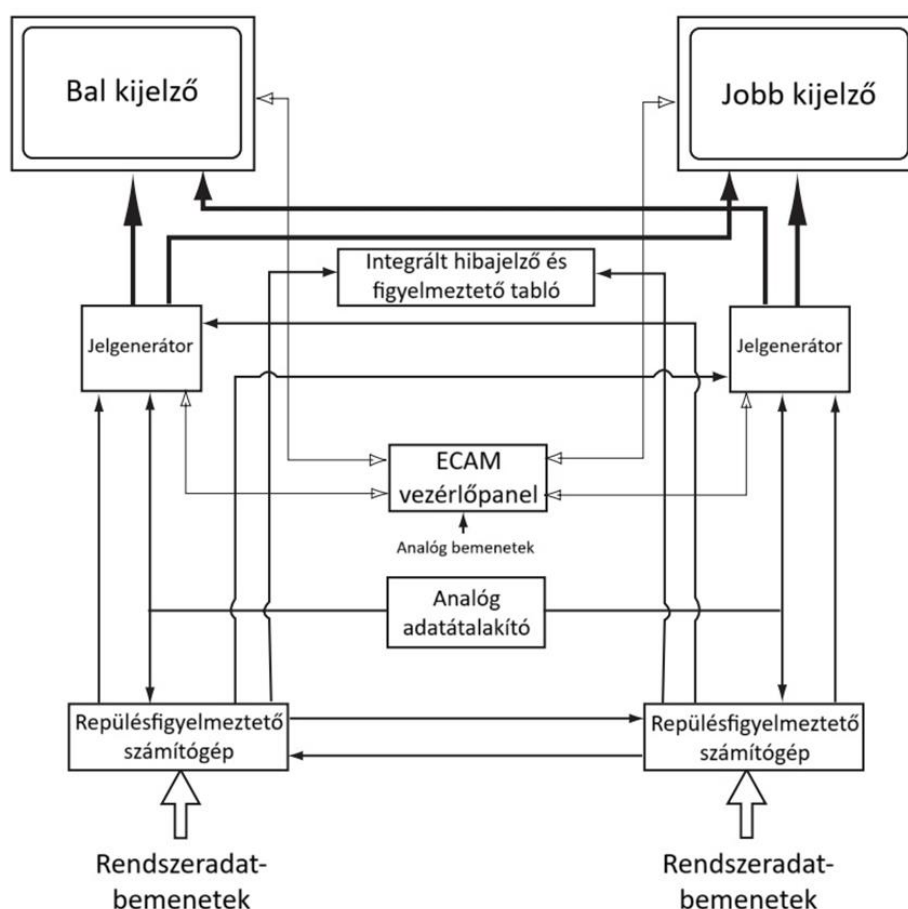
Szerkesztette: Solymossi László

⁶⁷ Standby engine indicator

5.2. Az ECAM működése

Korábban az ECAM rendszer kijelzői egymás mellett helyezkedtek el, azonban idővel a függőleges elhelyezkedés terjedt el, akárcsak az EICAS kijelzőknél [7]. Ezért, valamint mivel a rendszer kialakulásának történetét képezi, előfordulhat a dolgozatban, hogy egy ábrán vagy a leírásban jobb és bal oldali kijelzőről van szó, de ezeket ma már mind egymás feletti elrendezésben kell elképzelni.

A régebbi szakirodalomból átvett bal kijelző megfelel az új verzióknál a felső (elsődleges) kijelzővel, a jobb kijelző az alsóval (másodlagos). A bal kijelző a rendszerek állapotát, figyelmeztetéseket és ajánlott ténykedéseket (korrekciókat) mutat sorrendbe rakott ellenőrző lista (checklist) formájában, a jobb kijelző egy adott tárgyhöz hozzátartozó információt vetít ki, néhol képesen illusztrált, hagyományos (analóg) formájú ábrákkal. A hibajelzések az EFIS (és az EICAS) rendszerhez hasonlóan működnek, azonban kissé másképpen azonosíthatóak. Az Airbus ECAM rendszere a repülőgép rendszereiben zajló folyamatokat és azok állapotát folyamatosan felülvizsgálja, ellenőrzi a határértékeken belüli, illetve az azokat meghaladó paramétereket, majd a központi számítógépnek jelenti. Ezért a „tudni kell” logikája biztosítja, hogy a kijelzett információ minden pillanatban hiteles maradjon [5], [7], [17], [18], [19].



24. ábra Az ECAM rendszer sematikus ábrája [5] Szerkesztette: Solymossi László

Az ECAM rendszer négy kijelzőmóddal rendelkezik, közülük az első három automatikusan van kiválasztva, az utolsó módot alapvetően manuálisan lehet kezelni (különleges esetben ez is automatikus lehet):

- repülési fázishoz kapcsolódó mód („NORMAL”);
- tanácsadó mód („ADVISORY”) (mode és status opcióval);
- hibakijelző mód („FAILURE”);
- rendszervezérlő panel opciói („MANUAL”) [5], [7], [17].

Az első három automatikusan működő mód (NORMAL, ADVISORY, FAILURE) az elsődleges (bal/felső), a manuális mód a másodlagos (jobb/alsó) kijelzőre vonatkozik, tehát az első három mód közül a rendszer dönti el (automatikusan), hogy melyiket használja a felső kijelzőn, manuális módban pedig a pilóták választanak ki egy (ehhez tartozó) oldalt az alsó kijelzőn, amelyet az ECAM vezérlőpanelén tehetnek meg [5], [17]. (A továbbiakban a kijelzők a szövegrészben felső és alsó kijelzőként kerülnek említésre.)

5.2.1. NORMAL mód

Normális körülmények között, az aktuális repülési fázishoz igazított adatokkal és üzenetekkel van automatikusan kiválasztva a felső kijelzőn (például felszálláshoz, emelkedéshez, utazórepüléshez, süllyedéshez, megközelítéshez vagy leszálláshoz igazítva). Megjelenítésére példa a 25. ábra [17].



25. ábra Az A320-as típuscsalád ECAM rendszerének felső kijelzője NORMAL módban, leszállás közben [8] Szerkesztette: Solymossi László

5.2.2. ADVISORY mód

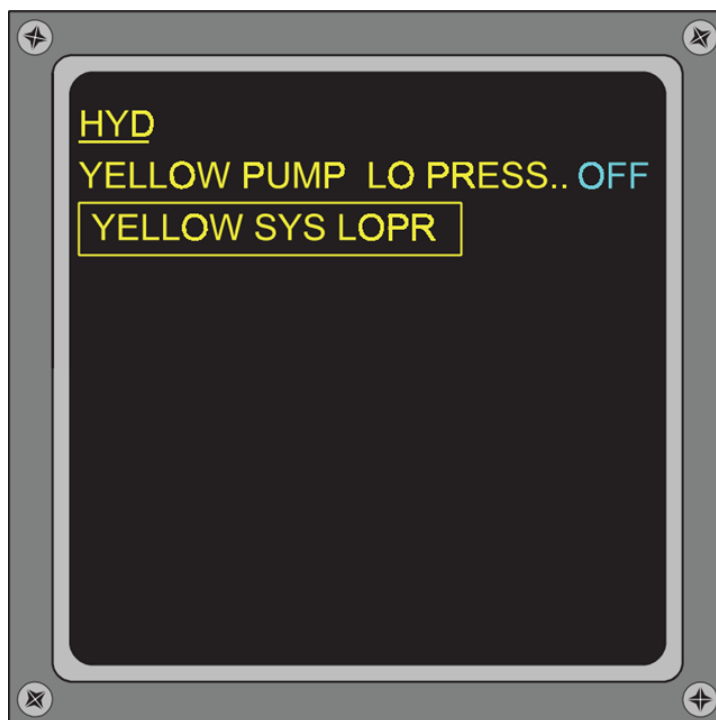
Automatikusan ez a mód kerül megjelenítésre, ha egy rendszer állapota megváltozik, például ha beindul az APU, vagy ha valamilyen meghibásodás következik be és egy paraméter bár túllépte a normál üzemi értéket, de nem érte el egy adott figyelmeztetési szintet, lehetővé téve ezzel az időben történő előre gondolkodást és hibaelhárítást. Ezt követően egy összefoglalást kap a személyzet üzenetekkel és ajánlott korrekciókkal. Ezeket advisory módban nem kíséri hang, vagy figyelemfelkeltés, csak egyszerűen felbukkannak. Az alsó kijelző továbbra is a kiválasztott oldalt mutatja. Megjelenítésére példa a 26. ábra [5], [17], [18], [19].



26. ábra ECAM advisory mód [18] Szerkesztette: Solymossi László

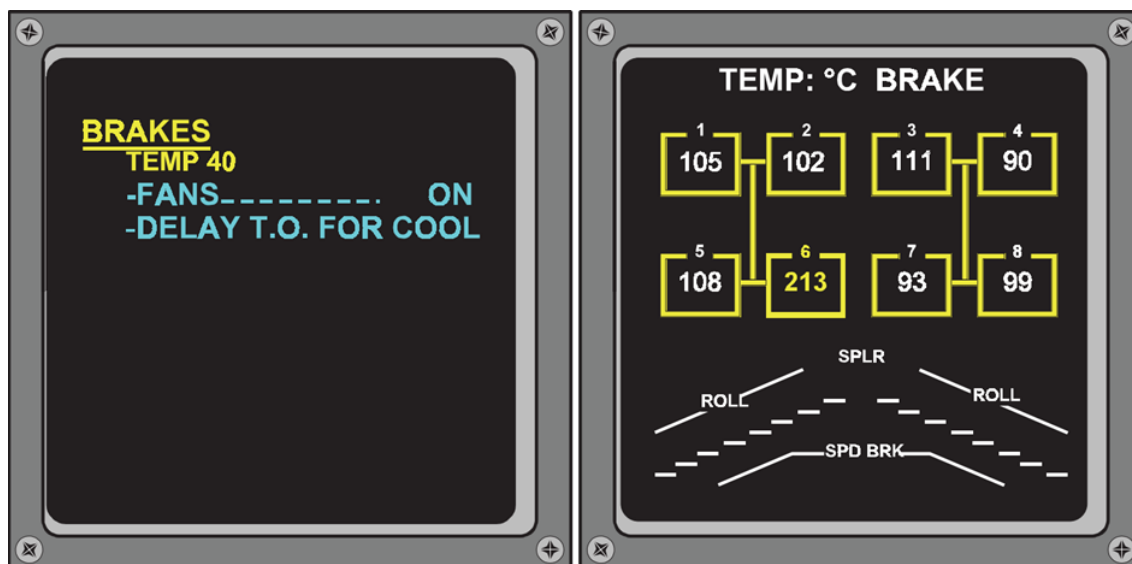
5.2.3. FAILURE mód

Elsőbbséget élvez a többi móddal szemben (manuális móddal szemben is). Bármely paraméter határértékének túllépésekor és egy figyelmeztetési szint elérésekor látható. A felső kijelző, vagy akár az alsó felett is átveheti a szerepet. A felső kijelzőn üzenet jelenik meg hangjelzés kíséretében, alatta a végrehajtandó korrekció. A rendszer a hiba elsődleges okát is felismeri, ha az más rendszerre is kiterjed, ezért ezt bekeretezheti (27. ábra), hogy először erre koncentráljon a személyzet.



27. ábra Az ECAM rendszer felső kijelzője FAILURE módban, bekeretezett üzenettel [17]

Ha csak egy rendszerben jön létre hiba, az adott rendszer címét aláhúzással emeli ki (28. ábra). Az alsó kijelzőn az érintett rendszer vázlatos (képes) illusztrációja jelzi a hibát. Amikor a szükséges korrekció végre lett hajtva, az azzal előidézett, megváltozott képet mutatja [5], [17], [18], [19].



28. ábra Az ECAM két kijelzője FAILURE módban, aláhúzott rendszercímmel [17]

A 28. ábra esetében a repülőgép bal főfutómű futószámolyának jobb hátsó kerekében túl megnövekedett a fékhőmérséklet a futópályára gurulás közben [17].

Az ECAM figyelmeztetési szintjei az EICAS rendszerben leírtakhoz hasonlítanak, a következők szerint osztályozzák:

- Level 3: a legsúlyosabb szint, vészhelyzeti, vagy kényszerhelyzeti szintnek felel meg. Azonnali ténykedést, döntést, korrekciót követel meg. Ismétlődő hangjelzés (tűzcsengőhöz hasonló), valamint pirosan villogó vizuális figyelmeztetés (master warning) kíséri. Bekövetkezhet például sebességtúllépésnél, átesési helyzetben vagy tűz esetében.
- Level 2: a középső szint, egy olyan rendszerhibának felel meg, amely önmagában nem jelent repülésbiztonsági kockázatot és azonnali ténykedést nem, csak azonnali figyelmet követel meg. A személyzet eldöntheti, hogy a ténykedés indikolt-e. Egyszeri hangjelzés, valamint állandó sárga fény (master warning) kíséri.
- Level 1: a legmérsékeltőbb szint, egy olyan rendszerhibának felel meg, amely figyelemmel tartást igényel és csak egy sárga fény kíséri [11], [18].

Az előbbiekkal összefüggésben az ECAM kijelzők szinkódolása (A320-as típuscsalád):

- „Warning” figyelmeztetés: PIROS - azonnali korrekciót igényel;
- „Caution” figyelmeztetés: SÁRGÁ - azonnali figyelmet igényel;
- „Indication” felirat: ZÖLD - normális, hosszú távon való működést jelez;
FEHÉR - címzés, automatikusan végrehajtott korrekciók;
KÉK - végrehajtandó művelet (végrehajtás után fehérre változik);
MAGENTA - különleges üzenet [8], [19].

Az üzeneteknél és figyelmeztetéseknél fontos kiemelni, hogy a felső kijelző ezeket két részre osztja. Ez a 25. és 26. ábrán jól látszik a kijelző bal alsó és jobb alsó sarkában. A bal alsó sarokban az elsődleges és független figyelmeztetések vagy úgynevezett „MEMO” üzenetek (25. ábra leszállással kapcsolatos üzenetei), a jobb alsó sarokban az érintett rendszer címe jelenik meg, amire a figyelmeztetés vonatkozik. A hiba megoldása után van olyan üzenet, amelyik eltűnik és van olyan, amelyik nem. A figyelmeztetéseket és a hozzájuk tartozó fényjelzéseket ki lehet kapcsolni az ECAM vezérlőpanelen (31. ábra) vagy az integrált hibajelző és figyelmeztető tablón [8], [17].

5.2.4. MANUAL mód

Ebben a módban 12 rendszer manuális megjelenítése közül (29. ábra) választhat ki a vezérlőpanelen egyet a személyzet az alsó kijelzőn (például rutinellenőrzéshez). Ezt csak akkor tudják megtenni, ha a felső kijelzőn nincs figyelmeztető üzenet (ha van, akkor a rendszer oldala eltűnik, mert az üzenet elsőbbséget élvez. Alapvetően a repülési fázishoz képest automatikusan működik, ha nem nyúlnak hozzá [5], [8], [17].

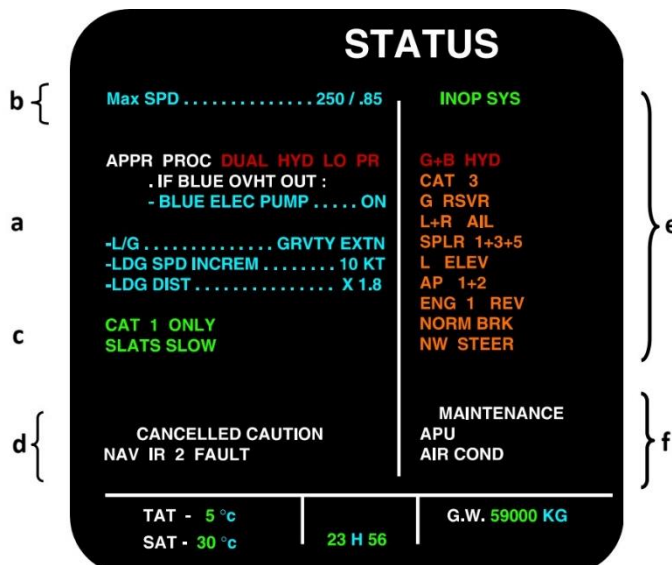


29. ábra Az A320-as típuscsalád ECAM rendszerének alsó kijelzőjén manuálisan kiválasztható 12 rendszer oldala [8] Szerkesztette: Solymossi László

5.2.5. STATUS kijelzés

A repülőgép összefoglaló állapotát mutatja az alsó kijelzőn, egy meghibásodás és az azt követő korrekciók után (30. ábra). Üzeneteit egy hibafigyelmezhető számítógép segítségével mutatja ki [8], [18].

- a - Máshol nem jelzett, használatos eljárások - KÉK
- b - Határértékek (sebesség, flight level...) - KÉK
- c - Általános információ - ZÖLD
- d - Törölt figyelmeztetések - FEHÉR
- e - Működésképtelen rendszerek - SÁRGA
- f - Karbantartást igénylő rendszerek - FEHÉR

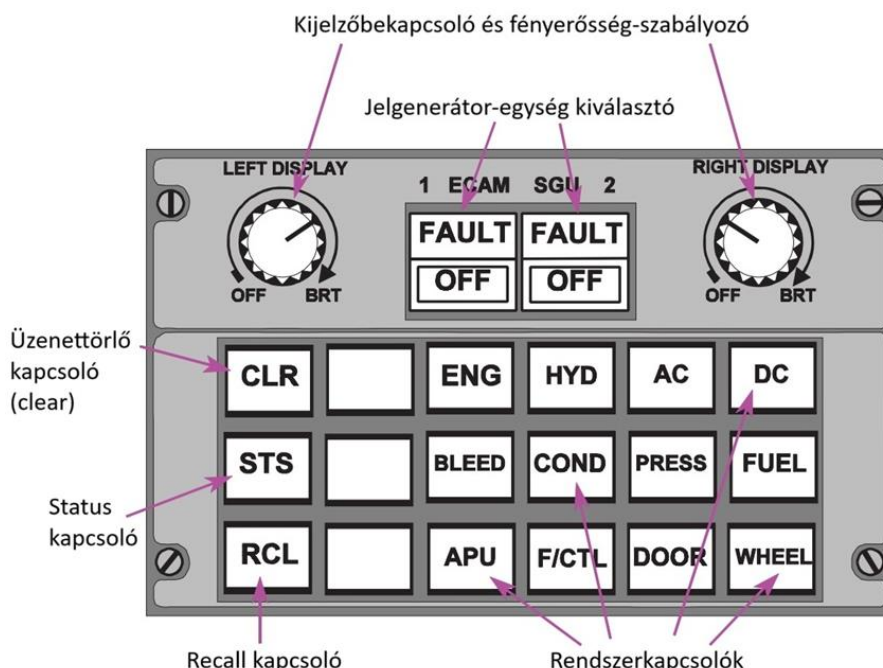


30. ábra Az A320-as típuscsalád ECAM rendszerének STATUS kijelzése az alsó kijelzőn [8] Szerkesztette: Solymossi László

5.2.6. ECAM vezérlőpanel

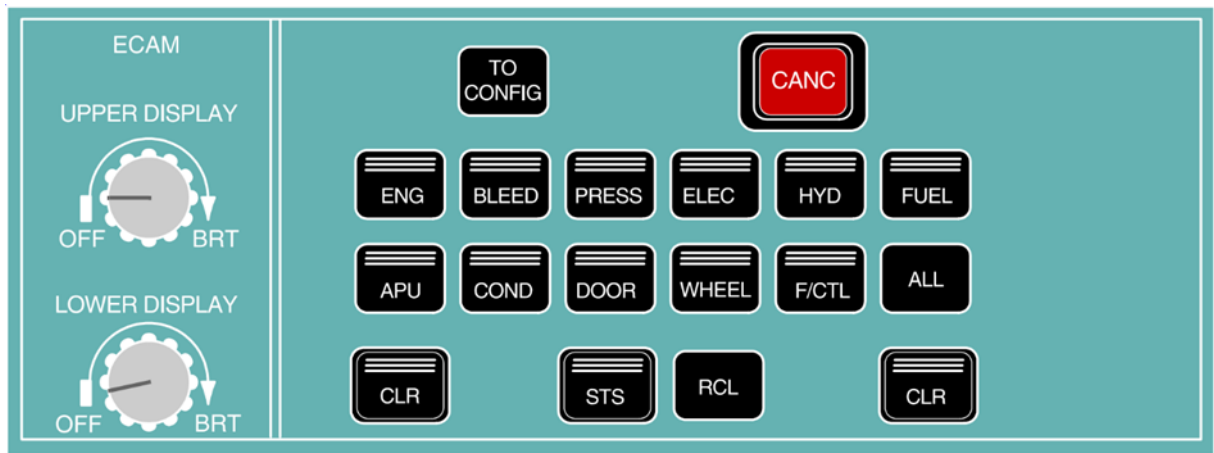
A vezérlőpanel (31. és 32. ábra) az alábbi vezérlőgombokat tartalmazza:

- Jelgenerátor-egység kiválasztó (SGU select): normális körülmények között mindkét jelgenerátor-egység (SGU⁶⁸) működik. Ha az egyik SGU önellenőrző áramköre hibát észlel, az adott egységhez tartozó kapcsolón megjelenik egy „FAULT” hibafelirat sárga színnel. A kapcsoló felengedése leválasztja és elkülöníti az érintett egységet, kioltja a hibafeliratot, majd megvilágítja az „OFF” feliratot fehér színnel.
- Üzenettörlő kapcsoló (CLR - clear): a kapcsoló lenyomásával figyelmeztető vagy STATUS üzenet törölhető ki. Az üzenetek kijelzésekor fehérén világít.
- STS (status) kapcsoló: lenyomásával (ha nincs figyelmeztetés) egy status üzenet jelenik meg, a kapcsoló fehérén világít, valamint ezáltal a CLR kapcsoló is világítani fog. Ha figyelmeztető üzenet jelenik meg, vagy ha a CLR kapcsolót lenyomjuk, a status üzenet törlésre kerül.
- RCL (recall) kapcsoló: ezzel kitörölt figyelmeztető üzenetet lehet visszahívni (újra megjeleníteni), amennyiben az azt előidézett körülmények (hibák) még fennállnak. Lenyomásával a CLR kapcsoló világítani fog. Ha a hiba már nem létezik, a „NO WARNING PRESENT” jelenik meg a felső kijelzőn.
- Rendszerkapcsolók (synoptic display switches): a MANUAL módban leírtak alapján a 12 rendszer oldalát lehet ezekkel kiválasztani. A kapcsoló lenyomásakor fehér színnel világít [5], [17].



31. ábra Az ECAM rendszer vezérlőpanele [17] Szerkesztette: Solymossi László

⁶⁸ Symbol generator unit



32. ábra Az A320-as típuscsalád ECAM vezérlőpanele [8]

6. AZ FMS AVIONIKAI RENDSZER

A szakirodalomban sokszor és sokféleképpen részletezett repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer a repülőgép és a pilóta közötti bonyolult interfész. A személyzetcsökkenés miatt létrejött munkaterhelést ellensúlyozza azáltal, hogy integrálja a repülésvégrehajtást segítő rendszereket és automatizálja a repülés közbeni feladatok széles skáláját. Nem csak útvonalat határozhat meg a repülőgép jelenlegi pontjától a világ bármely pontjáig, azt is lehetővé teszi, hogy az útvonal az üzemeltetési jellemzőkkel legyen összehangolva, így összességében növelve a repülési teljesítményt, az aktuális műveleti feladat hatékonyságát. Ezeket az eredményeket úgy éri el, hogy az emberileg lehetségesnél sokkal pontosabban működteti a hozzá integrált rendszereket. Az 1980-as években kezdték használni, ma már nagyon kiterjedt az alkalmazási köre, a turbólégcsavaros helyi járatú repülőgépektől a szélestörzsű utasszállító repülőgépeken át, a katonai szállítórepülőgépekig [7], [11], [20], [21], [27].

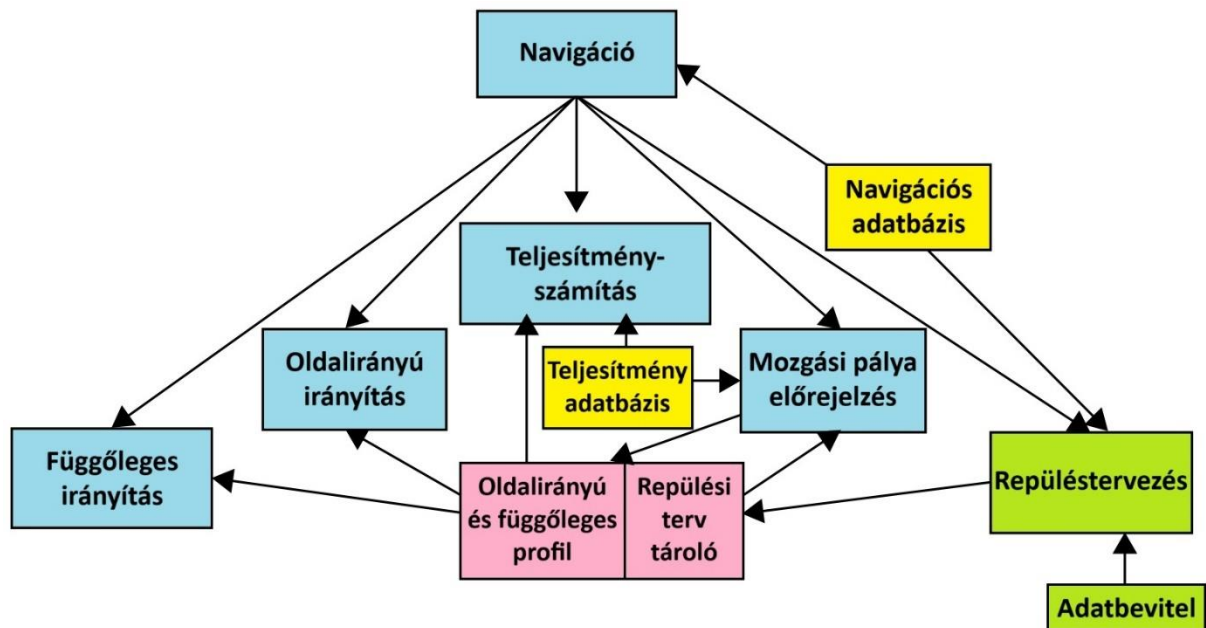
6.1. Az FMS funkciói

Az ARINC szabványoknak megfelelően az FMS hét funkcióval kell rendelkezzen (amelyeket a 33. ábrán látható navigációs és teljesítmény-adatbázisok/adattároló egységek támogatnak):

- Navigáció;
- Repüléstervezés;
- Oldalirányú/laterális navigáció/irányítás (LNAV⁶⁹);
- Függőleges/vertikális navigáció/irányítás (VNAV);
- Teljesítményszámítás/-szabályozás;
- Adatkapcsolat;
- Mozgási pálya előrejelzés [20].

Ezekkel a funkciókkal az FMS képes a folyamatos négydimenziós navigálásra (szélesség, hosszúság, magasság, idő), miközben a teljesítményt a leggazdaságosabb módon optimalizálja [7], [15], [20].

⁶⁹ Lateral navigation



33. ábra Az FMS funkciói [15] Szerkesztette: Solymossi László

6.2. Az FMS felépítése

Az FMS két fő egységre osztható:

- Repülésvezérlő-optimalizáló (vagy repüléskoordináló) számítógép (FMC);
- Vezérlő- és kijelző egység (CDU⁷⁰) [7], [15], [20], [22].

A két egység nagy szerepe miatt az FMS-re repülésvezérlő-optimalizáló számítógéprendszerként is szoktak utalni (FMCS), a CDU-ra pedig multifunkciós vezérlő- és kijelző egységként (MCDU⁷¹), annak multifunkciós képességei miatt. Működéséhez ezeken kívül szükség van még az EFIS kijelző egységekre és adattároló egységekre (DBU⁷²) [3], [22].

Az FMS fő egységeihez integrált, független rendszerei folyamatosan automatizált navigációt és teljesítményvezérlést tesznek lehetővé, központilag vezérelve a repülési pályát és a teljesítmény paramétereket:

- robotpilóta/pályavezérlő rendszer (AFDS⁷³);
- automatikus repülőgépvezetési/repülésvezérlő (és repülésitajdonság-javító) rendszer (AFC(A)S), beleértve az automatikus tolóerő-szabályozó rendszert (tolóerő-automata) (A/T⁷⁴);
- tehetetlenségi helyzetmeghatározó rendszer (IRS);

⁷⁰ Control and Display Unit

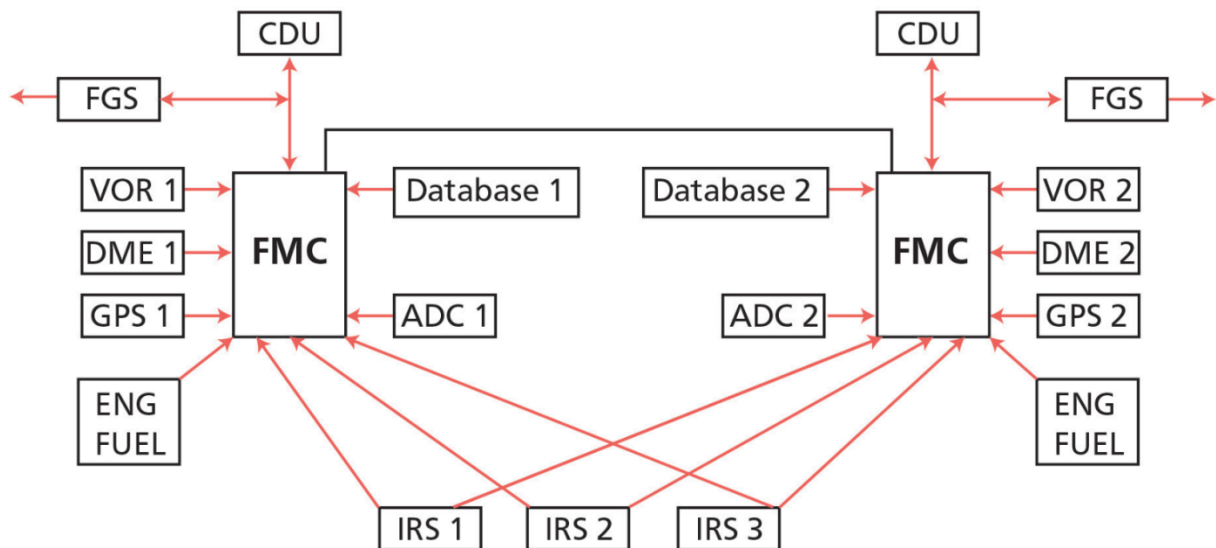
⁷¹ Multifunction Control and Display Unit

⁷² Data Base Storage Unit

⁷³ Autopilot/Flight Director System

⁷⁴ Autothrottle system

- repülésirányítási rendszer (FGS⁷⁵);
- távolságmérő berendezés (DME);
- levegőparaméter-adatok számítógégsége (levegőjelek számítógégsége) (ADC⁷⁶);
- globális helymeghatározó rendszer (GPS);
- URH-tartományú körsugárzó rádióirányadó (VOR - VHF Omni-directional Radio Range) [7], [20], [22], [37].



34. ábra Az FMS fő egységeinek és integrált rendszereinek sematikus ábrája [17]

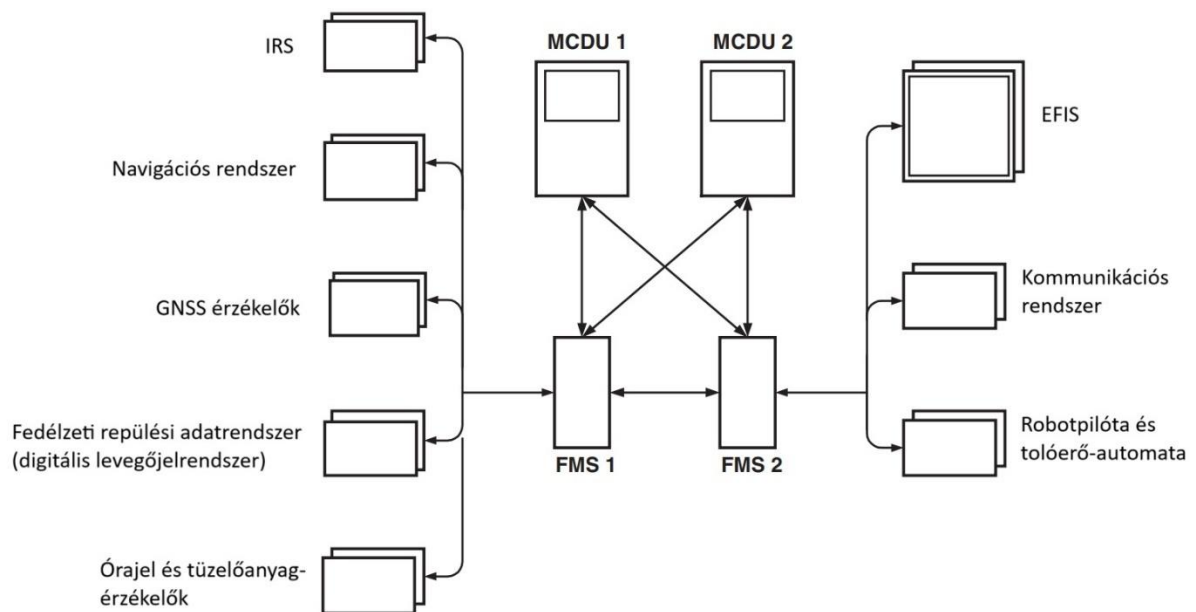
6.3. Az FMS üzemeltetése és a CDU

A rendszer központi elemeként a 34. ábrán kitűnik a repülésvezérlő-optimalizáló számítógép. Szintén jól észrevehető, hogy mindegyik egységből és rendszerből általában két darab van, ugyanis más repülésbiztonság szempontjából kritikus rendszerhez hasonlóan az FMS-re is igaz a dupla felhasználás (kettős redundancia). Ebből adódóan a repülési adatok hitelességét és pontosságát a rendszerek közötti keresztellenőrzések biztosítják. A számítógépek közül mindegyik képes önállóan működni a másik meghibásodása esetén, valamint a korszerű rendszerekben van egy harmadik passzív, tartalék számítógép is. A két aktív számítógép adatot cserél, összehasonlít és szinkronizál egymással, közülük csak az egyik, az elsődleges („master”) kommunikálhat a többi rendszerrel, a másik aktív számítógép a másodlagos („slave”). Ez attól függ, hogy melyik robotpilóta van aktiválva, vagy hogy az FMS jelforrást kiválasztó kapcsoló (SSW⁷⁷) milyen állásban van [3], [11], [20], [21], [22].

⁷⁵ Flight Guidance System

⁷⁶ Air Data Computer

⁷⁷ Source Select Switch



35. ábra FMS rendszer sematikus ábrája [27] Szerkesztette: Solymossi László

A 35. ábrán katonai szállító- és bombázó repülőgépekre jellemző FMS rendszer vázlatos kivitelezése látható. Bal oldalt találhatók az általában dupla felhasználású, különböző rendszerérzékelők bemenetei, amelyekkel a szükséges navigációs számításokat elvégzi az FMS:

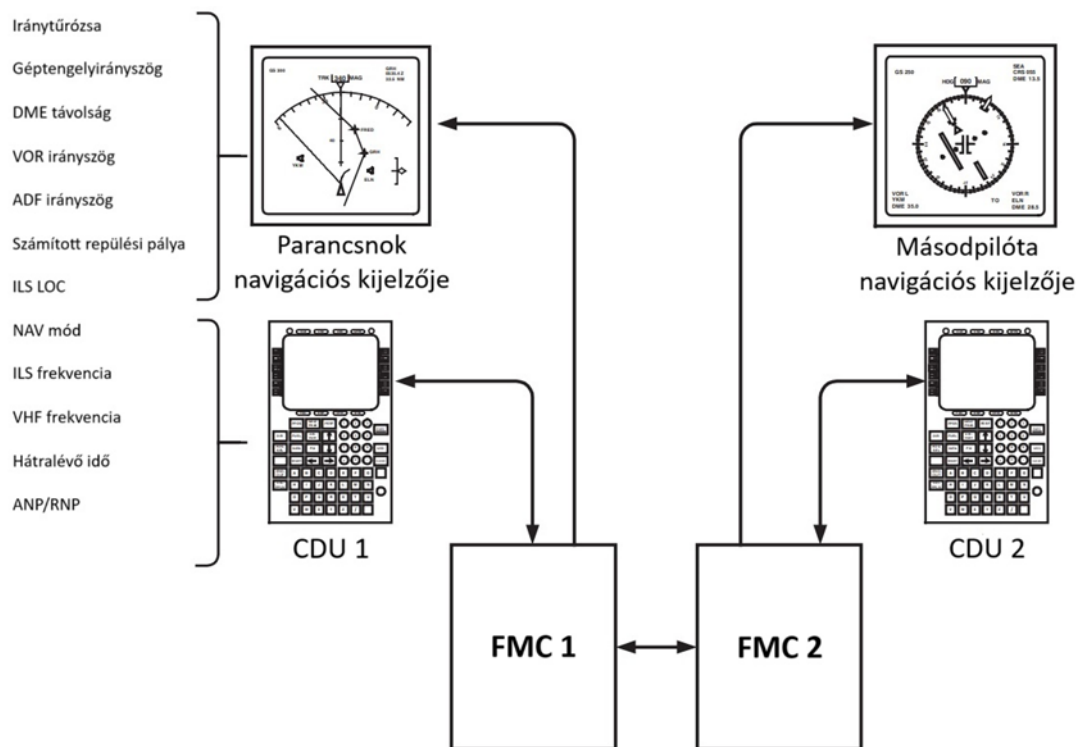
- dupla INS/IRS;
- dupla navigációs rendszerérzékelő (például VOR/DME, DME/DME);
- dupla GNSS⁷⁸ érzékelő (általában GPS);
- dupla levegőjel-érzékelő;
- tüzelőanyaggal és idővel kapcsolatos dupla fedélzeti érzékelő [27].

Középen látható a már említett kettős redundanciájú, keresztellenőrzésű FMS központi rendszere az FMC számítógépeket, valamint a vezérlő- és kijelzőegységeket beleértve, végül jobb oldalt láthatók azok a rendszerek, amelyekkel megvalósul az információ eljuttatása a személyzethez:

- EFIS;
- kommunikációs rendszer (betölti az előírt adatkapcsolati funkciót);
- közös felület/interfész a robotpilótával / repülési pályavezérlő rendszerrel a repülési irány és automatikus repülésvezérlés biztosításához [19], [27].

A kommunikációs rendszeren kívül az első és utolsó rendszer a többi (adatkapcsolaton kívüli), előírt funkciókat töltheti be.

⁷⁸ Global Navigation Satellite System



36. ábra FMS vezérlő és kijelző interfész sematikus ábrája [27] Szerkesztette: Solymossi László

A 36. ábrán látható az FMS és a személyzet közötti közvetlen interfész az alábbi kijelzőkkel együtt:

- a parancsnok és a másodpilóta ND kijelzője az EFIS rendszer részeként;
- az FMS rendszer két (M)CDU egysége.

Összességében a kulcsfontosságú, központi FMC megjeleníti a szükséges navigációs paramétereket, amelynek megfelelően az ND kijelzők a tervezett útvonalhoz szükséges irányítási paramétereket mutatják. Az FMC sok számítást és rutinfeladatot végez el a személyzet helyett, azonban bizonyos rendszerességgel ellenőrizni kell a működését. Dupla felhasználása a kétoldali elhelyezkedést vonja maga után a parancsnok és a másodpilóta oldalán (akárcsak az EFIS kijelzőknél), ezért a két aktív FMC-hez (alapvetően) szintén két CDU tartozik [7], [20], [27]. A rendszer kezelése a CDU kijelzőkön keresztül (37. ábra) történik. Az FMC-be ezekkel lehet betáplálni a repülési és teljesítményadatokat. A CDU ezután kijelzi az FMC által végzett számításokat, így azokat egyszerűen le lehet ellenőrizni. Az AFDS és A/T rendszerekhez oldalirányú és függőleges FMC-parancsokat szintén a CDU-n keresztül lehet továbbítani. Ezen kívül az IRS és többféle szenzor egyéb információt is továbbít a számítógépnek. A CDU összeköttetésben áll az ACARS⁷⁹ rendszerrel, amely a földdel való összeköttetést biztosítja [7], [20].

⁷⁹ Aircraft Communication Addressing and Reporting System



37. ábra Az FMS CDU kijelzői egy régebbi C-130 Hercules típuson (Józsa Dávid gyűjteményéből)

Szerkesztette: Solymossi László

Amennyiben nem állnak rendelkezésre rádiónavigációs jelek, az FMS az IRS rendszert használja a helyzet meghatározásához. Ekkor az FMC kijavítja az IRS-től érkező adatokat a pontosabb kijelzés érdekében, ha közben egy másik, pontosabb navigációs eszközre tud támaszkodni az IRS teljesítményének figyelése mellett, továbbá figyelmeztetésképpen a kisebb precizitásról üzenetet küld a rendszer a személyzetnek [7], [20].

A 37. ábrán az Airbus sajátosságaként látunk még egy-egy kisebb elektronikus kijelzőt a két CDU felett, a függőleges középkonzol alján. Ez a szintén dupla felhasználású kezelőeszköz az adatkapcsolati vezérlő- és kijelző egység (DCDU⁸⁰), az adatkapcsolati funkciót tölti be, rajta olvasható le az ATC⁸¹-vel folytatott kommunikáció [7], [19].

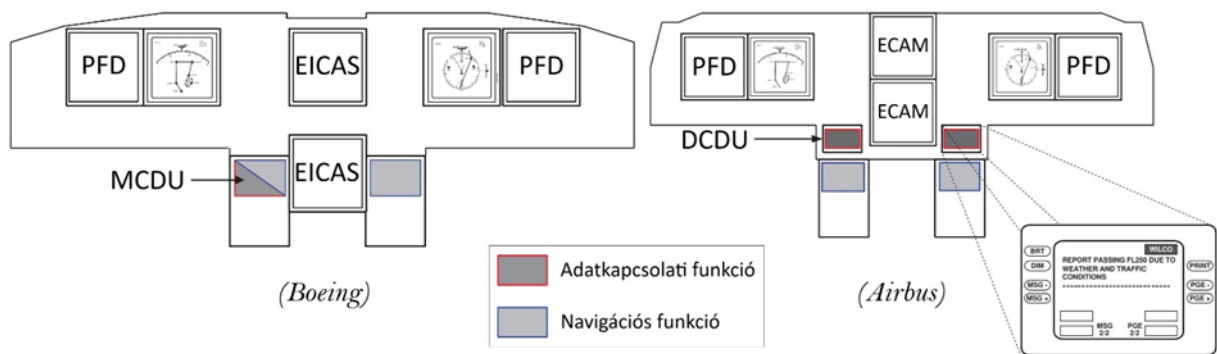
Kialakulásának okát a 38. ábra szemlélteti. Az ICAO⁸² 1983-ban egy bizottságot állított fel, amelynek feladata volt, hogy egy új, jövőbe mutató navigációs rendszert (FANS⁸³) dolgozzon ki a hatékonyabb légtérhasználat érdekében.

⁸⁰ Data-Link Control and Display Unit

⁸¹ Air Traffic Center

⁸² International Civil Aviation Organization

⁸³ Future Air Navigation System

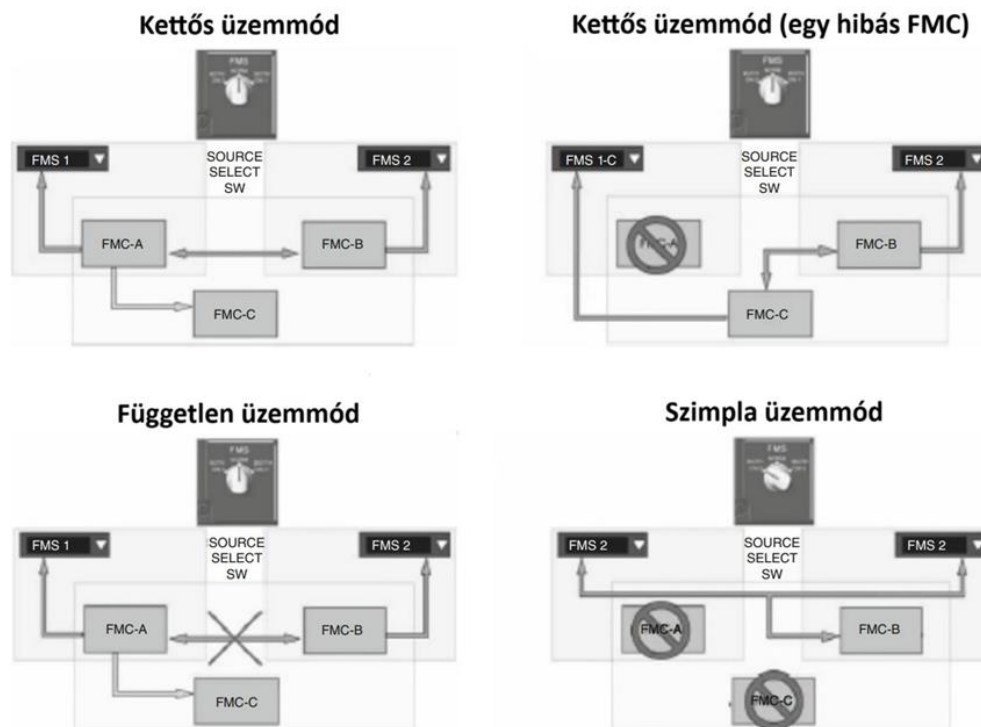


38. ábra A Boeing FANS-1 és az Airbus FANS-A koncepciója [19] Szerkesztette: Solymossi László

A szerződés keretében a gyártók kifejlesztették az új koncepciójukat (Boeing - FANS-1 és Airbus - FANS-A, később FANS-1/A, napjainkban FANS-2 és FANS-B koncepciókon dolgoznak). Bár a FANS elvárások/előírások gyakorlatilag azonosak, a két nagy gyártó (Boeing és Airbus) funkcionalitásban más megvalósítást hozott létre. A Boeing szoftverfrissítéseket biztosított a régebbi modellekhez, amelyek a meglévő különleges berendezések számítógépes egységeihez (hardware) további navigációs és kommunikációs funkciókat adtak. Ezért maradt meg ennél a gyártónál csak az MCDU, navigációs és adatkapcsolati funkciót egyben ellátva. Az Airbus ezzel ellentétben szoftverfrissítés helyett további berendezéseket adott hozzá a már meglévőkhöz, ilyen újabb berendezés lett a DCDU is [7], [19].

Az FMS általában három üzemmóddal rendelkezik:

- kettős üzemmód (dual mode): mindkét (aktív) FMC „egészséges”, normálisan működik. Mindegyik egymástól függetlenül dolgozza fel és hasonlítja össze a CDU-n keresztül bevitt adatokat ahhoz, hogy valós értékeket tudjon szolgáltatni. Ha van egy harmadik FMC is, akkor az nem végez adatszámítást, viszont folyamatosan frissítve van a rendszerekkel kommunikáló „master” FMC által (39. ábra, bal felső sarok) és az egyik aktív FMC meghibásodása esetén átveszi annak a szerepét (39. ábra, jobb felső sarok).
- független üzemmód (independent mód): mindkét FMC normálisan működik, viszont nincs közöttük összeköttetés, mert „nem értenek egyet” egy, vagy több értékben (például a repülőgép helyzete, teljes tömege). Ezért nincs közöttük biztonsági, keresztellenőrzés, nem szokványos helyzet alakul ki. A harmadik FMC továbbra is összeköttetésben áll a „master” FMC-vel (39. ábra, bal alsó sarok).
- szimpla üzemmód (single mode): akkor alakul ki, ha két számítógépes rendszerben az egyik FMC nem működik, vagy három számítógépes rendszerben két FMC nem működik. A működőképes FMC-t ilyenkor az FMS jelforrást kiválasztó kapcsolójával lehet elérni, ha önállóan alkalmas a működésre. (39. ábra, jobb alsó sarok) [20], [21].



39. ábra Az FMS üzemmódjai három FMC-vel rendelkező FMS rendszerben [21]
Szerkesztette: Solymossi László

A személyzet képes arra, hogy meghatározza az automatizáció mértékét. Megkülönböztetünk két fő FMS-re vonatkozó szerepkört, amelyek az automatizáltság mértéke szerint növekvő sorrendben a következők:

- Csak CDU-val való repülés. Ilyenkor kézi repülésnél segít az FMS adatkijelző referenciaként, a szükséges adatokat, figyelmeztetéseket, elérendő értékeket mutatva és tanácsokat adva az optimális teljesítmény eléréséhez. Tanácsadói szerepkört tölt be (advisory role). A korai FMS rendszerek csak ezt a szerepkört voltak képesek betölteni.
- Teljes mértékben az FMS rendszer által vezérelt, automatizált repülés teljesítményszabályozással. Ilyenkor repüléskoordináló és -optimalizáló szerepkört tölt be a rendszer (flight management role). Ebben a szerepkörben a személyzetre csupán a gépkiszolgálás és menedzselés feladata hárul, tehát megmaradnak olyan repülési fázisok, amelyekben egyes funkciókat kizárólag a pilóták hajthatnak végre, például a kezdeti gázadás, felszállás, magasságkiválasztás, ILS lehangolás, konfigurációs feladatok ellátása vagy a leszállás utáni kigurulás. Az FMS összeköttetésben van a hajtóműteljesítmény-vezérlő rendszerrel (PMC⁸⁴) és az automatikus repülőgépvezetési rendszerrel (AFCS⁸⁵). Ez kizárja a személyzetet a vezérlési folyamatból, az FMS így egy önálló, integrált módban üzemel az

⁸⁴ Power Management control

⁸⁵ Automatic Flight Control System

optimális értékeket folyamatosan biztosítva az útvonal precíz tartásához. A személyzet további feladata ezért ellenőrizni, hogy a repülőgép a tervezett repülési útvonalon maradjon. A korszerű FMS rendszerek mindkét fő szerepkört képesek betölteni [7], [20].

6.4. A CDU felépítése

Vezérlő- és kijelzőegységekből általában kettőt szoktak felszerelni a középkonzolja, amelyek közül (repülési irány szerint) a bal oldali az elsődleges („master”), a jobb oldali a másodlagos („slave”). Mindkét pilóta használhatja, egyidőben történő használatuk azonban nem ajánlott. Alapvetően ugyanaz a megjelenítés látható mindkettőn egyidőben, viszont kiválaszthatják manuálisan is a kívánt adatokat/oldalt. Előfordulhat, hogy egy harmadik CDU-t is felszerelnek a középkonzolja, ha ez indokolt (leginkább a mérnöki személyzet használja), például a C-5 Galaxy katonai szállítórepülőgépben [7], [20].

Az FMS rendszerekben a mai napig a legelterjedtebb CDU kijelző típus a régebbi rendszerekben kifejlesztett változat (37; 41; 42. ábra). Ennek alapján a CDU egy kisebb kijelzővel rendelkezik és alfanumerikus információ jelenik meg rajta, ellentétben az eddig tárgyalt képesen illusztrált kijelzőkkel. A monokróm vagy színes katódsugárcsőes (CRT) kijelző a CDU felső részét foglalja el, alsó részét a billentyűzet. A modernebb kijelzők AMLCD felülettel rendelkeznek, illetve az FMS új változataként megjelent az MFD kijelzőre vetített AMLCD kijelző-vezérlőegység [19], [20].

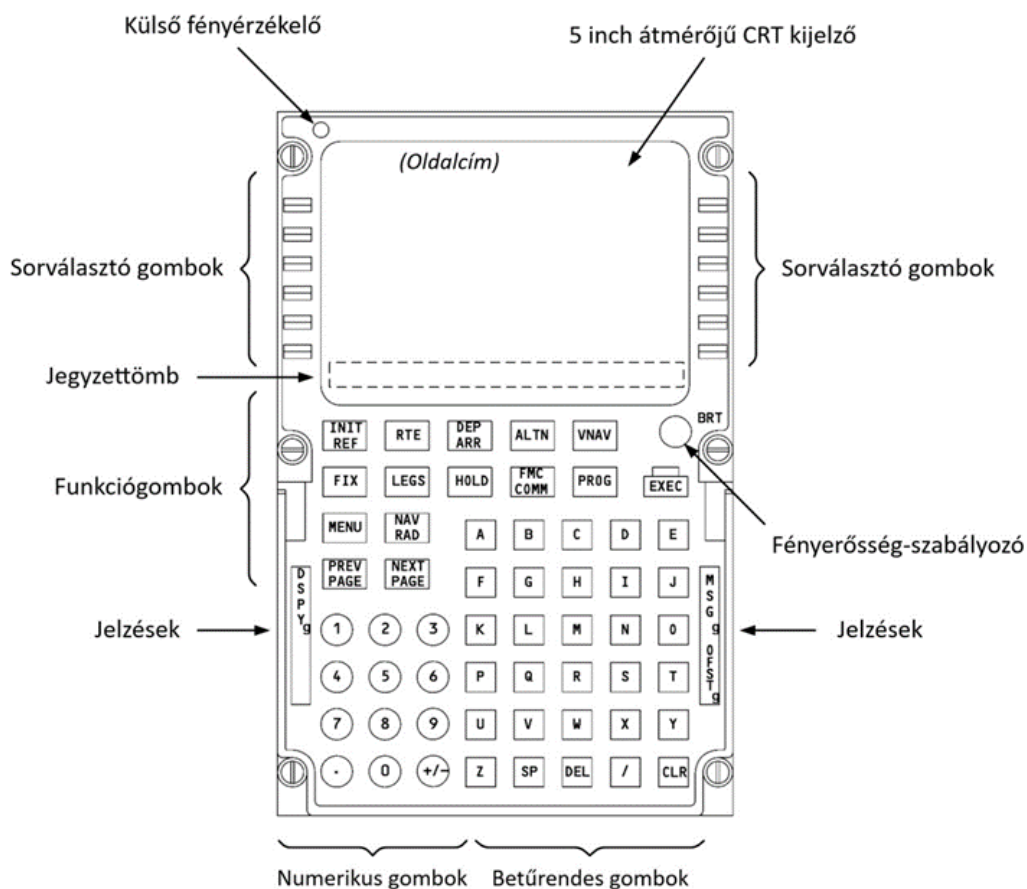
A 40. ábrán az új FMS változatra példaként látható az A400M katonai szállítórepülőgép műszerfala. A korszerű, integrált rendszer civil és katonai funkciók ötvözte, avionikáját az Airbus A-380 utasszállító repülőgép rendszerei alapján fejlesztették ki. A civil funkciók a munkaterhelést csökkentik és a helyzet tudatosságot növelik, a katonai funkciókkal lehetséges földközeli repülést, légi utántöltést, kutató-mentő műveleteket, vagy előkészítetlen terepen való leszállásokat kivitelezni. Az A400M legújabb fejlesztéseiről 2019-ben jelentett be híreket a Thales cég, amely szerint várhatóan 2024-re lesz kész a „PureFlyt” technológia frissítése a rendszerben, így nem csak négy, hanem ötdimenziós navigálásra is képes lesz, figyelembe véve repülőgép tömegének folyamatos változását. Ezen kívül nem lesz szükség külön FMC-re, csak egy, a többi rendszerrel megosztott számítógépre (körülbelül 20 kg-ot megspórolva), integrált modulrendszerű avionikai architektúrát (IMA⁸⁶) alkalmazva, amely az elmúlt időszak egyik legkorszerűbb architektúrája [19], [25], [26].

⁸⁶ Integrated Modular Avionics



40. ábra Az A400M katonai szállítórepülőgép korszerű FMS (MFD) kijelzői (felettük láthatóak az ECAM és EFIS rendszer kijelzői, szintén MFD kijelző felületen) [24] Szerkesztette: Solymossi László

A továbbiakban a hagyományos, régebbi CDU változat felépítéséről lesz szó, annak elterjedtebb alkalmazása miatt.



41. ábra Boeing típusú CDU sematikus ábrája [22] Szerkesztette: Solymossi László

A CDU egyes részei számos egyedi funkciót tartalmaznak:

- Oldalcím (page title): a kijelzőn szereplő adatok típusát nevezi meg. A rendszer bekapcsolásakor például „IDENT” (42. ábra) felirat, oldalsó vagy függőleges navigációs módban „ACT” vagy „MOD” felirat jelenik meg.
- Sorválasztó gombok (line select keys): a kijelző mindkét oldalán hat darab ilyen gomb van. Adatbevitelhez vagy -kiválasztáshoz, részletesebb információ megtekintéséhez a szomszédos sorban kell megnyomni.
- Jegyzettömb (scratch pad): a kijelző legalsó sorában lehet látni. A sorválasztó gombok használatával megjeleníthet rendszerüzeneteket, billentyűzet bejegyzéseket, mielőtt azok átkerülnek a kívánt sorra, illetve átvitt adatokat a sorok és oldalak között.
- Funkció-, numerikus és betűrendes gombok (function and mode keys, numeric keys, alphabetic keys): ezeken látszik meg a legjobban a típusok közötti különbség (például a Boeing és Airbus között, mint a 42. ábrán), nem létezik egységes elrendezés, de nagy lehet a hasonlóság. A számokkal és betűkkel lehetséges a navigációs adatok kézi bevitele, esetleg módosítások beillesztése a repülési tervbe, a funkciógombokkal navigációs módokat lehet kiválasztani, vagy az oldalak között lapozni.



42. ábra Boeing (bal) és Airbus (jobb) típusú CDU [22], [23] Szerkesztette: Solymossi László

- Fényerősség-szabályozó (brightness adjustment): a kijelző fényének erősségét lehet állítani ezzel manuálisan. Tartozik hozzá egy külső fényérzékelő, amely manuális szabályozás hiánya esetén automatikusan állítja be a fényerősséget a környezethez képest.
- Jelzések (annunciators): a CDU alsó szélein jelenhetnek meg. Üzenetjelzéskor (message light) fehéren világító tanácsadó, figyelmeztető vagy függőben lévő üzenetek láthatóak. Párhuzamos eltolással történő repüléskor offset jelzés (offset light) világít fehéren. Szintén fehér színnel világít a kijelzőfény (display light), ha a jelenlegi üzemmódhoz, vagy az aktív repülési terv szakaszához nem kapcsolódik a megjelenített oldal. Ha az FMC hibát észlel, egy hibalámpa (fail light) borostyán színnel világít [7], [20], [22], [27].

Alapvetően kétféle módon lehet megkülönböztetni a CDU által jelzett üzeneteket: lehetnek figyelmeztető, vagy tanácsadói üzenetek. Előbbieknek magasabb prioritásuk van és korrigálni kell ezeket, mielőtt az FMC tovább folytatná az irányítást. Utóbbiak informálnak például a rosszul bevitt adatokról, vagy rendszerállapotról [20].

6.5. Az FMC adatbázisa

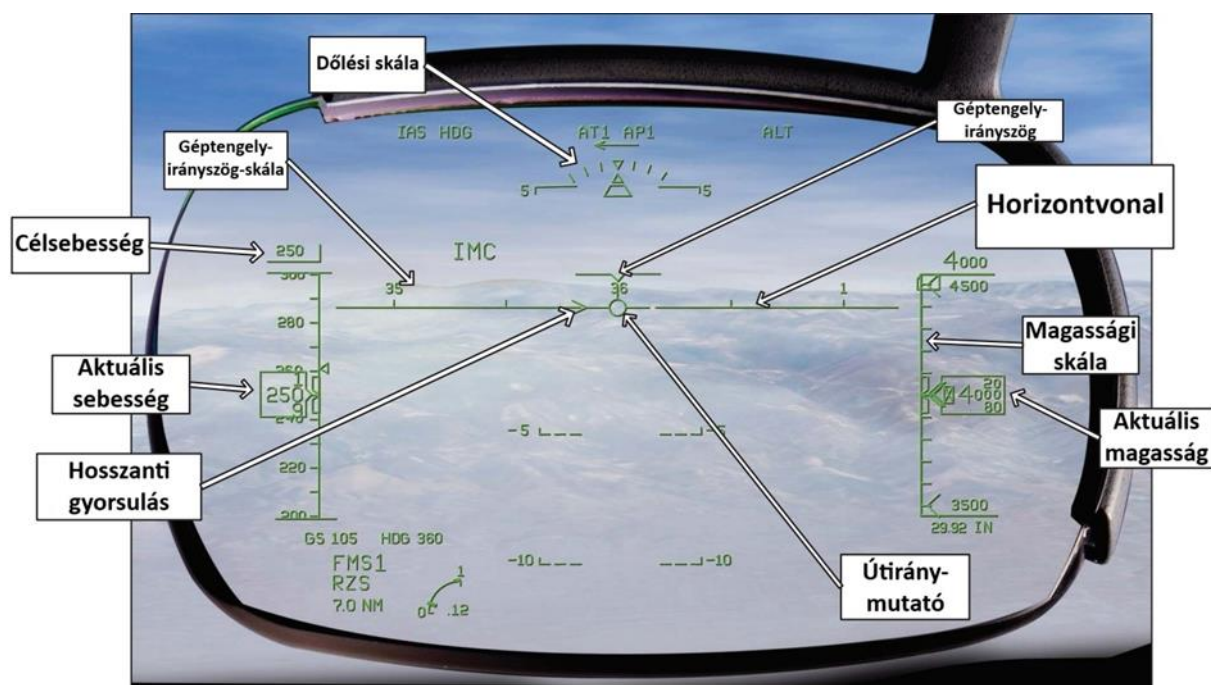
Az FMS számítógépek adatbázisa két részre van osztva. Az egyik rész a teljesítményhez, a másik a navigációhoz kapcsolódó információkkal rendelkezik. A teljesítmény-adatbázissal lehetséges a Hajózási Kezelési Kézikönyv (Cruise Control Manual) nélkülözése, illetve ezzel tud az FMC navigációs számításokat végezni. Az adatbázis tartalmazza például a repülőgép aerodinamikai tulajdonságait, hajtóművének jellemzőit és paramétereit, amelyek egyes részei szükség esetén újrakalkulálhatóak üzembentartók beavatkozásával. Navigációs adatbázisában van a legtöbb információ, gyakran navigációs táblázatokra hivatkozva vannak ezek meghatározva. Tartalmazhatják navigációs segédeszközök (például pozíció, azonosító, frekvencia, típus), repülőterek (például ICAO-azonosító, tengerszint feletti magasság), vagy fel- és leszállópályák adatait és sok más adatot is [20].

Az FMS egy rendkívül összetett rendszer, egyes funkcióinak (például LNAV, VNAV) és tulajdonságainak részletesebb leírása meghaladja a dolgozat kereteit. További információ a megadott hivatkozásokban érhető el [5], [7], [15], [17], [19], [20], [21], [22], [27].

7. KIEGÉSZÍTŐ ELEKTRONIKUS MŰSZERRENDSZEREK

7.1. HUD⁸⁷

A fej feletti elektronikus kijelző/célkijelölő a PFD kijelzőn lévő egyes adatokat jelenítheti meg, segítségével a pilóták a fülkéből kinézve képesek végrehajtani egy megközelítést, miközben a látómezejükbe esik a HUD (homloküveg indikátor) kijelzője (lásd 43. ábra). Így nem szükséges ebben a kritikus repülési fázisban is a fülkében történő kijelzésekre nézni. A katonai repülés korai HUD fejlesztései közben jöttek rá, hogy ezzel pontosabban, precízebben vezethető a repülőgép. A HUD-ot használva a megközelítési útvonal úgy igazítható, hogy a futópályán egy kiválasztott célpontot metsszen, így növeli a leszállás pontosságát, segít minél pontosabban a futópálya célzópontjára (aiming point) leszállni [15], [19], [28].



43. ábra A homloküveg indikátor kijelzőre vetített adatok [19] Szerkesztette: Solymossi László

7.1.1. A HUD felépítése

A HUD két fő rendszerből áll: a pilóták fedélzeti kijelző egységeiből (PDU⁸⁸) és a HUD számítógépből. A PDU a fényellenzőbe, vagy közvetlenül a pilóta feje felé van szerelve. A repülőgép szerkezetét képező, egymáshoz igazított konzolokra rögzítik úgy, hogy a pilóta látókörében lévő, kollimált (párhuzamosított) HUD kép a külvilággal egybeessen, amely általában monokróm zöld színű és egy holografikus üvegre van vetítve a pilóták szeme előtt. A megjelenítéshez elég fényes képforrásra van szükség. Ez egy katódsugárcső volt a kezdetleges rendszerekben és

⁸⁷ Head-Up Display

⁸⁸ Pilot Display Unit

a szimbólumokat analóg jelek segítségével rajzolta ki. A legújabb digitális HUD konstrukciók AMLCD kijelzőket használnak. A képforráshoz egy optikai rendszer van csatolva, amely a képet az üvegre vetíti (44. ábra). Az üveg speciális bevonattal rendelkezik és csak a fényforrás által kivetített fényt veri vissza (anyaga műanyag is lehet) [15], [19].

A PDU összeköttetésben áll a számítógéppel. A számítógép a repülőgép elektromos fülkéjében található. Üzemelhet önálló egységként, vagy egy modulként, így része lehet az IMA, vagy a „Pro Line Fusion” rendszereknek is. Utóbbi rendszer lett telepítve a KC-390 katonai szállítórepülőgépbe is (50. ábra). A repülőgép érzékelőitől és rendszereitől szerzi az információt, algoritmusokat futtat, hogy ellenőrizze és formázza az adatokat, majd létrehozza a HUD-képeket alkotó karaktereket és szimbólumokat [15], [29].



44. ábra A C-130 Hercules katonai szállítórepülőgép homloküveg indikátor kijelzője (Józsa Dávid gyűjteményéből)

7.2. ISIS

A repülésbiztonság szempontjából kritikus adatok elérhetőségét mindig tartalék műszerekkel egészítik ki. A korai üveg pilótafülkékben ezek elektromechanikus műhorizont, sebesség- és magasságmérő műszerek voltak, újabban elektronikus AMLCD műszerként vannak felszerelve, beépített szilárd félvezető áramkörű szenzorokkal (érzékelőkkel). Ilyen kijelző egysége (45. ábra) van az integrált tartalék műszerrendszernek (ISIS⁸⁹). SFD⁹⁰ rövidítéssel is találkozhatunk. Az ISIS a következőket mutatja:

⁸⁹ Integrated Standby Instrument System

⁹⁰ Secondary Flight Display

- Térbeli helyzetjelző (műhorizont);
- Műszer szerinti sebesség és Mach-szám;
- Barometrikus magasság és barometrikus magasságbeállító;
- Csúszásjelző;
- Géptengelyirányszög [19].

A kijelzőt úgy tervezték, hogy hasonlítson az EFIS kijelzők formátumához (46. ábra), a pilóták alkalmazkodási idejének és munkaterhelésének csökkentéséhez [19].



45. ábra Az integrált tartalék műszerrendszer [19] Szerkesztette: Solymossi László



46. ábra Az A319-es típus integrált tartalék műszerrendszere Képet készítette: Józsa Dávid (2019)

8. ÖSSZEFOGLALÓ A MAGYAR LÉGIERŐ SZÁLLÍTÓ REPÜLŐGÉPEIRŐL

8.1. Az Airbus A319-es típus műszerrendszerei

A dolgozatban nagyobb részletességgel szerepeltek a repülőgéphez tartozó típuscsalád műszerrendszerei. A Magyar Honvédség az A319-112-es változatot rendszeresítette. Elektronikus repülőgépvezetési műszerrendszereinek felsorolása az alábbiakban található.

Az automatikus repülési rendszer (AFS⁹¹) részei:

- az FMS rendszer az MCDU vezérlésével;
- a robotpilóta és a repülési pályavezérlő rendszer (AP⁹², FD⁹³) a repülési vezérlőpanelen keresztül (FCU⁹⁴);
- tolóerő-automata (A/T vagy A/THR⁹⁵) a gázkarok vezérlésével;
- FMA az egész AFS rendszer ellenőrzéséhez [8], [30].

Az adatokat, paramétereket kivetítő kijelző egységek:

- EFIS kijelzők (PFD és ND);
- ECAM kijelzők;
- DCDU kijelzők (adatkapcsolathoz);
- egy ISIS kijelző [8], [30].



47. ábra Az A319-es típus műszerfala Képet készítette: Józsa Dávid (2019)

⁹¹ Automatic Flight System

⁹² Autopilot

⁹³ Flight Director

⁹⁴ Flight Control Unit

⁹⁵ Auto Thrust

8.2. A Falcon 7X típus műszerrendszerei

A repülőgép fedélzete korszerű EASy⁹⁶ rendszerrel van felszerelve. A pilóták előtt négy darab, 14.1 inch átmérőjű elektronikus kijelző található (48. ábra):

- két darab elsődleges kijelző egység (PDU⁹⁷), amelyek egyben üzemelnek repülés-, navigáció- és hajtómű-ellenőrző műszerként;
- két darab multifunkciós kijelző egység (MDU⁹⁸), amelyeken például navigációs-, rendszer- és kommunikációs adatokat, ellenőrző listákat vagy a karbantartó üzemmódot lehet megjeleníteni [31].



48. ábra A Falcon 7X típus műszerfala Képet készítette: Benedek Levente / combatant.blog.hu (2020)

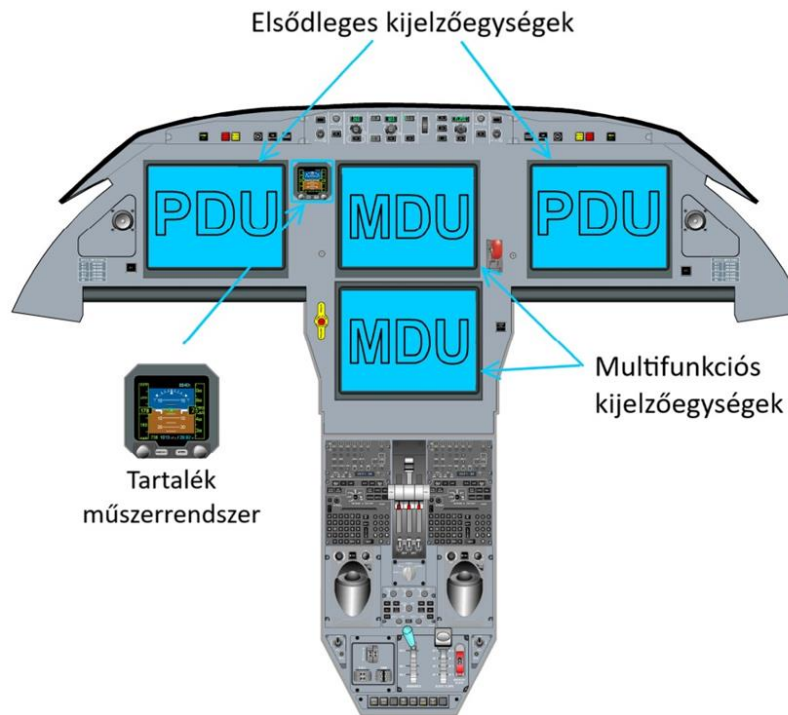
PDU meghibásodás esetén egy (integrált) tartalék műszerrendszer (SFD) is rendelkezésre áll (49. ábra). A parancsnok oldalán egy HUD műszerrendszernek megfelelő, HGS⁹⁹ elnevezésű műszerrendszer található [31], [32].

⁹⁶ Enhanced Avionics System

⁹⁷ Primary Display Unit

⁹⁸ Multifunction Display Unit

⁹⁹ Head-up Guidance System



49. ábra A Falcon 7X típus műszerfalának sematikus ábrája [31] Szerkesztette: Solymossi László

8.3. A KC-390 típus műszerrendszerei

A dolgozat írásának idején a Magyar Honvédség még nem rendszeresítette a típust, azonban az első tesztrepülés már megtörtént és az első gép átadása is esedékes. Az 50. ábrán látható repülőgép a brazil légierőhöz tartozik.



50. ábra A KC-390 típus műszerfala [33]

Rendkívül korszerű szoftver, illetve a Rockwell Collins Pro Line Fusion avionikus rendszerei vannak rá telepítve. A fly-by-wire vezérlés az avionikai rendszer részeként működik, a repülőgép vezetése így kevésbé megterhelő. Az egészséges üzemállapotra folyamatosan önmaga figyel fedélzeti karbantartó rendszerével (OMS¹⁰⁰), továbbá fel lett szerelve számítógépes harcászati önvédelmi rendszerrel is (EWSP¹⁰¹) [34], [35].

A típuson az EFIS, EICAS és FMS rendszerektől kijelzett információ integráltan jelenik meg öt darab 15 inch átmérőjű AMLCD kijelzőn. Középen látható az ISIS, illetve mindkét oldalon van egy-egy HUD műszerrendszer. Ezen kívül sok különlegességgel rendelkezhet, attól függően, hogy mi kerül megrendelésre [36].

¹⁰⁰ Onboard Maintenance System

¹⁰¹ Electronic Warfare Self-Protection

9. BEFEJEZŐ GONDOLATOK

A katonai repülés sokrétű világában a repülőgépműszerek fejlődése megreformálta a repülőgépek képességeit és hatékonyságát, legyen szó merevszárnyas, vagy forgószárnyas repülésről, vadászipülőgépekről, helikopterekről, vagy szállítórepülőgépekről. Utóbbi kategóriáról nagy élmény volt írni dolgozatomban, hozzá ötvözve az elektronikus műszerrendszereket, amelyek a szakirodalomban csak ritkán kerülnek összefoglaló és lényegre törő bemutatásra, nem titkolom ugyanis, hogy minél jobban kerestem hiteles források után, ez volt végső célom a munkám során.

Az EFIS kifinomult repülésellenőrző és navigációt ellenőrző kijelzőitől, az EICAS és ECAM által biztosított átfogó és megbízható hajtómű- és rendszerellenőrzéseken keresztül az FMS pontos és összetett navigációs képességéig, vagy a HUD-nak köszönhető részletes helyzetismeretig ezek a rendszerek bizonyították és bizonyítják a mai napig, hogy a korszerű technológia és az ergonómia fokozottsága és körülményei a katonai szállítórepülés szerves részévé vált, továbbá a 21. században felgyorsult, rohamos léptékben halad előre. Erre jó példa a mesterséges intelligencia fejlődése, amelyet a jövőben nem csak polgári, hanem valószínűleg katonai légi járművekbe is fognak integrálni, így az gyakorlatilag a műszerrendszerek részévé, összefoglalóan pedig az ember-gép-környezet kapcsolat részévé válhat.

Ezen kívül nem szabad alábecsülni a dolgozatban tárgyalt elektronikus műszerrendszerek repülésbiztonsági vonatkozásait sem. Egyes katonai műveletekben, ahol a megengedhető hibák halmaza nagyon kicsi, a pontos és hiteles, megbízható információhoz való hozzáférés létfontosságú lehet a művelet sikeressége, valamint a hajózó- és kiszolgálószemélyzet biztonsága érdekében. Az EFIS kijelzők hatékony helyzetfelismerést tesznek lehetővé, az EICAS és ECAM rendszerek érthetően és tömören jelenítik meg az adatokat akkor, amikor azokra a legnagyobb szükség van, valamint időben figyelmeztetnek bármilyen repülésbiztonsági kockázatot jelentő rendellenességre, vagy meghibásodásra. A HUD integrálása javítja a hajózószemélyzet térbeli tájékozódását és azon képességét, hogy gyorsabban tudjon reagálni bizonyos esetekre, akár rossz látási viszonyok között, éjszaka, vagy fokozott stresszhelyzetben.

Az elektronikus műszerrendszerek sokoldalúsága, kijelzőinek multifunkciós képességei a műveletek széles körében teszik nélkülözhetetlenné, legyen szó humanitárius segélyről, csapatszállításról, légi utántöltésről, vagy stratégiai légi szállításról. Katonai alkalmazásuk azonban egyedi kihívásokat is jelent a katonák számára. A rendszerek bonyolultsága szigorú kiképzést és jártasságot követel meg. Ezen túlmenően a rendszerek kiberbiztonságának fenntartása kiemelten fontos

a kritikus műveletek adatainak védelme és a jogosulatlan hozzáférés, vagy manipuláció megakadályozása szempontjából. Ez világszinten ma is prioritás valamennyi haderőben.

Összefoglalva, az elektronikus repülőgépvezetési műszerrendszerek a modern katonai szállító-repülőgépek kulcsfontosságú elemei, elősegítik a katonai műveletek nagyobb hatékonyságát, sikeres kimenetelét, valamint a repülésbiztonság egy magasabb szintre emelését. Tanulmányaim során eddig egy típussal, a Zlin 242L kiképző repülőgéppel ismerkedtem meg és repültem, amelyet elektronikus repülőgépvezetési műszerekkel szereltek fel. Annak ellenére, hogy ez a repülőgép nem rendelkezik olyan bonyolult műszerrendszerekkel, amelyek a dolgozat témáját képezik, ezzel a típussal volt szerencsém közvetlenül megtapasztalni az elektronika korszerű alkalmazását és előnyeit a gyakorlatban is. Hasonló élmények és tapasztalatok megszerzéséhez bátran nézek elébe jövőbeni kiképzéseimnek.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom konzulensemnek, Dr. Békési Bertold alezredes Úrnak, aki nélkül ez a dolgozat nem jöhetett volna létre ilyen formában, hiszen sok segítséget, véleményt, anyagot kaptam tőle munkám megírása során.

Külön köszönettel tartozom azoknak az embereknek, akik munkámat segítettek színesebbé, érdekesebbé tenni az általuk készített képeikkel.

HIVATKOZÁSOK JEGYZÉKE

- [1] Chris Binns: Aircraft systems Instruments, Communications, Navigation and Control. First edition. | Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2019. ISBN: 9781119259862 (Adobe PDF). ISBN: 9781119259541 (hardcover).
- [2] Beneda Károly, Dr. Gáti Balázs, Hátori György, Dr. Óvári Gyula, Rácz János: Repülőgépek rendszerei és avionika. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, 2012. ISBN: 978-963-279-613-0 Elérhető: <https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/2978> (letöltés dátuma: 2023.11.08.)
- [3] Mike Tooley: Aircraft Digital Electronic and Computer Systems. Third edition. Abingdon, Oxon; New York, NY: Routledge, 2022. ISBN: 978-1-032-10482-9 (hbk) ISBN: 978-1-032-10480-5 (pbk) ISBN: 978-1-003-21551-6 (ebk)
- [4] Allan Seabridge, Mohammad Radaei: Aircraft Systems Classifications. John Wiley & Sons, Inc., 2022. ISBN: 9781119771845
- [5] David Harris: Ground Studies for Pilots, Flight Instruments & Automatic Flight Control Systems. Blackwell Science Ltd., 2004. ISBN: 0-632-05951-6
- [6] Nemes István: Fedélzeti műszerek és műszerrendszerek I., Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1987. ISBN 9631027694, ISBN 9631076229-6
- [7] Ferenczi István, Ferenczi Ildikó, Szilágyi Dénes: Légi járművek fedélzeti rendszerei. Nyíregyházi Egyetem, 2018. ISBN: 978-615-5545-89-4
- [8] A319/A320/A321 Flight deck and systems briefing for pilots, 1998. Elérhető: https://www.smartcockpit.com/docs/A319-320-321_Flight_Deck_and_Systems_Briefing_for_Pilots.pdf
- [9] The Six Pack: Basic Flight Instruments. Elérhető: <https://pilotinstitute.com/six-pack-instruments/> (letöltés dátuma: 2023.11.13.)
- [10] AeroGal Aerolineas Galapagos S.A., A318/A319/A320/A321 Flight crew operating manual, 2005.
- [11] Digital Techniques Electronic Instruments, EASA Part-66, Aviation Maintenance Technician Certification Series, 2016. ISBN: 978-1941144022
- [12] EICAS (Engine Indicating and Crew Alerting System) Elérhető: <https://www.aeroclass.org/eicas/> (letöltés dátuma: 2024.01.18.)
- [13] What are EICAS and ECAM Systems on Aircraft? Elérhető: <https://www.aviationmatters.co/what-are-eicas-and-ecam-systems-on-aircraft/> (letöltés dátuma: 2024.01.19.)

- [14] Szentesi Csaba: Angol-magyar repülésműszaki szótár. Magyar Légiforgalmi Szolgálat. Negyedik változatlan kiadás, Budapest, 2008.
- [15] Cary R. Spitzer, Uma Ferrell, Thomas Ferrell: Digital Avionics Handbook. Third Edition. Taylor & Francis Group, 2015. ISBN: 978-1-4398-6898-0 (eBook - PDF)
- [16] Engine Indicating & Crew Alerting System Elérhető: <https://klmuktraining.com/online/mod/page/view.php?id=16131> (letöltés dátuma: 2024.02.13.)
- [17] Instrumentation ATPL Ground Training Series. CAE Oxford Aviation Academy (UK), Singapore, KHL Printing Co. Pte Ltd., 2014. Elérhető: https://vk.com/doc295496974_438639456?hash=7ed6dbd121b9cb92dc (letöltés dátuma: 2024.02.19.)
- [18] Electronic Centralised Aircraft Monitoring (ECAM) Elérhető: <https://klmuktraining.com/online/mod/page/view.php?id=16132&forceview=1> (letöltés dátuma: 2024.03.05.)
- [19] Ian Moir, Allan Seabridge, Malcolm Jukes: Civil Avionics Systems. Second Edition. John Wiley & Sons Ltd, 2013. ISBN: 978-1-118-34180-3
- [20] Békési Bertold, Gajdács László, Sári János: Repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer. Repüléstudományi közlemények, 32. évfolyam (2020) 3. szám 143-154. DOI: 10.32560/rk.2020.3.12
- [21] R. P. G. Collinson: Introduction to Avionics Systems. Fourth Edition. Springer, 2023. ISBN: 978-3-031-29214-9 ISBN: 978-3-031-29215-6 (eBook)
- [22] Mike Tooley and David Wyatt: Aircraft Communications and Navigation Systems. Second Edition. Taylor & Francis Group, 2018. ISBN: 978-1-138-30859-6 (hbk) ISBN: 978-0-415-82775-1 (pbk) ISBN: 978-1-315-85898-2 (ebk)
- [23] New FM Pilot's Guide A318/A319/A320/A321. Thales Avionics S.A.
- [24] Airbus A400M. Elérhető: <https://aerocorner.com/aircraft/airbus-a400m/> (letöltés dátuma: 2024.03.29.)
- [25] A400M: bringing together the best of civil and military functions. Elérhető: <https://on-board.thalesgroup.com/a400m-bringing-together-the-best-of-civil-and-military-functions/> (letöltés dátuma: 2024.03.29.)
- [26] Thales Sees Applications for Next Generation PureFlyt FMS on Military Air Transport Planes. Elérhető: <https://www.defensedaily.com/thales-sees-applications-next-generation-pureflyt-fms-military-air-transport-planes/uncategorized/> (letöltés dátuma: 2024.03.31.)

- [27] Ian Moir and Allan Seabridge: Military Avionics Systems. John Wiley & Sons, Ltd., 2006. ISBN: 0-470-01632-9
- [28] Mark B. Tischler: Advances in Aircraft Flight Control. Taylor & Francis, Ltd., 1996. ISBN: 07484 0479 1
- [29] Embraer receives Rockwell Collins Pro Line Fusion software for KC-390 aircraft. Elérhető: <https://www.airforce-technology.com/news/newsembraer-receives-rockwell-collins-pro-line-fusion-software-for-kc-390-aircraft-4364696/> (letöltés dátuma: 2024.04.04.)
- [30] A318/A319/A320/A321 Flight Crew Training Manual. Elérhető: <https://pdfroom.com/books/a318a319a320a321-flight-crew-training-manual/NpgpZjpB5jr> (letöltés dátuma: 2024.04.05.)
- [31] Dassault Falcon 7X Systems Summary Aircraft Introduction. Elérhető: <https://www.scribd.com/document/427050971/Falcon-7X-Aircraft-Introduction-pdf> (letöltés dátuma: 2024.04.07.)
- [32] Falcon 7X Head Up Guidance System. Elérhető: <https://das.falconjet.com/apex/f?p=2000:2431:::NO> (letöltés dátuma: 2024.04.07.)
- [33] Força Aérea Brasileira (FAB) - Brazilian Air Force. Elérhető: <https://www.flickr.com/photos/portalfab/50852961332/in/photostream/> (letöltés dátuma: 2024.04.07.)
- [34] ACE the C-390: Master of all Weather and Terrain, 1/2023.
- [35] AERO magazin XXIV. évfolyam, 2022. Szeptember 28-29.
- [36] Embraer KC-390: A new generation in military transport, a new standard in avionics. Elérhető: <https://www.rockwellcollins.com/-/media/Files/Unsecure/Docs/KC-390-Brochure-0711.pdf?la=en&lastupdate=20110713142647> (letöltés dátuma: 2024.04.08.)
- [37] Békési Bertold, Csóré Attila, Gajdács László: A légi járművek adatfeldolgozó és adattovábbító rendszere – az Air Data Computer. Repüléstudományi Közlemények 34. évfolyam 3. szám, 2022. pp. 77–89. DOI: 10.32560/rk.2022.3.6
- [38] Békési Bertold: Műszertan I. Repüléstudományi Szemelvények 2020. pp. 149–206. Elérhető: <https://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2020.pdf>

MELLÉKLETEK

1. melléklet: Rövidítésjegyzék
2. melléklet: Ábrajegyzék

1. melléklet
Rövidítésjegyzék

A/P	Autopilot	Robotpilóta
A/T	Autothrottle	Tolóerő-automata
A/THR	Auto Thrust	Tolóerő-automata
ACARS	Aircraft Communication Addressing and Reporting System	Repülőgépi hírközlési és jelentőrendszer
ADC	Air Data Computer	Levegőparaméter-adatok számítógysége (Levegőjelek számítógysége)
ADF	Automatic Direction Finder	Automatikus rádióirány kereső
ADI	Attitude Direction Indicator	Térbeli helyzetjelző műszer
AFCAS	Automatic Flight Control and Augmentation System	Automatikus repülésvezérlő és repülésitulajdonság-javító rendszer
AFCS	Automatic Flight Control System	Automatikus repülőgépvezetési rendszer
AFDS	Autopilot/Flight Director System or Automatic Flight Director System	Robotpilóta/pályavezérlő rendszer vagy Automatikus repülési pályavezérlő rendszer
AFS	Automatic Flight System	Automatikus repülési rendszer
AGL	Above Ground Level	Földfeletti magasság
AHRS	Attitude Heading Reference System	Helyzet és irányrendszer
AMLCD	Active Matrix Liquid Crystal Display	Aktív mátrix folyadékkristályos kijelző
APU	Auxiliary Power Unit	Segédhajtómű
ARINC	Aeronautical Radio, Incorporated	Repülőgépi szabvány
ATC	Air Traffic Control	Légiforgalmi irányítás
BITE	Built-in Test Equipment	Beépített tesztberendezés
BRT	Brightness Control	Fényerősség-szabályozó
CDU	Control Display Unit	Vezérlő- és kijelző egység
CRT	Cathode Ray Tube	Katódsugárcső
CVR	Cockpit Voice Recorder	Fedélzeti hangrögzítő
DBU	Data Base Storage Unit	Adattároló egység
DCDU	Data-link Control and Display Unit	Adatkapcsolati vezérlő- és kijelző egység
DCU	Data Conversion Unit	Adatátalakító egység
DFDAU	Digital Flight Data Acquisition Unit	Digitális repülési adatgyűjtő egység
DFDR	Digital Flight Data Recorder	Digitális repülési adatrögzítő
DH	Decision Height	Elhatározási magasság
DME	Distance Measuring Equipment	Távolságmérő berendezés
DPU	Display Processor Unit	Kijelző processzoregység

DSP	Display Select Panel	Kijelző vezérlőpanel
DU	Display Unit	Kijelző egység
EADI	Electronic Attitude Direction Indicator	Elektronikus térbeli helyzetjelző műszer
EASy	Enhanced Avionics System	Modernizált/fejlesztett avionikai rendszer
ECAM	Electronic Centralised Aircraft Monitoring	Központi elektronikus repülőgépállapot megfigyelő rendszer
EFIS	Electronic Flight Instrument System	Elektronikus repülési műszerrendszer
EGT	Exhaust Gas Temperature	Kiáramló gáz hőmérséklet
EHSI	Electronic Horizontal Situation Indicator	Elektronikus vízszintes helyzetjelző műszer
EICAS	Engine Indicating and Crew Alerting System	Hajtómű-ellenőrző és személyzetfigyelmeztető rendszer
EMI	Electromagnetic Interference	Elektromágneses interferencia
EPR	Engine Pressure Ratio	Hajtómű nyomásviszony
EWSP	Electronic Warfare Self-Protection	Számítógépes harcászati önvédelmi rendszer
FANS	Future air Navigation System	Jövőbe mutató navigációs rendszer
FCC	Flight Control Computer	Repülésvezérlő számítógép
FCU	Flight Control Unit	Repülési vezérlőpanel
FD	Flight Director	Repülési pályavezérlő
FDS	Flight Director System	Repülési pályavezérlő rendszer
FGS	Flight Guidance System	Repülésirányítási rendszer
FMA	Flight Mode Annunciator	Repülési üzemmód kijelző
FMC	Flight Management Computer	Repüléskoordináló és -optimalizáló számítógép
FMCS	Flight Management Computer System	Repüléskoordináló és -optimalizáló számítógéprendszer
FMS	Flight Management System	Repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globális helymeghatározó műholdrendszer
GPS	Global Positioning System	Földi helymeghatározó rendszer
HDG	Heading	Géptengelyirányszög
HGS	Head-up Guidance System	Fejfeletti elektronikus kijelző/célkijelölő (HUD)
HUD	Head-Up Display	Fejfeletti elektronikus kijelző/célkijelölő (homloküveg indikátor kijelző)
ICAO	International Civil Aviation Organization	Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet

ILS	Instrument Landing System	Műszeres leszállító berendezés
IMA	Integrated Modular Avionics	Integrált modulrendszerű avionikai architektúra
INS	Inertial Navigation System	Inerciális navigációs rendszer
IRS	Inertial Reference System	Tehetetlenségi helymeghatározó rendszer
ISIS	Integrated Standby Instrument System	Integrált tartalék műszerrendszer
JAR Ops	Joint Aviation Requirements - Operations	Egységes Légügyi Előírás
LCD	Liquid Crystal Display	Folyadékkristályos kijelző
LED	Light Emitting Diode	Fénykibocsátó dióda
LNAV	Lateral Navigation	Oldalirányú navigáció
MCDU	Multifunction Control and Display Unit	Multifunkciós vezérlő- és kijelző egység
MDU	Multifunction Display Unit	Multifunkciós kijelző egység
MEL	Minimum Equipment List	Minimálisan szükséges berendezés-lista
MFD	Multifunction Display	Multifunkciós kijelző
MLS	Microwave Landing System	Mikrohullámú leszállító rendszer
MPU	Multifunction Processor Unit	Multifunkciós processzoregység
MRTT	Multi Role Tanker Transport	? többcélú légi utántöltő/szállító
ND	Navigation Display	Navigációs kijelző
OMS	Onboard Maintenance System	Fedélzeti karbantartó rendszer
PAR	Precision Approach Radar	Precíziós bevezető radar
PDU	Pilot Display Unit	Pilóta fedélzeti kijelző egysége
PDU	Primary Display Unit	Elsődleges kijelző egység
PFD	Primary Flight Display	Elsődleges repülési kijelző
PMC	Power Management Control	Hajtóműteljesítmény-vezérlő rendszer
PMLCD	Passive Matrix Liquid Crystal Display	Passzív mátrix folyadékkristályos kijelző
RAD ALT	Radar Altimeter	Rádiomagasságmérő
RMI	Radio Magnetic Indication	Rádiómágneses irányszög kijelzés
RNAV	Area/Radio Navigation	Rádiónavigáció
RNP	Required Navigation Performance	PBN típusú navigációs képesség
RPM	Rounds per Minute	fordulatszám
SAC	Strategic Airlift Capability	Stratégiai légiszállítási képesség
SEI	Standby Engine Indicator	Tartalék hajtómű kijelző
SFD	Secondary Flight Display	Tartalék műszerrendszer
SGU	Symbol Generator Unit	Jelgenerátor-egység
SSW	Source Select Switch	Jelforrást kiválasztó kapcsoló

TACAN	Tactical Air Navigation	Taktikai léginnavigációs rendszer
TMC	Thrust Management Computer	Tolóerőt szabályozó számítógép
VHF	Very High Frequency	Ultrarövid hullám
VNAV	Vertical Navigation	Függőleges síkban lévő navigáció
VOR	Very High Frequency Omnidirectional Range	Körsugárzó rádióirányadó
VSI	Vertical Speed Indicator	Variométer
WXP	Weather Radar Panel	Időjárásradar-panel
WXR	Weather Radar	Időjárásradar

2. melléklet

Ábrajegyzék

1. ábra	Hatos elrendezés („6 pack”) [9]	7
2. ábra	Az EFIS avionikai rendszer kijelzőinek vázlatos elhelyezkedése [4]	15
3. ábra	Az EFIS avionikai rendszer sematikus ábrája [5]	17
4. ábra	Egy EADI kijelző vázlatos tartalma [5]	18
5. ábra	Az A320-as típuscsalád EADI kijelzője emelkedés közben [8]	19
6. ábra	Az A320-as típuscsalád EADI kijelzője megközelítés közben [8]	22
7. ábra	EHSI MAP mód [5]	24
8. ábra	EHSI PLAN mód [5]	25
9. ábra	Az A320-as típuscsalád ND kijelzőjének PLAN módja [8]	25
10. ábra	EHSI FULL ILS és EHSI EXP ILS mód [5]	26
11. ábra	Az A320-as típuscsalád ND kijelzőjének ILS módja [8]	27
12. ábra	Az A320-as típuscsalád ND kijelzőjének VOR módja [8]	27
13. ábra	A SAC program keretében Pápán állomásozó, F-207 SAC-01 oldalszámú C-17-es katonai szállítórepülőgép és négy MFD kijelzője. Képet készítette: Martényi Tamás (Pápa, 2009.)	29
14. ábra	Az EICAS rendszer sematikus ábrája [5]	34
15. ábra	Az elsődleges EICAS kijelző összetettebb figyelmeztető üzenetekkel [16]	35
16. ábra	A másodlagos EICAS kijelző egy másik változata [16]	36
17. ábra	EICAS másodlagos kijelző állapotjelző (status) módja [5]	36
18. ábra	A másodlagos kijelző egy másik változata [16]	37
19. ábra	Az EICAS elektromos/hidraulikus rendszerek adatait részletesebben mutató másodlagos kijelzője [16]	37
20. ábra	EICAS karbantartó vezérlőpanel [11]	38
21. ábra	EICAS vezérlőpanel [5]	39
22. ábra	Összevont EICAS kijelző a másodlagos kijelző meghibásodása után [5]	40
23. ábra	Sematikusan ábrázolt (a), LCD (b) és LED (c) tartalék hajtóműkijelző [3][5]	40
24. ábra	Az ECAM rendszer sematikus ábrája [5]	41
25. ábra	Az A320-as típuscsalád ECAM rendszerének felső kijelzője NORMAL módban, leszállás közben [8]	42
26. ábra	ECAM advisory mód [18]	43
27. ábra	Az ECAM rendszer felső kijelzője FAILURE módban, bekeretezett üzenettel [17]	44

28. ábra Az ECAM két kijelzője FAILURE módban, aláhúzott rendszercímmel [17]	44
29. ábra Az A320-as típuscsalád ECAM rendszerének alsó kijelzőjén manuálisan kiválasztható 12 rendszer oldala [8]	46
30. ábra Az A320-as típuscsalád ECAM rendszerének STATUS kijelzése az alsó kijelzőn [8]	46
31. ábra Az ECAM rendszer vezérlőpanele [17]	47
32. ábra Az A320-as típuscsalád ECAM vezérlőpanele [8]	48
33. ábra Az FMS funkciói [15]	50
34. ábra Az FMS fő egységeinek és integrált rendszereinek sematikus ábrája [17]	51
35. ábra FMS rendszer sematikus ábrája [27]	52
36. ábra FMS vezérlő és kijelző interfész sematikus ábrája [27]	53
37. ábra Az FMS CDU kijelzői egy régebbi C-130 Hercules típuson (Józsa Dávid gyűjteményéből)	54
38. ábra A Boeing FANS-1 és az Airbus FANS-A koncepciója [19]	55
39. ábra Az FMS üzemmódjai három FMC-vel rendelkező FMS rendszerben [21]	56
40. ábra Az A400M katonai szállítórepülőgép korszerű FMS (MFD) kijelzői (felettük láthatóak az ECAM és EFIS rendszer kijelzői, szintén MFD kijelzőfelületen) [24]	58
41. ábra Boeing típusú CDU sematikus ábrája [22]	58
42. ábra Boeing (bal) és Airbus (jobb) típusú CDU [22][23]	59
43. ábra A homloküveg indikátor kijelzőre vetített adatok [19]	61
44. ábra A C-130 Hercules katonai szállítórepülőgép homloküveg indikátor kijelzője (Józsa Dávid gyűjteményéből)	62
45. ábra Az integrált tartalék műszerrendszer [19]	63
46. ábra Az A319-es típus integrált tartalék műszerrendszere Képet készítette: Józsa Dávid (2019)	63
47. ábra Az A319-es típus műszerfala Képet készítette: Józsa Dávid (2019)	64
48. ábra A Falcon-7X típus műszerfala Képet készítette: Benedek Levente / combatant.blog.hu (2020)	65
49. ábra A Falcon 7X típus műszerfalának sematikus ábrája [31]	66
50. ábra A KC-390 típus műszerfala [33]	66