Szilvássy László—Békési Bertold

ÜZEMELTETHETŐSÉG

AZ ÜZEMELTETÉS ÉS ÜZEMELTETHETŐSÉG

Az üzemeltetés módszerei

Az üzemeltetett repülőeszköz alkatrészeit, berendezéseit, szerkezeti elemeit körültekintő vizsgálatok után, különböző üzemeltetési módszerek szerint csoportosítják és az adott eszköz besorolása alapján azzal a módszerrel üzemeltetik. Az alkalmazott üzemeltetési módszerek a következők lehetnek:

— üzemeltetés a meghibásodások bekövetkeztéig;
— kötött üzemidő (hard time) szerinti üzemeltetés;
— megbízhatósági szint (condition monitoring) szerinti üzemeltetés;
— folyamatosan ellenőrzött műszaki állapot szerinti (on condition) üzemeltetés;
— szakaszosan, időszakonként ellenőrzött (diagnosztizált) műszaki jellemzők szerinti üzemeltetés.

A *meghibásodás bekövetkeztéig történő üzemeltetés:* nem tartalmaz semmilyen karbantartó, javító, ellenőrző tevékenységet, hibafeltáró módszert; csak következménymentesen meghibásodó szerkezeti elemeknél, berendezéseknél alkalmazható.

A *kötött üzemidő szerinti üzemeltetés:* az adott berendezés vagy rendszer műszaki állapotára jellemző adatok nem állnak a rendelkezésünkre és nincsen információnk a jellemző üzemeltetési körülmények között az adott berendezés megbízhatóságának meghatározására. Előre meghatározott üzemidő, repült óra, naptári időszak esetleg leszállás szám teljesítése után végre kell hajtani a karbantartási és javítási munkákat.

Megbízhatósági szint szerinti üzemeltetés: ha a meghibásodások gyakorisága egy bizonyos, előre adott szint alatt van, akkor a vizsgált rendszer vagy berendezés rendszeres karbantartás és javítás nélkül is üzemeltethető. Ez az üzemeltetési módszer csak akkor alkalmazható, ha a műszaki üzemeltetési rendszer lehetővé teszi a meghibásodások rögzítését, gyűjtését és folyamatos kiértékelését.

Szakaszosan és folyamatosan ellenőrzött műszaki jellemzők szerinti üzemeltetési módszer szerint akkor üzemeltetünk, ha a vizsgált rendszerben beépített, a műszaki jellemzők mérésére szolgáló adók vagy berendezések találhatók. A szakaszos és folyamatos között az a különbség, hogy a folyamatos esetében az említet adóknak, berendezéseknek folyamatos kijelzése van, míg a szakaszos esetében diagnosztikai időket, bizonyos ciklikusságot (szabályosságot) kell előírni.

Állapot szerinti üzemeltetés: a repülőeszköz berendezéseit, elemeit az adottságok és lehetőségek figyelembevételével a korábban említett üzemeltetési módszerek szerint, csoportosítva üzemeltetjük. Ebben az esetben lehet a legjobban megközelíteni azt, hogy a berendezések, szerkezeti elemek tényleges állapota legyen az üzemeltetési stratégia alapja.

Az alkalmazott üzemeltetési stratégiának minden esetben meg kell felelni az adott repülőeszköz műszaki fejlettségi és technologizáltsági szintjének, mind az üzemeltető személyzet, mind a karbantartó, javító üzemek tekintetében.

Az üzemeltetési stratégia a végrehajtás tekintetében karbantartási és javítási formákra bontható. A karbantartási formák alapvetően két nagy csoportra oszthatók: operatív és időszakos. Az operatívba tartozik a repülés előtti, a repülés utáni, az előzetes, ismételt felszállásra történő felkészítő ellenőrzések. Az időszakos alatt általában valamilyen naptári időszak, vagy repült idő eltelte után végrehajtandó ellenőrzést értjük.

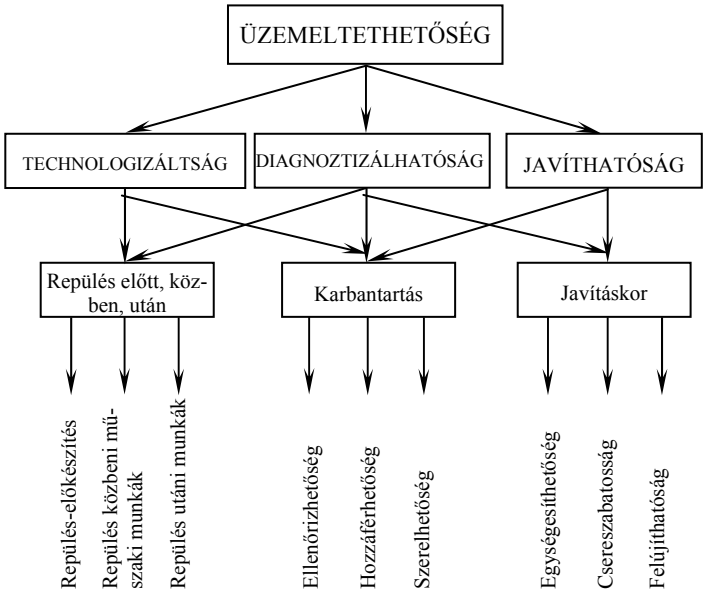
Az üzemeltethetőség

A repülőeszköz azon tulajdonságát, hogy működőképessége helyreállítható, vagyis a meghibásodásainak keletkezési okai megszüntethetők, valamint következményeik javítással és műszaki karbantartással elháríthatók *javíthatóságának* nevezzük. A karbantartás és javítás között a különbség az elvégzendő munkák mélységében, mennyiségében és minőségében van. A karbantartás célja a megbízhatóság szinten tartása, a javításé pedig a megbízhatósági szint helyreállítása. A műszaki karbantartás és javítás során végrehajtásra kerülnek még az úgynevezett *profilaktikus* és *utómunkák*[1] A javíthatóság mellett értelmezni kell az *üzemeltetési technologizáltság* fogalmát is, ami azt jelenti, hogy egy adott repülőeszköz mennyire alkalmas a műszaki karbantartási munkák valamennyi fajtájának a leggazdaságosabb technológiai eljárások alkalmazásával történő elvégezésére.

A repülőeszközök üzemeltethetőségi alkalmasságának fontos jellemzője a *diagnosztizálhatóság*, ami napjainkban a korszerű üzemeltetési stratégiák előretörésével lassan nélkülözhetetlen eleme az üzemeltetésnek. Ez a repülőeszköz olyan tulajdonsága, hogy az eszköz vagy annak vizsgált eleme, berendezése rendelkezik-e megfelelő pontossággal mérhető olyan műszaki paraméterekkel, amelyek ismeretében az üzemállapot egyértelműen meghatározható.

---

[1] Profilaktikusnak nevezzük azokat a műszaki karbantartási munkákat, amelyek a parametrikus (fokozatos) meghibásodások feltárására és elhárítására hajtunk végre; utómunkának pedig az üzemeltetési tapasztalatok és a feltárt meghibásodások alapján a repülőeszköz megbízhatóságának, üzemeltetési szintjének, javíthatóságának a növelése érdekében végrehajtott egyszeri vagy adott gyakoriságú munkákat.



1. ábra.

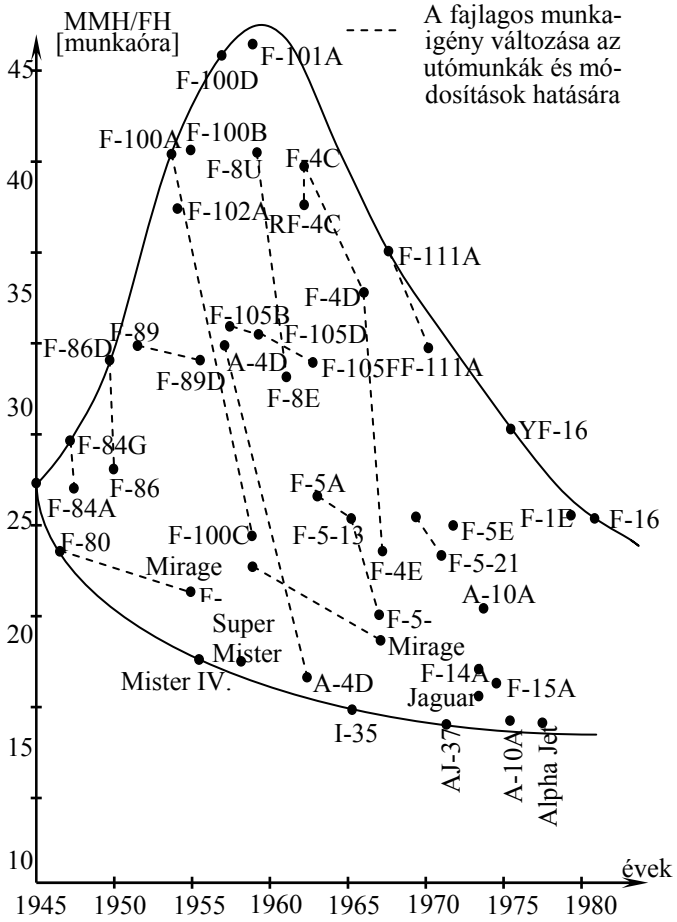
Az 1. ábra szerint az üzemeltetési technologizáltság, a diagnosztizálhatóság és a javíthatóság az üzemeltethetőség három fő jellemzője.

Az eddig felsoroltak alapján a repülőeszköz üzemeltetésre való alkalmasságát egyszóval ÜZEMELTETHETŐSÉG-nek — angolul MAINTAINABILITY — nevezhetjük.

Az üzemeltethetőség korai kérdései

A repülőeszközök több évtizedes fejlődése szükségszerűen együtt járt a tervezési, gyártási és üzemeltetési folyamat korszerűsödésével. A legjelentősebb fejlődés az egyre drágább és egyre bonyolultabb repülőeszközök hadrendbe állításával következett be. Például a negyvenes években az USAF egyetlen — a kor követelményeinek megfelelő — harcászati repülőeszközének az ára 100 ezer USD volt, a hatvanas évekre ez elérte az 1 millió USD-t, a hetvenes évekre a 10 millió USD-t, a nyolcvanas évekre a 30 millió USD-t és napjainkra pedig 60 millió USD-t. Ez 60 évre vetítve 600 szoros emelkedést jelent.

A légierő hatékonyságát két, jelentősen különböző módon lehet növelni. Ezek közül az egyik a repülőeszközök mennyiségi mutatóinak növelésével a minőségi mutatók változatlan hagyásával, a másik ennek szöges ellentéte a minőségi mutatók emelése a mennyiségi mutatók változatlan hagyása mellett.



2. ábra

A repülőeszközök mennyiségi mutatóinak növelése financiális okok miatt nem járható út, mert még a jelentős költségvetéssel működő légierők sem engedhetik meg ezt maguknak. Ebből következik — és sok szakértő egybehangzóan állítja —, hogy a legcélravezetőbb a hatékonyság növelése azonos darabszám mellett, ami magában foglalja mind a fegyverek alkalmazásának hatékonyságát, mind a fedélzeti elektronika folyamatos korszerűsítését, valamint a sebezhetőség csökkentését. A felsoroltak végrehajtásával növekednek a repülőeszköz harci mutatói, de ezzel egy időben egyre bonyolultabbá is válik az adott eszköz. Ennek következtében pedig egyre több karbantartási, ellenőrzési feladatot kell rajta végrehajtani, ami növeli az állásidőt, amit a repülő nem hadrafogható állapotban a földön tölt. Például az USAF-ban a II. világháború utáni másfél évtizedben az egy repült órára fordított munkaórák száma 45—60 órára növekedett (lásd a 2. ábrát).

Az egy repült óra biztosításához szükséges műszaki karbantartási és javítási munkaórák számának növekedése negatívan hatott a repülő alakulatok harckészültségére és már az ötvenes években a repülőeszköz harci hatékonyságára gyakorolt hatása összemérhető volt a repülőeszköz harcászati technikai jellemzőinek hatásával. Mindezek következtében nagymértékben megnövekedett a repülőeszközök karbantartási és javítási költsége, a hatvanas évekre, 8—10 év üzemidővel számolva, elérte a repülőeszköz beszerzési költségének a 150—200%-át.

A munka jobb szervezésével rövidíteni lehet a repülő technika műszaki karbantartási és javítási idejét. Ugyanakkor ezen az úton a lehetőségek korlátozottak, mert harci körülmények között az ellenség támadása és a tartalék reptérre történő áttelepülés nagyon megnehezíti a műszaki karbantartás és javítás magas színvonalon tartását. Ezen kívül a karbantartás és javítás intenzitását nagymértékben befolyásolja a repülőeszköz konstrukciója is.

A hatvanas évek elején a szakemberek figyelme a műszaki karbantartás és javítás minőségének javítására irányult és a repülőgépgyártók megtették az első lépéseket, hogy a repülőeszközök konstrukciós kialakításával alkalmasabbá tegyék azt a karbantartási és javítási munkák elvégzésére. Ezek a kísérletek rámutattak a repülőtechnika konstrukciós kialakításában rejlő kiaknázatlan lehetőségekre, hogy rövidíteni tudják az egy repült órára fordított karbantartási időt. A kísérletek eredményeképpen az F—100A típusú repülőgépen végrehajtott módosítások és utómunkák következtében a műszaki karbantartásra és javításra fordított munkaórák száma az egy repült órára vetítve lecsökkentek 40 óráról 19,5 órára. Hasonlóképpen végrehajtott utómunkák és módosítások végrehajtása az F—111A vadászbombázón 20%-kal csökkentették az egy repült órára fordított karbantartási és javítási időt.

Ugyanakkor ezek módosítások és utómunkálatok a már üzemben lévő repülőeszközökön jelentősen megnövelték az idő, eszköz és munka ráfordítást, ezzel növelve az üzemidő költségét. Ezért felvetődött, hogy a repülőeszközöket már a tervezés stádiumában úgy kell kialakítani, hogy a műszaki karbantartási és javítási munkaórák egy repült órára vetítve ne haladjanak meg egy bizonyos elfogadható szintet. Ennek a problémának a megoldásában a vezető szerepet a repülőgépipar játszotta.

A hatvanas évek elején megjelentek az első szabványok, melyek útmutatást adtak a tervezés stádiumára, hogyan lehet a repülőtechnika üzemeltethetőségét javítani.

Az üzemeltethetőség meghatározásával foglalkozó első szabvány a MIL—STD—778B volt, amely az üzemeltethetőség fogalmával és meghatározásával foglalkozott. Megjelenése után jelentősen megváltozott a repülőtechnika tervezési stádiumban történő kiválasztásának módszere, mert nagy figyelmet fordítottak az üzemeltethetőség mennyiségi és minőségi mutatóira.

A hetvenes évek elején megjelentek a MIL—STD—470/471/472/473 és az AFSC 80—9 szabványok, melyek már pontosan meghatározzák az üzemeltethetőség fogalmát és mennyiségi mutatóit.

Az üzemeltethetőség javítása területén bevezetett rendszabályok elvezettek ahhoz, hogy a repülőtechnika bonyolultabbá válása ellenére az egy repült órára fordított munkaóra nem növekedett, sőt még csökkenést is mutatott (lásd a 2. ábrát).

A napjainkban meglévő és folyamatban lévő fejlesztéseket ezredfordulón túlmutató tudományos igényű 1985-ben kiadott *„R & M 2000”* program szabályozza.

Az üzemeltethetőség mérhető paraméterei

Milyen mérhető paraméterei vannak egy repülőeszköznek, amelyek segítségével érzelmek nélkül összehasonlíthatunk repülőeszközöket úgy, hogy közben képet kapunk annak fejlettségi szintjéről is. Ezek a számítható jellemzők fontosak a korszerű üzemeltetés megvalósítása szempontjából.

Ilyen számszerű jellemző a *fajlagos munkaigény*, amely a következő összefüggés szerint számítható:

$$MMF/FH = \frac{\left(\overline{M}_{ct}F_cP_c + \overline{M}_{ft}F_fP_f\right)K + \left(\overline{M}_{pt}F_pP_p\right)}{N} \qquad (1)$$

ahol:

MMF/FH[2] — karbantartás, javítás fajlagos munkaigénye egy repült órára vonatkoztatva munkaórában kifejezve[3];

$\overline{M}_{ct}$; $\overline{M}_{ft}$ — a meghibásodások közepes, aktív javítási ideje állóhelyen vagy csapat (tábori) javítóbázison;

F_c; F_t — csapat (tábori) javítóbázison kijavított meghibásodások száma;

P_c; P_t — csapat (tábori) javítóbázison egy meghibásodás kijavításához szükséges átlagos műszaki személyzet létszáma;

K — a berendezések földi üzemidejét figyelembevevő együttható ($K \geq 1$);

$\overline{M}_{pt}$ — a tervezet műszaki karbantartások közepes, aktív végrehajtási ideje;

F_p — N repült óra biztosításához tervezett műszaki kiszolgálások száma;

P_p — egy tervezett karbantartás végrehajtásához szükséges műszaki személyzet létszáma;

N — a vizsgált naptári időszakban végrehajtott repült órák száma.

Az MMF/FH mutatót alkalmazhatjuk még egy konkrét repülőeszköz kiszolgálásához szükséges műszaki személyzet létszámának meghatározására, a kiszolgálási folyamat termelékenységi mutatóinak értékelésére, a műszaki személyzet kvalifikáltságának ellenőrzésére és a repülőeszköz alkalmazási hatékonyságának vizsgálatára és egyéb értékelésekre.

---

[2] MMH/FH — Maintanance Man-Hour per Flying Hour

[3] A mértékegység meghatározásakor a DR. ROHÁCS JÓZSEF—SIMON ISTVÁN: Repülőgépek és helikopterek üzemeltetési zsebkönyve 25. oldalán található mértékegységet vettem alapul

A repülőeszköz állásidejének felső határértékeit — többek között a gyenge munkaszervezésből és anyagellátásból adódókat is — megadhatjuk a készültségi együtthatók A_i; A_a; A_o segítségével.

A_i — *meglévő készenléti fok*. A MIL—STD—778B szabvány szerint azt fejezi ki, hogy az előírásoknak megfelelően, ideális körülmények között (a kiszolgáló eszközök a pótalkatrészek és a műszaki személyzet állandó megléte mellett) üzemeltetett repülőeszköz — a tervezett és a megelőző karbantartási munkák figyelmen kívül hagyásával — milyen valószínűséggel üzemeltethető meghibásodás nélkül egy meghatározott időintervallumban:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \tag{2}$$

ahol:

MTBF[4] — a vizsgált üzemeltetési időszak meghibásodásai közötti átlagos idő;

MTTR[5] — egy meghibásodás kijavításához szükséges idő.

Gyakorlatilag az A_i értéke a repülőeszköz meghibásodás nélküli üzemelésének valószínűségét jelenti.

A_a — *elért készenléti fok*. A MIL—STD—778B szabvány szerint azt fejezi ki, hogy egy rendszer vagy egy berendezés milyen valószínűséggel üzemeltethető ideális körülmények között meghibásodásmentesen. Az A_a kiszámításakor csak az aktív állás időt vesszük figyelembe. A munkaszervezés és az anyagellátás hibájából keletkezett állásidőt figyelmen kívül hagyjuk. Ennek megfelelően a kiszámítás a következő képlet alapján történik:

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + M} \tag{3}$$

ahol:

MTBM[6] — a vizsgált időszak egy-egy javítási és karbantartási fajtája között eltelt átlagos idő;

M — egy karbantartásra és javításra eső átlagos, aktív állásidő.

$$M = \frac{\overline{M}_{ct} f_c + \overline{M}_{pt} f_p}{f_c + f_p} \tag{4}$$

ahol:

$\overline{M}_{ct}$ – közvetlenül egy javításra fordított átlagos, aktív idő;

$\overline{M}_{pt}$ – közvetlenül egy profilaktikus munkára fordított átlagos, aktív idő;

---

[4] MTBF — Mean Time Between Failure

[5] MTTR — Mean Time To Repair

[6] MTBM — Mean Time Between Maintenance

f_c – a meghibásodások száma;
f_p – a profilaktikus munkák száma.

Abban az esetben ha a vizsgált üzemeltetési időszakban semmilyen tervezett munka nem kerül végrehajtásra akkor az A_a kiszámítása során a képletben a MTBM helyett MTBF-et alkalmazunk.

$$A_a = \frac{MTBF}{MTBF + M} \tag{5}$$

ahol: A_o — üzemeltetési készenléti fok.

A MIL—STD—778B szabvány szerint azt fejezi, hogy az adott repülőeszköz valós körülmények között milyen valószínűséggel üzemeltethető meghibásodás nélkül, egy meghatározott időintervallumban.

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \tag{6}$$

ahol: MDT[7] — a karbantartásra és javításra fordított átlagos állásidő, amely figyelembe veszi a munkaszervezés és anyagellátás hibájából származó állásidőket is. Másképpen fogalmazva az MDT nem más, mint a repülőtechnika hadrafoghatatlan állapotban töltött ideje.

Az A_i és az A_a értékei az MTTR-en keresztül közvetetten függenek az üzemeltethetőségtől és az értékeik segítségével osztályozható az üzemeltethetőség szintje. Az A_o nem csak a konstrukcióban rejlő üzemeltethetőséget jellemzi, hanem a műszaki kiszolgálás és javítás szervezettségének az effektivitását is.

Az A_o meghatározott értéke vadász és vadász-bombázó repülőgépek esetében 0,70—0,85; harcászati támogató repülőgépekre 0,80—0,90; vegyes használatú helikopterekre 0,72—0,86; míg harci helikopterekre 0,80—0,90 értékek között van. [2]

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] BÉKÉSI BERTOLD: A repülőszerkezetek műszaki karbantartása, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 1999/3. p. 93-103.

[2] DR. ÓVÁRI GYULA: A Magyar Honvédség repülőeszközei típusváltásának és üzemeltetésének lehetőségei gazdaságossági-hatékonysági kritériumok, valamint NATO-csatlakozásunk figyelembevételével. A légierő fejlesztése. Tanulmánygyűjtemény, Honvédelmi Minisztérium Oktatási és Tudományszervező Főosztály, Budapest, 1997. p. 9-127

[3] DR. ÓVÁRI GYULA: Korszerű harcászati repülőgépek műszaki üzemeltetésének sajátosságai és gazdaságossági-hatékonysági kérdései, A harcászati repülők fejlesztésének szükségessége és lehetősége, Konferencia előadás gyűjtemény, Magyar Hadtudományi Társaság, Budapest, 1998. p. 33-70

[4] DR. PETÁK GYÖRGY: A repülőtechnika üzembentartása és javítása. Főiskolai jegyzet, KGyRMF, Szolnok, 1981.

[5] DR. ROHÁCS JÓZSEF-SIMON ISTVÁN: Repülőgépek és helikopterek üzemeltetési zsebkönyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989.

[7] MDT — Mean Down Time