

**Békési Bertold**

## **A RENDSZERBIZTONSÁGI-PROGRAM KÖVETELMÉNYEI**

A megbízhatóság elmélet főbb összefüggéseivel azokat a minősítő paramétereket lehet megalapozni, amelyek segítségével vizsgálhatjuk egy technikai rendszer megbízható működését. Célom az, hogy ismertessem azokat a tevékenységeket, melyekkel a repülőgép tervezők és a gyártók igyekeznek megteremteni a megbízható és biztonságos üzemelés feltételeit.

A rendszerbiztonsági-program követelményeit a „MIL—STD—882C” nemzetközi szabvány tartalmazza, ezért a témát ennek alapján fogom ismertetni.

A tevékenység a tervező és a gyártó szoros együttműködésével valósul meg, ahol a tervezésnél felvett előre becsült adatok a gyártó által megvalósított berendezések ellenőrzésével kerülnek véglegesítésre, esetleg korrekcióra.

## **RENDSZERBIZTONSÁG**

Rendszerbiztonság alatt értik a biztonság olyan optimális szintjét, a teljes repülőgépre, annak berendezéseire és rendszereire, beleértve a tevékenység hatékonysága kényszerét, az időtartamot és a költségeket, melyeket a rendszer biztonság az alkalmazás során, mint kritériumokat megvalósít a MIL—STD—882C szabványnak megfelelő fejlesztési terv alapján.

Ezen elvek alkalmazásakor, a kockázatot meg kell határozni, és minimumra kell csökkenteni, valamint a rendszer teljes élettartama minden ciklusa során ellenőrizni kell.

### **A rendszerbiztonság általános célja**

A repülőgépek legmagasabb szintű biztonsága eléréséhez különböző együttes intézkedések megtétele szükséges, úgymint:

- a hatékony ember–gép kapcsolat;
- a kitűnő repülési jellemzők;
- a magas fokú rendszer megbízhatóság;
- a biztonsági intézkedések;
- a magas szintű harckészség;

- a jó alkalmazkodás a kiszolgáló és üzemeltető szervezet személyi állományához.

Az alacsony *repülő esemény hányados*<sup>1</sup>, az anyagok és rendszerek meghibásodása következtében az összes fedélzeti rendszer megfelelő tartalékolása, illetve speciális vészrendszerek beépítése útján érhető el, melyek azért kerülnek betervezésre, hogy a repülőgépek „csökkent rendszer funkciók” esetén is képesek legyenek a saját bázisra visszatérni és leszállni.

Általános cél, hogy a baleseti hányados maximális tervezett értéke 100 000 repült óra után ne haladja meg a tervezett repülőgép veszteség 100 000 repült órára tervezett értékét. Ezen belül az anyag, vagy rendszer meghibásodás miatt bekövetkezett veszteség ne haladja meg az összes veszteség 50%-át.

## Szervezés és felelősség

A magas szintű rendszerbiztonság általános céljának elérése elsősorban a repülőgép rendszerei tervezőinek felelőssége. A szükséges program követelmények meghatározása, a célok elérése érdekében megfelelő terv szerint minden berendezésre és rendszerre végrehajtásra kerül.

A rendszerbiztonság magas szintű megvalósításáért, a követelményekért a teljes felelősség a rendszerbiztonsági terv alapján a tervezés vezetőjét terheli.

## Tervezési kritériumok

A tervezési kritériumok az alábbi prioritási sorrend szerint irányítják a repülőtechnika tervezését a potenciális kockázatok minimálisra csökkentése érdekében:

- a tervezés a lehetséges maximális mértékben küszöbölje ki a kockázatot;
- azon kockázatok, melyeket nem lehet kiküszöbölni a tervezéssel, ki kell választani és hatásukat biztonsági eszközökkel, berendezésekkel minimálisra kell csökkenteni, illetve ellenőrzötté kell tenni;
- ha sem tervezéssel, sem biztonsági berendezéssel nem lehet hatékonyan kizárni vagy ellenőrizni egy meghatározott kockázatot, úgy megfelelő „figyelmeztető rendszert” kell biztosítani a veszélyes folyamat hatásának csökkentésére;
- ha lehetetlen kiküszöbölni vagy ellenőrizni tervezés útján a kockázatot biztonsági rendszer vagy figyelmeztető rendszer segítségével, akkor azt valamilyen „speciális intézkedés” kiadásával kell csökkenteni vagy elkerülni;

---

<sup>1</sup> Accident rate — a repülő esemény hányados általánosan elfogadott értéke a 100 000 repült órára eső repülő események (katasztrófa, baleset, törés) száma.

## A hardver vagyis a repülőtechnika és berendezései elemzése

Minden egyes rendszert át kell tekinteni, és elemezni kell a lehetséges kockázatok szempontjából. A folyamat az alábbi szempontok szerint történik:

- a különböző szintű kockázatok elemzése, úgymint előzetes kockázat felsorolás<sup>2</sup>, előzetes kockázat elemzés<sup>3</sup>, meghibásodások, nem előírt állapotok kockázata, stb.;
- a meghibásodások jellegének hatása, azok fontossági elbírálása<sup>4</sup>;
- a meghibásodások származási családfájának felépítése elemzése<sup>5</sup>;
- az üzemben tartó tevékenység lehetőségeinek vizsgálata az MSG<sup>6</sup> segítségével;
- a feladatok jellegének és az emberi tevékenység sajátosságainak elemzése.

## Szoftverelemzés

A repülőtechnikán nagy mennyiségű fedélzeti számítógép van egymással és az adatokat tároló adatbázissal rendszerbe összekapcsolva. Minden — az érzékelőtől érkező jel — elemzésre és követelmény szerint meghatározásra kerül. A szabvány az alábbi felosztás szerinti értékelést, elemzést írja elő:

|     |                      |              |
|-----|----------------------|--------------|
| I   | Katasztrófa előidéző | kritikus     |
| II  | Kritikus             | lényeges     |
| III | Hiba lehetőség       | lényeges     |
| IV  | Elhanyagolható       | nem lényeges |

Az első és a második kategóriába tartozó jeleket speciálisan feldolgozzák és tesztelik.

## Speciális elemzés

Azokat az eseményeket, melyek kihatnak a repülőtechnika bizonyos területeire vagy tereire speciális funkció ellenőrző csoportok vizsgálják. Ilyenek például:

- a madárral való ütközés;
- a tűz;
- az idegen tárgy beszívása<sup>7</sup>.

---

<sup>2</sup> PHL — Preliminary Hazard List

<sup>3</sup> PHA — Preliminary Hazard Analysis

<sup>4</sup> FMEA — Failure Mode Effects Analysis; FMECA — Failure Mode Effects Criticality Analysis

<sup>5</sup> FTA — Fault Tree Analysis

<sup>6</sup> MSG — Maintenance Steering Group

<sup>7</sup> FOD — Foreign Object Damage

## Kockázatbecslés, baleseti okok

Mint már említettem tervezési követelmény, hogy technikai (anyagi és rendszer) okból bekövetkező baleseti kockázat nem haladhatja meg az általános baleseti hányados 50%-át.

Balesetet okozhatnak a következő tényezők: technika (anyag vagy rendszer hiba), repülőgép vezetői tevékenység, földi technikai személyzet tevékenysége és más „külső” okok. Az utóbbi hármat együtt „más ok”-nak tekintjük.

A továbbiakban röviden áttekintjük a konkrét tervezési feltételeket és követelményeket, valamint néhány példát.

## Támogatottság

A tervezés és a gyártás során az alábbi főbb jellemzőket és azok paraméter értékeit kell elérni:

- *magas fokú megbízhatóság* — a két meghibásodás közötti közepes repült idő, repült órában<sup>8</sup>;
- *alacsony üzemben tartási, fenntartási munkaóra igény* az „O<sup>9</sup>, I<sup>10</sup>, D<sup>11</sup>” szintű javításoknál földi munkaóra/repült óra egységben, valamint a javítások során való *helyreállítás közepes ideje*<sup>12</sup> munkaórában;
- *kiváló vizsgálhatóság* — ennek fokmérője, hogy a beépített önellenőrző rendszer<sup>13</sup> a starton javítható hibák hány %-át jelzi ki, valamint milyen mennyiségű földi kiszolgáló eszközt igényel a hibaelhárítás;
- mekkora az ismételt előkészítés időszükséglete:
  - levegő-levegő típusú feladatra;
  - levegő-föld típusú feladatra.

Mint látható az egyik legfontosabb paraméter mind a tervezés mind az üzemben tartás során a két meghibásodás közötti közepes repült idő (MTBF).

Új repülőtechnika tervezésénél az alábbi tényezőket veszik figyelembe az MTBF előre becsült értékének kialakításánál, valamelyik alapul vett bázis repülőgép és az azon alkalmazott azonos, vagy hasonló berendezések már ismert adatai alapján:

- a repülőtechnika milyen klimatikus feltételek között fog üzemelni (pl. Európa, Ázsia stb.);

---

<sup>8</sup> MTBF — Mean Time Between Failures

<sup>9</sup> Organization level

<sup>10</sup> Intermediate level

<sup>11</sup> Depot level

<sup>12</sup> MTTR — Mean Time To Repair

<sup>13</sup> BIT — Built in Test

- mennyi az átlagos évi tervezett repült idő órában (150, 180, stb.);
- mennyi az egy feladatra jutó átlagos légi idő órában;
- milyen szabályokat, korlátozásokat írnak elő a repülőtechnikára;
- milyen képzettségi szintet írnak elő a repülőgép vezetői, és a földi kiszolgáló személyzet részére.

Az alkalmazás jellegét meghatározzák és az MTBF kiszámításra, és pontosításra kerül a megrendelő alkalmazási céljai figyelembevételével. Ennek következtében a korábban becslött számadat változhat, ha a rendszerek, vagy berendezések valamilyen okból cserére kerülnek, és ezek hatása megjelenik. Ugyanakkor a külső függőszemélyeket a számításnál nem veszik figyelembe.

A továbbiakban röviden áttekintem egy repülőgép üzemeltetési munkapontjai és időközeli meghatározását az MTBF minimális értéke elérése mellett.

### **Az üzemeltetés megtervezése**

A megfelelő paraméterek elérése érdekében egy iterációs folyamatot kell végrehajtani a tervezett tevékenység és annak hatása elemzésére.

A tervezési folyamat döntéseinek figyelmet kell fordítani:

- a megkövetelt üzemen tartás teljesítésének lehetőségeire;
- az üzemen tartási módszerek lehetőségeinek megfelelő kiválasztására;
- a repülőtechnikán a berendezésekhez, rendszerekhez való könnyű hozzáférhetőségre;
- a speciális szerszámok, földi kiszolgáló eszközök szabványosítottására.

Az üzemeltetés paramétereinek tervezése a következő értékektől függ:

- meghibásodási ráta ( $\lambda$ );
- a feladat végrehajtás megbízhatósága;
- állásidő repült óránként;
- karbantartási munkaóra repült óránként.

Az állásidő repült óránkénti tervezése a következő tevékenységeket foglalja magába:

- ismételt feladatra való előkészítés;
- hibamegelőző tevékenység a repülőgépen;
- hibajavító tevékenység a repülőgépen.

Az üzemeltető tevékenység munkaigény tervezése munkaóra/repült óra dimenzióban az alábbiakra terjed ki:

- ismételt feladatra való előkészítés<sup>14</sup>;
- hibamegelőző tevékenység a repülőgépen<sup>15</sup>;
- hibajavító tevékenység a repülőgépen<sup>16</sup>;

---

<sup>14</sup> Turn Around

<sup>15</sup> Preventiv Maintenance on Aircraft

- hibajavítás a repülőgépről leszerelt berendezésen<sup>17</sup>;
- hibamegelőzés a repülőgépről leszerelt berendezésen<sup>18</sup>.

Ha áttekintjük a fenti tevékenységek munkaidő szükségletét, akkor mindegyiknél az alábbi főbb szempontok érvényesülnek:

- a kis és közepes ellenőrzések időtartam vizsgálata;
- az MSG (egységes szemléletű műszaki karbantartási rendszert, döntési logikát kidolgozó testület) katonai változatának megfelelően meghatározott ellenőrzések;
- a karbantartások időközei (intervallumai) meghatározása gazdasági, megbízhatósági és biztonsági megfontolások alapján;
- a speciális repülési feladatokhoz vagy időszakokhoz előírt ellenőrzések becsült időtartama;
- az előírt különböző vizsgálatok időtartama.

A fentiekből látható, hogy mind a hibamegelőző, mind a hibajavító tevékenységet részben a repülőgép fedélzetén, részben arról a berendezést leszerelve hajtjuk végre. Tehát akár üzemidő szerinti, akár állapot szerinti üzemeltetési rendszer van kialakítva mindegyiknél bizonyos, előre tervezett időtartamok után megfelelő mélységű tervszerű megelőző karbantartást kell végezni. Ennek időközzeit a munkapontok megfelelő csoportosításával határozzák meg

## A helyreállítás közepes idejének igazolása

Az állásidő<sup>19</sup> előrejelzése a hibajavító tevékenységnek köszönhetően

$$DT_c = \frac{MTTR}{MTBF} = \sum \left( \frac{MTTR_i}{MTBF_i} \right) \quad (1)$$

A helyreállítás közepes idejének tartalmi összetevői

$$MTTR_i = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 \quad (2)$$

ahol:

- R1 — előkészítési idő;
- R2 — hiba behatárolási idő;
- R3 — berendezés csere ideje;
- R4 — különböző helyreállítások ideje;
- R5 — rendszer ellenőrzés ideje.

---

<sup>16</sup> Correctiv Maintenance on Aircraft

<sup>17</sup> Corrective Maintenance off Aircraft

<sup>18</sup> Preventive Maintenance off Aircraft

<sup>19</sup> DT – Down Time

Minden egyes elem fenti időtartamát külön megbecsülik és ellenőrzik.

Most nézzük meg egy példán keresztül a két meghibásodás közötti közepes repült idő meghatározását. A meghibásodás intenzitása  $\lambda$ , ahol

$$\lambda = \frac{\text{a meghibásodások gyakorisága}}{\text{repült óra}} \quad (3)$$

Súlyozva 1 000 000 repült órára a két meghibásodás közötti repült idő a következőképpen határozható meg:

$$MTBF = \frac{1\,000\,000}{\lambda} \quad (4)$$

ahonnt kifejezve  $\lambda$

$$\lambda = \frac{1\,000\,000}{MTBF} \quad (5)$$

Ez az érték például a negyedik generációs GRIPEN repülőgépre:

|             |             |             |             |  |
|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| MTBF<br>7,6 | MTTR<br>2,5 | MTBF<br>7,6 | MTTR<br>2,5 |  |
|-------------|-------------|-------------|-------------|--|

A táblázat nagyon jól mutatja, hogy a két meghibásodás közötti közepes repült idő, ami 7,6 repült óra és a helyreállítások közepes repült ideje pedig 2,5 munkaóra. Ebben az esetben egy olyan időismétlődési tengelyt kapunk, ami jellemezni fogja a repülőgép megbízhatósági, illetve munkaidő ráfordítási szintjét. Ugyanezen értékek a korábbi generációs repülőgépekre a következők:

|             |             |             |             |             |  |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| MTBF<br>4,1 | MTTR<br>4,5 | MTBF<br>4,1 | MTTR<br>4,5 | MTBF<br>4,1 |  |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|

## KÖVETKEZTETÉSEK

Annak érdekében, hogy több paraméter segítségével összehasonlíthatóvá tegyük más repülőgépekkel, a tervezésnél csak ezek alapján lehet a repülőgépek műszaki-gazdasági paramétereit értékelni, összehasonlítani. Tehát a következő négy fő repülőgép minősítési kritériumot kell vizsgálnunk:

- megbízhatóság MTBF = 7,6 repült óra;
- üzemeltetési, fenntartási munkaóra igény:
  - 1—3 repült óra (O, I, D) szinten;

- az MTTR = 2,5 munkaóra;
- vizsgálhatóság:
  - a hibák 98 %-a kijelzésre kerül;
  - a hibák 96,5 %-a a startkészletből javítható;
- ismételt előkészítések időszükséglete:
  - levegő-levegő típusú feladatra — 10 perc;
  - levegő-föld típusú feladatra — 20 perc.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BÉKÉSI Bertold: A repülőszervezetek műszaki karbantartása. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 1999/3, 93–104. o.
- [2] BÉKÉSI Bertold: System Safety Programme Requirements. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2000/1, 41–51. o.
- [3] DAVID Learmount: Preparing for safety. Flight International 25. 01. 2000 pp 56-59.
- [4] ÓVÁRI Gyula: Nyugati és Szovjet gyártmányú légi járművek együttes üzemeltetésének, valamint repülő mérnök-műszaki biztosításának lehetőségei az MH repülőalakulatainál. Egyetemi doktori értekezés, 1994.
- [5] DR. ÓVÁRI Gyula: A Magyar Honvédség repülőeszközei típusváltásának és üzemeltetésének lehetőségei gazdaságossági-hatékonysági kritériumok, valamint NATO csatlakozásunk figyelembevételével. A légierő fejlesztése tanulmánygyűjtemény, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1997. pp. (9-117).
- [6] DR. ÓVÁRI Gyula: Korszerű harcászati repülőgépek műszaki üzemeltetésének sajátosságai és gazdasági-hatékonysági kérdései. A harcászati repülő fejlesztésének szükségessége és lehetősége. Konferencia előadás gyűjtemény, Magyar Hadtudományi Társaság, Budapest, 1998. pp. (33–70).
- [7] DR. PETÁK György: A repülőtechnika üzemen tartása és javítása. Főiskolai jegyzet. KGYRMF, Szolnok, 1981.
- [8] ROHÁCS József—DR. SIMON István: Repülőgépek és helikopterek üzemeltetési zsebkönyve. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1989.
- [9] USA MIL—STD 882 szabvány gyűjtemény.