

## A repülőgépek állapotszerinti üzemeltetésre történő átállításának problémái, megoldásának metodikája

### BEVEZETÉS

A téma aktualitását jelzi, hogy az állapot szerinti üzemeltetésről egyre többen kezdenek gondolkodni, irodalma egyre nő. Jelen tanulmány szerzője is a Magyar Honvédség keretein belül folyó - ez irányú tevékenység gyakorlati és elméleti munkálataiban - évek óta részt vesz, aktív szerepet tölt be. Mivel a konkrét munkálatokról egyéb publikációk - a szerző tollából is - már jelentek meg, így inkább a kérdés elméleti vonatkozásaival, erősen tömörítve szeretnék foglalkozni, illetőleg a gyakorlatban, repülőgép típusoktól függetlenül, történő felhasználhatóságát bemutatni

Jelenleg, a harcirepülőgépek üzemeltetése, egy tervszerű-megelőző karbantartási rendszerben történik. Az elvégzendő munkák mélysége, és periódusa, az egész repülőgép parkra vonatkozóan, szigorúan meghatározott, mint a technikai kiszolgálás (a továbbiakban: **TK**), mind a nagyjavításuk (a továbbiakban: **NJ**) esetében.

A későbbi gondolatok még érthetőbbé tétele érdekében áttekintem, röviden a repülőeszközök (benne a katonai) általánosan elterjedt, hagyományosnak tekintett, "eredeti" üzembentartási rendszerét, filozófiáját.

A **"tervszerű megelőző karbantartás"**, általában három szinten folyik:

- **az üzembentartónál (katonai kertek között például századnál):** a repülés kiszolgálásával összefüggő előkészítő munkák, kisebb mélységű, de nagyobb gyakoriságú karbantartási, ellenőrzési munkák (az újabban használatos terminológia szerint ez az un: **"O"** az-az **"operational level"**);
- **a repülőeszköz javító állomáson, vagy bázison:** mélyebb ellenőrzések, karbantartási munkák és magasabb szintű javítások (**"I"** - **"intermediat level"**);
- **ipari szinten:** a repülőgépek, az üzemidős -, és a meghibásodott berendezések ipari javítása (**"D"**- **"depot level"**)

*(Az egyszerűség kedvéért a továbbiakban a katonai terminológiára fogok hagyatkozni.)*

Az üzemeltető szintjén végrehajtandó munkák felsorolását és azok gyakoriságát általában egy "Egységes Műszaki Kiszolgálási Szakutasítás" tartalmazza, amit a gyártó dolgoz ki. A gyártó a végrehajtás módját "Technológiai lapokon" részletesen rögzíti, ahol a munkák során használandó eszközöket is meghatározzák. A "Technológiai lap"-ok tartalmazzák a mérendő műszaki jellemzők névleges értékét és tűrésmezejét, ezek alapján történik az ellenőrzött rendszer, berendezés, szerkezeti elem műszaki állapotának minősítése is.

A jelentős és igen drága berendezések a repülőgép javításközi üzemidejénél rövidebb üzemidővel rendelkeznek. Az eredeti (hagyományos) üzembentartási rendszerben a repülőgépétől eltérő üzemidejű berendezést a repülőgép nagyjavítása előtt is megjavítják, majd a repülőgép ipari javítása során, a ténylegesen ledolgozott üzemidőktől függetlenül, ismét javítják.

Az ipari javítás a tervező intézet, illetve a gyártó által meghatározott mélységben, szigorú technológia szerint folyik. A technológia tartalmazza mindazon szerkezeti elemek, berendezések ellenőrzését és javítását, egyes elemek, részegységek kötelező cseréjét, amelyek a repülőeszköz tervezésekor figyelembe vett várható igénybevétel esetén, olyan mértékben elhasználódhatnak (kopás, szerkezeti elemek fáradása, korrózió, kristályközi korrózió stb.), hogy a következő ipari javításig az adott szerkezeti elem meghibásodása nagy valószínűséggel bekövetkezik.

Ez az üzemeltetési filozófia a repülőeszközök műszaki kiszolgálásában, üzembentartásában meglehetősen elterjedt, jól bevált módszer az egész világon.

A repülőtechnika nagy megbízhatóságát, hadrafoghatóság magas szintjét biztosítja. A **repülés biztonságára** pozitív hatást gyakorol, mert a meghatározott gyakorisággal végrehajtott ipari javítások bizonyos mértékben képesek korrigálni az üzemeltetés szintjén esetleg elkövetett kisebb - nagyobb üzemeltetési, üzembentartási hiányosságokat, azok káros hatásait.

Ugyanakkor, nem nehéz belátni, hogy az egyes egyedek (repülőgépek) valóságos igénybevétele, repült óra szerint, jelentősen eltérhetnek a tervezési követelményekben átlagként számítottaktól, és jelentősen különbözőek lehetnek az egyes repülőgépek (ny és nx irányú) túlterhelései szerint is. Ezáltal az előírt munkák, ellenőrzések, kötelező cserék végrehajtásra kerülnek a repülőeszköz és annak rendszereinek **tényleges műszaki állapotától függetlenül**. Azaz előfordulhat, hogy bizonyos munkákat, cseréket úgymond feleslegesen végzünk el, hisz az adott berendezésekben, rendszerekben jelentős "üzemidő, üzemeltetési ciklus tartalékok" maradhatnak. (Vagy a megemelkedett terhelési szint következtében "túl üzemeltetjük").

**Amennyiben a relative elvesző "üzemi tartalékokat" számításba vesszük, akkor ez a kiszolgálási rendszer egyértelműen költségesebb az elvárható optimálisnál, továbbá felesleges humánerőforrás ráfordítással is jár.**

A **"tervszerű megelőző karbantartás"** további igen nagy hiányossága, hogy az indokolatlan ki és beépítések, a rendszerek megbontása (mint minden munkavégzés) önmagában hordozza a hibás munkavégzés lehetőségét és annak következményeinek kockázatát. Az indokolatlan "meleg" ellenőrzések, a tényleges üzemidőket jelentősen csökkentik, a rendszer meghibásodási

valószínűségét, pedig igen megnövelik.

Bizonyos esetekben a felesleges munkavégzés ellenkezője is előfordulhat, miszerint az adott munka a repülőeszköz műszaki állapota miatt (a tervezettnél fokozottabb igénybevétel, kedvezőtlen tárolási és üzemeltetési feltételek miatt, valamint egyéb kedvezőtlen tényezők hatásainak következtében) nem a tervezett üzemidő ledolgozása után hajtják végre, hanem relatíve a repülőtechnika "túl lesz üzemeltetve".

Gazdaságossági szempontokból ez akár jó is lehetne, de az esetleges negatív hatása, a repülés biztonságára súlyosabb következményekkel is járhat. Leszögezhető, hogy az előfordulás valószínűsége azonban igen csekély, mivel az ellenőrzési, javítási munkák gyakoriságát, a gyártók, kellő nagyságú műszaki tartalék figyelembevételével állapítják meg. (Általában a repülőgépek tervezésének, gyártásának és kiszolgálásának "Minőségirányítási" színvonala jóval meghaladja az ipari termelés és a gazdaság egyéb területeinek minőségirányítási színvonalát.)

Összességében: Az **eredeti ("tervszerű megelőző karbantartás")** üzemeltetési stratégia az optimálisnál - nagy valószínűséggel - jóval költségesebb, ugyanakkor megbízható, a hadrafoghatóságra, és a repülés biztonságára, pedig pozitív hatással van.

Tehát a repülőgép rendszereit és berendezéseit a meghatározott javításközi és össztechnikai üzemidők szerint szükséges üzemeltetni, (ledolgozott, naptári üzemidő, és alkalmazási, vagy igénybevételi számok szerint), azok elérésekor a rendszereket, berendezéseket ki kell vonni az üzemeltetésből, és tényleges állapotuktól függetlenül, javítják, vagy kicserélik.

Ez az alábbiakhoz vezet:

- a repülőgépek repüléshez történő előkészítése, az időszakos és javítási munkák mennyisége megnövekszik;
- a korlátozott üzemidőkkel rendelkező ("kiemelt") berendezések nagy száma;
- feleslegesen nagy állásidők, a repülőgépek javítása során;
- a tényleges üzemeltetési feltételektől függően, igen nagy elvesztegetett üzemidő tartalékok maradnak az egyes, illetőleg az azonos típusú, különböző modifikációjú repülőgépekben;
- a nem megfelelő üzemképességi szint, nem csak a "kiemelt" berendezések esetleges hiánya miatt lehetséges, hanem a repülőgép rendszereiből, ellenőrzésre, ki és be épített berendezések szerelési munkálatai jelentősen megnövelik a meghibásodások valószínűségét;
- repülőtechnika fejlődésével, modernizációjával az üzemeltetési költségek rohamosan és aránytalanul megnövekednek

A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy azonos típusú, és azonos üzemidőt ledolgozott repülőeszközök esetében is, a különböző üzemeltetési és üzemeltetési tényezők miatt, a vizsgált repülőeszközök jelentősen különböző technikai állapotban lehetnek. Ebből kiindulva, új megközelítések, és módszerek alapján kell megállapítani az időszakos és javítási munkák mélységét, mennyiségét és periodicitását is. Egy ilyen új és jövőbemutató módszer a ténylegesen állapotszerinti üzemeltetés.

### **1. Létező technikai kiszolgálási és nagyjavítási stratégiák, valamint a repülőtechnika állapotszerinti üzemeltetésének elvei**

Az állapotszerinti üzemeltetés lényege, hogy a repülőtechnika funkcionális rendszerei elemeinek üzemeltetése üzemidők meghatározása nélkül történik úgy, hogy a rendszereket alkotó elemekben, berendezésekben rejlő üzemidő tartalékokat, a lehetőségeket is figyelembe véve, teljesen kinyerjük.

Másképpen ez azt jelenti, hogy a gyártó - az üzemeltetők tapasztalatai alapján is - konkrét üzemidőket nem határoz meg, csak, mint számítási alap, **életciklus**-üzemidőben gondolkodik. Mindebből következően, a hagyományos értelemben vett helyreállító és nagyjavító munkálatok megszűnnek. Gyakorlatilag, az állapotszerinti üzemeltetés szerint, a technikai kiszolgálási (továbbiakban: TK) és a nagyjavítási (továbbiakban: NJ) során eddig kötelezően elvégzett munkákat, a repülőtechnika sárkánya, rendszerei és berendezései ellenőrzése után, ma már csak szükség esetén kell elvégezni és többségüket a saját bázison.

Az állapotszerinti üzemeltetés technikai kiszolgálási **(TK)** és (nagy)javítási **(NJ)** stratégiái (a továbbiakban: **S**) az alábbiak lehetnek (2.1 táblázat):

- a rendszerek és elemei, berendezései paramétereinek ellenőrzése (továbbiakban: **TKSPE**);
- a rendszerek és elemei, berendezései megbízhatósági szintjének ellenőrzése (továbbiakban: **TKSMSZE**).

A TKSPE estében, a korábban megadott, vagy az időszakos vizsgák során végrehajtott mérések eredményei alapján meghatározott paramétereket, összehasonlítják a megadott periodicitással végrehajtott paraméterellenőrzések eredményeivel.

A repülőeszközök technikai kiszolgálási stratégiái:

Technikai Kiszolgálási Stratégiák: (TKS)	Üzemeltetési elvek:		
	Meghibásodás előtti állapotig	Meghibásodásig	Üzemidő, (működési ciklus) (a teljes üzemidő) ledolgozásáig

1	2	3	4
Állapot meghatározás a paraméterek ellenőrzése útján: <b>TKSPE</b>	+	-	-
Állapot meghatározás a megbízhatósági szint ellenőrzése útján: <b>TKSMSZE</b>	-	+	-
A ledolgozott (össz.)üzemidő alapján: <b>TKSÜ</b>	-	-	+

2. 1. táblázat

A fenti ellenőrzések alapján meghatározható a rendszer elemei állapota, és előre jelezhető a repülőeszköz és rendszerei, a következő ellenőrzésig történő, működőképessége is. Abban az esetben, ha a mért paraméterek értékei megközelítik a határértékeket - azaz a berendezés meghibásodás előtti állapotban van - akkor szabályzás szükséges, vagy ki kell cserélni az adott berendezést. Ez azt jelenti, hogy a munkálatokat kötelező végrehajtani meghibásodásközeli állapotokban.

A TKSPE módszer alkalmazása korlátozott, ha az adott berendezés:

- repülésbiztonsági szempontok miatt a meghibásodásáig nem üzemeltethető;
- gazdaságossági megfontolások miatt a berendezés üzemidő szerint üzemeltendő.

Mindenek előtt ilyenek a nagyon drága rendszerek és berendezések, melyek működési jelentőségük igen nagy, tartaléka (rendszere), vagy helyettesítője nem elegendő, vagy nincs, valamint az üzemeltetés-technológiai, és javíthatósági szintje, színvonala alacsony.

A TKSPE módszer azon szabályok, szabályzók összessége, amelyek meghatározzák a berendezések, rendszerek szükséges diagnosztikai módszereit, módozatait, technológiáját.

Alapvetően a mérési eredmények alapján, azaz a repülőeszköz technikai állapota szerint, határoz a további üzemeltethetőségről, cseréről, vagy javíthatóságról.

**Így megállapítható, hogy a TKSPE az egy "meghibásodást közvetlenül megelőző állapotszerinti üzemeltetési elv".**

A TKSMSZE esetében a rendszert, vagy elemeit, a repülés biztonságát még nem veszélyeztető meghibásodásig üzemeltetjük, majd döntést kell hozni a további üzemeltetésről, vagy a berendezés kiselejtezéséről. A rendszerek és berendezések üzemképességét a fedélzeti adatregisztrátorok és ellenőrző-berendezések adatai (**on-board**), valamint a földi ellenőrző-berendezések információi alapján (**on-ground**) döntjük el. Utóbbi ellenőrzések a repülőtechnika operatív előkészítései, illetőleg a soros technikai kiszolgálások során hajtjuk végre. Az egész repülőgépparkról gyűjtött megbízhatósági adatok nagyon jól kezelhető információt adnak az azonos típusú berendezések megbízhatósági szintjéről is. A megbízhatósági szint kedvezőtlen változása esetén azonnal közbe lehet avatkozni.

Ilyen beavatkozások lehetnek:

- utánmunkálatok, szerkezetmódosítási feladatok végrehajtása;
- újfajta ellenőrzési módok bevezetése;
- üzemeltetési, üzembentartási szabályok módosítása;
- üzemidő szerinti stratégiára történő váltás;
- a rendszer egyes elemeinek soron kívüli cseréje stb.

Ezen kívül a TKSMSZE csak akkor lehet igazán sikeres, ha a repülőszerkezet, vagy rendszerei leggyakoribb sérülései, a helyes tervezés következtében, meglétük esetében, nem veszélyeztetik a repülés biztonságát jelentős mértékben. Az-az a rendszer egyik elemének meghibásodása nem okvetlenül kell, hogy előidézzé a teljes rendszer leállítását, és/vagy meghibásodását, ami nem fejthet ki jelentős hatást a repülés biztonságára, illetőleg a légijármű alkalmazhatóságára.

Ez elérhető a fontos rendszerek, és egyes elemei, funkcionális, vagy strukturális tartalékrendszereinek kiépítésével, illetőleg a magas szintű ellenőrizhetőségük, figyelésük biztosításával, ami egyben a légi és a földi kiszolgáló személyzet teljesebb körű tájékoztatását is szolgálja.

Ezen kívül olyan ellenőrzési és visszajelző rendszerekkel kell felszerelni a repülőeszközöket, hogy azok minden olyan meghibásodást, vagy változást jelezzenek, amelyek előbb, vagy utóbb a rendszer és tartalékrendszerének egyidejű meghibásodásához vezethet.

A TKSMSZE módszer alkalmazása azon berendezésekkel korlátozott amelyek:

- meghibásodása nincs kihatással a repülés biztonságára;
- üzemeltetési technológizáltsága magas szintű, az-az a meghibásodások visszajelzése a

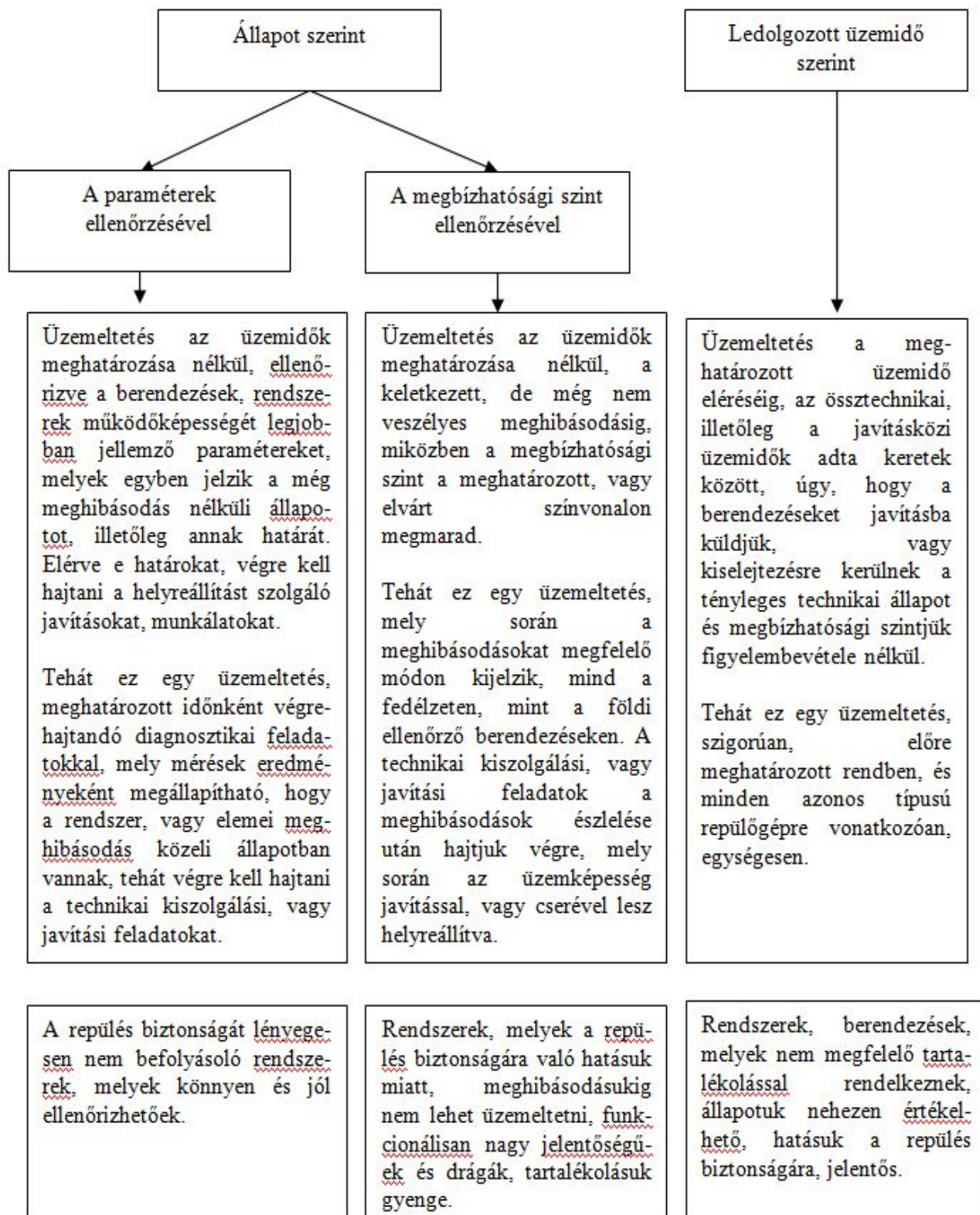
fedélzeten, és a földi ellenőrző berendezéseken könnyen felismerhető;

- a meghibásodás nélküli üzemideje, megbízhatósági színvonalja igen magas, gazdaságosan üzemeltethetők.

### Így megállapítható, hogy a TKSMSZE az egy "meghibásodásig történő üzemeltetési elv".

Természetesen a fentiekben vázolt két technikai kiszolgálási és javítási stratégia (TKSPE, TKSMSZE) nem zárhatja ki, hogy bizonyos fedélzeti rendszerek egyes elemeit, berendezéseit, melyek nincsenek megkettőzve (tartalékuk, helyettesítőjük nincs), tényleges technikai állapotuk nehezen értékelhető, de közvetlen ráhatásuk van a repülés biztonságára, üzemidő-stratégia szerint üzemeltessük (TKSÜ).

Az üzemeltetési és javítás stratégia keretében, az üzemidejüket ledolgozott elemek, berendezések cseréje terv szerint, a technikai kiszolgálások, vagy helyreállító javítások idején történik, a repülőszerkezet állapotfelmérése után. (2.1 ábra)



2.1 ábra. A repülőeszközök technikai kiszolgálási (javítási) stratégiái

Megjegyzendő, hogy a gyári nagyjavítás, mint az üzemképesség, üzemidő tartalék helyreállításának legalapvetőbb, szervezett formája, az üzemidő szerinti berendezések esetében, továbbra is megmarad. Amikor a repülőtechnika állapotfelmérése és a helyreállító munkálatai is a gyártó, vagy nagyjavító üzemen történik, a repülőgépre épített azon üzemidős berendezések, melyek a javításközi üzemidejük legalább 80%-t ledolgozták, nagyjavításon esnek át.

A gyakorlatban a repülőgépek technikai állapotát nagyon sok és bonyolult összefüggéssel bíró állapotváltozási és meghibásodási tényező befolyásolja.

Ezek a következők lehetnek:

- objektív;
- szubjektív.

*Objektív tényezők* lehetnek:

- meghibásodás nélküli, hosszú üzemeltethetőség;
- könnyű ellenőrizhetőség, diagnosztizálhatóság;
- javíthatóság;
- technológizáltság;
- hosszú élettartam, tárolhatóság;
- megfelelő földi-kiszolgáló berendezések és tartalék alkatrészek megléte;
- az üzemeltetés klimatikus körülményei.. stb.

Az objektív körülmények és tényezők azok, amelyek a legnagyobb mértékben hatnak a technikai kiszolgálásra, ezért állandóan elemzésre szorulnak, valamint a repülőgépek teljes életciklusában számolni kell velük.

*Szubjektív tényezők* lehetnek:

- a légi és földi kiszolgáló személyzetek oktatási színvonala, valamint kiképzettségük foka,
- az állomány létszámhelyzete;
- a technológiai fegyelem helyzete stb.

A fent felsoroltak figyelembevételével a technikai kiszolgálási stratégia megválasztásakor elengedhetetlen, hogy meghatározzák a rendszerek és berendezései működés szerinti fontosságát, és az esetleges meghibásodásuk, az alábbi tényezőkre való, hatásait: (azaz **kockázatelemzést** hajtanak végre)

- a repülés biztonságára;
- a repülőeszköz alkalmazhatóságára;
- harci repülőeszközök esetében a hadrafoghatóságukra;
- az üzembentartás költségeire.

Az alkalmazható - a minőségirányításban egyre terjedő - kockázatelemzési módszer a **FMEA (Failure Mode and Effects Analysis; Hibamód és hatáselemzés)** [1;2]. Az ismert statisztikai adatok, valamint a szakemberek megfelelő csoportjának egyenkénti véleményéből, az adott berendezésre, vagy rendszerre vonatkozóan három minősítő számot lehet képezni:

- a meghibásodás előfordulásának gyakorisága (**O<sub>ijk</sub>**); (10= a meghibásodás valószínűsége igen nagy; 1= a meghibásodás valószínűsége igen kicsi);
- a meghibásodás hatása a repülés biztonságára (következmények súlyossága) (**S<sub>ijk</sub>**) (10= a meghibásodás figyelmeztetés nélkül is nagyon veszélyes; 1= a meghibásodásnak nincs hatása);
- az ellenőrzés hatékonyságát kifejező tényező (**D<sub>ijk</sub>**) (10= nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem ellenőrizhető; 1= az ellenőrzés hatékonysága nagyon jó);

Az **RPN (Risk Priority Number)** megadja a MEGHIBÁSODÁS (HIBA) OKA-KÖVETKEZMÉNY-ELLENŐRZÉS láncolat jelentőségét a következő képlet alapján:

$$RPN = O_{ijk} \cdot S_{ijk} \cdot D_{ijk}$$

ahol:

- i** = elem (berendezés) futóindexe
- j** = a hiba (meghibásodás) futóindexe
- k** = hibaok futóindexe

A kockázatelemzés eredménye képen meghatározható, hogy a vizsgált meghibásodással engedélyezhető-e az adott repülési feladat végrehajtása, vagy sem. Más szavakkal, ha a meghibásodás nem vezet súlyos, a repülés biztonságát veszélyeztető helyzethez, a repülőeszköz az adott feladatot megfelelő hatékonysággal végre képes hajtani, és ez nem jár még plusz, az üzemeltetési költségek ugrásszerű növekedésével, vagy jelentős anyagi veszteséggel, akkor a vizsgált rendszer, vagy berendezése(i) esetében alkalmazható technikai kiszolgálási stratégia, a TKSMSZÉ (a megbízhatósági színvonal ellenőrzésével). Azaz, üzemeltetés a meghibásodásig engedélyezett.

Amennyiben az adott rendszer, vagy eleme(i), funkciója fontossága miatt, meghibásodással nem engedhető(k) el a repülési feladat végrehajtására, akkor a technikai kiszolgálási stratégiák közül az állapotszerinti, a paraméterek ellenőrzésével együtt járó (TKSPE), vagy az üzemidő szerinti (TKSÜ) stratégiát kell alkalmazni. Természetesen a választáskor figyelembe veszik az adott rendszer, vagy berendezése(i), illetőleg maga a repülőszerkezet alkalmasságát az egyik, vagy másik stratégia alkalmazásához.

Abban az esetben, ha a rendszer lehetővé teszi technikai állapota felmérését, és létezik már modell, amelyik képes leírni a technikai állapot változásait és esetleges hatásait, akkor alkalmazható a technikai kiszolgálási stratégia állapotszerint, a paraméterek ellenőrzésével (TKSPE). Ezzel párhuzamosan szükséges meghatározni a mérendő paraméterek tűréseit, valamint a végrehajtandó ellenőrzések periodicitását.

Amennyiben a vizsgált rendszer, vagy maga a repülőszerkezet egészében nem teszi lehetővé, vagy rendkívül megnehezíti, technikai állapota felmérését, akkor kísérleti számításokkal, statisztikai módszerekkel, "Leader-gépek" vizsgálatával megállapítható egy veszélytelen üzemidő, vagy ciklusszám. Az üzemeltetés során ezt az üzemidőt igyekeznek teljesen ledolgoztatni, "kivenni" a technikából.

Bármelyik stratégiát is vizsgáljuk, az mindenképpen látható, hogy univerzális módszer, megközelítés NEM létezik. Az üzemeltetés körülményei, az üzemeltető (légi; földi) állomány kiképzettsége és a technikához való viszonya, a logisztikai rendszer működése és még nagyon sok tényező képes befolyásolni a technikai állapotfelmérés eredményét, még azonos gépparkon belül is, ami aztán meghatározza a kiválasztható stratégiát.

2. A repülőeszközök rendszerei technikai kiszolgálási és javítási stratégiái megválasztásának módszerei, metodikája

A repülőeszköz konstrukciós kialakításától, sárkányának, rendszereinek és azok elemei ellenőrizhetőségétől, technikai állapotuk prognosztizálhatóságától, üzemeltetési és javítási technológizálhatóságától függően különböző módszerekkel lehet kiválasztani a megfelelő technikai kiszolgálási és javítási stratégiákat, melyek alapját képezik az alkalmazandó technikai kiszolgálási és javítási programoknak. [3; 13]

A dokumentumokban, kiszolgálási, javítási utasításokban, technológiákban rögzített ellenőrzési feladatok, munkálatok akkor tölthetők be elvárható funkcióikat, ha általuk biztosítható, a repülőeszköz teljes életciklusa alatt, a repülés biztonsága, használhatósága (pl: harci alkalmazhatósága), gazdaságos üzemeltethetősége. [ 3 ]

A fenti követelményeknek megfelelő munkák az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- a megfelelő harci alkalmazhatóságot biztosító munkálatok, melyek közvetlenül nincsenek kapcsolatban a repülőtechnika üzemképességével, illetőleg technikai állapotával;
- a tervszerűen végzendő karbantartások, javítások (profilaktikus munkák);
- a tervszerűen, a repülőtechnika állapotának felmérése céljából, végzendő ellenőrzések és munkálatok.

Az első esetben olyan tervszerű munkálatokra kell gondolnunk, mint a fel és utántöltési feladatok, a repülőeszközök fegyverzettel történő felszerelése, tömegpusztító és vegyi fegyverek elleni védelem, illetőleg vegyi és sugármentesítési feladatok, kenés, zsírzás, valamint a repülőszemélyzet komfortos munkakörülményeit biztosító munkálatok, stb.

A második bekezdésben leírtak alatt a tervszerű karbantartási, szabályzási, javítási munkálatokat, berendezéscseréket, stb kell érteni.

A harmadik bekezdésbe, pedig a légi és földi ellenőrzések, diagnosztikai mérések, elemzések eredménye képen végzendő javítások, szabályozások berendezéscserék tartoznak.

A fenti tervszerű munkák mellett számolni kell a különböző ellenőrzések, előkészítési munkák, vagy a technikai állapot felmérése során feltárt meghibásodásokkal, vagy a berendezések meghibásodás közeli állapotából eredő munkálatokkal is. Ez szintén azt jelentheti, hogy a rendszert, vagy berendezéseit szabályozni, javítani, vagy cserélni kell. Kellő mennyiségű statisztikai adatok birtokában - az egész, vagy kellően nagy repülőgépparkra vonatkoztathatóan - ezt is prognosztizálni lehet, az-az a technikai kiszolgálás programjába be lehet illeszteni.

A programok összeállításánál, nem szabad elfelejtkezni arról sem, hogy külön sajátosságai vannak a repülőeszköz sárkányának, szerkezeti elemeinek, és a különböző funkcionális rendszerek, vagy főbb elemeinek is. A repülőeszközök funkcionális rendszerei technikai kiszolgálási stratégiájának és programjának megválasztása, szintén egy megfelelő elemző tevékenység eredményeképp lehetséges. A dolgok lényegét tekintve, ez, ebben az esetben is nem más, mint egy kockázatelemzési módszer, amelynek egyik lehetséges módozatáról a 2. fejezetben már említést tettem. (**FMEA - Failure Mode and Effects Analysis**; hibamód és hatáselemzés). A gyakorlatban, a Magyar Honvédség vadászrepülő parkja estében végzett elemző tevékenységünk, az FMEA-n alapszik.

A stratégia és a program összeállításánál a következő tényezőkkel számoltunk:

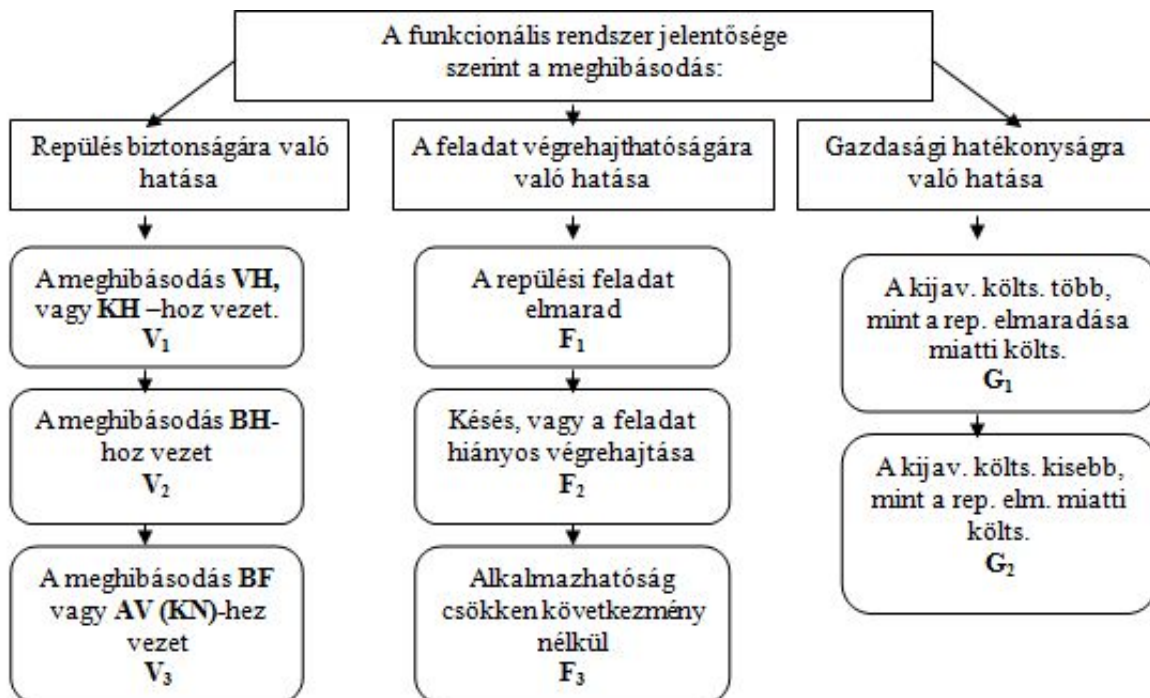
- hatás a repülőeszköz megbízhatósági színvonalára;
- az esetleges meghibásodások, repülés biztonságára, harci alkalmazhatóságukra, vagy általában a repülési feladat végrehajthatóságára, és üzemeltetésének gazdaságosságára való hatásai.

Könnyen beláthatjuk, hogy a repülés biztonságát befolyásoló tényezők nagyságát az adott rendszer(ek) és elemei meghibásodásának veszélyességi foka (kockázata) határozza meg, amit azon lehet lemérni, hogy a meghibásodás milyen következményekkel jár.

Így a veszélyesség, illetőleg a lehetséges következmények szerint, a repülés különleges esetei az alábbiak lehetnek:

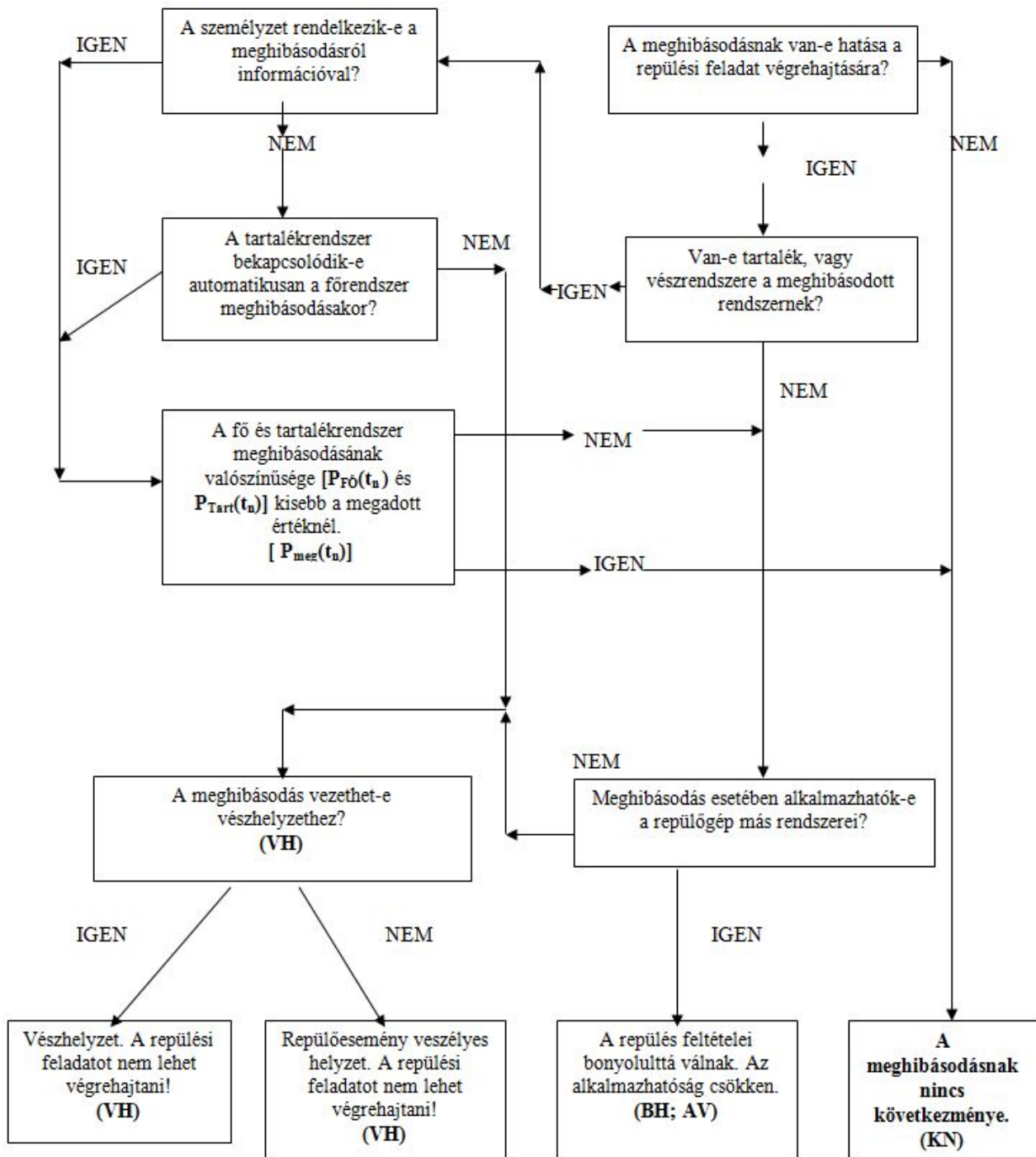
- a repülési feltételek bonyolulttá válása (**BF**); (Ez olyan különleges eset, melynek során a hajózó személyzet lelki és fizikai leterheltsége jelentősen megnő, de a feladatait képes maradéktalanul végrehajtani.)
- a repülőtechnika alkalmazhatóságának, megváltozása, lecsökkenése (**AV**); (A meghibásodás veszélyezteti a betervezett feladatok végrehajtását, de különösebb következménnyel nem kell számolni) (**KN**)
- bonyolult repülési helyzet (**BH**); (A légi személyzet lelki és fizikai leterheltsége olyan fokot ér el, hogy a vész, vagy katasztrófa helyzetet, csak az időben, a repülési jellemzők megváltoztatásával végrehajtott beavatkozással lehet elkerülni.)
- vészhelyzet (**VH**); (A repülőeszköz elvesztése csaknem elkerülhetetlen.)
- katasztrófaveszélyes helyzet (**KH**); (A fedélzeten tartózkodók életüket veszítik)

A meghibásodás, repülés biztonságára, illetőleg a repülési feladat végrehajthatóságára való hatását különböző logikai sémák szerint vizsgálhatjuk. Az alábbiakban kiválasztottam kettőt közülük:



3.1. ábra

A meghibásodások, funkcionális rendszerekre és elektromos műszerekre történő hatásának fokozatai a rendszerek jelentősége, fontossága függvényében. (Logikai séma)



3.2. ábra

A meghibásodás, rádió és fegyverzeti rendszerekre, valamint elektromos műszerekre történő hatásának logikai sémája

A **3.1. ábrán** látható séma alkalmazható a repülőeszköz sárkánya és egyéb rendszerei estében is, az-az általánosságban, az egész repülőeszközre, egységesen is igaz.

A repülés során létrejövő meghibásodásokat - a 3.2. ábrán is látható módon - az alábbi csoportokba oszthatók:

- **V1** a meghibásodás vész, vagy katasztrófhelyzet kialakulásához vezet (VH, KH);
- **V2** a meghibásodás bonyolult repülési helyzet kialakulásához vezet (BH);
- **V3** a meghibásodás a repülési feltételeket bonyolítja (BF), az alkalmazhatóságot ronthatja (AV) különösebb következmények nélkül, azaz a repülés biztonságára közvetlen hatása nincs (KN).

Leszögezhető, hogy a **V1** és **V2** kategóriába besorolt meghibásodások, a repülés folyamán nem megengedhetők. A rendszernek biztosítani kell a meghibásodást közvetlenül megelőző állapot megbízható jelzését, így elősegítve a megbízható működést, azaz a repülésbiztonság magas szintjét. Ezért aztán a fenti kategóriákba tartozó rendszerek és elemei technikai kiszolgálási stratégiája üzemi, vagy a paraméterek ellenőrzése szerinti stratégia lehet csak. (TKSÚ, TKSPE).

A paraméterek ellenőrzésén alapuló technikai kiszolgálási stratégia (TKSPE) alkalmazása megköveteli, a meghibásodás közeli állapot felfedezésének nagy valószínűsége érdekében, a technikai állapot felmérésének megfelelő periodicitásának megválasztását.

A rendszerek és elemei, **V3** kategóriába besorolható meghibásodásokkal, bármely, az előzőekben

ismertetett technikai kiszolgálási stratégia szerint üzemeltethetőek:

- technikai kiszolgálási stratégia a paraméterek ellenőrzésével (**TKSPE**): Szilárdságilag fontos, kopásnak, vagy anyagkifáradásnak kitett elemek (pl: féktárcsák, futókerekek; áramátalakítók keféi stb.) esetében választható, melyek meghibásodási mutatói - ledolgozott üzemidejük, vagy igénybevételük, leműködésük számának növekedésével arányosan - romlanak (rohamosan nőnek), azonban állapotuk jól ellenőrizhetők, prognosztizálhatók. Amennyiben ellenőrzésük nehézségekbe ütközik, akkor üzemidő szerint kell üzemeltetni;
- technikai kiszolgálási stratégia a megbízhatósági szint ellenőrzésével (**TKSMSZE**): Olyan rendszerek és elemei esetében célszerű kiválasztani, melyek üzemidejük, vagy működési számuk növekedésével, meghibásodási mutatóik nem, vagy kevésbé romlanak, meghibásodásuk általában hirtelen és váratlanul következik be.

Mint ismeretes, a repülés biztonságát jelentősen befolyásoló meghibásodások veszélyessége nagymértékben csökkenthető, amennyiben az adott funkcionális rendszert megkettőzzük, vagy tartalék, "vészrendszerrel" látjuk el.

Bizonyos egyszerűsítések elfogadásával, legszemléletesebben a szívócsatorna és a hajtómű(vek) együttes működésével lehet a fenti állítást alátámasztani: Amennyiben egy "egyhajtóműves" repülőgép szívócsatornájában egy teherviselő elem megsérül, kiszakad, akkor a hajtómű lapátjai biztos, hogy sérülnek. A sérülés mértéke meghatározza a biztosan kialakuló repülőesemény súlyossági fokát, ami a katasztrófához is vezethet.

Ugyanilyen jellegű szívócsatorna sérülés, egy "kéthajtóműves" repülőgép esetében, a sérült hajtómű leállítását követően, még egy működő hajtóművel lehetővé válik a repülési feladat, balesetmentesen történő befejezése, mivel a szívócsatorna teherviselő elemének "meggyengülése" sem befolyásolja olyan mértékben a szárny szilárdságát, hogy ne lehessen biztonsággal földet érni. Belátható, hogy a hajtóművek megkettőzésével, a bekövetkező repülőesemény súlyossága jelentősen csökkent, mivel a hajtómű(vek), mint funkcionális rendszer(ek), meghibásodásukkal kevésbé befolyásolják a repülés biztonságát.

A meghibásodások következményeinek hatása a repülőeszköz alkalmazhatóságára (**3.1. ábra**):

- **F1** a meghibásodás következtében a repülési feladatot nem lehet végrehajtani;
- **F2** a meghibásodás következtében a repülési feladat megkezdése késik, a repülőeszköz alkalmazhatósága csökken, korlátozott;
- **F3** a meghibásodás következtében a repülőeszköz alkalmazhatósága csökkenhet, de a repülés biztonságára való kihatása oly csekély, hogy semmilyen, jelentős következménnyel nem jár.

A meghibásodások felszámolására, (szabályzás; javítás; csere. stb) megelőzésére (a megbízhatóság növelése; a rendszerek és elemei ellenőrizhetőségének javítása; kiegészítő ellenőrzések végrehajtása; diagnosztikai feltételek javítása, tartalék, vagy vészrendszerek kiépítése. stb) teendő intézkedéseknek a gazdaságossági feltételeknek is meg kell felelniük, melyeket az alábbi tényezőkkel jellemezhetünk:

- **G1** a meghibásodás megelőzése, vagy megszüntetése jelentősen nagyobb anyagi ráfordítással jár, mint amúgy a repülési feladat elmaradásából fakadó költségek lennének;
- **G2** a meghibásodás megelőzése, vagy megszüntetése kisebb ráfordítást igényel, mint a repülési feladat elmaradásából keletkező költségek.

A fentiekből is következik, hogy a gazdaságossági szempontok, elsődlegesen, meghatározóként, csak azon elemeknél jöhetnek számításba, melyek hatása a repülés biztonságára csekély.

A későbbi elemzésekhez még két tényezőre lesz szükség. Az első a repülőeszköz rendszerei és azok elemeinek ellenőrzés, valamint diagnosztikai feladatok céljából történő hozzáférhetősége:

- **D1** a rendszer és elemei ellenőrzése üzemeltetési körülmények között nem lehetséges;
- **D2** a rendszer és elemei ellenőrzése üzemeltetési körülmények között nehéz, valamint sok kiegészítő munkákra és berendezésre van szükség;
- **D3** a rendszer és elemei ellenőrzése üzemeltetési körülmények között, kiegészítő munkák nélkül is, jól végrehajtható.

A fent kritériumok, jó közelítéssel, az üzemeltetési körülmények között elvégezhető mérések, és diagnosztizálás alapján meghatározzák, a repülőeszköz technikai állapota prognosztizálhatósági fokát is.

A második tényező, pedig a rendelkezésre álló mérőeszközökkel elvégezhető mérések hitelességét, értékek valódiságát fejezi ki:

- **T1** az alkalmazott mérés (mérőeszköz) nem ad hiteles, valóságos információt a mért objektum állapotáról;
- **T2** a mérési eredmények alapján az objektum állapota jól megállapítható.

A fentiekben tárgyalt tényezők (kritériumok) együttesen lehetővé teszik, hogy megállapíthassuk az adott repülőtechnika alkalmasságát az állapotszerinti üzemeltetéshez, és kiválasztható legyen a megfelelő technikai kiszolgálási stratégia.

A technikai kiszolgálási stratégia kiválasztásának lépései:

1. A vizsgálandó rendszer felépítése, működési elve, funkciói, más rendszerekkel való együttműködése, tartalék, vagy vészrendszerének elemzése. Feltétlenül szükséges vizsgálni, hogy a fedélzeti és a földi-kiszolgáló eszközök által szolgáltatott adatok mennyisége és minősége, megbízhatósága lehetővé teszi-e a rendszer állapotának meghatározását, illetőleg elegendő-e állapotának prognosztizálásához.
2. A vizsgálandó rendszer elemeire történő szétbontása a még önálló funkcióval rendelkező és önálló technikai kiszolgálást igénylő blokkok, berendezések, fő konstrukciós elemek mélységéig. A szétbontás konstrukciós egységekig kell csak folytatni, azaz például a rendszer működőképességére azonos módon ható, egy egységben ellenőrizendő berendezéseket összevonhatóak és egy elemként kezelhetőek.
3. A rendszer elemek meghibásodásai veszélyességi fokának elemzése az alábbiak meghatározása alapján: (elemenként és berendezésenként)
  - o a lehetséges meghibásodások fajtái;
  - o a meghibásodások hatása a rendszer működőképességére;
  - o a repülés biztonságára való hatása;
  - o a legsúlyosabb következményeket kiváltó meghibásodás meghatározása és kategorizálása;
  - o meg kell határozni a V3 kategóriába sorolt elemek meghibásodásai repülési feladat végrehajthatóságára történő hatását (F).
- A rendszer elemei ellenőrizhetőségének meghatározása. Vizsgálni szükséges minden egyes alkotórészhez való hozzáférhetőséget, valamint azt, hogy a mérhető paraméterek megfelelő mértékben jellemzik-e az adott berendezés technikai állapotát. Az adatoknak megbízhatóknak kell lenniük, és lehetővé kell tenniük az állapotváltozások prognosztizálását. A nehezen hozzáférhető és a technikai állapot megállapítására alkalmatlan paraméterekkel rendelkező berendezések a D1 kategóriába tartoznak, és az üzemidő szerinti stratégiát kell hozzájuk rendelni.
- Az adatok birtokában, a döntésünk előkészítéséhez, célszerű egy logikai sémát felépíteni.
- A rendszer(ek) és elemei technikai kiszolgálási stratégiái kiválasztása.

***Ezzel elérkeztünk ahhoz a ponthoz, hogy repülőgépünk rendszereit tekintve, már üzemeltethető állapotszerint. A sárkány üzemeltetési stratégiája kiválasztásának sajátosságaival, ebben a tanulmányban, még nem foglalkozom, valamint nem történik említés a hajtóművek állapotszerinti üzemeltetéséről sem. Ez utóbbi téma, egy teljesen önálló tanulmányt megérdemel.***

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM:**

- [1] PARÁNYI GYÖRGY Minőséget gazdaságosan Műszaki Könyvkiadó 1999.
- [2] KEMÉNY SÁNDOR Statisztikai Minőség Műszaki Könyvkiadó 1999.
- [3] A.I. FROLKOV A technikai kiszolgálás programjai kiválasztásának kritériumai. Állami Tudományos Kiadó (Á.T.K.) 75360, 1991.
- [4] V.I. VAKULJUK A fedélzeti berendezések tech. kiszolg. stratégiái kiválasztásának sajátosságai. A Repülőtechnika állapotszerinti üzemeltetése. Á.T.K 75360, 1991.
- [5] M.M. GROMOV A harci repülőeszközök állapotszerinti üzemeltetésének helyzete Á.T.K. 75360, 1993.
- [6] VONNÁK I.P. A repülőtechnika állapotát értékelő módszerek és eszközök integrálása az állapotszerinti üzemeltetés rendszerébe, mint a katonai repülőeszközök fenntartási költségei csökkentésének leghatékonyabb eszköze. Repüléstudományi Közlemények különszám április 2007.
- [7] N.N. SZMIRNOV A repülőtechnika állapotszerinti kiszolgálása és nagyjavítása "Transzport" Kiadó Moszkva 1987.
- [8] MASAYUKI IBUSIKI Aircraft Maintenance by means of Operation Monitoring System. Japan Soc. Aeronaut. and Spaces №333 1981.
- [9] MARKS P.A. Design for Economy. "Aircraft Eng." 53, № 3 1981.
- [10] COLLIN G. La maintenance des moteurs: des budgets très lourds. "Air et Cosmos" 18, № 846, 1981.
- [11] DEPUIS JEAN PIERRE stb On Condition Maintenance FMW Sveden; 1990.
- [12] MC GOWAN; REITHER LIVIER; DEPUIS JEAN PIERRE; TAKEDA NOBUO stb . Structural health monitoring methodology for aircraft condition-based maintenance
- [13] Harci repülőgépek ésszerű technikai kiszolgálási stratégiájának kialakítási módszerei, metodikája. Kiadás: Moszkva 1995.