

Karbantartás elmélet

Elektronikus tansegédlet

<http://infosrv.tech.klte.hu/~pokoradi>

<http://pokoradilaszo.tk>

Összeállította: dr. Pokorádi László, főiskolai tanár

Debrecen, 2002

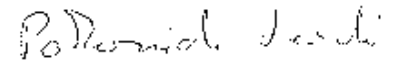
Előszó

Ez az elektronikus tansegédlet alapvetően a Minőségügyi szakirányú továbbképzési szak hallgatóinak készült. De jól felhasználható a Műszaki menedzsereknek tanított Üzemfenntartás tantárgy elsajátítása során is.

A tansegédlet első részében az általános (vagy klasszikus) üzemeltetés, üzemfenntartás elmélet kérdéskörei találhatóak. A második rész — mely az új üzemeltetési filozófiákat, döntés-előkészítő eljárásokat ismerteti — alapját korábbi szakmai publikációim, tudományos kutatásaim eredményei képezik.

Remélem, ez az újszerű jegyzet, tansegédlet kiadási mód elnyeri hallgatóim tetszését, és hasznosan tudják forgatni munkámat tanulmányaik alatt és a későbbi gyakorlati munkájuk során.

Debrecen, 2002. március



Pokorádi László

Tartalomjegyzék

Előszó	I
Tartalomjegyzék	II
1. Az üzemeltetési folyamat	1
1.1. Az üzemeltetés, üzemfenntartás értelmezése	1
1.2. Az üzemeltetési folyamat szemléltetése	2
1.3. Az üzemeltetés irányítása	3
2. Üzemeltetési, karbantartási stratégiák	5
2.1. Meghibásodásig történő üzemeltetés	5
2.2. Kötött üzemidő szerinti üzemeltetés	5
2.3. Megbízhatósági szint szerinti üzemeltetés	6
2.4. Jellemző paraméter szerinti üzemeltetés	6
3. Paramétereltérések és meghibásodások	8
3.1. A paramétereltérések fogalma, osztályozása	8
3.2. A meghibásodások osztályozása	9
4. Károsodáselmélet	13
4.1. A károsodáselmélet alapjai	13
4.2. Az élettartam meghatározása	14
4.3. A megengedhető károsodási érték meghatározása	15
4.4. Olajcsere ciklusidő meghatározása	15
4.5. Az ekvivalens üzemidő	16
4.6. Élettartam-vizsgálatok	18
5. A műszaki diagnosztika	20
5.1. Az üzemeltetési stratégiák műszaki információ igényei	20
5.2. A defektoszkópia és a diagnosztika	20
5.3. A műszaki diagnosztika feladatai	21
5.4. Műszaki diagnosztikai rendszer	21
5.5. A diagnosztika megvalósításának módjai	23
5.6. Matematikai modellre épülő diagnosztikai módszerek elméleti alapjai	24
5.7. Matematikai modellre épülő diagnosztikai vizsgálatok	27
6. Az üzemeltethetőség	32
6.1. Alapfogalmak	32
6.2. Az üzemeltethetőség jellemzői	34
7. Üzemeltetési folyamatok valószínűségi vizsgálata	37
7.1. Az üzemeltetés, mint Markovi folyamat	37
7.2. A karbantartási ciklusidő meghatározásának módjai	37
7.3. A szabályozás felső határa	42
7.4. Beállt Markov-modell vizsgálat	43
7.5. Sorbanállási modellek alkalmazása	45
8. A Megbízhatóság Központú Karbantartás	48
8.1. A Megbízhatóság Központú Karbantartás előzményei	48
8.2. A Megbízhatóság Központú Karbantartás hét alapkérdése	50
8.3. A Megbízhatóság Központú Karbantartás elemzésének főbb lépései	55

9.	Kockázatkezelés a üzemfenntartásban	59
9.1.	A kockázatkezelés elvei	59
9.2.	A kockázat kategóriái	60
9.3.	A kockázatkezelés folyamata	66
10.	Az Alapvető Ok Elemzés	74
10.1.	Az Alapvető Ok Elemzés folyamata	75
10.2.	Kapcsolat a Megbízhatóság Központú Karbantartással	75
10.3.	Alapvető Ok Elemzés röviden	76
11.	Hibafa-elemzés	77
12.	Fuzzy logika alkalmazása az üzemeltetésben	82
12.1.	Fuzzy halmazok és műveletek	82
12.2.	Fuzzy rendszerek működése	84
12.3.	Fuzzy logika alkalmazása az üzemeltetésben	85
12.4.	Fuzzy logika-alapú kockázatbecslés	85
13.	TPM — Teljeskörű Hatékony Karbantartás	90
13.1.	A Just In Time rendszer	90
13.2.	Az 5S módszer	90
13.3.	Veszteségforrások	91
13.4.	A TPM néhány jellemzője	91
13.5.	A műszaki üzemeltetési folyamat tervezése (MSG-3)	96
	Felhasznált irodalom	IV

1. Az üzemeltetési folyamat

1.1. Az üzemeltetés, üzemfenntartás értelmezése

Tágabb értelemben az üzemeltetés a technikai eszközök használatának, különböző szintű kiszolgálásának és javításának összetett folyamata, az üzemeltetés során az üzemben-tartók (az alkalmazó szervezeti egységek) használják (üzemben tartják), tárolják, az üzemfenntartás keretében kiszolgálják (karbantartják), javítják a technikai eszközöket.

Megállapítható, hogy egy technikai eszköz üzemeltetése az eszközzel, vagy annak valamely rendszerével, berendezésével a gyártás és a kiselejtezés között történtek összessége. Ide tartozik az eszköz rendeltetésének megfelelő használata, karbantartása, javítása és ezen helyzetek bármelyikére történő várakozása. Ezeket a létezési formákat **üzemeltetési állapot**nak tekintjük. Az üzemeltetési állapotok — megfelelő definiálásuk esetén — jól körülhatárolt, egymástól jól elválasztott állapotokat jelentenek. Ekkor az állapotok egymástól élesen elhatárolódnak, azaz nincsenek „*majdnem*” állapotok. Egy vagy több technikai eszközt, az összes funkcionális elemeivel, egységeivel, rendszereivel és berendezéseivel együtt az **üzemeltetés tárgyának** nevezzük.

Egyes szakirodalmak szerint, szűkebb értelemben az üzemeltetés csak a technikai eszköz rendeltetésének megfelelő alkalmazása, használata. Az üzemeltetés során az üzemeltetők a technikai eszközt egészében vagy részlegesen működtetik, üzemeltetik. Az üzemeltetés lehet folyamatos, ilyenkor a vizsgált időszakban az eszköz működési időtartama a meghatározó az üzemen kívüli állapothoz képest, illetve szakaszos, amikor az üzemi és üzemen kívüli állapot váltja egymást. Üzemeltetésen kívüli állapotoknak tekinthetők az üzemfenntartások időszakai, az üzemszünet, valamint az üzemeltetésen kívüli állapotok, például a tárolás.

Az üzembentartás az üzemeltetett (használt, alkalmazott) technikai eszközök üzemképes állapotban tartására és adott feladat végrehajtására való alkalmazhatóságának növelésére irányuló tevékenységek összessége. Magában foglalja a technikai kiszolgálásokat és a különleges felkészítési feladatokat. Az üzembentartás egyrészt biztosítja az üzemeltetés hatására fokozatosan csökkenő üzembiztonság időszakonkénti növelését, lassítva ezzel a technikai eszközök elhasználódásának folyamatát, másrészt fokozza az eszközök alkalmasságát különleges körülmények közötti üzemelésre, illetve sajátos feladatok végrehajtására.

A tágabb értelemben vett üzemeltetés célja a technikai eszköz műszaki állapotának és a működés biztonságának fenntartása, valamint az üzemeltetés tárgyának rendeltetésszerű felhasználásának biztosítása.

A technikai eszközök üzemeltetése üzemeltetési rendszerben történik, ami

- a technikai eszköz vagy eszközök;
- azok kiszolgálását, ellenőrzését, karbantartását, javítását szolgáló berendezések;
- az üzemeltetést végző (műszaki) állomány;
- a kezelőszemélyzet;
- az üzemeltetést irányító szervezet

kölcsönös együttműködése folytán valósul meg.

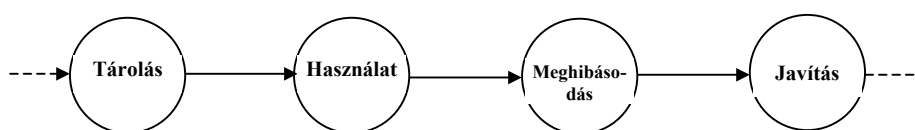
Az üzemeltetési folyamat üzemvitelből, üzemállapotokból, és a közöttük fennálló kapcsolatokból épül fel. Az üzemvitelt a technikai eszköz üzemeltetési állapotainak időbeni sorrendisége alkotja, amely egy adott üzemeltetési rendszerben előírásokkal előre szabályozott. Ezért ezt az **üzemeltetési folyamat szubjektív összetevőjének** is szokás nevezni, bár az előírt sorrendiségtől való eltérés gyakori.

Az üzemeltetés tárgyára üzemeltetése során sokféle, bonyolult hatásokat kiváltó és egyszerű módszerekkel nem vizsgálható, sztochasztikus jellegű üzemeltetési körülmény gyakorol hatást. Ennek következtében a technikai állapota állandóan és halmozottan változik. Ezt szokás az **üzemeltetési folyamat objektív összetevőjének** nevezni.

Az üzemeltetési folyamat objektív és szubjektív összetevőinek együttes hatására végbemenő állapotváltozásokat a technikai eszköz üzemállapotával adják meg, amit **üzemi jellemzőkkel** írhatunk le.

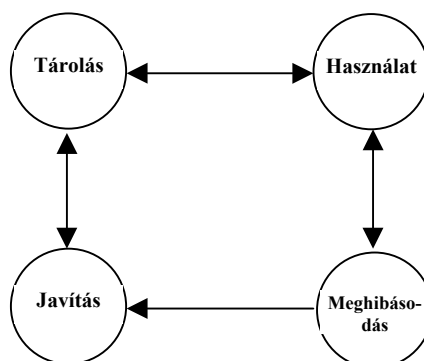
1.2. Az üzemeltetési folyamat szemléltetése

Mint a fentiekben meg megfogalmaztuk az üzemeltetési folyamat üzemeltetési állapotok időben és gyakoriságban véletlen egymásutánisága. Az üzemeltetési állapotok ezen sorozatát úgynevezett üzemeltetési láncsal tudjuk szemléltetni, mely matematikai szempontból Markov-láncnak tekinthető (részletesebben lásd a 7. fejezetben).



1.1 ábra. Üzemeltetési lánc

Az üzemeltetési lánc egy olyan speciális irányított gráf, ahol a szögpontok mindegyikébe egy és csak egy él fut be, valamint egy, és csak egy él indul ki belőle, mint ahogyan ezt az 1.1. ábra is szemlélteti. A szögpontok a különböző üzemeltetési állapotot szemléltetik, míg az élek a állapotok közti váltásokat.



1.2. ábra. Üzemeltetési gráf

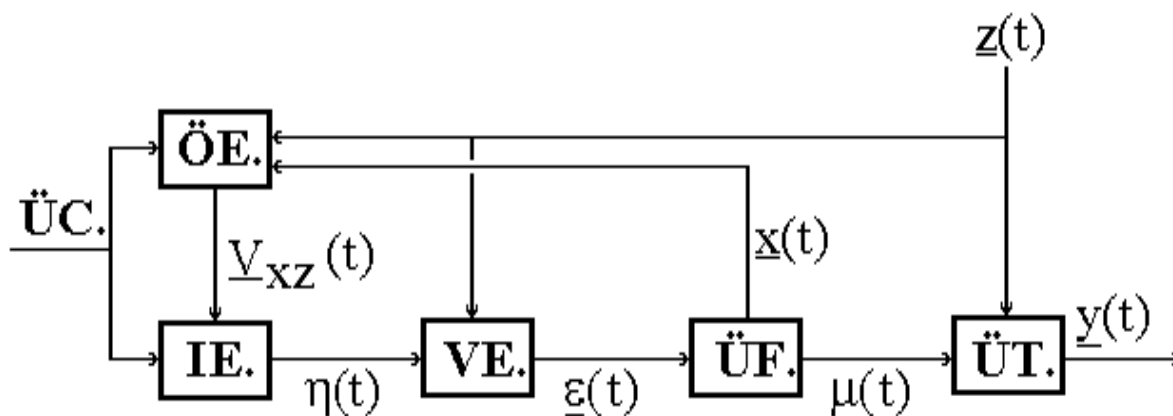
Egy teljes eszközpark rendszerszemléletű vizsgálata esetén az összes berendezés, rendszer üzemeltetési láncának ábrázolása nagyon körülményes. Ezért az áttekinthetőbb szemléltetés és elemzés érdekében bevezették az üzemeltetési gráf fogalmát. Az üzemeltetési gráf egy olyan irányított gráf, melynek szögpontjai az üzemeltetési állapotokat, élei pedig az lehetséges állapotváltozásokat szemléltetik (1.2. ábra). Az élekhez hozzárendelhetjük az általuk szemléltetett állapotváltozásokat jellemző valószínűségi, vagy más üzemeltetési paramétereket is (például a 7.4. fejezetben). Ekkor — matematikai szempontból — súlyozott irányított gráfról beszélünk.

1.3. Az üzemeltetés irányítása

Az üzemeltetés célját általánosabb értelemben, mint az üzemállapot-jellemzők előírt, előre megadott értékek között tartását határozhatjuk meg. Ezt egy tipikus irányítási folyamatban lehet megvalósítani.

Ekkor az irányítás tárgya maga az üzemeltetés tárgya, amelyre bementi jelekként az üzemeltetési körülmények és az irányított üzemeltetési folyamat hatnak. A kimeneti jelek a technikai eszköz üzemállapot-jellemzői.

A technikai eszköz üzemeltetési folyamata zárt és nyitott irányítású lehet. A két folyamat elvi blokk-diagramját szemlélteti az 1.3. és az 1.4. ábrák.



1.3. ábra. A üzemeltetés nyitott irányításának blokkdiagramja

- ÜC. — üzemeltetési cél;
 ÖE. — összehasonlító egység;
 IE. — irányító egység;
 VE. — vezérlő (végrehajtó) egység;
 ÜF. — műszaki üzemeltetési folyamat;
 ÜT. — az üzemeltetés tárgya;
 $\underline{z}(t)$ — külső környezeti hatások vektora;
 $\underline{y}(t)$ — üzem-állapot jellemzők vektora;
 $\underline{x}(t)$, \underline{V}_{xz} , $\underline{\eta}(t)$, $\underline{\varepsilon}(t)$, $\underline{\mu}(t)$ — szabályozó, irányító jelek vektorai.

Nyitott az irányítási rendszer (1.3. ábra), ha az üzemeltetési folyamat irányítása az üzemeltetési körülmények által indukált külső környezeti jelek alapján valósul meg. Eközben — természetesen — nemcsak a külső bemeneti jelek változását kell mérni, de ismerni kell, hogy azok milyen hatásokat gyakorolnak az üzemállapot-jellemzőkre.

Zárt rendszerű irányítás (1.4. ábra) valósul meg, ha az üzemállapot-jellemzők változása szerint irányítják az üzemeltetési folyamatot.

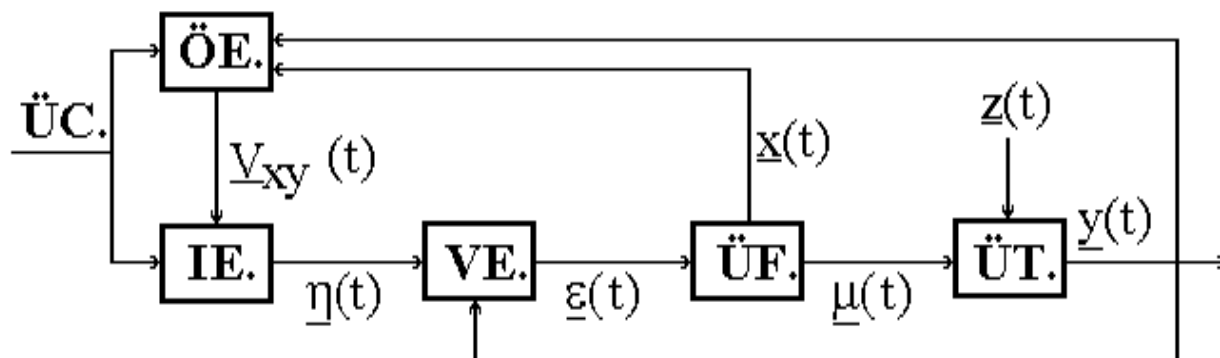
A üzemeltetés irányítása a fenti ábrák szerint az alábbi egységekre épül:

ÖE. — összehasonlító egység (döntés-előkészítő csoport)

Az üzembiztonsági, gazdasági célokat is tartalmazó üzemeltetési cél (ÜC.), az üzemeltetési folyamat (ÜF.) és az $\underline{z}(t)$ üzemeltetési körülmények, feltételek, illetve — zárt rendszer esetén — az üzemállapot-jellemzők $\underline{y}(t)$ értékeinek egybevetése után tesz javaslatot az üzemeltetési folyamat irányítására, melyeket az ábrákon a \underline{V}_{xz} és a \underline{V}_{xy} jelek szemléltetnek.

IE. — irányító egység (igazgató vagy igazgató tanács)

Az összehasonlító egység javaslata alapján, az üzemeltetési cél ismeretében dönt az üzemeltetési folyamat irányításával kapcsolatos tevékenységekről. Az $\underline{\eta}(t)$ -vel megadja, hogy milyen $\underline{y}(t)$ kimeneti jeleket vár el az üzemeltetés tárgyától.



1.4. ábra. Az üzemeltetés zárt irányításának blokkdiagramja

- ÜC.** — üzemeltetési cél;
ÖE. — összehasonlító egység;
IE. — irányító egység;
VE. — vezérlő (végrehajtó) egység;
ÜF. — műszaki üzemeltetési folyamat;
ÜT. — az üzemeltetés tárgya;
 $\underline{z}(t)$ — külső környezeti hatások vektora;
 $\underline{y}(t)$ — üzemállapot jellemzők vektora;
 $\underline{x}(t), \underline{V}_{xy}, \underline{\eta}(t), \underline{\varepsilon}(t), \underline{\mu}(t)$ — szabályozó, irányító jelek vektorai.

VE. — vezérlő (végrehajtó) egység

Az irányító egységtől kapott döntések alapján, illetve — nyitott vezérlőrendszer esetén — a $\underline{z}(t)$ környezeti, vagy — zárt rendszerben — az $\underline{y}(t)$ üzemállapot-jellemzők ismeretében meghatározza a kialakítandó és követendő üzemeltetési stratégiákat, és konkrétan szabályozza — az $\underline{\varepsilon}(t)$ jellel — az üzemeltetési folyamatot.

Optimális üzemeltetési folyamatról akkor beszélünk, ha az üzemeltetési folyamat irányítása valamely szempont (például élőmunka-ráfordítás) vagy valamely mutató szerint optimált.

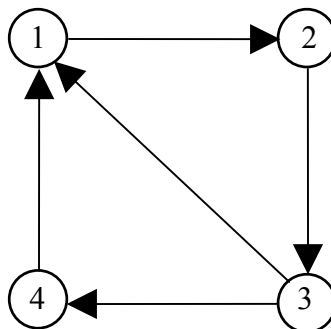
2. Üzemeltetési, karbantartási stratégiák

Az alkalmazott üzemeltetési stratégiát, illetve annak fejlődését a lehetőségek és a szükségletek határozzák meg. A leglényegesebb feltétel a kor műszaki-technikai szintje. A másik fontos feltétel a haditechnikai eszköz konstrukciós sajátossága. Ez azt jelenti, hogy az üzemeltetés tárgyát az elképzelt módszer követelményeinek megfelelően kell tervezni, illetve ha már meglévő eszközhöz akarunk új módszert kidolgozni és alkalmazni, figyelembe kell venni a rendelkezésre álló technikai információforrásokat. Fontos feltételnek tartom az állomány, főleg a vezetők, irányítók felkészültségét, igény szintjét, a géppark nagyságát és az érvényben lévő nemzeti, illetve nemzetközi előírásokat. Igen jelentős feltétel az adott szervezeti keret korszerűsége és főleg annak rugalmassága, melyben az üzemeltetés történik.

Ezek után nézzük át röviden az üzemeltetési stratégiákat, azok úgynevezett beállt üzemű (stacioner) típusgráfjaival.

2.1. Meghibásodásig történő üzemeltetés

Ez a legrégebbi és legegyszerűbb üzemeltetési stratégia, melynek lényege, hogy az üzemeltetés tárgyát annak meghibásodásáig üzemeltetjük (2.1. ábra).



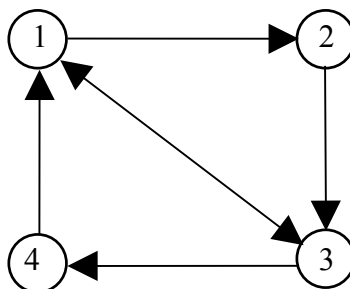
2.1. ábra. Meghibásodásig történő üzemeltetés típusgráfja

- 1 — használat;
- 2 — meghibásodás;
- 3 — javítás;
- 4 — várakozás.

Meghibásodás esetén vagy cseréljük (nem javítható berendezés esetén) vagy javítjuk az üzemeltetés tárgyát. Általában ezt a stratégiát alkalmazzuk olyan eszközöknél, melyek meghibásodása következménymentes.

2.2. Kötött üzemidő szerinti üzemeltetés

Ezt a stratégiát más néven kemény idő szerinti üzemeltetésnek vagy tervszerű megelőző karbantartásnak (TMK) is nevezik. Lényege, hogy az üzemeltetés tárgyát meghatározott teljesítmény után (üzem-, illetve naptári időnként vagy más teljesítmény jellemző alapján) ciklikusan ellenőrzésnek és karbantartásnak vetik alá. Az ellenőrzések közötti időt úgy kell meghatározni, hogy a műszaki állapotra jellemző paraméter értéke megfelelő valószínűséggel ne tudjon a megengedett, illetve a meghibásodást jelentő értékek közti különbséggel változni. Itt már felfedezhető némi kölcsönhatás az információ és az egyszerű visszacsatolás között (2.2. ábra). Ez az ötvenes, hatvanas évek repülőiparának jellemző stratégiája.

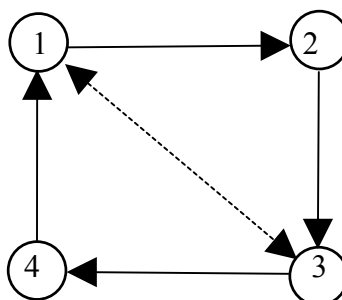


2.2. ábra. Kötött üzemidő szerinti üzemeltetés típusgráfja

- 1 — használat;
- 2 — meghibásodás;
- 3 — karbantartás, javítás vagy csere;
- 4 — várakozás.

2.3. Megbízhatósági szint szerinti üzemeltetés

Konkrét üzemeltetési tárgyra és üzemeltetési rendszerre kidolgozást igénylő és érvényes stratégia. Lényege, a meghibásodások száma eléri a beüzemelési időszak után a szabályozás felső határát (adott gépparkra és időszakra meghatározott maximálisan megengedhető meghibásodások számát), külön ellenőrzésre vagy kemény idő szerinti üzemeltetésre történő áttérést kell elrendelni. Ellenkező esetben a technikai eszközön ellenőrzést, karbantartást nem kell végrehajtani. Ezt a feltételeességet szemlélteti a típusgráf szaggatott irányított éle. Ennél a stratégiánál természetesen a műszaki vezetőknek folyamatosan figyelemmel kell kísérnie nemcsak a technikai eszközpark állapotát, de magát a pillanatnyi üzemeltetési stratégiát is. Ez megnöveli az irányítók munkáját és felelősségét, de egyben közelebb is kerülnek az üzemeltetés folyamatához (2.3. ábra).



2.3. ábra. Megbízhatósági szint szerinti üzemeltetés típusgráfja

- 1 — használat;
- 2 — meghibásodás;
- 3 — karbantartás, javítás vagy csere;
- 4 — várakozás.

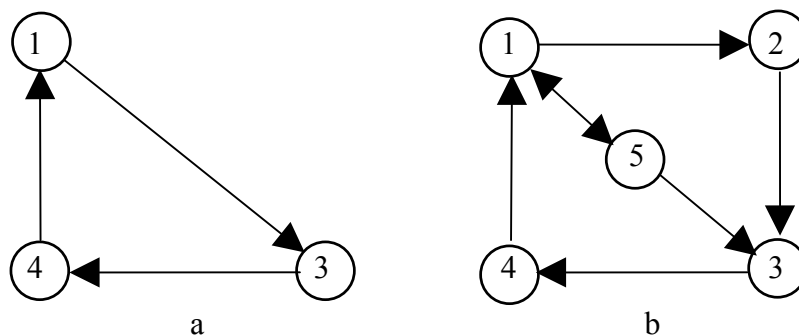
2.4. Jellemző paraméter szerinti üzemeltetés

Ebben az esetben az üzemeltetés tárgyának állapotát jellemző a paraméter vagy paraméterek mérésével és a mért adatok kiértékelésével határozzuk meg. A paraméterek ellenőrzése lehet folyamatos (2.4a. ábra), vagy időszakos (2.4b. ábra).

Szakaszos paraméter ellenőrzés esetén természetesen felléphet a használat közbeni meghibásodás is.

Mind folyamatos mind szakaszos ellenőrzés esetén a mért adatok feldolgozása, azaz az üzemeltetés tárgya műszaki állapotának meghatározása, a vizsgált (üzemeltetett) rendszer matematikai diagnosztikai modelljének ismeretét igényli.

Folyamatos ellenőrzés esetén az ellenőrzési állapot kimarad a gráfból, mivel azt a használat ideje alatt folyamatosan hajtják végre.



2.4. ábra. Jellemző paraméter szerinti üzemeltetés típusgráfjai

- 1 — használat;
- 2 — meghibásodás;
- 3 — karbantartás, javítás vagy csere;
- 4 — várakozás;
- 5 — diagnosztika.

A műszaki diagnosztika a vizsgált technikai rendszer, berendezés vagy elem állapotának meghatározásával, illetve az állapot változásának elemzésével foglalkozó tudomány. Részletesebben ismertetése a jegyzet 5. fejezetében található.

3. Paramétereltérések és meghibásodások

3.1. A paramétereltérések fogalma, osztályozása

A technikai rendszerek üzemeltetése egy sztochasztikus terheléseket generáló véletlen folyamat. Az üzemeltetés folyamán az objektív körülmények (a valóságos terhelések) általában rontják, a szubjektív körülmények (az állapotfelmérések függvényében előírt műszaki megoldások, karbantartások, javítások) általában javítják az üzemeltetés tárgyának műszaki állapotát. Ezért a technikai eszközök élete, vagyis mindaz, ami velük a gyártásuk befejezésétől kezdve a használatból való végleges kivonásukig történik, egy sztochasztikus üzemeltetési folyamat.

Az üzemeltetés folyamán a technikai eszközöknek a (gyártásuk befejezése pillanatában is már bizonyos szóródást mutató) szerkezeti, műszaki és technikai jellemzői

- a tervezés és gyártás sajátosságai;
- az alkalmazott anyagok fizikai-kémiai tulajdonságai;
- az üzemeltetési körülmények, műszaki, gazdasági adottságok;
- és a ténylegesen realizálódó üzemeltetési folyamat

függvényében állandóan, sztochasztikusan, az üzemeltetés előrehaladásával — az általános degradációs folyamatok, például kopás, kifáradás következtében — többnyire halmozódó formában változnak.

A technikai rendszerek műszaki állapotának, azaz tulajdonságainak sztochasztikus változása egy sor, komoly elméleti megfontolásokat igénylő gyakorlati problémát vet fel. A felvetődő problémák megoldása lényegében közvetlen (az alkalmazás során), illetve közvetett (műszaki kiszolgálás, üzemfenntartás) irányítási feladatok megoldásához vezet. Mindkét esetben az eszköz üzemeltetése csak sztochasztikus alapokon oldható meg.

A műszaki gyakorlatban **paramétereltérésnek** nevezzük a rendszer szerkezeti, üzemeltetési és üzemi jellemzőinek a névleges értékektől, azaz az elsődleges gyártási és üzemeltetési dokumentációkban adott értékektől való olyan mértékű eltéréseit, amelyet az alkalmazott irányítási rendszer már nem tud korrigálni.

Szerkezeti jellemzők eltéréseinek tekinthetjük a vizsgált rendszer szerkezetében (konstrukciójában) és funkcionális felépítésében (működési logikájában) észlelt változásokat (például a szerkezeti elemek deformációját, méretváltozását, egyes elemek meghibásodását). **Üzemeltetési jellemzők eltéréseinek** nevezzük az üzemeltetési körülmények (például időjárás feltételek) és az üzemeltetési folyamat irányítása (a rendszer műszaki karbantartása, javítása) során észlelhető, az üzemeltetési dokumentációkban előírt névleges, direktív értékektől való eltéréseket. Az **üzemi jellemzők eltérései** pedig a rendszer üzemi (működési, dinamikai vagy teljesítmény) jellemzőinek az eltérése az előírt értékektől. Az egyes jellemzők eltérései automatikusan generálják a további jellemzők eltéréseit. Például egy repülőgép geometriai jellemzőinek a változása maga után vonja az aerodinamikai, valamint azon keresztül a repülésmechanikai és technikai jellemzők megváltozását.

Ezek az eltérések értelemszerűen a rendszer előállításának befejezésétől kezdve léteznek, és az üzemeltetés során először gyorsan (szerkezeti adaptáció), majd lassabban, de mindig sztochasztikusan változnak.

A paramétereltérések három csoportba oszthatók:

- **paraméter bizonytalanságok;**

A rendszer jellemzőinek olyan kisebb mértékű eltérései, melyek a rendszer szintézisekor, vagyis a rendszer irányításának tervezésekor figyelembe vehetők.

→ **anomáliák;**

Olyan "megengedhető eltérések", amelyek a rendszer optimális irányításától eltérő üzemi jellemzőket generálnak, de nem okozzák a rendszer meghibásodását, leállítását, és a rendszer működésének a biztonságát nem csökkentik a megadott szint alá;

→ **nem megengedhető eltérések;**

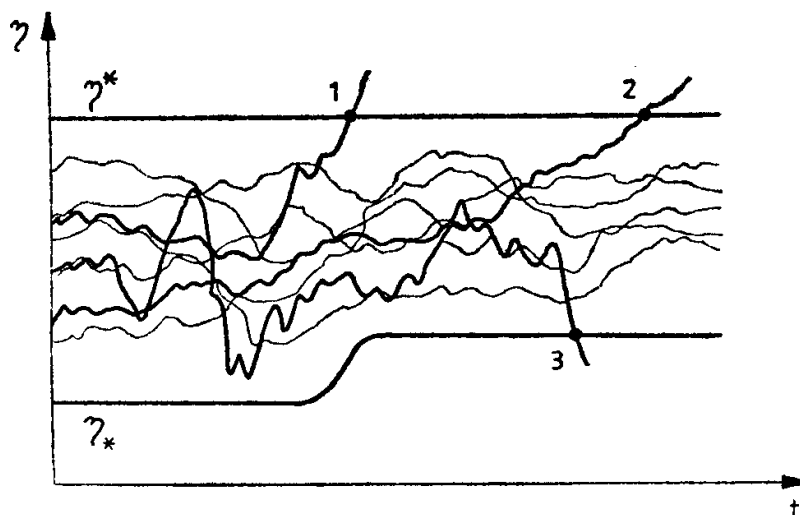
Olyan eltérések, melyek túllépnek a műszaki, gazdasági, illetve biztonsági követelmények által megszabott határokon és a rendszer meghibásodását, leállítását okozzák, vagy a rendszer működése olyan tartományba tolódik át, amelyben a működés biztonsága az elvárható, előírt szint alá süllyed.

A rendszeranomáliák vizsgálatakor mindig a második csoportba tartozó eltérésekkel foglalkozunk. Az első csoportba tartozó eltérések kontrol problémák megoldását igénylik, míg a harmadik csoportbeli eltérésekkel lényegében a megbízhatóságelmélet, a biztonságstudomány foglalkozik.

3.2. A meghibásodások osztályozása

A technikai eszköz (rendszer, elem) működőképes állapotának elvesztését **meghibásodásnak**, előírásos állapotának elvesztését **sérülésnek** nevezzük. A gyakorlatban sokszor találkozunk a meghibásodás enyhébb formáival, az **üzemzavarral**, amikor az üzemeltetés tárgya működőképes, de üzemállapot-jellemzői közül egy vagy több az előírt tűrési értékeken kívül esik.

A meghibásodás bekövetkezhet hirtelen, fokozatosan vagy relaxációsan.



3.1. ábra. A meghibásodások jelleg szerinti osztályozása

- η — általános üzemi jellemző;
- η^* — üzemi jellemző felső megengedett (meghibásodási) értéke;
- η_* — üzemi jellemző alsó megengedett (meghibásodási) értéke;
- t — teljesítményjellemező;
- 1 — hirtelen meghibásodás;
- 2 — fokozatos meghibásodás;
- 3 — relaxációs meghibásodás.

A **hirtelen meghibásodást** általában anyaghiba, helytelen üzemeltetés vagy a tervezett üzemi terhelésnél nagyobb terhelés váltja ki (3.1. ábra 1-es jelű görbéje). Bekövetkezésének valószínűsége az üzemidő függvényében exponenciális jelleggel bír.

A **fokozatos meghibásodást** egy vagy több üzemi jellemzőnek a fokozatos változása és az előírt tűrési mezőn túli növekedése okozza (2-es görbe a 3.1. ábrán). Ezt parametrikus meghibásodásnak is szokás nevezni. Ezen meghibásodás valószínűségének időbeni eloszlása normál (Gauss) jellegű.

Relaxációs meghibásodásról beszélünk, ha a meghibásodást a tűrési mező bármely okból bekövetkező leszűkülése miatt az eredeti normál üzemi terhelés váltja ki (3.1. ábrán a 3-as számú görbe).

A meghibásodás lehet a rendszer többi elemétől **független** vagy éppen azok meghibásodása által kiváltott, úgynevezett **függő** meghibásodás.

A működőképes állapot elvesztésének mértéke szerint megkülönböztetünk teljes és részleges meghibásodást. A **teljes meghibásodás** bekövetkezése után az üzemeltetés tárgyának, annak rendszerének vagy elemének rendeltetés szerinti felhasználása működőképes állapotának helyreállításáig nem lehetséges. A **részleges meghibásodás** létrejötte után viszont a technikai eszköz rendeltetés szerinti használata részben lehetséges, de egy vagy több főbb jellemzőjének (üzemi jellemzőjének) értéke a megengedett tűrési határokon kívül esik (üzemzavarral hasonlatos eset).

A váratlan (hirtelen) és teljes meghibásodást **katasztrófális meghibásodásnak**, míg a fokozatos (parametrikus) és részleges meghibásodást **degradációs meghibásodásnak** is nevezzük.

Egy adott alkatrész, elem vagy rendszer meghibásodásának következménye lehet:

- **katasztrófa** — katasztrófahelyzet előidézése;
- **baleset** vagy **törés** — a feladat végrehajtása tovább nem folytatható (például ha repülőgépek esetén vészszüllyedést vagy kényszerleszállást kell végrehajtani);
- **zavar** — a kitűzött feladat csak módosításokkal (például ha a repülés egy kisebb repülési magasságon) hajtható végre, hogy elkerüljék a veszélyes, baleseti vagy katasztrófahelyzetek kialakulását;
- **következménymentes** — ha legfeljebb különleges helyzet áll elő, és a fellépő meghibásodás a tervezett feladat biztonságos végrehajtását gyakorlatilag nem befolyásolja.

A meghibásodás következményének feltárásához nem elég csak az adott alkatrészt, berendezést vizsgálni. Világosan látnunk kell, hogy az hogyan épül be a rendszerbe, milyen funkcionális kapcsolatban van a rendszer többi elemével. Tehát a rendszer funkcionális megbízhatóságát kell vizsgálnunk.

A meghibásodás jellegétől, a tervezési, gyártási-üzemeltetési sajátosságoktól függően a meghibásodott elem, rendszer vagy az egész technikai eszköz üzemképes állapota vagy helyreállítható, vagy nem. Ennek megfelelően megkülönböztetünk **helyreállítható** vagy **nem helyreállítható** objektumot.

A meghibásodások könnyen osztályozhatók a meghibásodást kiváltó ok szerint:

- **szerkezeti** — vagyis tervezési hibára, például az extrém terhelések, terheléscsúcsok figyelmen kívül hagyására, pontatlan számítási metódus használatára, a terhelésforma elégtelen ismeretére vezethető vissza;
- **technológiai** — a tervezettől eltérő technológia, anyag használata, ezen belül gyártási, javítási, valamint karbantartási okokból felmerülő meghibásodást különböztetünk meg;

- **üzemeltetési** — az előírt körülményektől eltérő viszonyok közötti használat, az előírt karbantartási, javítási, ellenőrzési stb. munkák a megadottaktól eltérő végrehajtása miatt következnek be;
- **kifáradási** — elhasználódási, "öregedési", tehát a szilárdsági vagy biztonsági tartalék fokozatos elvesztése miatti meghibásodásokra.

A meghibásodások osztályozásának másik módja a **meghibásodási ráták**, mint véletlen értékek eloszlásának az $f_{\lambda}(t)$ sűrűségfüggvényét vizsgálata. A meghibásodási ráta a meghibásodások adott időpontra vonatkozóan meghatározott feltételes valószínűségi sűrűsége, feltéve, hogy addig az időpontig a vizsgált rendszer meghibásodása nem következett be. Empirikus meghatározása a

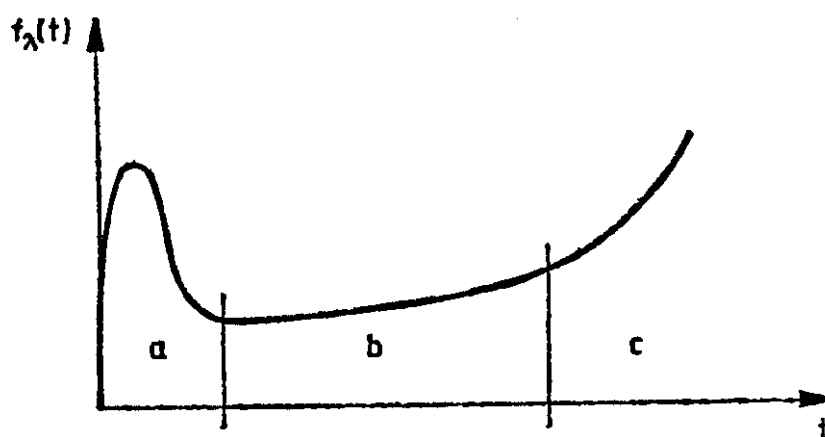
$$\lambda = \frac{n}{N\Delta t} \quad (3.1)$$

egyenlettel történik, ahol:

- n — a Δt vizsgálati idő alatt meghibásodott elemek száma;
- N — a vizsgálati időszak kezdetén működő elemek száma;
- Δt — a vizsgálati időtartam.

A 3.2. ábrán megadott tipikus $f_{\lambda}(t)$ függvényváltozás, az úgynevezett kádgörbe jól mutatja, hogy a meghibásodások három csoportba sorolhatók:

- **bejáratási** (a gyártástechnológiai hibák miatt az üzemeltetés kezdetén jelentkező meghibásodások);
- **üzemi** (a normál üzemeltetés során, előre nem meghatározható időben fellépő extrém terhelések miatti) meghibásodások;
- **kifáradási** (elhasználódási) meghibásodások.



3.2. ábra. A kádgörbe

- a — bejáratási időszak;
- b — üzemi időszak;
- c — kifáradási zóna.

Az eloszlás sűrűségfüggvénye szerint a bejáratási hibáknál a meghibásodási idő eloszlásának sűrűségfüggvénye a Poisson eloszlást követi, az üzemi meghibásodások

bekövetkezési idejének sűrűségfüggvénye exponenciális, míg a kifáradási szakaszra a normál eloszlás a jellemző.

A 3.2. ábrán vázoltak érvényesek két karbantartás, javítás stb. közötti időszakra is. A normál üzemeltetési folyamatban törekedni kell a kezdeti meghibásodások kiszűrésére. Ezt a célt szolgálja a bejáratás, a próba. A kifáradási szakaszban tilos az üzemeltetés folytatása.

	Osztályozási kritérium	A meghibásodás típusa		
I.	A paraméter módosulásának jellege a meghibásodás bekövetkezéséig	Hirtelen		meghibásodás
		Fokozatos		
II.	Összefüggés más meghibásodásokkal	Független		meghibásodás
		Függő		
III.	A használat lehetősége a meghibásodás után	Teljes		meghibásodás
		Részleges		
IV.	A meghibásodás kiküszöbölésének jellege	Maradó		
		Olyan, melynél lehetséges az önkiküszöbölés	átmeneti	meghibásodás
			szakaszos	
V.	A meghibásodás nyilvánvalósága	Nyílt		meghibásodás
		Rejtett		
VI.	A meghibásodás oka	Konstrukciós		hiba okozta a meghibásodást
		Technológiai		
		Üzembentartási		
VII.	A meghibásodást előidéző okak	Természetes		meghibásodás
		Mesterséges (szándékos)		
VIII.	A meghibásodás bekövetkezésének időpontja szerint	Vizsgálatok során		
		Vizsgálatok során üzemi viszonyok között		
		Normál üzembentartás során		
		Az üzembentartás utolsó időszakában		
IX.	A meghibásodás felfedezésének helye szerint	„Légi”		meghibásodás
		„Földi”		

3.1. Táblázat Meghibásodások osztályozása

4. Károsodáselmélet

4.1. A károsodáselmélet alapjai

A korszerű üzemeltetés elmélet egyik központi témája a károsodás vizsgálata, a károsodás mértékének meghatározása és folyamatos jelzése.

A technikai eszköz elhasználódásának, károsodásának mértékét többnyire valamely komplex károsodási paraméterrel (\bar{d}) jellemezhetjük. Általában a tényleges károsodást (d) a maximális károsodási-meghibásodási határ elérésekor megállapítható értékhez ($d_{\text{határ}}$) viszonyítva adják meg

$$\bar{d} = \frac{d}{d_{\text{határ}}} \quad (4.1)$$

Többféle meghibásodási határállapotot is definiálhatunk, például:

- üzemeltetési;
- elkülönítési;
- károsodási;
- kiselejtezési

határállapotot.

Üzemeltetési határállapotnak nevezzük az üzemeltetés tárgyának azt az állapotát, amelyet túllépve nem biztosítható a következő karbantartásig vagy üzemállapot-ellenőrzésig (diagnosztizálásig) annak üzemképessége. Lényegében ezen az alapon határozzák meg a jellemzők üzemeltetési tűrési értékeit.

Az üzemeltetési határállapotnál egy fokkal rosszabb állapotú objektumokra vonatkozik az **elkülönítési határállapot** (határ) fogalma. Ez azt az állapotot jelenti, amelyet — a parametrikus meghibásodás esetén — elérve az üzemképesség valószínűsége hirtelen csökken. Ennek az állapotnak az elérése lényegében azonnali beavatkozást igényel. Például károsodási folyamat vizsgálatokor az elkülönítési határt a károsodási folyamat hirtelen növekvő szakaszának — a kifáradásnak — a megjelenése jelöli.

A következő stádium a **károsodási határállapot** elérése, amelynek túllépése után a szerkezet, az üzemeltetés tárgya maradandóan károsodik.

Kiselejtezési határként azt a határt (határállapotot) definiálhatjuk, amelynek elérése után az üzemképesség helyreállítása műszakilag nem lehetséges vagy gazdaságtalan.

Már ez utóbbi meghatározásból is egyértelművé válik, hogy az egyes határállapotokat nemcsak műszaki kritériumok határozzák meg. A legfontosabbak

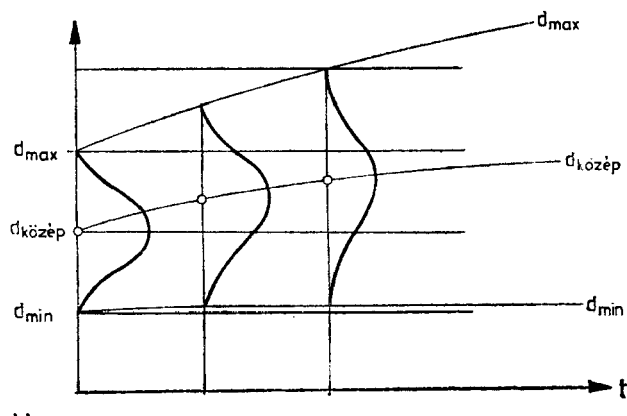
- biztonsági;
- műszaki;
- technológiai;
- gazdasági

kritériumok.

Megjegyezzük, hogy ezt a felsorolást légi járműveknél fontossági sorrendnek is kell tekinteni. Más üzemeltetési objektumok esetében például a biztonsági kritériumot gyakran az utolsónak említik a felsoroltak között. Ugyanakkor az egyes kritériumok összefüggenek.

Közismert például a megbízhatóságnak (mint biztonsági kritériumnak) és a költségeknek a viszonya, amely szerint a meghibásodás-mentes működés minél nagyobb valószínűségét kívánunk biztosítani annál nagyobbak a ráfordítási (gyártási, karbantartási, javítási) költségek.

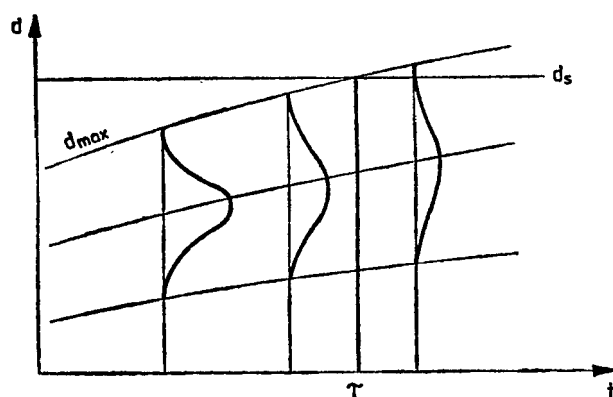
A károsodási elmélet alkalmazásával a károsodást jellemző paraméter-eloszlása jellegének időbeni változását ismerve, vagy azt előre jelezve számítható ki a karbantartáskor megengedett károsodási jellemző értéke, illetve a karbantartási ciklusidő. A károsodási jellemzőt vizsgálva megállapítható, hogy mind a névleges (közép-) érték, mind a szórás változik (4.1. ábra).



4.1. ábra. A károsodási jellemző sűrűség-függvényének változása az üzemidő (teljesítménymutató) függvényében

4.2. Az élettartam meghatározása

A 4.1. ábra szerinti változás a technikai eszköznek szinte valamennyi berendezésére, szerkezeti csomópontjára, elemére jellemző. Az élettartamot az határozza meg, hogy a károsodási szintet bizonyos megengedett valószínűséggel, adott kockázati szinten, mikor éri el a károsodási jellemző „eloszlásának pereme” (4.2. ábra), helyesebben, mikor lesz azon túl.



4.2. ábra. Élettartam meghatározása a károsodási jellemző alapján

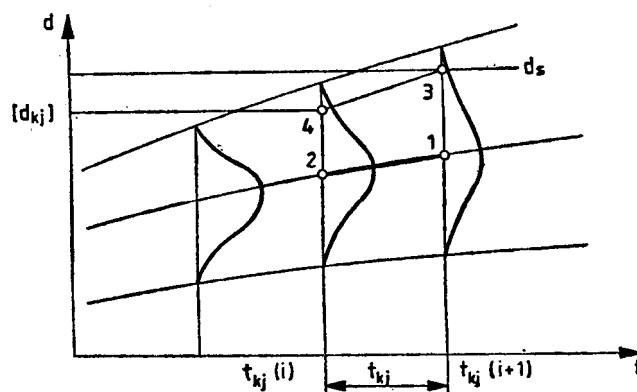
t — üzemidő;

d — károsodási jellemző;

d_s — sérülés bekövetkezéséhez tartozó károsodási jellemző.

4.3. A megengedhető károsodási érték meghatározása

A fenti grafikus ábrázolás lehetőséget ad arra is, hogy meghatározzuk a karbantartáskor, javításkor megengedett legnagyobb károsodási értéket (4.3. ábra). Abból indulunk ki, hogy a következő karbantartási ciklusidő, javításközi idő ($t_{k,j}$) alatt a károsodási jellemző legnagyobb értékei nem nyúlhatnak túl a sérülési, meghibásodási (d_s) értéken. Ezért a középérték változása szerint az 1-2 pontokat összekötő egyenessel párhuzamosot húzunk a 3 ponton át. Ahol ez utóbbi egyenes metszi a karbantartási, javítási időhöz ($t_{k,j(i)}$) tartozó egyenest (4. pont), ott lesz a károsodási jellemző megengedett értéke.



4.3. ábra. Megengedett karbantartási, javítási károsodási jellemző meghatározása

- t — üzemidő;
 $t_{k,i}$ — karbantartási, javításközi üzemidő;
 d — károsodási jellemző;
 d_s — sérüléshez, meghibásodáshoz tartozó károsodási jellemző.

Meg kell jegyeznünk, hogy ezek a módszerek "fordítva" is használhatók. Például prognosztizálni lehet a károsodási vagy a műszaki paraméter eloszlási jellemzőit; így meg tudjuk határozni, milyen valószínűséggel lépi túl a jellemző a megengedett értéket, s így a következő karbantartáshoz és javításhoz szükséges pótalkatrészigényt fel lehet mérni.

4.4. Olajcsere ciklusidő meghatározás

A károsodási jellemzők használata gyakran vezethet egyszerű grafikus megoldáshoz. Például az élettartam-meghatározási feladatok közül igen jelentős hányadot tesznek ki a kenési problémák. Vizsgáljuk meg, hogyan lehet meghatározni a hajtóművek, motorok olajcsere ciklusidejét. Erre több megoldás is kínálkozik:

- kísérleti üzemeltetés során határozzák meg az optimális olajcsere ciklust;
- az olajban megjelenő mechanikus szennyezettség mennyisége vagy összetétele alapján döntenek;
- az olaj viszkozitását használják jellemzőként;
- a károsodási folyamat vizsgálata alapján állapítják meg az olajcsere végrehajtásának ciklusidejét.

A feladatot most ez utóbbi módszer alapján oldjuk meg, egy egyszerűsített grafikus eljárással.

A hajtóműnek vagy a motornak a kenőolaj által befolyásolt kopása két összetevőre bontható:

- egyrészt az olaj fizikai-kémiai tulajdonságai által behatárolt kopási folyamatra, amely az üzemidő függvényében lineáris változásnak tekinthető:

$$d_1 = At \quad ; \quad (4.2)$$

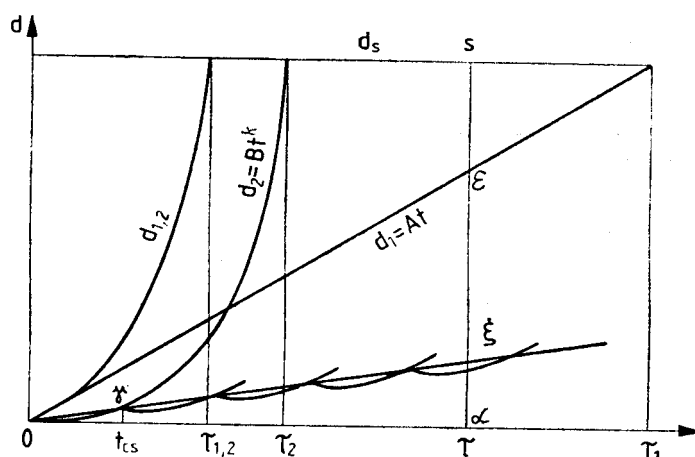
- másrészt az olajban található és az üzemidő növekedésével növekvő mennyiségű mechanikai szennyezettségek által kiváltott kopásra, amely az üzemidő szerinti exponenciális folyamat:

$$d_2 = Bt^k \quad , \quad (4.3)$$

ahol:

A ; B ; és k a folyamatokra jellemző paraméterek.

A két kopási folyamat külön-külön hatva τ_1 , illetve τ_2 élettartamot tenne lehetővé, együttesen azonban $\tau_{1,2}$ -ben korlátozzák a működési időt (4.4. ábra).



4.4 ábra. Hajtómű-olajcsere maximális ciklusidejének meghatározása

Tételezzük fel, hogy mi τ élettartamot szeretnénk elérni a hajtómű vagy motor üzemeltetése során. Ez a károsodási folyamatok összegzési elve alapján azt jelenti, hogy az általunk nem befolyásolható első típusú kopás d_e ; míg az — olajcserekkal a mechanikus szennyezettséget csökkentve — általunk befolyásolható kopás $d_s - d_e$ károsodáshoz vezethet. Mérjük fel az utóbbi értéket az $\alpha - \epsilon$ egyenesre. A kapott ζ pontot kössük össze a koordináta-rendszer origójával. Így olyan egyenest kapunk, amelynél a másodfajú kopásból eredő károsodás nem nőhet túl. Vagyis az a pont, ahol az $0 - \zeta$ egyenes metszi a $d_2 = Bt^k$ görbét (γ pont), meghatározza az olajcsere maximális t_{cs} ciklusidejét (4.4. ábra).

4.5. Az ekvivalens üzemidő

Az előzőekben már tárgyalt viszonylagos károsodási jellemző jól hasznosítható a különféle terhelési szinteken bekövetkező károsodások eredőjének és így a megengedhető üzemidő meghatározására is. Ez a feladat legegyszerűbben a károsodások lineáris halmozódásának elvét felhasználva oldható meg. A károsodások ilyen módon történő összegzését (4.5. ábra)

Miner-féle károsodási elméletnek nevezzük.

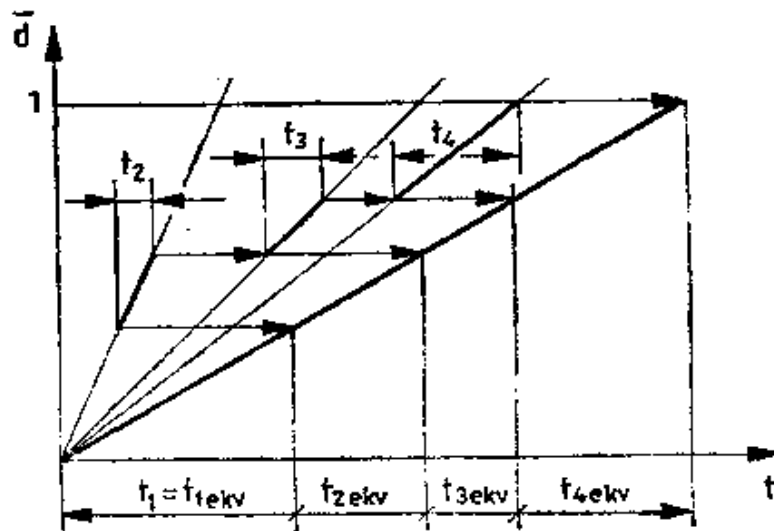
Először is vázoljuk fel egy ábrán belül (4.5 ábra) az egyes terhelési szintekhez tartozó önálló károsodási folyamatokat. Mivel a károsodás mértékeit lineárisnak feltételezzük, ezeket egyenesekkel szemléltetjük. Látható a grafikonból, hogy például csak a 2-es terhelési szintű üzemmódban τ_2 ideig működtethető a berendezés. Viszont a valóságban egy eszközt több üzemmódon kel használni, így azok során fellépő károsodások mértékei halmozódnak.

Ha összehasonlítjuk a 2-es üzemmód és az 1-es üzemmódok görbéit, azt tudjuk megállapítani, hogy t_2 ideig történő működés során a fellépő károsodás mértéke megegyezik azzal, mintha az 1-es üzemmódon t_{2ekv} ideig használtuk volna az üzemeltetés tárgyát., azaz:

$$\bar{d} = \frac{t_2}{\tau_2} = \frac{t_{2ekv}}{\tau_{ekv}}, \quad (4.4)$$

azaz

$$t_{2ekv} = t_2 \frac{\tau_{ekv}}{\tau_2}. \quad (4.5)$$



4.5. ábra. A Miner-féle károsodási elv alkalmazása

- t — üzemidő;
- \bar{d} — viszonylagos károsodási jellemző;
- t_{ekv} — ekvivalens üzemidő;
- τ — megengedhető üzemidő.

A fentiek alapján az üzemeltetés tárgyának ekvivalens üzemideje a

$$t_{ekv} = \sum_{i=1}^n t_i \frac{\tau_{ekv}}{\tau_i} \quad (4.6)$$

módon határozható meg.

A (4.6) kifejezés megfelel a Miner-féle károsodási elvnek, amely szerint

$$\sum_{i=1}^n \tilde{d}_i = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{d_{i\max}} = 1 \quad . \quad (4.7)$$

Ilyen módszerrel találkozhatunk a repülőgép hajtóművek üzemidejeinek számolásakor, ahol a földi működési (például gurulás során) üzemidőnek 20 %-át kell a levegőben eltöltött működési időhöz adni. Hasonló elven működik egyes gépjármű üzemeltetőknél alkalmazott módszer. Itt a különböző utakon (város, országút, terep) futott kilométereket veszik adott szorzókkal.

A gyakorlatban többféle károsodási elvet szokás alkalmazni. Közülük egyszerű és szélesebb körben elterjedt még a **Szerenszen-féle károsodási elv**:

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{d_{i\max}} \right)^m = C \quad . \quad (4.8)$$

ahol az m és a C az adott anyagra és körülményekre jellemző érték.

A tényleges élettartam meghatározása meglehetősen bonyolult feladat.

Az élettartammal kapcsolatban alapvetőnek kell venni a tényleges terhelést, a terhelési formák leírására használt összefüggések matematikai leírásának pontosságát, a tervezett szerkezet fejlettségét, a gyártási és üzemeltetési körülmények maradéktalan kielégítését stb. A szerkezeti anyag törésfelületének vizsgálata sok esetben kielégítő pontossággal feltárja a meghibásodás okát. Többnyire rideg, képlékeny, úgynevezett lassú törésekkel és a hirtelen, dinamikus terhelések miatti törésekkel találkozhatunk. A fejlett szerkezeteknél előtérbe kerülnek a korróziós és a kontakterhelés miatti törések.

A törések elkerülése érdekében még igen sok a tennivaló. Például a képlékeny tulajdonságok terén nem eléggé ismertek: az elméleti és effektív feszültséggyűjtő helyek meghatározása, a feszültség-elosztás átrendeződése (rugalmas és maradó alakváltozások elosztási terei, a szerkezet terheléshez való alkalmazkodása, hibatűrő képessége), a nyomatékok és a szakítóerők együttes terhelése, nem kielégítő ismereteink a maradó feszültséget kiváltó okok és körülmények, a deformáció utáni és a hőterhelések miatti maradó feszültségek tekintetében stb.

Mindezek miatt az ekvivalens üzemidő vagy az ekvivalens terhelési ciklusszám meghatározása nem egyszerű feladat.

4.6. Élettartam-vizsgálatok

A megbízhatósági és élettartam-kísérleti vizsgálatoknak alapvetően két fő célja lehet:

- különleges megbízhatósági kísérletek elvégzése,
- élettartam-meghatározások.

A speciális megbízhatósági kísérletek általában üzemeltetési sajátosságok (például repülőgép hajtómű újraindítási idő, csökkentett energiaellátottsággal való működőképesség), meghibásodások következményei, illetve üzemeltetési körülmények által kifejtett hatások vizsgálatára irányulnak (környezeti hőmérséklet, nyomás, poros levegő hatása; idegen tárgyakkal, madarakkal való ütközés, stabilitási, üzemelési tartalékok meghatározása, nem egyenletes hőmérséklet-, nyomás-, sebességeloszlás, Reynolds-szám stb. hatása).

Az élettartam-meghatározások célja, hogy pontos információt nyerjenek az üzemeltetés tárgyának megbízhatósági jellemzőiről, szavatolható élettartamáról. Ezért az élettartam-

vizsgálatokat mind a sorozatban gyártott, mind a kísérleti vagy módosított szerkezetű technikai eszközök esetében el kell végezni. Az élettartam-vizsgálatok célja még a üzemeltetési stratégia pontosítása is. A kísérleti élettartam-vizsgálatokat jellegük szerint három csoportra osztják:

- nagy időtartamú;
- üzemi;
- ekvivalens

kísérletekre.

A nagy időtartamú élettartam-vizsgálatokat próbaállomásokon, vizsgálópadokon laboratóriumi körülmények között végzik. A vizsgálatokat „lépcsőzetesen” hajtják végre. Az egyes lépcsőkben a vizsgálandó berendezést folyamatosan, megállás nélkül működtetik. Amennyiben a próbapad meghibásodása miatt következik be a kísérleti üzemelés leállása, akkor az a hiba elhárítása után folytatható. Az egyes „lépcsők” után a berendezéseket gondosan átvizsgálják, állapotukat ellenőrzik.

Az üzemi élettartam-vizsgálatokba általában 8—12 vizsgálandó berendezést vonnak be, amelyeket a technikai eszközre felszerelnek, és szabályosan üzemeltetnek. Az elsődlegesen meghatározott szavatolt élettartam ledolgozása után kettő-négy berendezést leszerelnek, és a gyártó céghez visszaszállítva azokat szétszerelik, hibafelvételezik, állapotukat azonosítják és elemzik. A többi berendezést a légi járműről szintén leszerelik, és próbapadon további hosszas vagy ekvivalens kísérleti élettartam-vizsgálatnak vetik alá. Azok pozitív eredményétől függően növelik a szavatolt élettartamot.

A harmadik, jellegében különböző élettartam-vizsgálati módot ekvivalens vagy gyorsított vizsgálatnak nevezik. Ez esetben a következő szempontok szerint járnak el:

1. Az ekvivalens kísérletben maximális részarányal a legnagyobb terheléseket kiváltó üzemmódokat szerepeltetik.
2. Az alkatrészek meghibásodásának valószínűsége nem változhat (nem csökkenhet) az ekvivalens kísérletekben.
3. A stacioner üzemmódokat, amelyek csak kis mértékű károsodást váltanak ki, nagyobb károsodásokat kiváltó üzemmódokra számítják át valamely (többnyire a legegyszerűbb — az előzőekben már ismertetett — Miner-féle) károsodási elv alapján, és olyan feltétellel, hogy a meghibásodások (törések) bekövetkezésének valószínűsége és a szilárdsági tartalékok egyenlők maradjanak.

5. A műszaki diagnosztika

5.1. Az üzemeltetési stratégiák műszaki információigényei

A korszerű műszaki diagnosztika szükségességének megértéséhez most nézzük végig az üzemeltetési stratégiák és azok információigényeinek fejlődését.

A meghibásodásig történő üzemeltetés esetén az üzemeltetőnek csak egy információra van szüksége, mégpedig, hogy az üzemeltetés tárgya üzemképes-e vagy sem. Erre a kérdésre ad választ a defektoszkópia.

Az üzemeltetés színvonalának következő foka a kemény idő szerinti üzemeltetés. Ebben az esetben valamely módon meg kell határoznunk az ellenőrzések közti időtartam teljesítményt. Ezen adat megállapítására különféle statisztikai és valószínűségszámítási (megbízhatóság elméleti) eljárásokat alkalmaznak. Új technikai eszköz rendszerbeállítása esetén viszont valamilyen modellvizsgálattal állapítják meg az adott rendszer elhasználódásának mértékét. Például felhasználják a korábbi, hasonló berendezések üzemeltetési tapasztalatait. A már rendszerben lévő gépek esetén viszont az üzemeltetés során a meghibásodások értékeléséből származó adatok felhasználásával — az üzemeltetési folyamat modellezésével — módosíthatják az ellenőrzések közti teljesítményeket. Könnyen belátható, hogy ezen üzemeltetési stratégia hatékony alkalmazásához több, egységesen feldolgozott információra van szükség. A rendszeren belül már fellelhető az egyszerű visszacsatolás is.

Megbízhatósági szint szerinti üzemeltetés esetén az előbbiekhöz képest még fontosabb az egységes információgyűjtés és feldolgozás. Ez a stratégia konkrét technikára és üzemeltetési körülményre érvényes. Emiatt a szabályozás felső határának meghatározásához nem csak az üzemeltetés tárgyát kell pontosan ismerni, modellezni, hanem az üzemeltetési körülmények (például a klíma) hatásait is. Az üzemeltetési folyamat modelljét, illetve magát a folyamatot pedig folyamatosan módosítani kell a kapott információk alapján.

A jellemző paraméter szerinti üzemeltetési stratégia alkalmazásához egyértelműen szükséges a rendszer matematikai modelljének ismerete. A vizsgált rendszerben lejátszódó fizikai folyamatokat pontosan kell ismernünk, hogy a rendelkezésünkre álló adatbázisból minél pontosabban meg tudjuk határozni a rendszer pillanatnyi műszaki állapotát, sőt valamilyen módon prognosztizálni a műszaki állapot változásának irányát és sebességét. Ezek ismeretében kell meghatároznunk az üzemeltetés tárgyán végrehajtandó műszaki munkákat.

A fentiekből jól látható, hogy az üzemeltetési stratégiák fejlődésével együtt nőtt az üzemeltetéshez szükséges technikai információ nagysága. Minél fejlettebb stratégiát alkalmazunk, annál pontosabban kell tudnunk meghatározni az üzemeltetett technikai eszköznek pillanatnyi műszaki állapotát, azaz annál fejlettebb hibabehatárolási, diagnosztikai, állapotfigyelési módszert kell alkalmaznunk.

5.2. A defektoszkópia és a diagnosztika

Az üzemeltetés zárt rendszerű irányítása esetén a megfelelő döntések meghozatalához szükséges az üzemállapot-jellemzők — azaz az első fejezet 1.4. ábrájának $y(t)$ jele —, illetve azok változásának pontos ismerete.

Az üzemeltetés hatékony és operatív irányítása csak egy korszerű mérés technikára alapozott hibafeltárással építhető fel. A hibafeltárási fogalomkörébe tartozik a defektoszkópia és a diagnosztika.

A **defektoszkópia** egy adott szerkezeti rész műszaki állapotának meghatározása, valamely kijelölt vagy megengedett minőségi szinthez történő hasonlítás alapján.

A **diagnosztika** szintén a hiba megállapítására irányul, de nemcsak a „jó”, vagy

„hibás” megállapítást adja, hanem lehetőséget nyújt a műszaki állapot értékelésére és ezen keresztül a pillanatnyi minőségi szint meghatározására is. A diagnosztikai vizsgálat alapján megállapíthatók a már feltétlenül szükséges beavatkozások, sőt ezen túlmenően következtetni lehet a szerkezet várható elhasználódására is. Ez a műszaki állapot változásának prognosztizálása. Így eldönthető, hogy a beavatkozás melyik időpontban lesz gazdaságos. Ez utóbbi viszont az üzemeltetés irányításának optimalását jelenti.

5.3. A műszaki diagnosztika feladatai

A műszaki diagnosztika feladata a vizsgált elem állapotának azonosítása. A valóságban a vizsgált elem igen sokféle (üzemképes, működőképes, helyesen működő, de némi jellemzőbeli eltérést mutató határ-, üzemzavar, meghibásodott) állapotban lehet. Ezeknek az állapotoknak minél jobb, pontosabb azonosítása igen fontos műszaki feladattá vált, mivel:

- a technikai eszközök egyre összetettebb, úgynevezett integrált rendszerekből épülnek fel;
- a rendszerek elemeinek megbízhatósága ugyanakkor viszonylag kicsi;
- az üzembiztonság szintjének emelése csak a várható meghibásodások időbeni előrejelzésével oldható meg;
- ugyanakkor bonyolult az egyes meghibásodások fellépésének, a hiba okának feltárása;
- csekély a helytelen üzemeltetés miatti állapotváltozások azonosításának lehetősége;
- fontos a karbantartásra fordítható idők és költségek csökkentése.

A műszaki diagnosztikát úgynevezett diagnosztikai jellemzők időszakos, esetleges folyamatos mérései alapján végezzük. A diagnosztikai jellemzőket az állapotjellemzők közül

- a diagnosztikai érték;
- a mérhetőség megvalósítása;
- az elérhető mérési pontosság

alapján választjuk ki.

Az állapot pontos meghatározását nehezítik:

- az egyes állapotok diagnosztizálhatóság szempontjából jelentős eltérései;
- a diagnosztizálendő rendszerek sokfélesége és bonyolultsága;
- a különböző üzemmódokhoz és üzemeltetési állapotokhoz, viszonyokhoz eltérő diagnosztikai rendszerek kiépítésének szükségessége;
- a rendszer elemeinek eltérő, egyedi sajátosságai, megbízhatósága;
- a rendszer elemeinek felújíthatóságával szembeni egyedi korlátozások;
- a diagnosztikai rendszer járművön történő fedélzeti elhelyezésével szembeni elvárások és korlátozások.

5.4. Műszaki diagnosztikai rendszer

A műszaki diagnosztika egy műszaki diagnosztikai rendszerben valósul meg. A rendszeren itt a diagnosztikai eszközök, a diagnosztizálendő berendezések (rendszerek), a diagnosztikai feladatokat ellátó személyek és a diagnosztikai algoritmusok, döntési előírások halmazát értjük. A formai megvalósítás tekintetében többnyire azok a diagnosztikai rendszerek terjedtek el, amelyekben a feltárt meghibásodások azonnali elhárítását elsődleges feladatnak tekintik. Azok a rendszerek, amelyekben a feltárt hiányosságokat, üzemzavarokat előre jelzik,

és azokat csak a karbantartás és javítás szempontjából előnyös időpontokban hárítják el, az adatgyűjtés és -feldolgozás objektív és prognosztikai módszereinek hiányosságai miatt egyelőre elég ritkán alkalmazzák.

A diagnosztikai rendszerek kialakítása több feladat megoldását igényli, ezek:

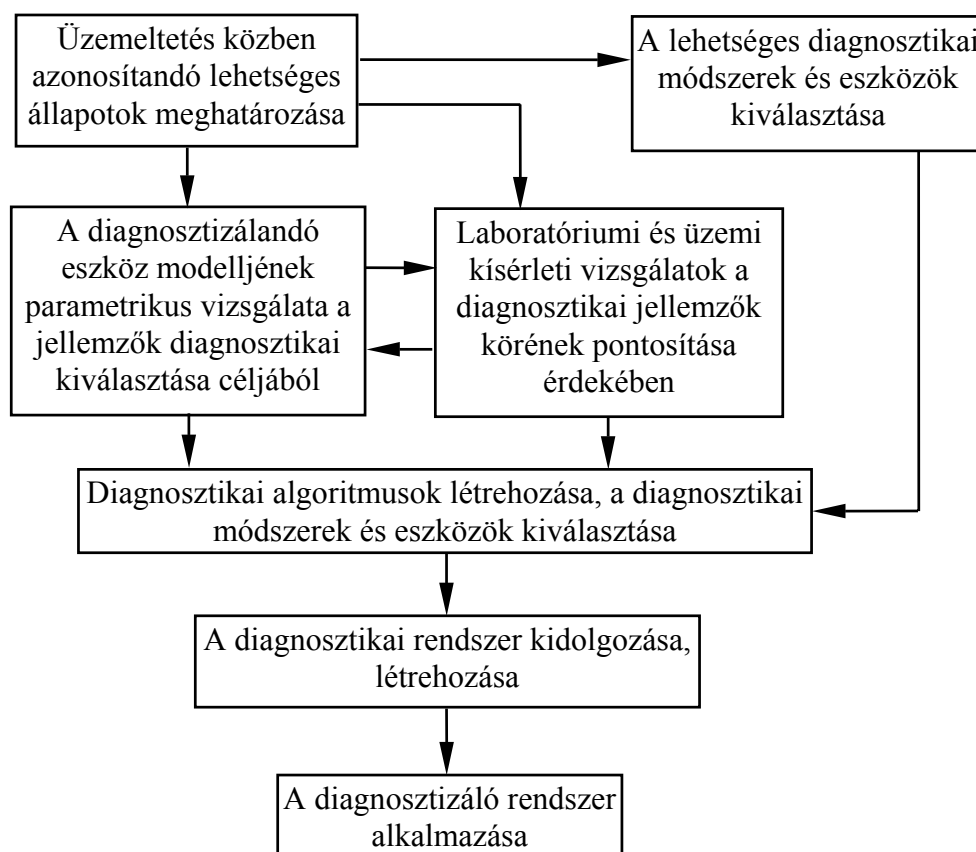
1. feladat: A meghibásodások létrejöttének és kifejlődésének vizsgálata

A feladat megoldása során fel kell mérni a vizsgált technikai eszköz lehetséges műszaki állapotait, meg kell határozni milyen hatással vannak az egyes meghibásodások a vizsgált rendszer biztonságos működésére, és meg kell állapítani, hogyan alakulnak, fejlődnek ki a meghibásodások, vagyis milyen hatással vannak az üzemeltetés tárgyának műszaki jellemzőire. A meghibásodás kifejlődési törvényszerűségeinek ismerete döntően befolyásolja a diagnosztikai rendszer hatékonyságát.

2. feladat: A diagnosztikai jellemzők kiválasztása

A feladat kidolgozása során a diagnosztizálási hibák számának csökkentése érdekében három alapszabály betartása célszerű:

- a diagnosztizálendő állapotokra legjobban jellemző adatok gyűjtése és objektív feldolgozása;
- a jellemzők informatikai értékének növelése;
- az adaptív diagnosztikai algoritmus kialakítása.



5.1. ábra. A diagnosztikai feladat megoldásának logikai vázlata

3. feladat: Diagnosztikai algoritmusok és módszerek létrehozása

Ennél a feladatnál különösen a műszaki-tudományos lehetőségek és a gyakorlati lehetőségek,

megoldások közötti ellentét, illetve annak feloldása jelenthet jelentős problémát. Ezt csak az adott eset pontos ismerete alapján lehet megoldani.

4. feladat: A kialakított diagnosztikai algoritmusok optimalítása

Az optimalást

- a diagnosztikai feladatok jegyzékének;
- a vizsgálandó technikai eszközök szerkezeti-üzemeltetési sajátosságainak;
- a diagnosztizálás körülményeinek (menet közbeni karbantartás vagy javítás során stb.);
- a diagnosztizálás objektív mérő- és adatrögzítő eszközeinek

ismeretében kell végrehajtani.

5. feladat: Az adatgyűjtés rendszerének kialakítása

Ekkor az adatgyűjtés, -rögzítés, -tárolás, -feldolgozás optimális rendszerének kialakításáról van szó. Adatfeldolgozó laboratóriumok, döntéshozó technikai csoportok létrehozása, a halmozódó információ rendszeres feldolgozása, újraértékelése stb. jelent nagy feladatot.

6. feladat: A diagnosztikai rendszer kiépítése

Különösen az automatizált karbantartás-irányítás megvalósítása érdekében célszerű egységes diagnosztikai rendszert kialakítani. A diagnosztikai feladatok megoldásának általános logikáját az 5.1. ábrán vázoltuk fel.

5.5. A diagnosztika megvalósításának módjai

A műszaki diagnosztika a vizsgált alkatrész állapotának, illetve a meghibásodási vagy működőképes állapotának az azonosítását jelenti. A gyakorlatban ezt négyféle módon lehet elérni:

→ speciális vizsgálati jelek vagy jelszintek alkalmazása;

Ez megvalósulhat üzemi körülmények között, vagy működés közben mért jellemzők túrési értékeken kívüliségének megállapításával (például a rendszerben a megengedettnél kisebb a nyomás, a berendezés megengedettnél nagyobb frekvenciájú vagy amplitúdójú rezgése stb.). Ide sorolhatjuk az egyértelmű eredményre vezető vizsgálatokat is (például festékes vagy mágneses repedésvizsgálat).

→ mért jellemzők mértékének, időbeli lefutásának szabványjelekkel való összehasonlítása;

Alkalmasan megválasztott diagnosztikai üzemmódban a vizsgált rendszer működése közben, illetve a működő rendszerre speciális vizsgálójeleket adva mérik a (diagnosztikai) válaszjellemzőket. A jeleket nagyságuk és alakjuk alapján egyeztetik a szabványjelekkel. A rendszer hátránya, hogy lényegében minden lehetséges műszaki állapotnak megfelelő szabvány- vagy etalonjellel kell rendelkezni. Az egyik legismertebb ilyen eset például az örvényáramos repedésvizsgálat, amelynek alkalmazása során az észlelt jeleket, megfelelő hibákat, repedéseket, zárványokat, éles sarkokat tartalmazó minták mérésekor megállapítható jelekkel kell összevetni. De ide sorolandó például a gázturbinás hajtóművek esetében az indítási, leállási jellemzők vagy az átviteli függvények vizsgálata is.

→ a mért jellemzők változási sebességének vizsgálata;

E módszer lényege, hogy a meghibásodást közvetlen megelőző üzemeltetés folyamán a

vizsgált technikai eszköz jellemzői igen gyorsan változnak a korábbi károsodási, a normál üzemelés folyamán észlelhető változásokhoz képest. Az eljárás alkalmazásakor a mérési eredményeket először „simítani” kell megfelelő approximációs függvény alkalmazásával, a kiugró értékek elhagyásával vagy úgynevezett futóátlag képzésével. Futóátlag például a mért jellemző adott időpillanatban mért értékének, az adott időpillanatban és az azt megelőző és az azután következő két-két mérés átlagával való helyettesítése.

→ **diagnosztikai modell alkalmazása.**

Az elektronikus rendszerek, az adatgyűjtők, a számítógépek gyors térhódításával e módszer jelentősége egyre fokozódik. Lényegét a későbbiekben foglaljuk össze.

5.6. Matematikai modellre épülő diagnosztikai módszerek elméleti alapjai

A mérnöki gyakorlatban rendszernek nevezzük egy vagy több (adott esetben végtelen sok) elem összességét. A rendszerek (jelenségek) vizsgálatának feladata az, hogy megállapítsuk a rendszer viselkedését, azaz a behatások (input) és a reakciók (output) közti kapcsolatokat. Egy adott rendszer tudományos igényű vizsgálatának feltétele a rendszermodell megalkotása.

Modellezésen értjük a valóságos rendszer lényegi tulajdonságainak felismerését, és azok valamilyen formájú leképezését.

A modell egy valóságos rendszer egyszerűsített, annak a vizsgálat szempontjából lényegi tulajdonságait kiemelő mása. A modell mindazon másodlagos jellemzőket elhanyagolja, amelyeket a kitűzött vizsgálat szempontjából nem tekintünk meghatározónak. Ezért elegendő, ha a modell a valódi rendszert csak meghatározott szempontból vagy szempontokból helyettesíti.

Nincs kikötve, hogy modell csak az lehet, ami kizárólag erre a célra készült. Ez nem feltétele a modellnek. Valamilyen tárgy akkor válik modullé, ha a vizsgálatot végző személy ilyen funkciót ad neki. A modellválasztás mégsem önkényes, hiszen teljesíteni kell mindazokat a követelményeket, amelyek az eredeti rendszerrel, jelenséggel való hasonlóságát biztosítják.

A modelleket csoportosíthatjuk például aszerint, hogy milyen a modell belső természete. Ez alapján anyagi és eszmei (vagy más néven gondolati) modelleket különböztethetünk meg.

Az eszmei modellek az ember által megteremtett logikai kapcsolat szerint „működnek”. Módszerüket, formájukat illetően szubjektívek, de tartalmukat nézve — azaz a tárgykört, amellyel foglalkoznak — objektívek. Az eszmei modellek nélkülözhetetlen elemei a megismerés folyamatának. Természetesen a logikai törvények alapján kapott eredményeit ellenőrizni kell a fizikai valóságban. Ilyen értelemben csak utólag dönthetők el, hogy valóban modelljei voltak-e a vizsgált folyamatnak.

A fogalmi modell a közvetlen érzéki tapasztalatok absztrakt gondolkodás segítségével történő „feldolgozása”. Feladata a kísérletek értelmezése, a kísérleti eredmények alapján a hipotézisek ellenőrzése, illetve újabb hipotézisek alkotása. Jelentős eszköze a gondolati kísérlet. Ennek során ismert természeti — esetleg társadalmi, gazdasági — törvények felhasználásával megalkotott fogalmi modellünket gondolatban meghatározott körülmények közé helyezzük és levezetjük a vizsgált rendszer várható viselkedését. Az így kapott eredmények kísérleti ellenőrzése a gondolatmenet helyességének eldöntésére, illetve hiányosságainak feltárására alkalmas. Ilyen gondolati kísérletnek kell megelőznie minden tényleges kísérletet, ha el akarjuk kerülni, hogy durva hibákat kövessünk el. Egyes területeken (például az elméleti fizika vagy csillagászat) a fogalmi modellalkotás nélkül lehetetlen kutatómunkát végezni.

A jelképes modell az empiria (tapasztalat) adatait vagy feladatait fogalmazza meg jelrendszerek segítségével. A mérési eredmények rendszerint táblázat, grafikus ábrázolás vagy számok, esetleg jelek formájában adóttak. Ezek közvetlenül a tudományos szintű feldolgozás, általánosítás céljára alkalmatlanok. A mérnöki gyakorlatban például egy többoldalas táblázatot vagy leírást szemléletesség szempontjából helyettesíteni tud egy egyszerű grafikon.

Az anyagi modellek saját, objektív törvényeik szerint működnek. Csak a működés feltételeit választhatjuk meg, de a belső törvényszerűségeket nem tudjuk irányítani.

Az anyagi modelleket — a realizálási módjuk szerint — csoportosíthatjuk úgy, mint:

- homológ, vagy más néven geometriai modellek;
- analóg azaz fizikai modellek;
- matematikai modellek.

A homológ modell geometriailag hasonló az eredeti rendszerrel, és benne ugyanolyan fizikai jelenség játszódik le. A műszaki életben a geometriai modelleket elsősorban tervezésben használják fel. Ekkor a bonyolult elrendezésű építmények, szerkezetek térbeli elhelyezését előbb geometriai modellen készítik el, ezért ezt térbeli tervezésnek is nevezik. A térbeli tervezés szükségtelenné teszi a szerelési műhelyrajzokat, mivel ezeket az úgynevezett kisminta (makett) egyes csomópontjainak fényképe helyettesítheti. Ennek eredményeképpen fokozódik a tervezés megbízhatósága.

Fizikai modell esetén az eredetivel megegyező fizikai természetű modellen tanulmányozzuk a rendszerben lejátszódó jelenséget. Az eredeti és a modell hasonlóságának feltétele, hogy mindkettő matematikai leírása (azaz matematikai modellje) megegyezzen. Az analóg modell az eredeti rendszerhez viszonyítva hasonló behatásra hasonló módon válaszol. A fizikai modell semmilyen szemléletes kapcsolatban nem kell, hogy álljon az eredeti jelenséggel, csak az inputok és outputok közötti kapcsolatot adja hűen, ezért az ezt realizáló berendezést analóg számítógépnek is nevezik.

A modellek közül a mérnöki gyakorlatban legelterjedtebb a matematikai modell. A matematikai modell a matematika szimbólum rendszerén keresztül teremt kapcsolatot a vizsgált rendszer be- és kimenő jellemzői között. A matematikai formulák ismert, valamint ismeretlen mennyiségeket tartalmaznak, és a feladat határozottsága esetén az ismeretlen kimenő jellemzők meghatározhatók az ismert bemenő és belső jellemzők birtokában. A matematikai modell kellően definiált kezdő- és peremfeltételekkel együtt egyben az adott jelenség algoritmusát is szolgáltathatja.

A rendszer viselkedését leíró matematikai összefüggések jellege, vagy meghatározásának módszere szerint — páronként — az alábbi matematikai modelleket különböztetjük meg:

→ **statikus — dinamikus**

Statikus a modell, ha a rendszer állapota algebrai egyenletekkel, vagy idő szerinti deriváltakat nem tartalmazó differenciálegyenletekkel írható le. Jellemzésére elterjedt még a stacionárius (vagy stacioner), állandósult, illetve egyensúlyi állapot kifejezés is.

A **dinamikus** modellek az időben is leírják a jellemzők változását. Megjelenési formájuk közönséges vagy parciális differenciálegyenletek. Lehetséges, hogy a tárgyalás nem az idő-, hanem valamely célszerűen megválasztott, transzformált tartományban valósul meg.

→ **lineáris — nem-lineáris**

A **lineáris** modellekben csak a változók és deriváltjaik szerepelhetnek, általában állandó együtthatókkal szorozva. Alakjuk lineáris vagy linearizált egyenlet, illetve egyenletrendszer.

A **nem-lineáris** modellek az előző megkötöttségektől mentesek. Az adott rendszerben lejátszódó folyamatot leíró egyenletek legalább egyike nem lineáris. A nem-lineáris modellek — az egyszerűbb vizsgálat érdekében — valamilyen linearizálási módon lineáris modellekké alakíthatók át.

→ **folytonos paraméterű — diszkrét paraméterű**

A **folytonos paraméterű** modellekben a változók egy adott tartományon belül bármilyen értéket felvehetnek, illetve minden időpillanatban van egy meghatározható értékük.

Diszkrét paraméterű modellek esetén a változók csak meghatározott diszkrét értékeket vehetnek fel, illetve a vizsgálati időtartományban csak kitüntetett időpontokhoz tartozhat értékük.

→ **determinisztikus — sztochasztikus**

A **determinisztikus** modellekben szereplő jellemzők, valamint maguk a változók egyértelmű függvényekkel térben és időben egyaránt megadhatók.

A **sztochasztikus** modellek ugyanezen jellemzői és változói csak bizonyos valószínűségi összefüggések felhasználásával határozhatók meg.

A bemutatott felsorolás természetesen nem teljes, mivel egy konkrét, gyakorlatban megvalósított matematikai modell általában a fenti jellegek szintézisét jelenti.

Egy rendszer matematikai modelljének megalkotásához alapvetően két út kínálkozik:

→ **white-box eljárás;**

Ekkor általános természettudományos ismeretekre támaszkodva, fizikai megfontolások alapján analitikus formájú közvetlen matematikai modellt állítunk fel.

→ **black-box eljárás.**

A modellt megfigyelési, illetve kísérleti információk, azaz a be- és kimenő jellemzők ismeretében, azok elemzésével kapjuk meg.

A fizikai megfontolások alapján történő matematikai modellalkotás folyamatában döntő az absztrahált modell megalkotása. Ehhez ismernünk és elemeznünk kell a rendszerben lejátszódó folyamat belső, a vizsgálat szempontjából lényegi tulajdonságait. Ezek a fizikai megfontolások elsősorban extenzív jellemzőkre felírt mérlegegyenleteket, valamint az extenzív és intenzív jellemzők között kapcsolatot teremtő összefüggéseket eredményeznek.

A vizsgálat során a modell létrehozásának egyik legfontosabb eleme a modellképzés céljának meghatározása:

- modellezés (tervezés alatt álló rendszerek vizsgálata, speciális jelenségek vizsgálata, lehetséges műszaki megoldások kiválasztása, egyes szerkezeti jellemzők eltéréseinek gyorsított tanulmányozása);
- tervezés (optimális rendszerek kialakítása, gazdaságosabb megoldások keresése, élettartam—költségtervezés);
- vizsgálat (üzemi jellemzők értékelése, szerkezeti, üzemeltetési jellemzők eltérései hatásainak értékelése, diagnosztikai jellemzők kiválasztása);
- vizsgálat tervezése (kísérleti próbajáratok, beüzemelési programok meghatározása, diagnosztikai üzemmódok kijelölése, alkalmassági vizsgálatok programjainak összeállítása);
- minősítés (alkalmassági előírások, minőségi követelmények kidolgozása);

- irányítás, szabályozás (optimális és adaptív irányítás, egyedi állapot szabályozás megvalósítása);
- állapot-felismerés (adatgyűjtő, -feldolgozó rendszerben alkalmazható, könnyen azonosítható, adaptív modellek kidolgozása).

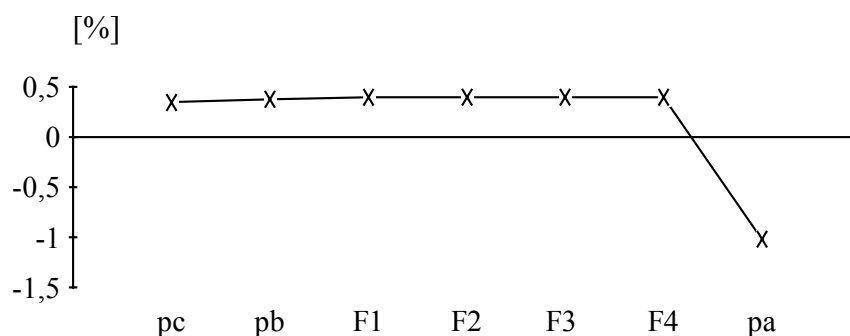
5.7. Matematikai modellre épülő diagnosztikai vizsgálatok

A fentiekben bemutatott matematikai modellek felhasználásával a következő diagnosztikai elemzések végezhetők el:

5.7.1. Érzékenységvizsgálat

Az érzékenységvizsgálat célja egy adott részegység meghibásodásának, károsodásának vagy külső paraméter-eltérés hatásának vizsgálata. Ezért a matematikai modell futtatásakor — azaz a rendszerben lejátszódó folyamatokat leíró egyenletrendszer megoldásakor — a kiválasztott belső vagy inputjellemzők, adatok megváltoztatásával szimuláljuk a kiválasztott jelenség hatását. Másképpen megfogalmazva: a modell (és **nem a valós rendszer!!**) felhasználásával határozzuk meg a rendszer kimenő jellemzőinek — és így az egész rendszer — érzékenységét a szimulált paramétereltérésre.

Ha a vizsgálatunk során egy belső jellemzőt változtatunk meg **egyparaméteres** (5.2. ábra), ha viszont több jellemzőt módosítunk, **többparaméteres érzékenységvizsgálatról** beszélünk (5.3. ábra).



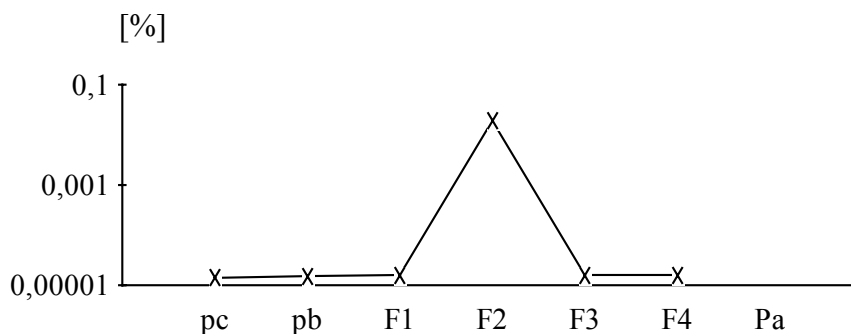
5.2. ábra Egyparaméteres érzékenységvizsgálat eredményei ($\Delta p_t = -1\%$)

- p_c — vezérlő nyomás;
- p_b — féklevegő nyomás;
- F_i — i -edik fékpofa nyomóereje;
- p_a — fékezés utáni tartálynyomás.
- p_t — (fékezés előtti) tartálynyomás.

Az érzékenységvizsgálat eredménye felhasználható az adott technikai eszköz általános diagnosztikai elemzésének elvégzésére — a kapott eredmények megfelelő szakmai kiértékelésével.

A fellépett meghibásodások behatárolása, meghatározása megoldható érzékenységvizsgálat elvégzésével és az eredmények szakmai elemzésével. Ekkor a feltételezett meghibásodást kell modelleznünk úgy, hogy a „meghibásodást jelentő” belső paramétert változtatjuk meg és működtetjük a felállított modellt.

Szemléltetésképpen az 5.2. és 5.3. ábrák a Mi-8 Hip helikopter féklevegő rendszerének egy-, illetve kétparaméteres érzékenységvizsgálatainak eredményeit mutatja.



5.3. Kétparaméteres érzékenységvizsgálat eredményei ($\Delta z_2 = -1\%$ and $\Delta s_2 = -1\%$)

- z_2 — 2. fékpofa fékrése;
 s_2 — 2. Fékpofa visszahúzó rugóinak rugómerevsége.

5.7.2. Korrelációs család-vizsgálat;

A korrelációs család-vizsgálat célja statisztikai módszerekkel megállapítani, hogy a vizsgált rendszer mérhető külső jellemzői milyen sztochasztikus kapcsolatban vannak egymással a nem mérhető, belső paraméterek változásakor. A vizsgálati módszer felhasználásával meghatározhatók a külső jellemzők azon csoportjai (korrelációs családjai), melyeken belül a paraméterek jó egymás közti korrelációval rendelkeznek. Ezekből a családokból elegendő csak az egyik (pontosabban a technikailag könnyebben mérhető) paramétert mérni.

Két véletlen jelenség közötti kapcsolatot sztochasztikusnak tekintjük, ha az egyik jelenség lefolyását nem határozza meg egyértelműen a másik jelenség lefolyása, de befolyásolja azt. Két valószínűségi változó közötti sztochasztikus kapcsolat erősségét a korrelációs együtthatóval jellemezhetjük.

Az $R(\eta, \mu)$ korrelációs együtthatót az η és μ változókra vonatkozó $x_1; x_2; \dots x_n$, illetve $y_1; y_2; \dots y_n$ minták alapján az

$$r_{\eta\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(x_i - \sum_{j=1}^n x_j \right) \left(y_i - \sum_{j=1}^n y_j \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(x_i - \sum_{j=1}^n x_j \right)^2 \left(y_i - \sum_{j=1}^n y_j \right)^2}} \quad (5.1)$$

egyenlettel becsüljük. A fenti mennyiséget az $x_1; x_2; \dots x_n$, és $y_1; y_2; \dots y_n$ minták tapasztalati korrelációjának is nevezhetjük.

Fontos megjegyeznünk, hogy a korrelációs együttható értéke mindig -1 és +1 közé esik.

Több valószínűségi változó esetén az (5.1) egyenlet alapján páronként statisztikailag meghatározott r_{ij} együtthatókat az

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2n} \\ \vdots & & & \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

korreláció-mátrixba rendezhetjük. A korreláció-mátrix mindig szimmetrikus és főátlójának elemei mindig eggyel egyenlők

A korrelációcsalád-vizsgálathoz — a statisztikai elemzés elvégzése érdekében — a külső jellemzők értékeinek kellő számú sokasága szükséges. Ezen adathalmaz ismeretéhez a vizsgált rendszert vagy annak modelljét tudjuk alkalmazni. A gyakorlati megvalósíthatóság szempontjából legcélszerűbb a rendszer lineáris vagy nem-lineáris matematikai modelljét felhasználnunk.

Első lépésként a nem mérhető belső, illetve a környezeti jellemzők valós értékeinek eloszlását határozzuk meg. Ehhez felhasználhatók a modell feltöltésekor, illetve a rendszer üzemeltetési sajátosságainak elemzésekor kapott adatok.

A fenti statisztikai eloszlások jellege és paraméterei ismeretében gerjesztjük a modellt. Ekkor a fentiekben meghatározott eloszlások alapján a belső és a környezeti jellemzők véletlenszerűen felvett értékeit, mint kiinduló adatokat felhasználva oldjuk meg a rendszer matematikai modelljét a mérhető, külső jellemzőkre. A kapott eredmények alapján meghatározzuk a vizsgálandó külső jellemzők közti korrelációs együtthatókat és azokat korreláció-mátrixba rendezzük, majd:

- kiválasztjuk a legnagyobb abszolút értékű együtthatót a mátrixból és a hozzá tartozó két paramétert egy gráf szögpontjaiként ábrázoljuk. Az összekötő élre felírjuk a korrelációs együttható értékét;
- az utolsó két paraméter sorában vagy oszlopában megkeressük a legnagyobb abszolút értékű korrelációs együtthatót úgy, hogy a már ábrázolt paramétereket figyelmen kívül hagyjuk. Az így kiválasztott újabb paramétert, illetve az együtthatót — fenti módon — ábrázoljuk a gráfban;
- ez utóbbit addig ismételjük, míg az összes paramétert nem ábrázoljuk a gráfon;
- a gráfon a meghatározott határértékkel kijelöljük a korrelációs családokat úgy, hogy a családrész gráfján belül nem lehet a határértéknél kisebb kapcsolat.

A fenti módon meghatározott családokból kell kiválasztanunk azokat a jellemzőket, melyeket a legcélszerűbb mérni. A kiválasztásnál figyelembe kell vennünk, hogy az adott paraméter milyen kapcsolatban van a család többi tagjával, mérése technikailag hogyan oldható meg, vagy mérésével milyen információtartalmú adatot kapunk.

A korrelációcsalád-vizsgálat alkalmazásának egyik jelentős kérdése a családok elválasztásához szükséges határérték meghatározása. Ekkor figyelembe kell vennünk a rendszer sajátosságait, technikai és anyagi lehetőségeiket, illetve a műszaki állapot meghatározásának szükséges pontosságát. Fontos szempontként kell kezelnünk a rendszer meghibásodásának, hibás működésének következményeit (például katasztrófa vagy zavar). Általában határértéknek 0,5 ~ 0,8 közti értéket célszerű választani.

Ha magas határértéket választunk, akkor több családot kapunk. Ekkor a mérések alapján pontosabb képhez jutunk a rendszer pillanatnyi műszaki állapotáról, de a több család több mérendő paramétert is jelent. Ez nagyobb technikai és így anyagi befektetést igényel. Ha viszont alacsony határértéket választunk, a családok és a mérendő paraméterek száma csökkenni fog. Ebben az esetben kisebb lesz a technikai és anyagi befektetés, de a rendszerről kapható információ is jelentősen csökken vagy csökkenhet. Ezért igényel megfontolást a határérték megállapítása.

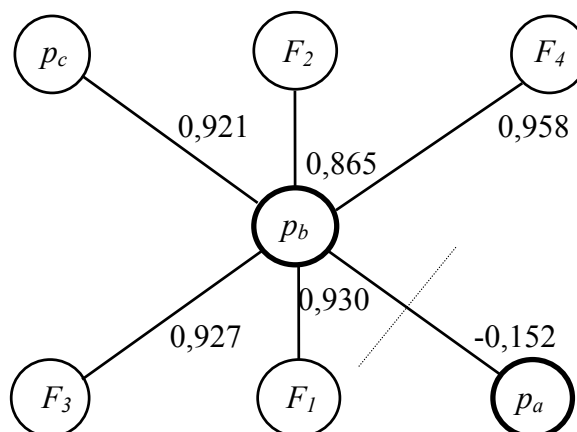
A vizsgálat elvégzésének másik fontos kérdése a korrelációs együtthatók meghatározásához szükséges minták (gerjesztések) számának meghatározása. Ezen probléma megoldásához a statisztikai mintákat, azaz a modell gerjesztésének számát fokozatosan célszerű növelnünk és a korreláció-mátrixok elemeit meghatároznunk. Ezt addig szükséges

folytatnunk, amíg az előző mintaszámhoz tartozó korreláció-mátrixhoz képest az azonos elemek közti legnagyobb különbség nem csökkent egy határérték — általában 0,01 — alá.

A korrelációcsalád-vizsgálat elvégzése után a kijelölt családokból a mérendő paramétereket technikai, mérhetőségi és más diagnosztikai szempontok figyelembevételével kell kiválasztanunk.

Az (5.3) egyenlet a Mi-8 Hip helikopter féklevégő rendszere vizsgálata során kapott korreláció-mátrix, illetve az 5.4. ábra az abból felvett korrelációs gráfot mutatja.

$$\underline{\underline{R}} = \begin{bmatrix}
 p_c & p_b & F_1 & F_2 & F_3 & F_4 & p_a \\
 1 & & & & & & \\
 0,921 & 1 & & & & & \\
 0,854 & 0,93 & 1 & & & & \\
 0,785 & 0,865 & 0,802 & 1 & & & \\
 0,851 & 0,927 & 0,86 & 0,812 & 1 & & \\
 0,914 & 0,958 & 0,926 & 0,865 & 0,928 & 1 & \\
 -0,154 & -0,152 & -0,147 & -0,119 & -0,156 & -0,153 & 1
 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$



5.4. ábra Korrelációcsalád vizsgálat eredménye

A gráf alapján megállapítható, hogy az (illetve a rendszer külső jellemzői) két korrelációs családra bontható, bár az egyik család úgynevezett egytagú. A többtagú családból a többi taggal való erős korrelációs kapcsolat, a jó mérhetőség miatt a féklevégő nyomást célszerű mérni.

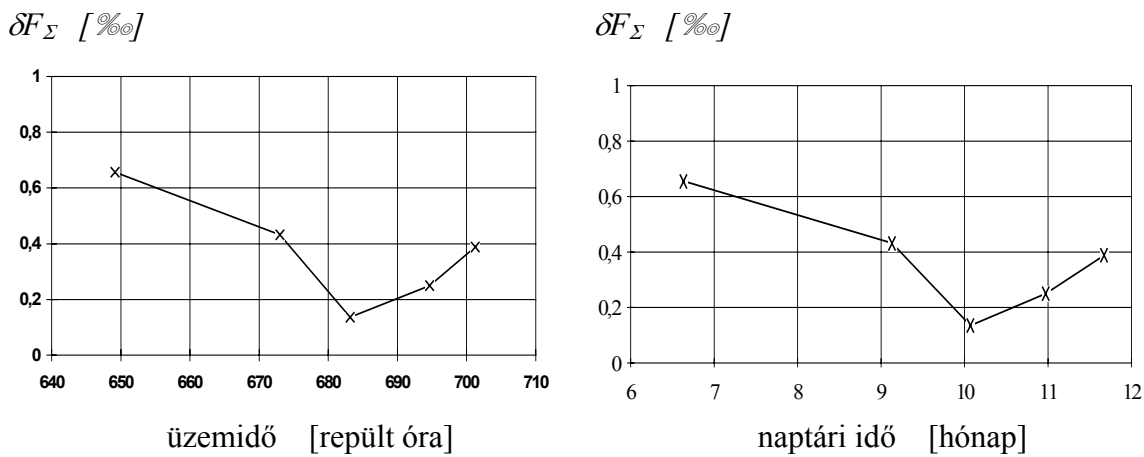
5.7.3. Állapotbecslés

A felállított lineáris diagnosztikai modell felhasználható az adott rendszer pillanatnyi műszaki állapotának meghatározására. Ekkor a mérhető külső (output) jellemzők ismeretében valamelyik numerikus módszer felhasználásával megbecsülhetjük a közvetlenül nem mérhető, nem meghatározható belső jellemzők pillanatnyi értékét, és így a rendszer műszaki állapotát.

Az állapotbecslés feltétlenül szükséges a jellemző paraméter szerinti üzemeltetési, karbantartási stratégia bevezetéséhez. Az állapotbecslés lehetővé teszi, hogy a belső jellemzők, azaz az alkatrészek állapota meghatározható a diagnosztizált rendszer szétszerelése nélkül. Így jelentősen csökkenthető a kemény idő szerinti karbantartási stratégiára jellemző, az időszakos ellenőrzések során történt tévedések, illetve az ezekből származó

meghibásodások száma és következménye.

Az 5.5. ábra a Mi-8 Hip helikopter féklevelő rendszerének állapotbecslése eredményét szemlélteti repült, illetve a naptári idő függvényében.



5.5. ábra Fékhatás becslés relatív eltérései

F_{Σ} — eredő fékhatás.

6. Az üzemeltethetőség

6.1. Alapfogalmak

Általánosan fogalmazva, a technikai eszköz szerkezetének alkalmasnak kell lennie arra, hogy rajta végrehajthatók legyenek az üzemkéesség fenntartására irányuló tevékenységek. A technikai eszköz azon tulajdonságát, hogy működőképessége helyreállítható, vagyis meghibásodásainak, sérüléseinek keletkezési okai megelőzhetők és feltárhatók, valamint következményeik javítással és műszaki karbantartással elháríthatók, **javíthatóságnak** nevezzük.

A karbantartás és a javítás közötti különbség az elvégzendő munkák mennyiségében, minőségében és mélységében van. A karbantartás célja a megbízhatóság szinten tartása, míg a javítás célja a megbízhatósági szint helyreállítása. (Megbízhatósági szintnek itt azt a jellemző üzemi megbízhatósági mutatót kell tekinteni, amely a technikai eszköz tervezési és gyártási sajátosságainak figyelembevételével a kialakított üzemeltetési rendszerben elérhető).

Pontosabban fogalmazva a **javítás** azon munkák összessége (halmaza), amelyeket az üzemeltetett eszköz hibamentességének vagy üzemképességének fenntartása, illetve helyreállítása érdekében végeznek el. A **műszaki karbantartás** pedig az üzemeltetés tárgya hibamentességének vagy csak üzemképességének az előkészítés, a rendeltetésszerű használat, a tárolás és a szállítás során történő fenntartása céljából kifejtett tevékenységek összessége.

Megkülönböztetünk még profilaktikus és utómunkákat (bulletin munkákat), amelyek lényegében szervesen beépülnek a műszaki karbantartások és a javítások folyamatába. **Profilaktikus munkáknak** szokás nevezni azokat a műszaki karbantartás, javítás során végrehajtott munkákat, amelyeket a parametrikus (fokozatos) meghibásodások feltárása, elhárítása céljából fejtenek ki. **Utómunkának** tekintjük az üzemeltetési (karbantartási, javítási) tapasztalatok, a feltárt meghibásodások alapján a technikai eszköz használati értékének, megbízhatóságának hibamentességi, üzemképességi szintjének, javíthatóságának a növelése végett végrehajtandó egyszeri vagy adott gyakorisággal előírt tevékenységet.

A karbantartás és a javítás közötti elvi különbség jól látható a 6.1. ábrán. A **korszerűsítés** során a karbantartástól és javítástól eltérően az üzemeltetés tárgyának műszaki jellemzőit a gyártási értékeknél kedvezőbb szintre növelik a tudományos-technikai fejlődés újabb eredményeinek megfelelően.

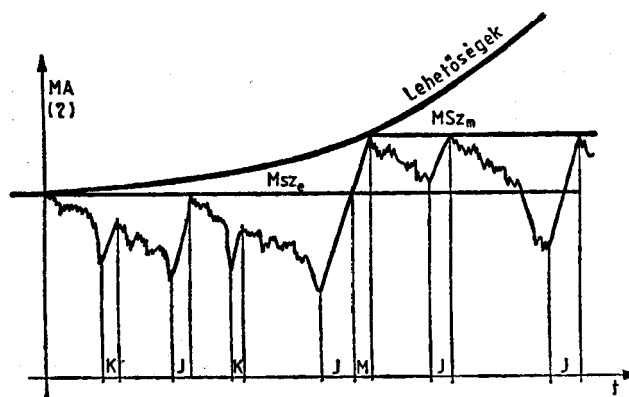
A javíthatóság mellett értelmezni kell az úgynevezett üzemeltetési **technologizáltság** fogalmát is. Ez a technikai eszköz azon tulajdonságainak összessége, amelyek megmutatják, mennyire alkalmas arra, hogy a műszaki karbantartási és javítási munkák valamennyi fajtája a leggazdaságosabb technológiai eljárások alkalmazásával elvégezhető legyen.

A technikai eszköz üzemeltethetőségi alkalmasságának harmadik — napjainkban a korszerű üzemeltetési, karbantartási stratégiák térhódításával egyre fontosabbá váló — jellemzője a **diagnosztizálhatóság**. Ez az üzemeltetés tárgyának azon tulajdonsága, hogy létezik-e megfelelő pontossággal mérhető olyan műszaki jellemző-családja, amelynek ismeretében az üzemállapot egyértelműen meghatározható.

A diagnosztizálhatósággal kapcsolatosak a következő kategóriák:

- a jellemző paraméter mennyiségi mértéke a jellemző érték;
- az üzemeltetés tárgya műszaki állapotának az előírások szerinti meghatározására szolgáló diagnosztikai jellemzők;
- a műszaki állapot előírt pontosságú diagnosztizálási folyamata;
- a műszaki diagnosztika, amelynek eredménye a műszaki állapot meghatározása az esetleges rendellenességek, hibák vagy meghibásodások helyének, fajtájának és okának

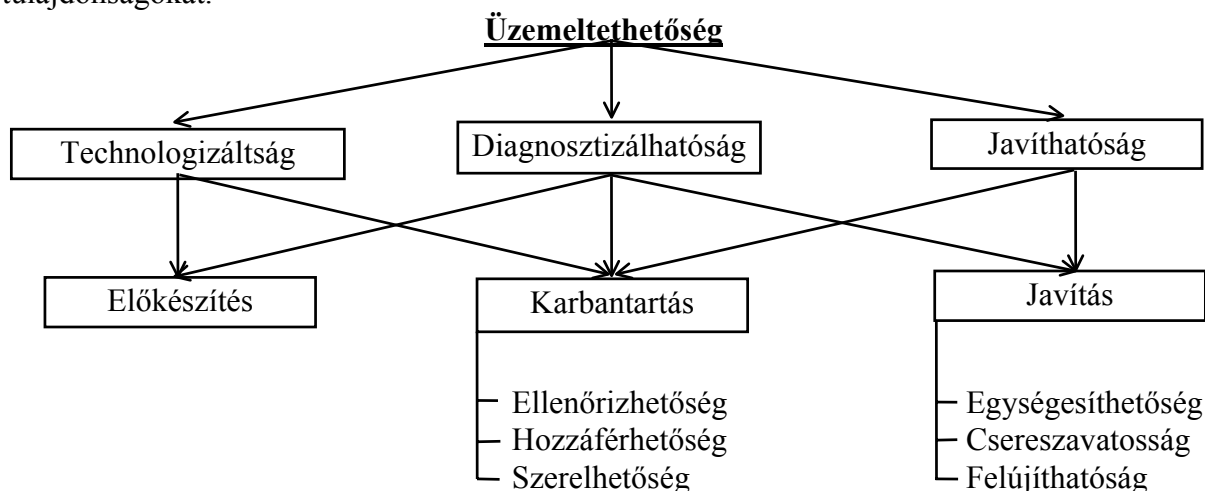
- a megjelölésével;
- az ellenőrizendő jellemzők körét, az ellenőrzések idejét, gyakoriságát és a jellemzők tūrésí értékeinek összességét meghatározó diagnosztikai üzemmód;
- az üzemeltetés tárgyának működése közben végzett funkcionális (üzemi) műszaki diagnosztika, amikor csak a szokásos üzemi, a működésből eredő hatások érvényesülnek és a tesztelő műszaki diagnosztika, amikor az üzemeltetés tárgyát különleges vizsgáló, úgynevezett tesztelő hatásoknak vetik alá.



6.1. ábra. A műszaki jellemző változása az üzemeltetés folyamán

- η — általános műszaki jellemző;
- $Msze$ — eredeti (gyártás utáni) műszaki színvonal;
- $MSzm$ — módosított (modernizálás utáni) műszaki színvonal;
- K — karbantartás;
- J — javítás;
- M — modernizálás.

Az üzemeltethetőségi alkalmasság legfőbb jellemzői a javíthatóság, az üzemeltetési technológizáltság és a diagnosztizálhatóság a 6.2. ábra szerinti tulajdonságokat foglalják magukba. Látható, hogy ezek főképpen szerkezeti, technológiai tulajdonságok, amelyeket a technikai eszköznek a tervezéskor és gyártáskor kell kialakítani. A megfelelően kidolgozott és alkalmazott üzemeltetési rendszer és stratégia szintén befolyásolják ezeket a tulajdonságokat.



6.2. ábra. Az üzemeltethetőséget meghatározó főbb tulajdonságok

A 6.2. ábrán megadott tulajdonságok közül az ellenőrizhetőség, a hozzáférhetőség és a szerelhetőség, mind azt mutatják meg, hogy adott meghibásodott vagy ellenőrizendő elem esetében az elnevezés szerinti közvetlen munkavégzés (például az ellenőrzés) az összes munkavégzés (előkészítés ellenőrzéshez, ellenőrzés, ellenőrzés utáni munka) hányad részét teszi ki. (Az ellenőrzés önmagában sohasem diagnosztizálás, bár lehet annak része.) Ugyanakkor a felújíthatóság, az egységesíthetőség és a csereszavatosság, a javíthatóság olyan mutatói, amelyek az üzemeltetés tárgyának azon tulajdonságait fejezik ki, hogy egészének vagy egyes rendszereinek, elemeinek hányad része javítható, hányad része cserélhető ki a karbantartás, a javítás során egységenként (blokkonként), a technikai eszköz hányad része javítható csereszabatos alkatrészek felhasználásával.

A üzemeltetésre való alkalmasságot egyszóval **üzemeltethetőség**nek lehet nevezni. A üzemeltethetőség igen fontos jellemzői a fajlagos költség- és munkaráfordítások, a fajlagos állásidők. Így például az egy meghibásodásra jutó hibafeltárási-elhárítási munka volumene vagy az egy elem hibájának elhárítására (javítására, ellenőrzésére stb.) fordított fajlagos állásidő. Ezek természetesen a kialakított üzemeltetési rendszertől, stratégiától is függenek, és így egyúttal azok jellemzésére is szolgálnak, vagyis üzemeltetési jellemzőknek tekinthetők.

6.2. Az üzemeltethetőség jellemzői

A korszerű üzemeltetési rendszer alkalmazása szempontjából különösen fontos üzemeltethetőség legfontosabb jellemzőinek meghatározására, számítására használatos összefüggések a következők:

Karbantartás, javítás miatti fajlagos állásidő:

$$K_{fa} = \frac{\tau_{ok} + \tau_{ik} + \tau_{nj}}{\tau_{javk}} \left[\frac{\text{óra}}{\text{teljesítménymutató}} \right], \quad (6.1)$$

ahol:

- τ_{ok} — az operatív karbantartáshoz szükséges összes állásidő τ_{javk} alatt;
- τ_{ik} — időszakos karbantartásra fordított összes állásidő τ_{javk} alatt;
- τ_{nj} — a nagyjavítás átlagos ideje;
- τ_{javk} — két nagyjavítás közti (üzemidő).

Karbantartás, javítás fajlagos munkaigénye:

$$K_{fm} = \frac{M_{ok} + M_{ik} + M_{nj}}{\tau_{javk}} \left[\frac{\text{munkaóra}}{\text{teljesítménymutató}} \right], \quad (6.2)$$

ahol:

- M_{ok} — az operatív karbantartás összmunkaidő-igénye τ_{javk} ;
- M_{ik} — az operatív karbantartásának összmunkaidő-igénye τ_{javk} ;
- M_{nj} — a nagyjavítás munkaidőigénye;

Hozzáférhetőségi tényező:

A technikai eszközhöz való hozzáférhetőséget fejezi ki a hozzáférhetőségi tényező:

$$K_{hoz} = 1 - \frac{M_{kieg}}{M_a + M_{kieg}} \quad [1] \quad , \quad (6.3)$$

ahol:

M_a — az elvégzendő alpmunka munkaigénye;

M_{kieg} — az alpmunka elvégzéséhez szükséges kiegészítő munkák munkaigénye.

Szerelhetőségi tényező:

A berendezések vagy a szerkezeti elemek csereszavatosságát jellemzi a szerelhetőségi tényező:

$$K_{szer} = 1 - \frac{M_{elő}}{M_{elő} + M_{sz}} \quad [1] \quad , \quad (6.4)$$

ahol:

M_{sz} — a szerelés munkaidénye;

$M_{elő}$ — a szerelés előkészítésének és utómunkáinak (illesztési, ellenőrzési vagy beállítási munkák) munkaigénye.

Ellenőrizhetőségi tényező:

Az egyes rendszerek és az üzemeltetés tárgya egészének ellenőrizhetőségi tényezője a következő egyenlettel határozható meg:

$$K_{ell} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m M_j k_j}{\sum_{i=1}^n M_i k_i + \sum_{j=1}^m M_j k_j} \quad [1] \quad , \quad (6.5)$$

ahol:

M_i — az i -edik berendezés szerelési munkákat nem igénylő egyszeri ellenőrzésének munkaidőigénye;

M_j — a j -edik berendezés kötelezően előírt szerelési munkákat igénylő egyszeri ellenőrzésének munkaidőigénye (beleértve a le- és felszerelés munkaidőigényét);

$k_j; k_i$ — ellenőrzések gyakorisága a két javítás közti üzemidő alatt;

m — azoknak a berendezéseknek a mennyisége, amelyeket az ellenőrzéshez a technikai eszköztől kötelezően le kell szerelni;

n — azoknak a berendezéseknek a mennyisége, amelyeknek nincs előírva ellenőrzéshez való leszerelésük.

Karbantartási eszközök alkalmazhatósági tényezője:

$$K_{alk} = 1 - \frac{E_{\ddot{u}e}}{E_{\ddot{u}e} + E_{re}} \quad [1] \quad , \quad (6.6)$$

ahol:

- $E_{\ddot{u}e}$ — az üzemeltetéshez szükséges új kiszolgálóeszközök, berendezések költsége;
 E_{re} — rendelkezésre álló eszközök, berendezések költsége.

7. Üzemeltetési folyamatok valószínűségi vizsgálata

7.1. Az üzemeltetés, mint Markovi folyamat

Az olyan sztochasztikus folyamatot, amelynek jövőbeli alakulását a múltbeli alakulása csak a jelenlegi állapoton keresztül befolyásolja, azaz amely utóhatásmentes, Markov-folyamatnak nevezzük.

Az üzemeltetési folyamatok rendszerszemléletű vizsgálata esetén megállapítható, hogy az egyes, jól definiált állapotokból való távozások függetlenek a előzőekben történtektől. Ezen tulajdonság alapján Markov-folyamatnak tekinthető és matematikailag Markov-lánccal modellezhető.

Egy üzemeltetési rendszerről vagy valamely belső folyamatáról, illetve azok irányításának hatásosságáról bizonyos jellemzők ismeretében dönthetünk. Ilyen jellemző lehet például az egységnyi üzemidőre eső költség, vagy kiszolgálási munkaigény. Ezen jellemzők meghatározása az adott üzemeltetési folyamat rendszerszemléletű vizsgálatakor, annak folytonos idejű, diszkrét állapotterű markovi modelljeinek segítségével történhet.

Matematikailag felírva egy $\eta(t)$ valószínűségi folyamat Markov-folyamat, ha minden $t_1 < t_2 < \dots < t_n < t_{n+1}$; és $X_1 < X_2 < \dots < X_n < X_{n+1}$ valós számra teljesül a:

$$P\left(\eta(t_{n+1}) = X_{n+1} \mid \eta(t_1) = X_1; K \eta(t_n) = X_n\right) = P\left(\eta(t_{n+1}) = X_{n+1} \mid \eta(t_n) = X_n\right) \quad (7.1)$$

feltételes valószínűségek egyenlősége.

Ha az $\eta(t)$ folyamat a vizsgált időintervallum bármely pillanatában felvehet valamilyen X értéket, akkor az folytonos, ha η csak kitüntetett időpontokban rendelkezhet értékkel, diszkrét idejű. Diszkrét állapotterűnek tekintjük azt a sztochasztikus folyamatot, ahol az η valószínűségi változó lehetséges értékei véges, vagy megszámlálhatóan végtelen elemű halmazt alkotnak.

Egy Markov-folyamat az állapotokból való távozások eloszlásai és az átmenetvalószínűségek megadásával egyértelműen jellemezhető. Ha az állapotokból való távozások eloszlásainak jellegei nem exponenciálisak — legalább egy eltér —, akkor az adott utóhatásmentes sztochasztikus folyamatot fél-markovinak nevezzük.

A véges vagy megszámlálhatóan végtelen — azaz diszkrét — állapotterű, utóhatásmentes sztochasztikus folyamat Markov-lánccot alkot.

Összességében megállapítható, hogy az üzemeltetési folyamat egy folytonos idejű, diszkrét állapotterű markovi- vagy fél-markovi folyamatként (azaz láncként) modellezhető és megfelelő statisztikai adatok birtokában elemezhető.

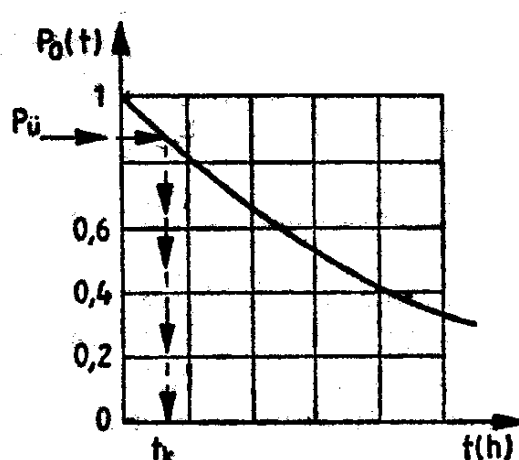
7.2. A karbantartási ciklusidő meghatározásának módjai

A karbantartási ciklusidő számítása végezhető a károsodás elmélet, az üzemi megbízhatóság vagy a meghibásodási statisztika (valós megbízhatóság) alapján. Az elsőt a 4.3. fejezetben már bemutattuk.

Üzemi megbízhatóságnak nevezzük a meghibásodásmentes működés valószínűségének azt az értékét, amelyet adott üzemeltetési stratégia mellett el kívánunk érni, vagy amelyet a meghibásodási adatokból meghatározhatunk.

Az üzemi megbízhatósághoz adott meghibásodási valószínűség, vagyis adott üzemeltetési időt alapul véve adott számú meghibásodás tartozik. Mivel a műszaki

üzemeltetés tevékenységének célja, hogy a meghibásodások száma minél kisebb legyen, az üzemi megbízhatóságot többnyire olyan szintnek tekintik, amely alá — hosszabb távon — nem csökkenhet a tényleges meghibásodásmentes működés valószínűsége.



7.1. ábra. A karbantartási ciklusidő meghatározása az üzemi meghízhatóság alapján

$P_0(t)$ — meghibásodás-mentes állapot valószínűsége;
 T — üzemidő

Az üzemi megbízhatóságot mindig a karbantartási ciklusidőhöz rendelve lehet megadni. Ez természetesen lehet a karbantartási ciklusidő meghatározásának egyik módja is (7.1. ábra). Ekkor ismerni kell a meghibásodási intenzitást (a meghibásodási rátát) és meg kell adni a P_u üzemi megbízhatóságot (az üzemi megbízhatósági szinten). A karbantartási ciklusidőt a

$$t_k = \frac{\ln P_u}{-\lambda} \quad (7.2)$$

összefüggés alapján határozhatjuk meg.

Meghibásodási statisztika alapján történő ciklusidő meghatározásának általános menete a következő:

- megfelelő mennyiségű adattal kell rendelkezni, amelyeket első lépésként rendezni és csoportosítani kell;
- meg kell határozni a statisztikai, jellemzőket és fel kell rajzolni a tapasztalati sűrűség-, illetve eloszlásfüggvényt;
- meg kell állapítani, mely elméleti eloszlás közelíti meg leginkább a tapasztalati függvényeinket;
- a megfelelő elméleti eloszlás ismert összefüggései alapján és a gyakorlati elvárásokat figyelembe véve meghatározzuk a szükséges kiszolgálási művelet időszakosságát.

Az elemző eljárást egy példán keresztül fogjuk bemutatni:

Meghatározott igénybevételi viszonyok között 28 kőolajkutatásra használt nehéz terepjárónál megfigyelték a lánctalp teljes elhasználódása miatt bekövetkezett meghibásodásokat. Ezek az alábbi kilométerteljesítések után következtek be:

1526; 1595; 1635; 1644; 1681; 1726; 1740; 1762; 1779; 1788; 1826; 1835; 1838; 1874; 1885; 1889; 1891; 1902; 1908; 1959; 1970; 1987; 2034; 2055; 2077; 2086; 2112; 2136.

Meg kell határoznunk a meghibásodások eloszlásának törvényszerűségét, az azt leíró, vagy legjobban megközelítő elméleti eloszlást, az eloszlás paramétereit és ezek alapján azt az időszakosságot, amelynél a legcélszerűbb a lánctalpakat lecserélni.

→ Az adatok rendezése és csoportosítása

Az adatok rendezése már megtörtént, azok növekvő sorrendben vannak. A csoportosítás nem más, mint az osztásközök (értékközök, intervallumok) célszerű megválasztása.

Az osztásközök (intervallumok) megállapítása történhet közelítő összefüggések felhasználásával vagy becsléssel. Mindkét esetben a K alkalmazott osztásközt 7 ~ 14 között célszerű megválasztani, illetve a meghatározásnál ennek megfelelően módosítani.

Yule közelítő összefüggése alapján:

$$K = 2,5\sqrt[4]{N} \quad , \quad (7.3)$$

ahol:

N — a rendelkezésre álló adatok száma.

Esetünkben:

$$K = 2,5\sqrt[4]{28} = 5,751$$

Empirikus összefüggések alapján:

$$K = 1 + 3,3 \log N \quad , \quad (7.4)$$

esetünkben:

$$K = 1 + 3,3 \log 28 = 5,776$$

Miután mindkét számítás alapján 7 alatti osztásközsám adódott, így az osztásközök számát a minimumként ajánlott 7-re vesszük fel.

Az osztásközök számát azért is célszerű 7-re felvenni, mivel így az intervallumok nagysága 100-ra adódik.

→ A statisztikai jellemzők meghatározása és a tapasztalati sűrűségfüggvény felrajzolása;

A jellemzők számításához és a sűrűségfüggvény felrajzolásához táblázatot használunk, amelynek felépítése különböző lehet, de amely minden esetben tartalmazza az intervallumokat, az intervallumokba eső adatszámot és a relatív gyakorisági értékeket.

A meghibásodások empirikus várható értéke (azaz a számtani átlaga) kilométerben:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \quad (7.5)$$

esetünkben:

$$\bar{x} = 1852km$$

	Intervallum határok	Meghibásodások száma	Meghibásodások relatív gyakorisága
1	1500 – 1600	2	0,071
2	1600 – 1700	3	0,107
3	1700 – 1800	5	0,179
4	1800 – 1900	7	0,250
5	1900 – 2000	5	0,179
6	2000 – 2100	4	0,143
7	2100 – 2200	2	0,071

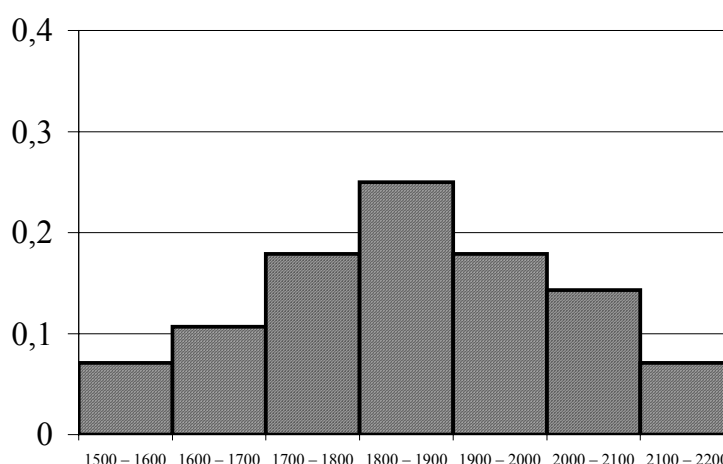
7.1. Táblázat. Meghibásodások száma és relatív gyakorisága az intervallumokban

A korrigált tapasztalati szórás:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}. \quad (7.6)$$

esetünkben:

$$s = 156,90km$$



7.2. ábra. Gyakoriság-sűrűség diagram

A tapasztalati és az elméleti görbék megegyezését ellenőrizni lehet valamilyen illeszkedési kritériumok segítségével, vagy pedig a tapasztalati és az elméleti görbék alakjának egyeztetésével. Az illeszkedési kritériumok alapján végzendő vizsgálatokat a

matematikai-statisztikai szakirodalom bőven tárgyalja, illetve a különböző szoftverek segítségével könnyen, különösebb statisztikai jártasság nélkül elvégezhetők. Erre jegyzetünkben külön nem térünk ki.

A gyakoriság-sűrűség diagramból — esetünkben — egyszerűen leolvashatjuk, hogy a lánctalp elhasználódás miatti meghibásodásai normális eloszláshoz közeli eloszlást követnek. Ez egyben azt is jelenti, hogy a meghibásodások fokozatosak, azaz a lánctalpak elhasználódásának, nem pedig valamilyen, az üzemeltetési rendszerben vagy a környezetben beállt változások következményei. A további vizsgálatokhoz ezért a tényleges (tapasztalati) gyakoriság-sűrűség diagramot egy

$$\begin{aligned} m &= \bar{x} = 1852 \\ \sigma &= s = 156,90 \end{aligned}$$

jellemzőkkel bíró normál eloszlással helyettesíthetjük. A vizsgálandó normális eloszlás sűrűségfüggvénye:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (7.7)$$

ami esetünkben:

$$f(x) = \frac{1}{156,9\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-1852)^2}{2 \cdot 156,9^2}}$$

→ A ciklusidő meghatározása az ismert eloszlás alapján

Annak a valószínűségét, hogy a valószínűségi változó — amely jelen esetben futott kilométer — adott értéknél kisebbet vesz fel, a változó eloszlásfüggvénye adja meg (amit a sűrűségfüggvényből határozott integrálással kapunk meg).

$$P(\eta < x) = F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt \quad (7.8)$$

A fokozatos meghibásodásokat akkor célszerű megelőzni, amikor még azok bekövetkezése megfelelően nagy valószínűséggel megelőzhető. A gyakorlati tervező munkánál természetesen a műszaki-matematikai mérlegelés mellett tekintettel kell lenni a gazdaságossági és megbízhatósági szempontokra is. A gazdaságossági szempontok figyelembevételének egyik módja az, amikor az ellenőrzések, illetve cserék, javítások és eszközkiebélések költségeit elemzik. Megbízhatósági elemzések során mérlegelni kell a várható meghibásodás biztonsági következményeit.

Szárazföldi technikai eszközöknél a megengedhető meghibásodási valószínűség elérheti akár a 20 ~ 25%-ot is, repülőgépek üzemeltetésénél ez az érték nem haladhatja meg a 2,5%-t.

A fokozatos meghibásodások esetén előforduló normál eloszlás sajátossága, hogy a (7.8) egyenlettel felírt eloszlásfüggvénynek nincs zárt alakú megoldása. Ezért, — ha az elemzést nem valamilyen statisztikai szoftverrel végezzük — a fentiekben meghatározott paraméterű normál eloszlást át kell transzformálnunk az úgynevezett standard ($m = 0$; $\sigma = 1$) normál eloszlásra, melynek eloszlásfüggvénye valószínűségszámítási, statisztikai

táblázatokban megtalálható.

Az eloszlás függvény és a megengedhető meghibásodási valószínűség ismeretében tudjuk meghatározni a javítások, karbantartások vagy ellenőrzések közti ciklusok hosszát.

Példánkban, ha 5 % meghibásodási valószínűséget engedünk meg, a standard normál eloszlás táblázatát felhasználva:

$$X = m - 1,64\sigma = 1852 - 1,64 \cdot 156,9 = 1594,7 \text{ km}$$

Azaz, kerekítés után a lánctalpak ellenőrzésének névleges értéke 1600 km.

Az ellenőrzési ciklus tűréseit a névleges érték +20 és -10%-ában, kerekítve szokás meghatározni. Esetünkben tehát az ellenőrzéseket:

$$1600^{+300}_{-150}$$

kilométerenként célszerű elrendelni.

7.3. A szabályozás felső határa

Megbízhatósági szint szerinti üzemeltetéskor állandóan ellenőriznünk kell a meghibásodások számát. Amennyiben a vonatkoztatási időn belül a meghibásodások száma a megbízhatóság alapján számított megengedett értéknél kisebb, akkor semmilyen műszaki beavatkozásra nincs szükség.

A megengedett meghibásodási számot a meghibásodások standard szintjének is szokás nevezni. Meghatározása az úgynevezett szabályozás felső határa (*SZFH*) alapján történik. Ennek lényege a λ meghibásodási intenzitás, a szervezeti egységbe tartozó gépek N számának és a vizsgált alkatrészből, berendezésből egy gépen található mennyiségnek ismeretében meghatározzák az előre adott (vagy naptári időből álló üzemelési idő alapján számított) τ üzemidő (vagy más teljesítménymutató) ledolgozása folyamán mennyi a meghibásodásmentes működés (P_0), az egy meghibásodás (P_1), két meghibásodás (P_2) stb. bekövetkezéseinek valószínűsége:

$$P_i = \frac{(\lambda a N \tau)^i}{i!} e^{-\lambda a N \tau}, \quad (7.9)$$

ahol:

a — az egy gépre felszerelt berendezések száma.

A szabályozás felső határának nevezik azt a kockázati szintet, amely pontosságon belül szeretnék megadni a meghibásodási folyamatot. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a λ -t állandónak tekintve meghatározzák a (7.9) egyenlettel megadott valószínűségek összegét, amely i meghibásodásszámnál lesz több a kockázati szinttel adott értéknél. A kockázati szintet a repülési szakirodalmak $Q = 0,025$ -ben adják meg.

Az elmondottak alapján tehát a szabályozás felső határának tekintik azt az i -edik meghibásodási számot, amelynek bekövetkezési valószínűségét az azt megelőző meghibásodási valószínűségekkel összegezzük:

$$\sum_{i=0}^{SzFH-1} P_i = 1 - Q \quad (7.10)$$

7.4 Beállt Markov-modell vizsgálat

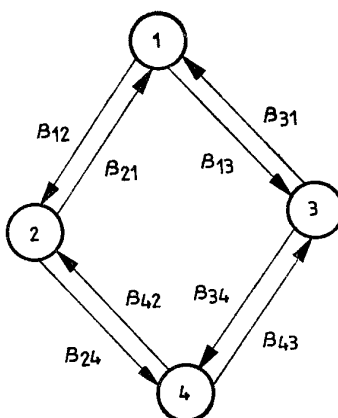
Beállt üzemeltetési rendszer rendszerszemléletű vizsgálatát a benne lejátszódó folyamat állandósult markovi modelljével lehet elvégezni. A modellvizsgálat alapján meg tudjuk határozni, illetve becsült értékek esetén prognosztizálni tudjuk az üzemeltetés költségeit, munkaerő-, anyag- és energiaszükségeit. A modellezési módszert az alábbi példán keresztül fogjuk bemutatni.

Egy, a repülőgépek javítása során használatos ellenőrző próbapad karbantartási költségeit alapvetően két jellemző meghibásodás befolyásolja. Az egyik meghibásodás kijavítása átlag 6 órába telik, s ennek költsége átlag 12 500 Ft. A másik meghibásodás elhárítása már átlagosan 10 órát igényel, 29 200 Ft-os költséggel. Előfordul, hogy az egyik hiba kiküszöbölése idején lép fel a másik meghibásodás is, ekkor viszonylag rövid ideig mindkét meghibásodás egyszerre akadályozza a rendeltetésszerű használatot. Az egyik meghibásodás elhárításáig ilyenkor átlagosan 3,5 óra telik el, s egyben közepesen 11 800 Ft többlet karbantartási költséggel kell számolni.

A berendezés működtetésének vizsgálata alapján megállapították, hogy a meghibásodások, illetve azok kijavításai időbeni eloszlása exponenciális jellegűek. A β meghibásodási és javítási intenzitásokat, amelyek az időegységre jutó meghibásodások, illetve befejezett javítások valószínűségét jelentik, a 7.2. Táblázat tartalmazza.

Határozzuk meg a karbantartás költségét 1000 óra működési időalapra vonatkoztatva!

A feladatot szemléletesen ábrázolhatjuk a 7.3. ábrán látható gráf-moddal.



7.3. ábra A vizsgált folyamat üzemeltetési gráfja

- 1 — rendeltetésszerű használat;
- 2 — első típusú meghibásodás elhárítása;
- 3 — második típusú meghibásodás elhárítása;
- 4 — egyszerre fellépett mindkét fajta meghibásodás elhárítása.

A szövegben közölt feltételek szerint a feladat Markov-moddal oldható meg. A gráfmodell szerint a Kolmogorov-féle differenciál-egyenletrendszer — mely az állapotokban való tartózkodás valószínűségeinek időbeni változását írja le — az alábbi módon írható fel:

$$\begin{aligned}
\dot{P}_1(t) &= -(\beta_{12} + \beta_{13})P_1(t) + \beta_{21}P_2(t) + \beta_{31}P_3(t) \\
\dot{P}_2(t) &= -(\beta_{21} + \beta_{24})P_2(t) + \beta_{12}P_1(t) + \beta_{42}P_4(t) \\
\dot{P}_3(t) &= -(\beta_{31} + \beta_{34})P_3(t) + \beta_{13}P_1(t) + \beta_{43}P_4(t) \\
\dot{P}_4(t) &= -(\beta_{42} + \beta_{43})P_4(t) + \beta_{24}P_2(t) + \beta_{34}P_3(t)
\end{aligned} \tag{7.11}$$

Esemény	Állapotváltási intenzitás	
	jele	értéke [h ⁻¹]
Az első típusú meghibásodás fellépése	β_{12}	0,0320
A második típusú meghibásodás fellépése	β_{13}	0,0180
Mindkét meghibásodás fellépése, ha az első már fellépett	β_{24}	0,0111
Mindkét meghibásodás fellépése, ha a második már fellépett	B_{34}	0,0180
Az első típusú meghibásodás javítása	β_{21}	0,1556
A második típusú meghibásodás javítása	B_{31}	0,0180
Mindkét meghibásodás javítása, ha az első lépett fel hamarabb	β_{42}	0,1667
Mindkét meghibásodás javítása, ha a második lépett fel hamarabb	β_{43}	0,0833

7.2. Táblázat Események fogalma és állapotváltozási intenzitásai

A megoldás feltétele, hogy

$$\sum_{i=1}^4 P(t) = 1 \quad , \tag{7.12}$$

amely azt fejezi ki, hogy az üzemeltetés tárgya csak a fenti négy állapot (melyek esetünkben a teljes eseményteret alkotják) valamelyikében tartózkodhat.

Mivel az általunk vizsgált folyamatot beálltnak, azaz időben változatlanoknak tekintjük, az állapotokban való tartózkodási valószínűségek időszerinti deriváltjaik értékei:

$$\dot{P}_1(t) = \dot{P}_2(t) = \dot{P}_3(t) = \dot{P}_4(t) = 0 \quad . \tag{7.13}$$

A fenti egyenletrendszer megoldására több numerikus megoldás ismert, melyek bármelyikével az alábbi eredményeket kapjuk:

$$P_1 = 0,6944$$

$$P_2 = 0,1500$$

$$P_3 = 0,1388$$

$$P_4 = 0,0167$$

A vizsgálati idő alatt az egyes állapotokba

$$n_i = \frac{P_i \tau}{t_i} \tag{7.14}$$

alkalommal kerül a próbapad, ahol:

τ — a vizsgálati idő hossza;
 t_i — az i -edik állapotban tartózkodás átlagideje,

és ott

$$K_i = k_i n_i \quad (7.15)$$

költségbe kerül a karbantartása, ahol:

k_i — az i -edik állapotban való tartózkodás átlagköltsége.

Így a teljes karbantartási költség:

$$K = \tau \left(\frac{k_2 P_2}{t_2} + \frac{k_3 P_3}{t_3} + \frac{k_4 P_4}{t_4} \right) \quad , \quad (7.16)$$

azaz, behelyettesítve:

$$K = 1000 \left(\frac{12500 \cdot 0,15}{6} + \frac{29200 \cdot 0,1388}{10} + \frac{11800 \cdot 0,0167}{3,5} \right) = 774100 \text{ HUF} \quad .$$

7.5. Sorbanállási modellek alkalmazása

Sorbanállási, kiszolgálási rendszeren olyan rendszert értünk, amelybe a fogyasztók véletlenszerűen érkeznek be, az eltérő igényeik kielégítésére várnak, majd a kiszolgálásuk után a rendszerből távoznak. Ilyen sorbanállási rendszernek tekinthetjük az olyan üzemeltetési folyamatokat, melyekben nagyobb tömegű technikai eszköz hasonló típusú műszaki kiszolgálása történik.

A fogyasztók rendszerbe való belépése az *érkezési folyamat*. Az érkezések közti idők egy $\{X_n\}$ sorozattal jellemezhetők. Ekkor X_1 az első fogyasztó rendszerbe történő beérkezéséig eltelt időt, X_i az $i-1$ -edik és az i -edik fogyasztó beérkezése közti időt jelenti.

A *kiszolgálási mechanizmus* leírható az egymásután beérkezett fogyasztók $\{W_n\}$ kiszolgálási idejeinek véletlen sorozatával. Ez az úgynevezett *kiszolgálási sorrend* vagy *kiszolgálási mechanizmus* is véletlenszerűnek tekinthető.

A várakozó sor N_t hossza azon fogyasztók számával egyenlő a t időpillanatban, melyek kiszolgálása folyamatban van, vagy amelyek kiszolgálásra várnak. Ez az előzőekhez hasonlóan, egy folytonos idejű, diszkrét állapotterű sztochasztikus folyamat. Ezen folyamat i -edik állapotán azt értjük, hogy a kiszolgálási rendszerben i mennyiségű fogyasztó tartózkodik.

Egy kiszolgálási rendszer modelljének felhasználásával meghatározható a fogyasztók várakozási ideje; a foglaltsági intervallum hossza (vagyis az a folyamatos idő, amely alatt a kiszolgáló egység állandóan foglalt); az üresjáratú időszak hossza; a pillanatnyi munkahátralék, a rendszerben lévő igények száma. A fenti mennyiségek mindegyike valószínűségi változónak tekinthető.

A fent említett $\{X_n\}$ és $\{W_n\}$ véletlen sorozatok határozzák meg a kiszolgálási rendszer, a várakozási sor viselkedését. Jellemzésükre szolgál a λ jelű beérkezési intenzitás, illetve a μ kiszolgálási intenzitás. E két paraméter statisztikai meghatározása az alábbi módon történhet:

érkezési folyamat:

$$\lambda = \frac{1}{\tilde{X}} \quad , \quad (7.17)$$

kiszolgálási mechanizmus:

$$\mu = \frac{1}{\tilde{W}} \quad , \quad (7.18)$$

ahol:

- \tilde{X} — a beérkezések közti idők átlaga;
 \tilde{W} — a kiszolgálási idők átlaga.

Egy egyszerű markovi sorbanállási rendszer az alábbi tulajdonságokkal bír:

- (I) — Egy érkezés valószínűsége egy Δt időintervallum alatt:

$$\lambda \Delta t + o(\Delta t) \quad ,$$

ahol $o(\Delta t)$ a lehetetlen esemény bekövetkezésének valószínűsége.

- (II) — Egy kiszolgálás befejezésének valószínűsége az előzővel megegyező Δt időintervallum alatt:

$$\mu \Delta t + o(\Delta t) \quad ,$$

feltéve, hogy az intervallum kezdeti pillanatában a sor nem üres.

- (III) — Annak a valószínűsége, hogy egynél több beérkezés vagy kiszolgálás történik a vizsgált Δt idő alatt:

$$o(\Delta t) \quad ,$$

mely valószínűség határértéke:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} o(\Delta t) = 0 \quad .$$

- (IV) — Az (I) és (II) tulajdonságok a rendszerben korábban történtektől és minden más feltételtől függetlenek, azaz markoviak.

Az (I) – (IV) tulajdonságokból következik, hogy az $\{X_n\}$ érkezések közti és a $\{W_n\}$ kiszolgálási idők kielégítik a felújítási folyamatokat jellemző „feledékenység” tulajdonságot. Mindkét sorozat — egymástól is — független valószínűségi változók sora és

$$\lambda e^{-\lambda t} \quad , \quad \text{illetve} \quad \mu e^{-\mu t} \quad (7.19)$$

sűrűség függvényekkel írható le.

A fenti folyamatok utóhatásmentességéből következik, hogy a jövőbeni — nullához tartó — Δt időintervallum alatti a kiszolgálórendszerbe való belépés, illetve onnan történő kilépés valószínűsége érzéketlen a folyamat múltbeli történetére, ha adott a várakozási sor hossza néhány rögzített időpillanatban. Így N_i egy folytonos idejű, $\{0;1;2; \dots ;K\}$ véges állapotterű Markov-láncot alkot. Az N_i folyamat állapotát a sor hossza határozza meg a $\{0;1;2; \dots ;K\}$ diszkrét állapotterben.

A *kiszolgáló állomások* vagy más néven a *kiszolgálási csatornák* r száma alatt az egyszerre, párhuzamosan és egymástól függetlenül működő kiszolgálók számát értjük. Több kiszolgálási csatorna esetén a rendszer (II) tulajdonsága az alábbiak szerint módosul:

(IIa) — Egy kiszolgálás valószínűsége a fentiekkel egyező Δt időintervallum alatt az $N_i = i$ egyenlőség esetén:

$$\begin{aligned} \mu_i &= i\mu\Delta t + o(\Delta t) && \text{ha } i \leq r, \\ \mu_i &= r\mu\Delta t + o(\Delta t) && \text{ha } i > r. \end{aligned} \tag{7.20}$$

A *korlátozott tárolási méret* azt jelenti, hogy ha a sorbanállók száma eléri a maximális K értéket, az újabb beérkező fogyasztókat a rendszer elutasítja, míg a sor hossza K alá nem csökken. Ebben az esetben a folyamatnak (I) tulajdonsága az alábbiak szerint változik:

(Ib) — Ha a sor hossza kisebb a K maximális tárolási méretnél, annak a valószínűsége, hogy a sor Δt időintervallum alatt eggyel növekszik:

$$\lambda\Delta t + o(\Delta t) \quad \text{ha } N < K;$$

— Ha a sor hossza egyenlő a maximális tárolási mérettel, ez a valószínűség:

$$o(\Delta t) \quad \text{ha } N = K$$

lesz.

Egy kiszolgálási rendszer modelljének felhasználásával meghatározható a fogyasztók várakozási ideje, a foglaltsági intervallum hossza (vagyis az a folyamatos idő, amely alatt a kiszolgáló egység állandóan foglalt), az üresjáratok időszakai hossza, a pillanatnyi munkahátralék, a rendszerben lévő igények száma.

A sorbanállási modellek felhasználhatók különböző logisztikai, műszaki kiszolgálási rendszerek, folyamatok elemzésére. Ilyen vizsgálat lehet például a repülőterek előkészítő zónáinál a szükséges befogadóképességeinek, a repülési feladatokat kiszolgáló különleges gépjárművek számának, gépjárműjavító műhelyek szükséges kapacitásának meghatározása. Sorbanállási folyamatok elméletét tudjuk alkalmazni a különféle raktárkészletek leggazdaságosabb méretének meghatározására. Ilyen modellel állapítható meg a különböző szállítások végrehajtásához szükséges szállítóeszközök optimális száma. Különböző műszaki állomásoknál a párhuzamos technológiai sorok számának optimalizálása oldható meg a sorbanállási folyamatok elméletével, de alkalmazható e matematikai eljárás üzemanyagtöltő pontok legcélszerűbb számának, vagy javítóanyag készletek mennyiségének és úgynevezett lépcsőzésének meghatározására.

8. A Megbízhatóság Központú Karbantartás

Az utóbbi húsz évben az üzemeltetéselmélet jelentős változásokon ment át, talán több változáson, mint a menedzsmenttudomány más területei. Ezt a változást világszerte a karbantartásra szoruló technikai eszközök számának és változatosságának (a nagy gépparktól az egyedi eszközökig) jelentős mértékű növekedése, az egyre komplexebb tervezések, az új technológiák és eljárások, valamint a karbantartó szervezetekkel és azok felelősségével kapcsolatos nézetek változása okozták. Ez a folyamat érződik a korszerű technikai eszközök üzemeltetésében, illetve annak irányításában, menedzsmentjében is.

A karbantartás hatékonyságának növelése érdekében újabb elvek, úgynevezett filozófiák jelentek meg, amelyek a karbantartás alapjait nem érintik, elsősorban szervezési, döntés-előkészítési jellegűek.

A változó igények következtében új üzemeltetési filozófia keletkezett, melyet **Megbízhatóság Központú Karbantartásnak** — angol nyelven **Reliability Centred Maintenance (RCM)** — neveznek.

Napjainkban nem csak az új technikák elsajátítása, hanem annak meghatározása is fontos kérdés, hogy azok közül melyik alkalmazható és melyik nem az adott üzemeltetési rendszerben.

A Megbízhatóság Központú Karbantartás alapja az, hogy amikor mi karbantartunk egy technikai eszközt, akkor nekünk a felhasználó elvárásainak kielégítését biztosító állapotot kell fenntartani.

A karbantartás műszakilag biztosítani, hogy a technikai eszköz kielégítse a felhasználó elvárásait.

A felhasználó elvárása attól függ, hogy hol és hogyan használják az adott technikai eszközt, tehát annak adott üzemeltetési környezetétől. Ez vezet a Megbízhatóság Központú Karbantartás következő formai meghatározásához:

A Megbízhatóság Központú Karbantartás valamely technikai eszköz karbantartási követelményeinek meghatározására szolgáló folyamat.

8.1. A Megbízhatóság Központú Karbantartás előzményei

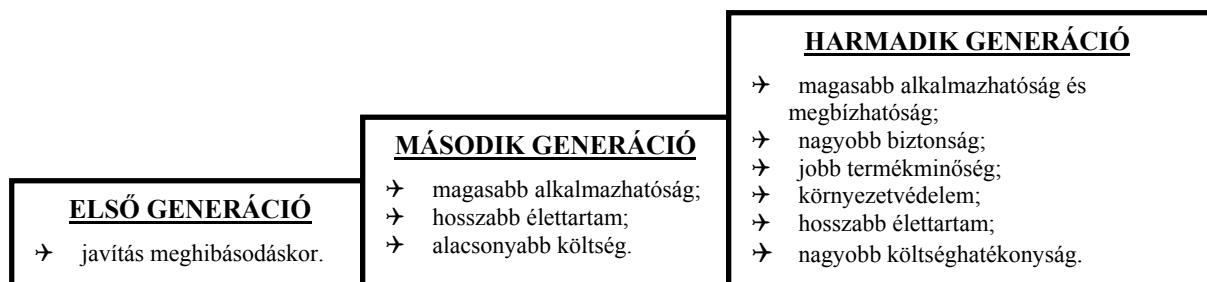
A harmincas évektől kezdve a karbantartás fejlődése három generáción keresztül követhető nyomon. A Megbízhatóság Központú Karbantartás a harmadik generáció egyik sarokköve. Ez a karbantartási filozófia könnyen csak az első és második generáció ismeretében érthető meg.

Az első generáció időben a második világháborúig terjedő szakaszt öleli fel. Ekkor még az ipar nem volt nagymértékben gépesítve, így az állásidők nem okoztak nagy gondot. Ez azt jelentette, hogy az eszközök meghibásodásainak megelőzése nem rendelkezett prioritással a legtöbb műszaki vezető gondolkodásában, szemléletében. Ezzel egy időben a legtöbb technikai eszköz — mai szemmel — viszonylag egyszerű és túlméretezett volt. Ezzel tették azokat megbízhatóvá és könnyen javíthatóvá. Végül is nem volt szükség módszeres karbantartásra, elegendőnek bizonyultak a tisztítási, javítási és — mechanikus alkatrészek esetén — a kenési munkák. A szakismeret szükségessége is alacsonyabb volt a ma megkövetelttől.

A gondolkodás drámaian megváltozott a második világháború alatt. A háborús nyomás megnövelte a minden technikai eszközzel szemben támasztott minőségi követelményeket. Ezzel egy időben az ipar munkaerőellátása jelentősen lecsökkent, és a hadiipar megrendelése is jelentősen megnövekedtek. Ez vezetett a gépesítés mértékének növekedéséhez. Az ötvenes években alkalmazott gépek, technikai eszközök számszerűen megnövekedtek és egyre bonyolultabbá váltak, így az iparban egyre jobban kezdtek függeni tőlük.

A függőség növekedésével az állásidő egyre élesebben a középpontba került. Ez ahhoz

a gondolathoz segített hozzá, hogy a berendezések meghibásodását meg kell előzni, ami a **Tervszerű Megelőző Karbantartáshoz (TMK)**, azaz a kemény idő szerinti üzemeltetéshez vezetett. A hatvanas években ez abból állt, hogy a berendezések döntő részét átvizsgálták, rögzített időközönként vagy teljesítményeként (például futott kilométer).



8.1. ábra. A karbantartással szembeni elvárások változása

A karbantartás költsége élesen emelkedni kezdett a többi üzemeltetési költséghez képest, ami a karbantartási tervező és ellenőrző szervezetek, az üzemeltetési menedzsment kialakulásához, és növekedéséhez vezetett. Ezek nagyban segítették a karbantartás irányítását és manapság már a karbantartó, műszaki kiszolgáló szervezet elfogadott részét képezik.

A hetvenes évek közepétől a változás folyamata az iparban — azon belül is főleg a repülőiparban — egyre nagyobb mértékben fokozódott. Ezeket a változásokat az új elvárások, új kutatások és új technológiák kategóriáiba lehet sorolni.

Az állásidő mindig befolyásolja a termelési kapacitást, növelve az üzemeltetési költségeket, esetleg megbolygatva a fogyasztói kiszolgálást. Ez a hatvanas-hetvenes évekre már nagy problémákat okozott a bányászatban, az iparban és a közlekedési szektorban. Az iparban a leállások hatásai kétségbeejtővé váltak a világszerte elterjedő pontos időtervű — **Just In Time** — anyagmozgatások miatt, ami csökkentette a munkadarabok tárolásának szükségességét. Ilyen rendszer esetén ugyanis egy elég kicsi meghibásodás is az egész gyáregység, illetve az adott gyáregységhez kapcsolódó — akár a Föld másik pontján lévő — más gyáregységek leállítását is okozhatta. Napjainkban a gépesítés és az automatizáció fejlődése azt jelenti, hogy a megbízhatóság és az alkalmazhatóság kulcsfontosságú kérdéssé vált az élet különféle területein, mint például egészségügyi, adattovábbítási, telekommunikációs és építőipari menedzsmentben.

Az egyre növekvő automatizálás is azt eredményezte, hogy a meghibásodások hatása a minőségi előírások betartását is veszélyeztetheti.

Az egyre több meghibásodás komoly biztonsági vagy környezeti következményeket okozott, ezért az ezzel kapcsolatos előírások megnövekedtek az utóbbi időben. Hasonló kérdést vetett fel a szociális és a környezeti biztonság összhangjának biztosítása is. Ezek nagyságrenddel megnövelték a függőségünket a technikai berendezéseink és rendszereink integráltságától. Ez az, ami már túlmutat a költségeken és a szervezet fenntartásának egyszerű kérdésein is.

Ezzel egy időben, ahogy a technikától való függőségünk növekszik, a befektetés maximális megtérülésének biztosítása érdekében a lehető leghosszabb ideig fenn kell tartani a technikai eszközök üzemképességét, bár néha ez ellen dolgozik a technikai fejlődés következtében felgyorsuló erkölcsi elavulás.

Magának a karbantartásnak a költsége is egyre növekszik abszolút és a teljes költséghez viszonyított értékben is. Több vállalatnál a második, egyes esetekben pedig az első legnagyobb költségvetés az eszközpark karbantartása. Végül is a karbantartás röpke harminc év alatt lényegében a semmiből a költségtervezési prioritás csúcsára került.

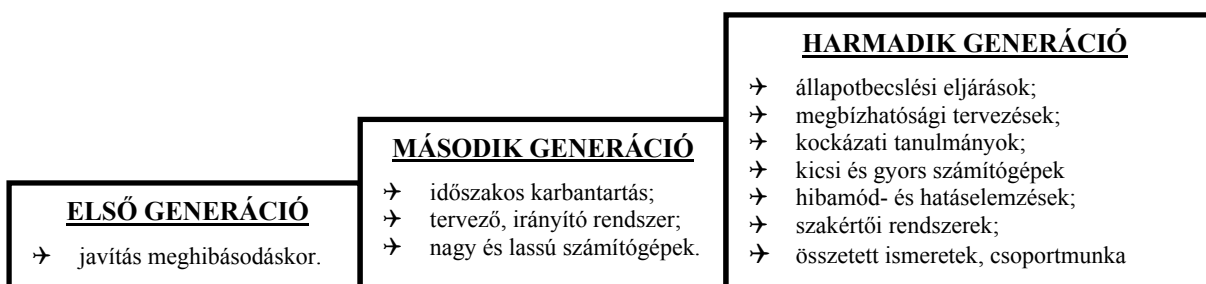
Az új üzemeltetés-elméleti kutatások megváltoztatták az alapvető elképzeléseink

legtöbbjét a technikai rendszerek elhasználódásáról és meghibásodásáról. Nevezetesen, az mára már nyilvánvaló, hogy egyre csökkenő kapcsolat található a legtöbb eszköz üzemeltetési elhasználódása és annak meghibásodási valószínűsége között.

Kezdetben a meghibásodások mind mélyebb megismerése vezetett a széles körben elterjedt második generációs kádgörbéhez, melynek segítségével határozták meg a két karbantartás közti idő-, illetve teljesítmény intervallumokat.

A harmadik generációs kutatások felfedték azt a ténytet, hogy nem egy vagy kettő, hanem legalább hatféle meghibásodás létezik a gyakorlatban. Ezt részletesebben később tárgyaljuk részletesebben.

A 8.2. ábra a karbantartási rendszerben alkalmazott műszaki és adminisztratív módszerek fejlődését mutatja be, figyelembe véve az előzőekben ismertetett három karbantartási generációt.



8.2. ábra. A karbantartási technikák változása

Az új üzemeltetéselméleti, üzemeltetési kutatások, fejlesztések az alábbi főbb területeket foglalják magukba:

- döntéstámogató eszközök, mint a kockázati tanulmányok, hibamód- és hatáselemzések és szakértői rendszerek;
- új karbantartási technikák, mint például a különféle állapotbecslési eljárások;
- a megbízhatóságot és karbantarthatóságot növelő tervezőeszközök;
- a csoportmunka és a rugalmasság irányába mutató jelentős változások a szervezeti gondolkodásban.

8.2. A Megbízhatóság Központú Karbantartás hét alapkérdése

A Megbízhatóság Központú Karbantartás filozófiájának alkalmazása maga után vonja az alábbi hét kérdést, illetve a rájuk adott válaszokat a technikai eszközzel és az üzemeltetési rendszerrel kapcsolatban:

- Mi a technikai eszköz feladata és milyen teljesítményelőírások kapcsolódnak hozzá az adott üzemeltetési környezetben?
- A technikai eszköz milyen módon nem hajtja végre a feladatát meghibásodása esetén?
- Mi okozza a funkcionális hibákat?
- Mi történik a meghibásodások bekövetkezésekor?
- Milyen módon hatnak a meghibásodások?
- Hogyan lehet előre jelezni vagy megelőzni a meghibásodásokat?
- Mit kell tenni, ha a megfelelő megelőző munka nem határozható meg?

Mielőtt azt maghatároznánk, mit kell tennünk annak biztosítása érdekében, hogy a technikai eszköz képes legyen a vele szemben támasztott igényeket kielégíteni az adott

üzemeltetési környezetben, két dolgot kell tennünk:

- meghatározni, hogy mit akar az alkalmazó;
- biztosítani, hogy amit az alkalmazó akar kezdetben, az teljesíthető legyen.

Ezért az adott üzemeltetési környezetben, a különféle előírásokkal meghatározott teljesítményelőírásokkal együtt kell meghatároznunk a technikai eszközök funkcióját. Az alkalmazók által elvárt igények két csoportba sorolhatók:

→ **Elsődleges funkciók:**

Ezek úgy összegezhetők, hogy amiért elsősorban az eszköz beszerzése történt vagy történik. A funkciók ezen kategóriája olyan elvárásokat foglal magába, mint például a sebesség, kimenő teljesítmény, szállítási vagy tárolási kapacitás, hatótáv.

→ **Másodlagos funkciók.**

Ezek a funkciók minden eszközzel szemben olyan elvárások, hogy ne csak egyszerűen az elsődleges funkcióit legyen képes végrehajtani. Az alkalmazónak lehetnek olyan területeken is elvárásai, mint biztonság; irányítás; komfort; szerkezeti integritás; műveleti hatékonyság; környezeti kompatibilitás vagy az eszköz kiegyensúlyozott megjelenése.

A technikai eszközök alkalmazói tudják, hogy mi szükséges leginkább az egész szervezet, rendszer legkedvezőbb helyzetének biztosításához. Ezért lényeges a felhasználóknak a Megbízhatóság Központú Karbantartás döntési folyamatába való bevonása már az első pillanattól fogva.

Pontos, szakmailag megalapozott elemzés esetén, ez a feladat a teljes elemzési folyamat időszükségletének mintegy egyharmadát teszi ki. Ez általában a technikai eszköz aktuális feladatáról egy elemzés elvégzésére kényszeríti a szakembereket meglepő (esetenként rémisztő) részletek megismerése érdekében.

A karbantartás céljait a technikai eszköz funkciói és a vele szembeni teljesítmény elvárások alapján határozzuk meg. Mielőtt a hibamenedzsment eszközeit megfelelő kombinációját alkalmazhatnánk, meg kell határoznunk milyen hiba léphet fel. Ezt két szinten kell elvégeznünk:

- először, meg kell állapítanunk, hogy milyen körülmény, állapot egyenértékű egy hibás állapottal;
- másodsor, meg kell tudnunk, hogy milyen események okozhatják a technikai eszköz hibás állapotát.

A Megbízhatóság Központú Karbantartás világában a hibás állapotok, mint funkcionális meghibásodások ismertek, mert akkor lépnek fel ezek, amikor az eszköz elveszíti alkalmasságát a felhasználó által meghatározott feladatok és teljesítményelőírások teljesítésére.

A funkció ellátásának teljes képtelensége mellett ez a definíció felöleli a részleges meghibásodásokat is, amikor az eszköz alapján véve ellátja feladatát, de nem elfogadható teljesítményszinten (bele értve azokat az eseteket, amikor az eszköz nem képes fenntartani az elfogadható minőségi szinteket). Természetesen ezeket csak akkor tudjuk meghatározni, amikor a technikai eszköz funkcióit, teljesítményelőírásait már megismertük.

Ahogy az előzőekben említettük, mihelyt az összes funkcionális meghibásodást meghatároztuk, meg kell ismernünk az összes olyan esetet, ami ésszerűen valamelyik meghibásodás okozója lehet.

Ezek az esetek, mint meghibásodási módok ismertek. Az "ésszerűen lehetséges" meghibásodási módok azokat foglalják magukba:

- melyek okoztak ugyanilyen vagy hasonló körülmények közt üzemeltetett eszköznek meghibásodást;
- melyeket megelőztek létező karbantartási eljárással;
- melyek eddig még nem következtek be, de célszerű azokat tekintetbe venni, mint valós lehetőséget az adott környezetben.

A leghagyományosabb meghibásodási-mód listák azokat a meghibásodásokat tartalmazzák, melyeket elhasználódás, normál használat vagy törés okoz. Egy ilyen lista magába foglalhatja az üzemeltetés és karbantartás során fellépő emberi tévedések okozta meghibásodásokat is és a tervezési hiányosságokat is azon célból, hogy a berendezés meghibásodásának összes ésszerűen lehetséges okát meg tudjuk határozni és megfelelően tudjuk kezelni azokat. Szintén fontos az összes meghibásodás okának részletes meghatározása is, biztosítani, hogy ne veszítsünk időt és energiát a tünetek elemzésére az okok meghatározásakor.

A Megbízhatóság Központú Karbantartás döntési folyamatának következő lépése a meghibásodási hatások listájának elkészítése, mely megmutatja, hogy mi történik az egyes meghibásodások bekövetkezése esetén. Ezeknek a leírásoknak tartalmazniuk kell minden olyan információt, melyek szükségesek a hibák következményeinek becslésére, mint például:

- Mi a bizonyíték (ha egyáltalán van), hogy az adott meghibásodás következett be?
- Milyen módon vetődik fel (ha egyáltalán lehetséges) a környezet vagy a biztonság veszélyeztetése?
- Milyen módon hat (ha egyáltalán hat) ez a technikai eszközre vagy annak üzemeltetésre?
- Milyen fizikai sérülést okoz (ha egyáltalán okoz) a meghibásodás?
- Mit kell tenni a hiba kijavítása érdekében?

Egy közepes méretű szervezetnél elvégzett részletes elemzés esetén a lehetséges hibamódok száma három- és tízezer között lehet. Ezen meghibásodások mindegyike valamilyen módon hat a szervezet egészére, de mindegyik esetben eltérőek a hatások. Hatást gyakorolhatnak a feladat végrehajtására (a termék minőségére, a fogyasztók kiszolgálására) a biztonságra és környezetre. Mindegyik meghibásodás javítása költséget és időt igényel.

A Megbízhatóság Központú Karbantartás elfogadja, hogy egy gép meghibásodásának következményei jóval fontosabbak, mint annak technikai jellemzői. Lényegében, elfogadja, hogy bármely megelőző karbantartás a meghibásodást nem akadályozza meg, hanem a meghibásodás következményeit megakadályozza vagy legalábbis csökkenti. A Megbízhatóság Központú Karbantartás ezeket a következményeket az alábbi négy csoportba sorolja:

→ **Rejtett hibakövetkezmények;**

A rejtett hibák nem fejtenek ki közvetlen hatást, de összetett hibákat hozhatnak felszínre, melyeknek súlyos, gyakorta katasztrofális következményei lehetnek. Az ilyen meghibásodások többsége a védelmi berendezésekhez kapcsolódik.

→ **Biztonsági és környezeti következmények;**

Egy meghibásodás biztonsági következményekkel jár, ha az személyi sérülést vagy halált okoz. Környezeti következménnyel jár egy meghibásodás, ha valamelyik szervezeti, helyi,

nemzeti vagy nemzetközi környezetvédelmi előírás megsértéséhez vezet.

→ **Üzemeltetési következmény;**

Egy meghibásodás üzemeltetési következményt von maga után, ha az kihat a teljesítményre, a feladat végrehajtásának minőségére vagy az üzemeltetés és azon belül is a javítás közvetlen költségére.

→ **Nem üzemeltetési következmény.**

Olyan nyilvánvaló meghibásodás, amely nem esik a fenti kategóriák egyikébe sem, és ami csak közvetlen javítási költséggel jár.

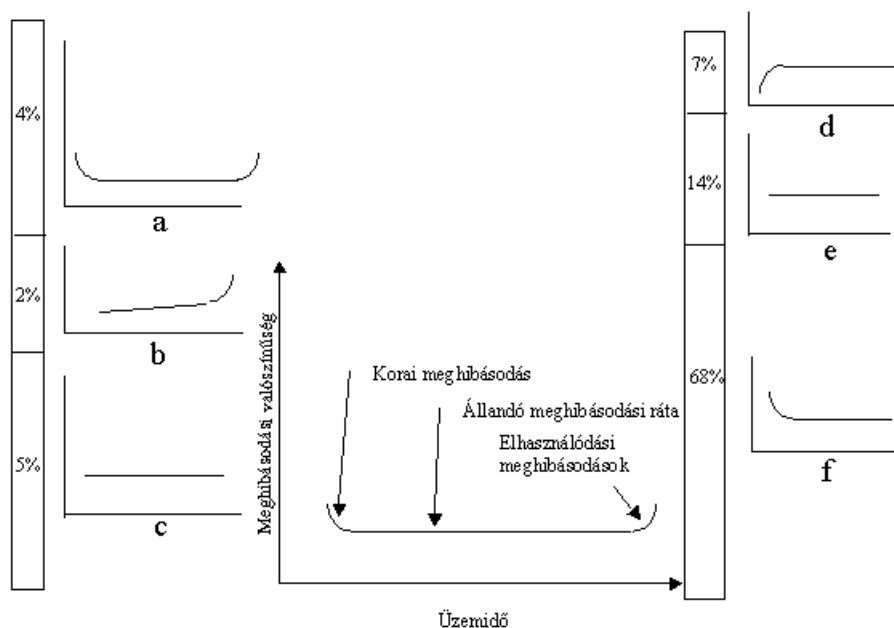
A hibamenedzsment technikáit az alábbi két kategóriába soroljuk:

→ **Megelőző tevékenységek;**

Ezeket a tevékenységeket a hiba keletkezése előtt kell elvégezni azzal a céllal, hogy a technikai eszköz ne jusson hibás állapotba. Felölelik az előrejelző és megelőző karbantartást, a tervszerű helyreállítást és selejtezést, valamint a jellemző paraméter szerinti üzemeltetést.

→ **Utólagos tevékenységek.**

A hibás állapothoz kapcsolódnak, és akkor választjuk ezeket, amikor nem lehetséges egy hatásos megelőző munka meghatározása. Az utólagos tevékenységek a hibakeresést, újratervezést és meghibásodásig történő üzemeltetést foglalják magukba.



8.3. ábra. Meghibásodási modellek

Számos technikai szakember — tévesen — még mindig azt hiszi, hogy a legjobb út egy technikai eszközpark alkalmazásának optimalálására néhány megelőző karbantartást elrendelni egy meghatározott időrend alapján.

A klasszikus elgondolások szerint a meghibásodásokkal kapcsolatos adatok széles körű rögzítése lehetővé teszi a fenti teljesítményintervallum meghatározását és így a megelőző munkák időtervének készítését.

Ez a modell csak bizonyos egyszerű és néhány bonyolultabb berendezés és meghatározó

hibamódok esetén megfelelő. Korral kapcsolatos meghibásodások gyakran vezetnek törésekhez, korrózióhoz és kopáshoz. A mai technikai eszközök általában jóval összetettebbek, mint húsz évvel ezelőtt. Ez viszont riasztó változásokhoz vezetett a meghibásodások megjelenésében, mint ahogy azt a 8.3. ábra mutatja. A diagramok a meghibásodások feltételes valószínűségét szemléltetik az üzemi élettartam során, különféle elektronikus és mechanikai alkatrészek esetén.

A középső és az „a” jelű grafikonon a jól ismert kádgörbe található. Ez egy erős hibagyakorisággal kezdődik, ekkor a bejáratási — hirtelen — meghibásodások jelentkeznek. Ezután a meghibásodások valószínűsége állandó vagy enyhén növekedő jelleggel folytatódik, majd az elhasználódási szakasszal fejeződik be e görbe. A „b” görbe a meghibásodások elhasználódási szakasszal záródó, állandó vagy enyhén növekedő valószínűségét mutatja.

A „c” diagram meghibásodások enyhén növekedő valószínűségét szemlélteti, ekkor azonban nem-azonosítható a kopási idő. A „d” grafikon egy olyan esetet mutat, amikor a technikai eszköz még új, kicsi a meghibásodás feltételes valószínűsége, majd megnő egy állandó szintre. Az „e” görbe egy állandó értékű meghibásodási valószínűséget (véletlen meghibásodást) szemléltet. Az „f” magas bejáratási hibavalószínűséggel indul, ami lecsökken egy állandó vagy nagyon kicsit emelkedő meghibásodási valószínűségi értékre.

Polgári repülőgépek üzemeltetés-elméleti vizsgálatainak eredményei azt mutatják, hogy az „a” típusú valószínűségi grafikonnal jellemezhető meghibásodások a részegységek 4%-a, a „b” 2%-a, a „c” 5%-a, a „d” a 7%-a, az „e” a 14%-a és az „f” pedig nem kevesebb mint 68%-a esetén lép fel. Fontos megjegyeznünk, hogy a meghibásodások – ilyen értelmű – eloszlása nem feltétlen egyezik meg az iparban található eloszlásokkal. Kétségtelen, ahogy a technikai eszközök egyre bonyolultabbakká válnak, az „e” és „f” jelleggel bíró meghibásodások válnak dominánssá.

Ezek a megállapítások ellentmondanak azon meggyőződéseknek, hogy mindig található kapcsolat a megbízhatóság és az üzemi élettartam között. Ez a meggyőződés ahhoz a gondolathoz vezetett, hogy ha egy eszközön minél gyakrabban végzünk teljes felülvizsgálatot, akkor annál kisebb lesz a meghibásodásának valószínűsége. Napjainkban ez ritkán igaz. Hogyha van egy meghatározó, korfüggő meghibásodási mód, az üzemidő korlát csak kis mértékben vagy nem befolyásolja az összetett eszközök megbízhatóságát. Valójában, az időszakos felülvizsgálatok növelhetik a meghibásodási rátát, a hirtelen meghibásodások — a felülvizsgálatok során fellépő tévedések — lehetősége révén, az amúgy stabil rendszer esetén.

Ezen tények elismerése több üzemeltető szervezetet sarkalt a megelőző karbantartás végérvényes elvetésére. Természetesen ez csak olyan meghibásodások esetén lehet igaz, melyek nem jelentős következményekkel járnak. De, ha egy meghibásodás következménye meghatározó, mindent meg kell tenni a hiba előrejelzésére és megakadályozására, vagy a következmény leredukálására.

Ez visszavezet minket a megelőző munkálatok kérdéséhez. Ahogy korábban említettük, a Megbízhatóság Központú Karbantartás a megelőző munkákat az alábbi három kategóriába sorolja:

- tervszerű helyreállítási munkák;
- tervszerű kiselejtezések;
- tervszerű állapotszerinti munkák.

A tervszerű helyreállítás magába foglalja az alkatrészek újragyártását vagy egy alkatrészcsoport felújítását a meghatározott üzemidő korlát előtt, tekintet nélkül annak az akkori technikai állapotra. Hasonlóan, a tervszerű kiselejtezés egy eszköz garantált üzemidő előtti üzemeltetésből való kivonását jelenti, annak pillanatnyi műszaki állapotától függetlenül.

Éltalános értelemben, ez a két munkálat együttesen, mint megelőző karbantartás ismert.

Vitathatatlanul ezeket, mint a megelőző karbantartás legszélesebben elterjedt módjait alkalmazzák. A korábban említett okokból a korszerű üzemeltetési szervezetekben sokkal kevésbé használják, mint húsz évvel ezelőtt.

Bizonyos meghibásodások megelőzésének folyamatos szükségessége és a klasszikus üzemeltetési filozófiák növekvő alkalmatlansága új típusú hiba-menedzsment alkalmazását tette szükségessé. Az ilyen technikák többsége valójában olyan módok és eljárások, melyek előre figyelmeztetnek a meghibásodásokra, közvetlenül azok bekövetkezése előtt.

Új módszereket alkalmaznak a potenciális meghibásodások kimutatására, megelőzésére mielőtt azok funkcionális meghibásodásig fajulnának. Ezeket állapotszerinti munkáknak nevezik. Az állapotszerinti karbantartás magába foglalja a megelőző karbantartást, állapot-alapú karbantartást, az állapotbecslést és -ellenőrzést.

A Megbízhatóság Központú Karbantartás az utólagos tevékenységek három fő kategóriáját ismeri, melyek a következők:

→ **Hibakeresés:**

A hibakeresési tevékenység együtt jár a rejtett funkciók periodikus ellenőrzésével, annak meghatározása érdekében, hogy a technikai eszközök rendelkeznek-e valamilyen hibával.

→ **Újratervezés:**

Az újratervezés az adott rendszer egy beépített elemének különálló megváltoztatását jelenti. Ez tartalmazhat módosítást a technikai eszközön vagy egyszeri változtatást az alkalmazási folyamaton is.

→ **Időterv nélküli karbantartás.**

Ahogy a megnevezés is jelzi, ez a karbantartás nem tartalmaz meghibásodási módokat előrejelző vagy megelőző tevékenységet. A meghibásodás bekövetkezését megengedi, és csak azok fellépése után kerül sor a javításukra. A fentiek alapján ezt meghibásodásig történő üzemeltetésnek nevezik.

8.3. A Megbízhatóság Központú Karbantartás elemzésének főbb lépései

A Megbízhatóság Központú Karbantartás filozófiája egy olyan módszert ad, mellyel egyszerű, pontos és könnyen érthető kritériumokkal tudunk kiválasztani:

- olyan megelőző munkákat (ha léteznek ilyenek), amelyek megvalósíthatók az adott üzemeltetési környezetben;
- azt, hogy milyen gyakran kell azokat elvégezni;
- ki hajtsa végre az előzőekben kiválasztott munkákat.

Ha csak lehet, egy technikailag elvégezhető megelőző munkát kell kiválasztanunk. Fontos meghatározó tényező, hogy az milyen jól oldja meg a meghibásodás okozta problémákat. Ha nem található műszakilag megoldható megelőző munka, akkor megfelelő utólagos munkát kell találnunk. A feladat-kiválasztási folyamat lényege az alábbiakban foglalható össze:

- Rejtett meghibásodások számára egy olyan megelőző munka a megfelelő, amely csökkenti az összetett meghibásodás valószínűségét. Ha ilyen megoldás nem található, időszakos hibakeresési eljárást kell alkalmaznunk. Ha megfelelő hibakeresési eljárás sem található, akkor a berendezést vagy az egész rendszert újra kell tervezni, az összetett meghibásodások következményeinek függvényében.

- Biztonsági és környezeti következményekkel járó meghibásodások esetén a megelőző munka csak akkor megfelelő, ha a meghibásodás kockázatát elfogadhatóan alacsony szintre csökkenti, vagy teljesen kizárja. Ha egy olyan megoldás sem található, amely a meghibásodás kockázatát elfogadhatóan alacsony szintre csökkenti, a részegységet újra kell tervezni, vagy az alkalmazott eljárást kell módosítani.
- Üzemeltetési következményekkel járó meghibásodásoknál csak az a megelőző munka fogadható el, amelynek kisebb a teljes költsége, mint az üzemeltetési következmény és a javítás költsége, ugyanazon periódusra számítva. Ha a meghibásodás bekövetkezik és az üzemeltetési következmény már nem elfogadható, a döntés szintén az újratervezés lehet.
- Üzemeltetési következmény nélküli meghibásodások esetén a megelőző munka csak akkor megfelelő, ha annak költsége a vizsgált időintervallumban kisebb, mint a javítások költsége ugyanezen időtartam alatt. Ezeket a műszaki munkákat is gazdaságossági szempontból kell igazolnunk. Ha a javítási költség túl magas, a döntésnek az újratervezésnek kell lennie.

Ez a megközelítés azt jelenti, hogy olyan megelőző munkákat kell kiválasztanunk, ami valóban szükséges az adott meghibásodás kiküszöböléséhez, másfelől ami a gyakorlati munkaterhelések csökkentéséhez vezet. Összehasonlítva a hagyományos megközelítésekkel, jutunk el a karbantartási politika fejlesztéséhez.

A továbbiakban a Megbízhatóság Központú Karbantartás elemzési folyamatának főbb lépéseit mutatjuk be:

1. lépés: A vizsgálat előkészítése;

Az elemzési folyamatot egy szakértői munkacsoport felállításával kezdjük. Fontos megjegyeznünk, hogy a csoportnak tartalmaznia kell legalább egy főt a karbantartóktól, egy főt az felhasználóktól és a Megbízhatóság Központú Karbantartás filozófiájának egy specialistáját is. A csoportnak kell meghatároznia és tisztáznia az elemzés körét és céljait. Mint az elemzés peremfeltételeit, láthatóvá kell tenni a követelményeket, az irányelveket, valamint az elfogadható biztonsági és környezetvédelmi kritériumokat.

2. lépés: Rendszerszint-kiválasztás és meghatározás;

A tényleges elemzés megkezdése előtt arra a kérdésre kell válaszolnunk, hogy milyen szinten (géppark, gép, rendszer, részrendszer...) célszerű az elemzést elvégezni? Az eszközök hierarchiájának felvázolása jó kiinduló pont az optimális rendszerszint kiválasztásához és meghatározáshoz.

3. lépés: Funkcionális hibaanalízis;

A 2. lépésben kiválasztott rendszerek számára szükséges:

- a rendszertől elvárt funkciókat és teljesítménykritériumokat meghatározni és leírni;
- leírni a rendszer működéséhez szükséges bejövő érintkezési pontokat;
- meghatározni azokat az eseteket, amikor a rendszer nem tudja feladatát ellátni.

4. lépés: Kritikus részegység kiválasztása;

Ennek a lépésnek az a célja, hogy kiválasszuk azokat a részegységeket, melyek potenciálisan kritikusak a 3. lépésben meghatározott funkcionális meghibásodás szempontjából. Ezeket nevezik **Funkcionálisan Fontos Részegységek**nek. A funkcionálisan fontos részegységeken kívül meg kell határozni azokat a részegységeket is, melyek magas meghibásodási rátával vagy javítási költséggel, rossz karbantarthatósággal, illetve hosszú pótalkatrész-beszerzési idővel rendelkeznek, vagy ha külső karbantartó személyzetet, szolgáltatót igényelnek. Ezeket

Kiemelkedő Karbantartási Költségű Részegységeknek nevezzük. A funkcionálisan fontos részegységek és a kiemelkedő karbantartási költségű részegységek alkotják együttesen a **Fontos Karbantartási Részegységeket**.

Összetett rendszerben formális megközelítésre lehet szükségünk a funkcionálisan fontos részegységek azonosítására. Az összetettség függvényében, fontossági rangsor is szükségessé válhat, amely hibafa elemzésen, megbízhatósági blokkdiagramon vagy a Monte-Carlo szimuláción alapszik.

5. lépés: Adatgyűjtés és elemzés;

A pontos, szakmailag megalapozott elemzéshez szükséges adatokat az alábbi három csoportba sorolhatjuk:

- tervezési adatok;
- üzemeltetési adatok;
- megbízhatósági adatok.

6. lépés: A hibamód és -hatás elemzés;

A lépés célja a 4. (kritikus részegység kiválasztása) lépésben meghatározott funkcionálisan fontos részegységek domináns hibamódjainak meghatározása.

7. lépés: Karbantartási eljárások kiválasztása;

Ebben a lépésben a 8.4. ábrán látható döntési logikai gráfot alkalmazzuk az elemzéshez egy kérdés–felelet folyamatban. A döntési logika bemenő adatai az előző lépésben kiválasztott domináns hibamódok. A fő kérdés mindegyik domináns meghibásodás esetén annak eldöntése, hogy a megelőző karbantartás alkalmazható és hatásos-e, vagy — ha nem — a meghibásodásig történő üzemeltetést alkalmazzuk.

8. lépés: A karbantartások közti intervallumok meghatározása;

A karbantartások közti optimális intervallum meghatározásához több fontos adat szükséges. Ehhez információra van szükségünk többek között a meghibásodási-ráta (kockázati-ráta) függvényéről, a meghibásodás következményeiről és költségeiről, a megelőző karbantartás költségéről és kockázatáról.

9. lépés: A megelőző karbantartás összehasonlító elemzése;

Az elemzés során két alapkritériumot alkalmazunk a karbantartási munkák kiválasztására. Mindegyik kiválasztott munkának két követelményt kell kielégíteni: legyen alkalmazható és hatékony.

Egy megelőző karbantartási munka alkalmazható, ha ki tudja küszöbölni a meghibásodást, vagy ha az elfogadható szint alá csökkenti bekövetkezésének valószínűségét, illetve csökkenti a meghibásodás hatását.

A költséghatékonyság egy olyan tulajdonság, hogy a munka nem drágább, mint az általa megelőzendő hiba vagy hibák költsége. Pontosabban, amikor egy feladat hatékonyságát becsüljük, a karbantartás végrehajtásának és végre nem hajtásának a költségét mérlegeljük.

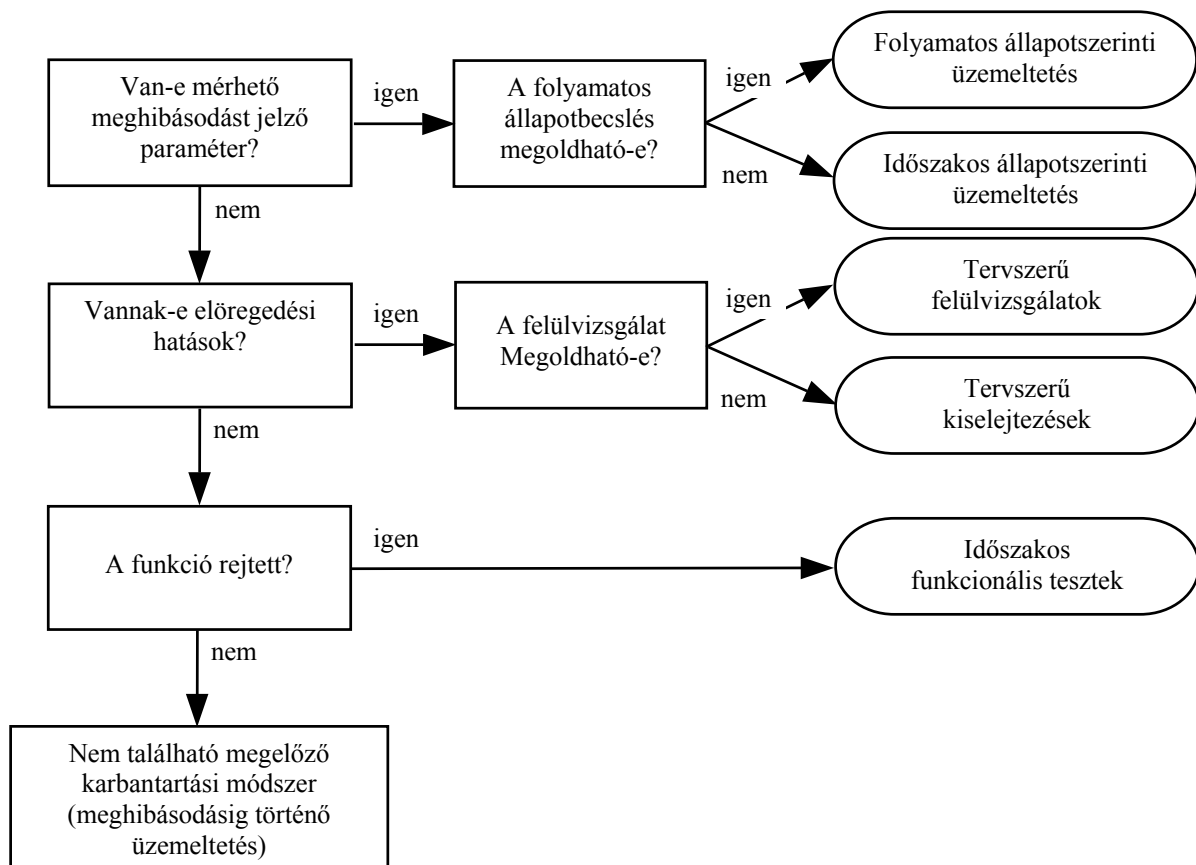
10. lépés: A Nem fontos karbantartási részegységek kezelése;

A 4. lépésben a kritikus részegységek további vizsgálatra kerültek. De, mit kell tennünk a nem elemzett részegységekkel? Karbantartási programmal már rendelkező üzemeltetési egységek esetén célszerű a már alkalmazott programot folytatni a **Nem Fontos Karbantartási Részegységekkel**. Ha valójában van ilyen program, azt a karbantartást a gyártó előírásaival összhangban kell elvégeznünk.

11. lépés: Végrehajtás:

Az elemzés végeredményének számító döntések végrehajtásához fontos alap, hogy a karbantartás szervezeti és technikai támogatása meglegyen. Ezért fontos kérdés annak biztosítása, hogy a fenti támogatást megfelelően biztosítjuk-e.

A tapasztalat azt mutatja, hogy számos baleset a karbantartás alatt vagy a nem megfelelő karbantartás miatt következik be. Egy karbantartási program végrehajtása során létfontosságú a hozzákapcsolódó kockázat kezelése.



8.4. ábra. Karbantartási feladatok kiválasztásának logikája

12. lépés: A végrehajtás közbeni adatgyűjtés és frissítés.

A tapasztalatok összegzése, a későbbi hasonló elemzések, illetve az adott karbantartási rendszer hatékonyságának fokozása érdekében szükséges az üzemeltetés, karbantartás alatti adatok egységes gyűjtése, feldolgozása és tárolása.

9. Kockázatkezelés az üzemfenntartásban

A szervezetek egyik alapvető célja a működési képességük legnagyobb szinten tartása. Ennek fontos eleme a személyek, technikai rendszerek és támogató eszközök megőrzése, veszélyek megelőzése és a veszteségek csökkentése. A kockázatkezelés hozzájárul a működőképesség megőrzéséhez, a veszélyekből származó minimális kockázattal, mely megegyezhet más költség, idő vagy feladatkövetelményekkel is. A kockázatkezelés alapvető célja a hatékonyság fenntartása minden szinten, megőrizve az erőket és eszközöket, megóvva a személyek egészségét. A veszteség csökkentésén túl, a kockázatkezelés egy logikai folyamatnak is tekinthető a befektetett idő, pénz és személyek legnagyobb visszatérülését biztosító lehetőségek azonosítása és kihasználása érdekében.

9.1. A kockázatkezelés elvei

→ Fogadd el a nem felesleges kockázatot.

A felesleges kockázat összemérhető visszatérülés nélkül jelentkezik a valós haszon és az elérhető előnyök feltételeiben. Minden feladat — így a napi rutin munkák is — kockázatot tartalmaznak. A leglogikusabb választás az, amely kielégíti a feladattal szembeni összes követelményt, miközben a személyeket és eszközöket a legkisebb mértékű kockázatnak teszi ki.

→ A döntést a megfelelő szinten hozd meg.

A megfelelő szinten hozott döntés biztosítja az egyértelmű felelősséget. Azokat, akik felelősek a feladat sikeréért (vagy kudarcáért), be kell vonni a kockázati döntéshozatal folyamatába. Kockázati döntést bárki hozhat, de a megfelelőnek csak az az egy személy tekinthető, aki képes meghatározni az eszközöket a kockázat csökkentésére vagy a veszély kiküszöbölésére, és aki végre tudja hajtani vagy közvetlenül hajtatni ezen csökkentéseket. Általában a vezető, aki felelős a feladat végrehajtásáért:

- felhatalmazott a tervezet feladat végrehajtására jellemző kockázati szint elfogadására;
- köteles jelenteni a döntéseket a következő szintre az irányítási láncban, ha számára elérhető eszközzel nem tudja az elfogadható szintre csökkenteni a kockázatot.

→ Fogadd el a kockázatot, ha az előny ellensúlyozza a befektetést.

Minden felismert előnyt össze kell vetni minden felismert befektetéssel. A kockázatok összemérési folyamata a lehetőségekkel és előnyökkel segíti a működőképesség legmagasabb szinten tartását. Még a nagyobb kockázatú törekvést is meg lehet érteni, amikor egyértelműen látható, hogy az előnyök összessége felülmúlja a befektetések összességét. A befektetések és az előnyök mérlegelése egy szubjektív folyamat is lehet. Az egyensúlyt a megfelelő döntési szintnek kell meghatározni.

→ Integráld a kockázatkezelést a tervezésbe minden szinten.

A kockázatkezelés hatékony alkalmazásához, a vezetőknek időt és forrást kell biztosítani a tervezési folyamatba kockázatkezelési elvek beépítésére. A kockázatkezelés mielőbbi tervezésbe való integrálása a legjobb lehetőséget biztosítja a kockázatkezelési elvek alkalmazására. A kockázatok meghatározni és csökkenteni a művelet tervezési szakaszában a legkönnyebb.

9.2. A kockázat kategóriái

A kockázat egy cselekvési változat lehetséges negatívan értékelt következményeinek teljes leírása, beleértve a következmények súlyának és bekövetkezésük valószínűségének mutatóit is.

A kockázat tudományos vizsgálata és kezelése századunkban kezdődött meg. A klasszikus szerencsejátékokkal kapcsolatban már a XVII. században voltak matematikai alapú kockázati megfontolások, melyek később a valószínűség-számítás kialakulásához vezettek. A kockázat különböző meghatározásaiban az a közös vonás található, hogy mindegyik a kockázatot elsősorban a bizonytalansággal hozza kapcsolatba. Például WILLET meghatározása „*a kockázat egy nemkívánatos esemény bekövetkezésének objektívalt bizonytalansága*”. KNIGHT definíciója „*a kockázat a mérhető bizonytalanság*”. DENENBURG, és mások felfogása szerint pedig: „*a kockázat a veszteség bizonytalansága*”.

A kockázatkezelés során hátránynak nevezzük a negatívan értékelt következményt. Ennek bekövetkezése — akár ténylegesen, akár egy feltevés szerint biztos — a kockázat, azaz a bizonytalan bekövetkezésű negatívan értékelt következmény.

Az előnynek tekintjük a biztosan bekövetkező pozitív értékelésű következményt. Az esély pedig a bizonytalan bekövetkezésű pozitív értékelésű következmény.

Következmény jellege	Biztos esemény ($P = 1$)	Lehetséges esemény ($0 \leq P \leq 1$)
Pozitív	előny	esély
Negatív	hátrány	kockázat

9.1. Táblázat. Az esély és a kockázat kapcsolata

A kockázat fogalmának előző meghatározásaiból kitűnik, hogy a kockázat olyan összetett fogalom, mely másik két alapfogalomra épül. Ezek az egy negatív értékelésű következmény mértéke és ennek bekövetkezési valószínűsége. E kettő alapfogalmat úgynevezett kemény (mennyiségi, statisztikai módszereket alkalmazó), illetve puha (szubjektív, egyéni intuíciókra épülő) módszerekkel tudjuk meghatározni.

Az objektív valószínűség az a szám, amely körül a relatív gyakoriság ingadozik, meghatározása statisztikai, valószínűség-számítási vagy kombinatorikai módszerekkel lehetséges. Ha valószínűségi becslésünket csak néhány megfigyelésre alapozzuk, vagy csupán sejtésünkre, megérzéseinkre, egyéni preferenciákra hagyatkozunk, akkor szubjektív valószínűségről beszélünk. E két véglet között helyezkedik el az úgynevezett szintetikus valószínűség. Egy esemény úgynevezett szintetikus valószínűségét nem közvetlenül mérjük, hanem modellezés vagy hasonló objektív valószínűségi rendszerek alapján becsüljük.

Más megfogalmazásban a valószínűség egy racionális hit fokának a mértéke. S ha ez a racionális hit statisztikai adatokon (relatív gyakoriságon) alapul, akkor azt objektív valószínűségnek nevezzük. Ha viszont megérzésekre épül, akkor szubjektív valószínűségről beszélünk.

Például az objektív valószínűségek (statisztikai) vizsgálata alapján jelenthetjük ki azt a tényt, hogy a légi közlekedés biztonságosabb a közútinál. Viszont több személy esetében a repüléstől való félelem fő okának a — saját megérzése alapján vélt — szubjektív valószínűség tűnik. A légi-közlekedési szakemberek, szakértők azonban a repülés veszélyességének társadalmi megítélését egy szintetikus valószínűségként elemzik.

Ha egy esemény következménye közvetlenül megfigyelhető és mérhető, továbbá értéke meghatározott és kifejezett, akkor objektív következményről beszélünk. Másik végletként,

mint szubjektív következmény, a döntéshozó személy számára egy kockázatos helyzetben a következmény értéke teljes mértékben a szóban forgó személy értékrendszerétől és a helyzettől függ. A fenti két határ között definiálhatjuk az úgynevezett megfigyelhető következmény értéket.

Bizonyos (például politikai vagy magánéleti) döntéseknél a várható előny vagy hátrány közvetlenül nem, vagy a valóságot egysíkúan tükröző módon tudjuk objektíven számszerűsítve értékelni. Ekkor csak szubjektív vagy megfigyelhető következményt vizsgálhatunk a kockázat kezelése, csökkentése során.

A valószínűség és a következmény kombinációja — de nem feltétlenül szorzata! — határozza meg a kockázatot. Az objektív valószínűség—objektív következmény párosítás az objektív kockázat. A legtöbb kockázatra vonatkozó vizsgálat és kutatás napjainkban erre a területre esik, mivel viszonylag ez a legkönnyebben átlátható és kezelhető terület. Ez a kockázat az úgynevezett kemény módszerekkel határozható meg.

A szintetizált valószínűségek és a megfigyelhető következmények adják a modellezett kockázatnak nevezett területet. Ekkor a modell közvetlenül nem figyelhető meg, hanem a modell és a valóság megfelelőségének mértéke adja meg használhatóságát. A modellezés értékeléssel és becsléssel is megvalósítható. A többi kockázati terület a szubjektív kockázat csoportjába tartozik, mert vagy egyik, vagy mindkét összetevője szubjektív.

A mennyiségi kockázatfelfogás esetén csak az objektív valószínűséget és az objektív következményt vizsgáljuk és azok alapján határozzuk meg a — szintén objektív — számszerűsített kockázatot. A mennyiségi kockázatfelfogás legsúlyosabb hibájának az tekinthető, hogy a kockázatot az emberi döntések összefüggés-rendszerétől függetlenül vizsgálja. Az emberi, szubjektív vetület figyelembe vétele elkerülhetetlen, mivel az emberi cselekvések és az ezt megelőző döntések során az észlelt valóság a realitás, még akkor is, ha az észlelés teljesen torzított.

A klasszikus tudományterületeken végzett kísérletek és empirikus mérések elsősorban az objektív kockázatra irányultak, de az utóbbi években előtérbe került a szintetikus valószínűségek tanulmányozása, a viselkedéstudományok pedig az objektív következményekkel szemben a megfigyelhető következményekre irányították rá a figyelmet.

Valószínűség	Következmény		
	objektív	megfigyelhető	szubjektív
Objektív	objektív kockázat	modellezett kockázat (értékelés)	szubjektív kockázat (értékelés)
Szintetikus	Modellezett kockázat (becslés)	modellezett kockázat	szubjektív kockázat
Szubjektív	Szubjektív kockázat (becslés)	szubjektív kockázat (becslés)	szubjektív kockázat

9.2. Táblázat. A szubjektív, a modellezett és az objektív kockázat

Az emberek hétköznapi döntéseiket a szubjektív kockázat-becslésekre alapozzák, s nem pedig az objektívekre. Ezért a kockázat területén a szubjektív kockázatbecslések jelentik a realitást. Ha ezeket közelebb kívánjuk hozni az objektív kockázati mértékekhez, akkor vagy rá kell nevelni az embereket az objektív kockázatra, vagy pedig szubjektív becsléseiket és értékeléseiket kell kifejezettebbé és láthatóbbá tenni.

A következmények mértékét értékeléssel állapítjuk meg, ami mindenképpen egy szubjektív folyamat. Ezért szükséges meghatározni azokat a szempontokat, tényezőket, amelyek a meghatározást végzőket a kockázat következményeinek megítélésében befolyásolják. Ezek a tényezők a kockázat vállalójának a kockázattal, illetve az értékelővel való idő-, és térbeli, valamint társadalmi kapcsolatai. A tanulmány további részében ezen fenti főbb szempontokat vizsgáljuk meg.

A kockázatviselő helyzetét figyelembe véve a kockázatot az alábbiak szerint jellemezhetjük:

Az önkéntes kockázat vállalója a kockázatot bizonyos előnyök ellenében vállalja. A nem önkéntes kockázat esetében viszont a kockázat anélkül hárul a kockázatviselőre, hogy részéről az előnyök megítélése megtörtént-e.

Méltányosnak tekinthetjük azt a kockázatot, ha a kockázat viselője közvetlenül részesül a szóban forgó kockázatos alternatívákhoz kapcsolódó előnyökből is. Méltánytalan kockázatról akkor beszélünk, ha a kockázat viselője nem élvez közvetlenül a kockázat vállalásából származó előnyöket.

Informáltsági osztály	A kockázatviselő közvetlen előnyhöz jut	A kockázatviselő nem jut közvetlen előnyhöz
Ismert (nyílt) kockázat	Informált, méltányos kockázat	Informált, méltánytalan kockázat
Rejtett ismeretlen kockázat	Megtévesztő, méltányos kockázat	Kihasznált, méltánytalan kockázat
Hozzáférhető ismeretlen kockázat	Gondatlan, méltányos kockázat	Gondatlan, méltánytalan kockázat
Nem hozzáférhető ismeretlen kockázat	Ismeretlen, méltányos kockázat	Ismeretlen, méltánytalan kockázat

9.3. Táblázat. Méltányos és méltánytalan kockázatok

Az informáltság-mértéke alapján négy kockázati osztályt határozhatunk meg:

→ Ismert kockázat;

A kockázatviselő a kockázatot teljes mértékben ismeri, a kockázatviselőt tájékoztatják vagy maga tájékozódik a végrehajtandó feladat kockázataról és azt annak tudatában - de nem biztos, hogy önként - hajtja végre.

→ Rejtett ismeretlen kockázat (a kockázati információt visszatartják);

Ebben az esetben a kockázatviselő jóhiszeműségét vagy alulinformáltságát használják ki és tudatosan nem közlik vele a várható kockázatot.

→ Hozzáférhető ismeretlen kockázat;

A kockázati információ nyíltan hozzáférhető, de a kockázatviselő nem tesz semmiféle kísérletet ennek megismerésére. Ezen kockázati osztállyal kapcsolatban jelen sorok írójának azon emberek példája jut eszébe, akik a csernobili mentés során kérték az orvosokat, engedjék őket újabb műszakra (mert jól lehet keresni), mintsem érdeklődve a radioaktív sugárzás káros hatása után.

→ Nem hozzáférhető ismeretlen kockázat.

Hozzáférhető vagy ismert információ hiánya esetén beszélhetünk a nem azonosított

kockázatról. Ekkor csak a hátránnyal járó esemény (például egy katasztrófa) bekövetkezése bekövetkezésekor szerzünk csak tudomást a kiváltó okra vagy okokra.

Ha az előnyökben való részesülést és az informáltság mértékét kombináljuk, akkor nyolc kockázati kategóriát kapunk.

Az endogén (belső eredetű) kockázat esetében az alternatívák közötti választás kizárólag a kockázatviselőtől függ. Az egyéni választási helyzetek közötti megkülönböztetést az alapján tehetjük meg, hogy ki részesül a tevékenység — melynek kockázati terhe a kockázatviselőre hárul — közvetlen előnyeiből:

- A kockázatviselő részesül a közvetlen előnyökből;
- Meghatározott személyek részesülnek a közvetlen előnyökből;
- Sem a kockázatviselő, sem meghatározott más személyek nem részesülnek a közvetlen előnyökből.

Az exogén (külső eredetű) kockázatról akkor beszélünk, ha az alternatívák közötti választás nem egyedül a kockázatviselőtől függ. Exogén kockázat négy módon keletkezhet:

- A kockázat rendelet, parancs vagy mások egyoldalú cselekedetének következménye;
- A kockázatot legális folyamat generálja és a kockázatviselőnek, mint egyénnek, nincs lehetősége közvetlen kiegészítő megoldásra;
- A kockázatot legális folyamat generálja, de a kockázatviselőnek, mint egyénnek van lehetősége közvetlen kiegészítő megoldásra;
- A kockázat természeti okok és elfogadott kulturális akcióból ered.

Az olyan kockázatok, melyekre vonatkozóan az információk szándékosan visszatartják, mindig nem önkéntes kockázatnak minősülnek. Az exogén kockázatok az összes méltányos esetben önkéntesnek minősülnek. Az összes többi kockázat nem önkéntes.

A következmények értékelésében az időtényező jelentős szerepet játszik. A jelenlegi, illetve azonnali előnyöknek nagyobb az értéke, mint az ugyanolyan értékű későbbieknek. Fordított előjellel ugyanez mondható el a hátrányokról is, azaz a jelenlegi illetve azonnali hátrányokat, veszteségeket súlyosabbnak tekintjük, mint a később keletkezőket.

A fenti megfogalmazásra a legegyszerűbb példának a hallgatók bukástól való félelme. A vizsga közeledtével egyre erősebbé válik a bukás (szubjektív) kockázata, pedig ha nem tanulnak, annak objektív kockázata már a szemeszter első hetében adottá válik.

Lehetséges, hogy a kockázat mértékének meghatározásakor vallott értékek radikálisan meg is változhatnak egy meghatározatlan későbbi időpontban.

A következmények megítélését a térbeli távolság is befolyásolja. A kockázat térbeli megítélése a kockázat eloszlását három vetületben jeleníthetjük meg:

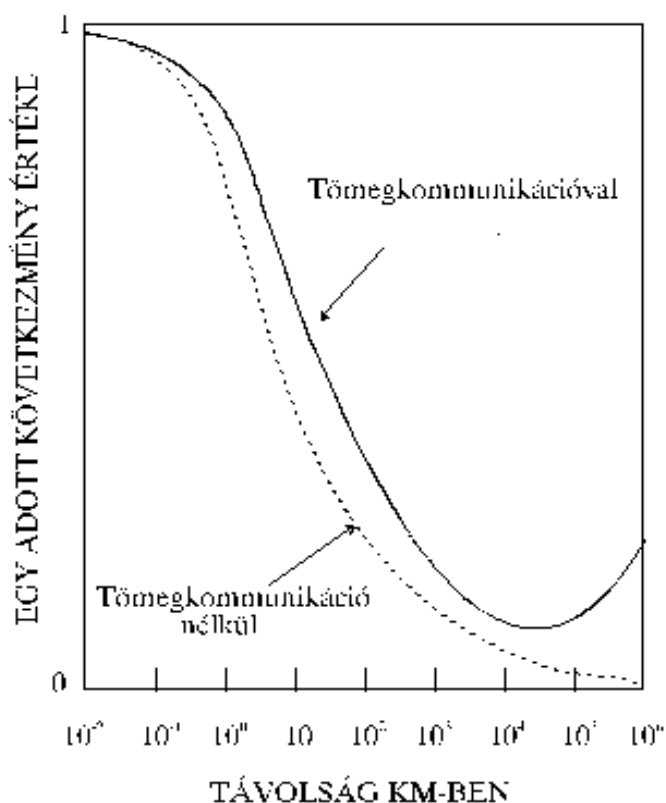
- a földrajzi eloszlás;
- a kockázatviselők azonosítása;
- a kockázat szóródása.

E vetületek hatásait tekintve nem szükségképpen függetlenek egymástól.

A szubjektív módon meghatározott következmény értéke a földrajzi távolság növekedésével csökken. Általában kevésbé vagyunk érzékenyek a tőlünk távolabb, más kontinensen történő katasztrófákkal vagy helyi háborúkkal szemben. Gondoljunk csak bele, hogy miként vélekedünk (vélekedtünk) az afganisztáni, illetve dél-szláv polgárháborúkról.

A földrajzi kockázat-eloszlást nem lehet teljesen elválasztani a kockázatviselő(k) azonosításának problémájától.

Természetesen a tömegkommunikáció is “rövidítheti” a távolságot. Napjainkban a műholdas televízió csatornák élő adásban tudósítanak a különféle helyi konfliktusokról, katasztrófákról. (Mint például a CNN tette ezt az Öböl-háború során, mikor egyenes adásban közvetítette a bombázók felszállását a repülőgép-anyahajókról, majd ugyancsak élő adásban Bagdad bombázását is.) Ezek a közvetítések növelik a nézők félelmét, azaz az általuk becsült szubjektív kockázat mértékét. Ezt a politikai és felsőbb katonai döntéshozóknak figyelembe kell venniük. A fenti két következmény megítélési tendenciáit szemlélteti — jellegre — a 9.1. ábra.



9.1. ábra. A földrajzi távolság hatása a következmény értékelésére

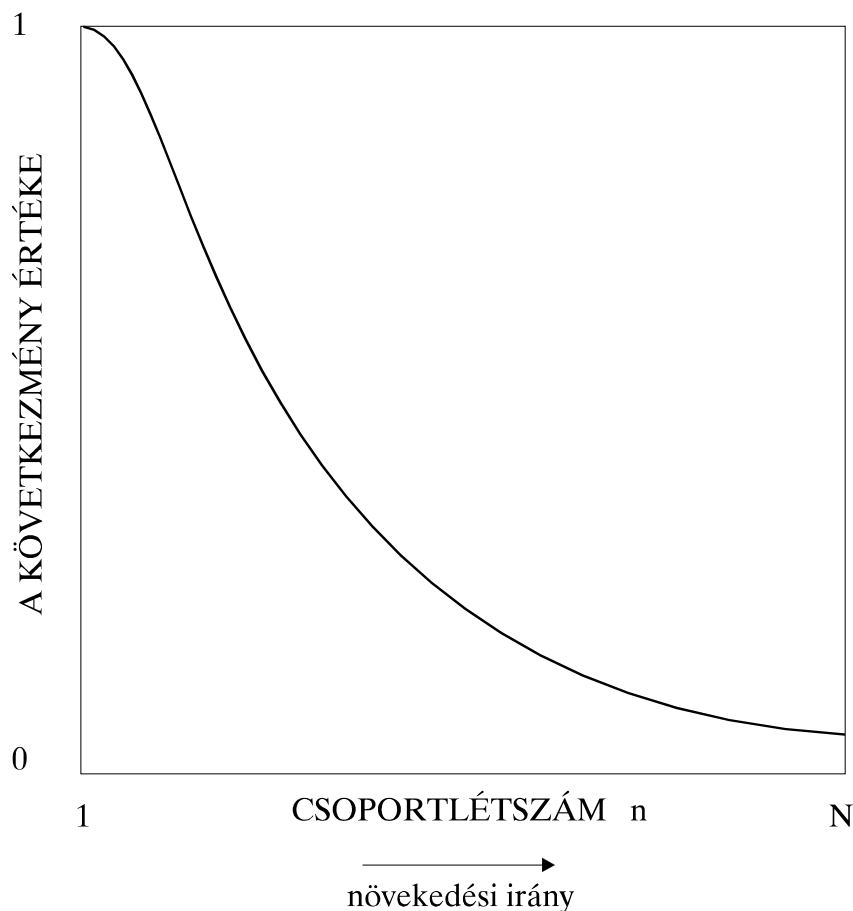
A több embert érintő, úgynevezett populációs szintű kockázat, az esetek óriási többségében személytelenített jellegű, azaz pontosabban szólva: nem azonosított személyeket, csoportokat érint.

Például egy meghatározott személy vagy személyek halálának kockázatát nagyobb súlyúnak értékeljük, mint ha ugyanakkora valószínűséggel azonosítás nélkül adnánk meg a halál ugyanolyan kockázatát valamilyen csoportra.

Ez a megkülönböztető jellemzés azonban nemcsak az egészségügyi, hanem bármilyen kockázatra érvényes. A 9.2. ábrán egyetlen azonosítható személy esetén egy adott következmény értéke egységnyi. Ha azonban a következmény egy n tagú csoport egy tagját érinti, a csoport nagyságának növekedésével a következmény értéke egyre csökken.

Könnyen beláthatjuk, hogy más embereket is érintő következmények megítélése, mások érdekeinek és értékeinek figyelembe vétele (vagy mellőzése) nem elhanyagolható etikai kérdéseket vet fel.

Érdekes tendenciákat tapasztalhatunk, ha a kockázatviselő társadalmi távolságának hatását a következmény értékelőjétől. Ekkor ugyanis jelentős szórás mutatkozik a kockázat megítélésében.



9.2. ábra. A csoportlétszám hatása a következmény értékelésére

Az értékek ingadozását is ábrázolhatjuk társadalmi távolság függvényében. Fontos itt megjegyeznünk, hogy az egyes csoportok egymáshoz viszonyított helyzete társadalmanként változhat, bár valószínű, hogy az első négy csoport helyzete minden társadalomban és kultúrkörben azonosnak tekinthetjük, vagyis az egyéni kockázatviselő szempontjából tekintett preferencia-sorrend: saját maga — szerettei — barátai — osztálya (társadalmi rétege, csoportja).

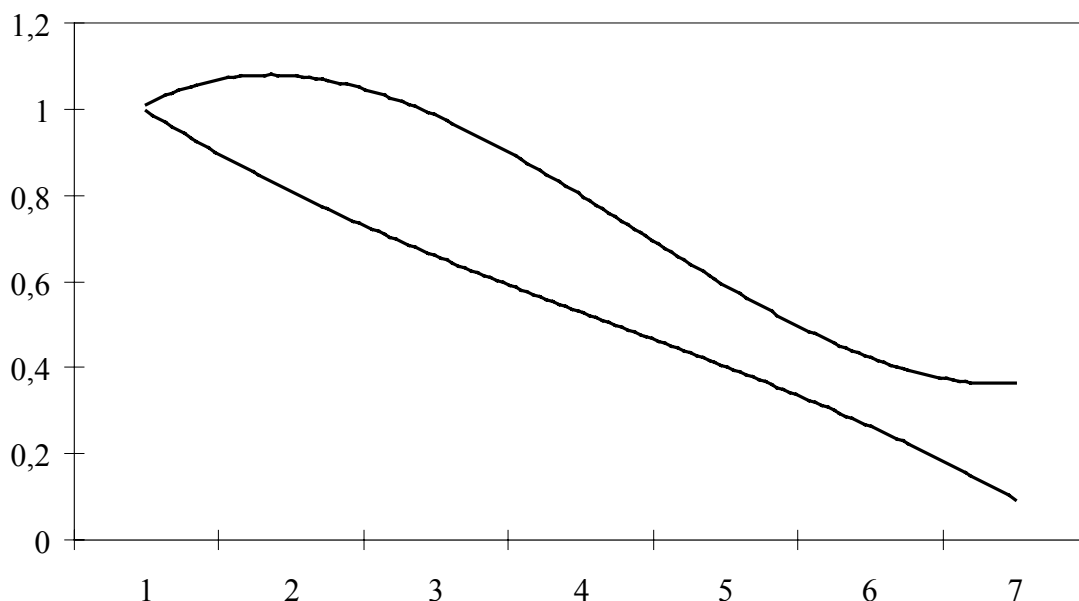
Lehetséges, hogy a kockázatviselő „közelében” nagyobb mértékűnek ítélik meg a következményt vagy a kockázatot, mint maga az érintett személy. Ehhez legkézenfekvőbb példának az unokájáért aggódó nagymamák tűnnek.

A társadalmi távolság további növekedésével természetesen már csökken a megítélt következmény mértéke és szórása is.

A kockázatelmélet és ezen belül most a kockázatok kategóriáinak bemutatása világossá teszi azt is, hogy a konkrét, egyedi kockázatok kezelésére nem adhatók meg általános eljárási receptek, eljárások, de ezeket mindig átfogó elméleti és módszertani ismeretek alapján kell kezelni.

Jelen sorok írójának meggyőződése, hogy a tisztán kemény, úgynevezett objektív eljárások alkalmazása nem engedhető meg, mert azok a kockázatot az emberi döntések összefüggés-rendszerétől függetlenül vizsgálják. Az emberi, szubjektív vetület figyelembe vétele pedig elkerülhetetlen, mivel a legfőbb kockázatviselő maga az ember, illetve az emberi cselekvések és az ezeket megelőző döntések során az észlelt valóság a realitás, még akkor is, ha az észlelés teljesen torzított.

a következmény
értéke



9.3. ábra. A társadalmi távolság lehetséges hatásai a következmény értékelésére

- 1 — a kockázatviselő(k);
- 2 — a kockázatviselő(k) hozzátartozói;
- 3 — a kockázatviselő(k) barátai;
- 4 — a kockázatviselő(k) csoportja;
- 5 — más, hasonló érdekű csoportok;
- 6 — a társadalom;
- 7 — ellentétes érdekű csoportok.

9.3. A kockázatkezelés folyamata

I. A veszély azonosítása

Ebben a fázisban azokat a valós, vélt vagy potenciális helyzeteket, lehetőségeket határozzuk meg, melyek károsan befolyásolhatják az adott feladat végrehajtását, a résztvevő személyek egészségét vagy a felhasznált technikai eszközök műszaki állapotát.

1. lépés: A feladat elemzése

Az éppen folyamatban lévő, vagy a tervezett műveletek áttekintésével végezzük el az elemzést úgy, hogy leírjuk a feladatot. A végrehajtásért felelős vezető meghatározza a feladat megoldásához szükséges eszközöket és a hozzájuk kapcsolódó feltételeket. Célszerű létrehozunk egy listát vagy grafikont a művelet főbb fázisairól, illetve a munkafolyamat lépéseiről, a tervezett körülmények közötti időrendben. Ha lehet, a műveletet "bit-méretű" darabokra célszerű felosztanunk.

2. lépés: A veszélyek jegyzékének összeállítása

A munkafolyamat előző lépésben meghatározott fázisainak, mozzanatainak szakmai elemzésével meghatározzuk a szóba jöhető veszélyeket. Listát kell készítenünk azon

veszélyekről, melyek a művelet valamely fázisához vagy a munkafolyamat valamely lépéséhez kapcsolódnak — lehetőleg a tervezett idősorrendben. Arra kell koncentrálnunk, hogy a műveleten belüli speciális lépések elemzésre kerüljenek. A veszélyek listájának összeállítására az alábbi módszereket alkalmazhatjuk:

- előzetes veszély-analízis;
- változás-analízis;
- ötletbörze (brain storming);
- "Mi van, ha?" - elemzés;
- különféle logikai diagramok.

3. lépés: Okok listázása

Azon okok listáját kell összeállítanunk, melyek kapcsolódnak az előző lépésben meghatározott veszélyekhez. Egy veszély több kapcsolódó okkal is bírhat. Mindegyik esetben törekedni kell az alapvető ok, amely az eseménylánc első eleme, meghatározására. A későbbi kockázatcsökkentés leghatásosabban az alapvető okra alkalmazható. Az okokat kommentálnunk kell a hozzájuk kapcsolódó veszélyekkel együtt, a fenti lépésnél említett adatbázissal analóg módon. A javasolt eszközök, módszerek megegyeznek a veszélyek listájának készítésénél már ajánlottakkal.

4. lépés: Stratégiai veszély-meghatározási technikák alkalmazása

Ha az idő és a lehetőségek megengedik, vagy a járulékos veszélyinformációk megkövetelik, stratégiai veszély-meghatározási technikákat célszerű használnunk. Ezeket általában közép vagy hosszú távú tervezésre, komplex, vagy olyan műveletek esetén használjuk, amikor számunkra nem egyértelműen ismertek a kockázatok. A stratégiai elemzés első lépése a meglévő adatok, vagy rendelkezésre álló, történelmi és veszélyinformációk vizsgálata, amelyek a feladatot érintik. Ajánlott eszközök:

- adatbázis-analízis;
- történelmi információk elemzése;
- ok-okozat diagramok;
- logikai fa-diagramok.

Komplex koordinált műveletekhez különösen azokat az eszközöket használhatjuk, melyek többszörös egységeket, résztvevőket, rendszerkomponenseket és egyidejű eseményeket vizsgálnak. Számos eszköz található, amely segíthet a veszélyek azonosításában, mint például:

- baleseti riportok;

Ezeket megkaphatjuk az adott szervezettől, a vezetési lánc valamely tagjától vagy a láncon kívüliektől. Más források lehetnek orvosi, üzemeltetési adatok, valamint tűzvédelmi és rendőrségi jelentések.

- felmérések;

Ezeket a szervezeti egységek maguk is elvégezhetik. A meghallgatásnak és a kikérdezésnek a célja néhány olyan nagyon egyszerű kérdés feltétele és a kapott válaszok statisztikai kiértékelése, mint:

- mi lesz a következő balesetet?
- kivel történik meg?
- melyik feladat okozza ezt?
- mikor fog bekövetkezni?

Az ilyen jellegű felmérés hatásos eszköz lehet, mert az adott munkahelyen lévő szakemberek ki nem mondott — szavakba nem önthető, indirekt — tapasztalati véleményének összegzését adja. Gyakran az “első vonalbeli”, ugyanazon a munkahelyen dolgozó felügyelő, felelős nem rendelkezhet olyan jó gondolattal a kockázat megértéséhez, mint azok a szakemberek, akik naponta érzékelik a munkatársaik tevékenységét és konfrontálódnak a feladatokhoz tartozó kockázatokkal.

II. A kockázat becslése

A becslés során kvantitatív és kvalitatív módszereket alkalmazva állapítjuk meg egy adott veszélyhez kapcsolódó kockázat mértékét. A becslés célja determinálni egy baleset vagy kudarc bekövetkezésének valószínűségét és súlyosságát, valamint meghatározni a személyek vagy eszközök adott veszélynek való kitettségét. Lépései:

1. lépés: A veszélyeztetettség becslése

Felmérések, vizsgálatok, megfigyelések és más technikák segítenek meghatározni és rögzíteni az adott veszélynek való kitettség szintjét. A kitettséget kifejezhetjük az idő, a közelség, az erősség, vagy az ismétlődés mértékével.

2. lépés: A súlyosság becslése

Ebben a lépésben kell meghatározni a veszély súlyosságát, annak potenciális hatását a személyekre, az eszközökre, vagy magára a feladat végrehajtására. Ok és okozat diagramok, forgatókönyvek és "Mi van, ha?" elemzések a legjobb eszközök a veszély súlyosságának becslésére. A súlyosságbebecslés alapulhat a várható legrosszabb lehetséges kimenetelre. A súlyossági kategóriákat a legrosszabb kimenetel kvalitatív mértékeként határozhatjuk meg, mely valamilyen személyi hiba, környezeti körülmény, tervezési pontatlanság, eljárási hiányosság, illetve rendszer-, alrendszer-, komponens hiba, hibás működés vagy működtetés következménye. A 9.4. Táblázat súlyossági kategóriái a rendszerek és feladatok széles választékához adhatnak útmutatást.

Katasztrófikus	A teljes feladat kudarca, halál vagy a rendszer elvesztése.
Kritikus	Jelentős feladat-erózió, erős károsodás, foglalkozási megbetegedés vagy nagy mérvű rendszerkárosodás.
Csekély	Kismértékű feladat-erózió, károsodás, kismértékű foglalkozási megbetegedés, vagy rendszerkárosodás.
Elhanyagolható	A fentieknél kisebb mérvű feladat-erózió, károsodás, foglalkozási megbetegedés, vagy rendszerkárosodás.

9.4. Táblázat. Súlyossági kategóriák

Természetesen, a fentieknél árnyaltabb vagy más fogalmakat felhasználó súlyossági skála is alkalmazható, de csak az úgynevezett objektív következménybecslés esetén.

3. lépés: A veszély valószínűségének becslése

Azon okok bekövetkezésének valószínűségét kell meghatározni, amelyek az előző lépésben meghatározott súlyosságú kudarcot, vagy veszteséget okozhatnak. Egy adott kudarc valószínűsége arányos a veszélyhez tartozó meghatározott okok összegzett valószínűségével. A valószínűséget meghatározhatjuk becsléssel (úgynevezett lágy módszerekkel), vagy matematikai statisztikai (úgynevezett kemény) módszerekkel, ha az utóbbihoz kellő számú

adattal rendelkezünk. Egy veszély valószínűségének kvantitatív becslése egy új feladat vagy rendszer estén nem lehetséges a korai tervezési folyamat során. Egy adott veszély valószínűsége kvalitatív módszerekkel levezethető kutatásból, elemzésből, vagy egyszerűbb feladatok végrehajtásából vagy rendszerekből származó korábbi adatok kiértékelésével. Egy tipikus kudarcsorozat jóval bonyolultabb, mint egy felállított dominó sor, ahol az első dominó (a veszély) meglökése egy tisztán látható reakciósorozatot okoz. A valószínűségbecslést, dokumentálni célszerű egy jövőbeli referenciához. A 9.5. Táblázatban megadott, általánosan elfogadott definíciókat alkalmazhatjuk a kudarcc valószínűségnek meghatározásához.

	Gyakori	Valószínű	Eseti	Ritka	Valószínűtlen
Egyén	gyakran fordul elő az életpályája során	többször előfordul az életpályája során	előfordul az életpályája során	nem valószínű, hogy előfordulhat	nem valószínű, bár bekövetkezhet az életpályája során
Teljes állomány	folyamatosan tapasztalt	többször tapasztalt	szórványosan fordul elő	ritkán fordul elő	nagyon ritkán fordul elő
Egy Gép	gyakran fordul elő a gép életciklusa során	többször fordul elő a gép életciklusa során	előfordul a gép teljes életciklusa során	nem valószínű, de előfordulhat a gép életciklusa során	annyi valószínűtlen, hogy az feltételezhető, hogy nem következik be az adott gép életciklusa során
Teljes gépark	folyamatosan tapasztalt	gyakran tapasztalt	többször előfordul az teljes rendszer életciklusa során	nem valószínű, de várható az előfordulása	nem valószínű, bár bekövetkezhet a teljes rendszer életciklusa során

9.5. Táblázat Valószínűségi kategóriák

Objektív becslés esetén a valószínűség megadása — Kolmogorov alapján — a $[0;1]$ intervallum valamely értékével.

4. lépés: Teljes kockázat becslése

Az összegzett súlyosság- és valószínűségbecslések alapján végezzük el a kockázatbecslést minden veszély esetére. A bekövetkezési valószínűséget kombinálva a súlyossággal, egy mátrixot hozunk létre, amellyel meghatározzuk a Kockázatbecslési Indexet (RAI — Risk Assessment Index). A kockázatbecslési indexek alapot biztosítanak a véleményalkotáshoz, mind a kockázat elfogadhatóságáról, mind a menedzsment azon szintjéről, ahol a kockázatkezelési döntést meg kell hozni.

A súlyosság-, valószínűség- és kockázatbecslést rögzítenünk kell az esetleges jövőbeli elemzések céljából. A létrejövő adatbázis, a kockázatbecslési index mátrixok, vagy tapasztalt szakemberek által meghatározott veszélyességi táblázatok felhasználhatók a későbbi teljes kockázatbecslési munkáink alkalmával.

A súlyosság és a valószínűség becslése során bemutatott példák alapján a 9.5. Táblázat

egy lehetséges kockázatbecslési mátrixot mutat be.

Természetesen, az előző lépések megoldása során használt fogalmak, kategóriák és skálarendszerek függvényében más kockázatbecslési mátrixot is szerkeszthetünk.

Fontos megjegyeznünk, hogy a kockázatot a súlyosság/kitettség és a veszély valószínűségének valamilyen kombinációjaként — de, nem feltétlen azok szorzataként — határozhatjuk meg.

Súlyosság	Valószínűség				
	Gyakori	Valószínű	Eseti	Ritka	Valószínűtlen
Katasztrofális					
Kritikus					
Csekély					
Elhanyagolható					

9.6. Táblázat. Kockázatbecslési mátrix

Kockázati szintek (Kockázatbecslési Indexek):



Nagyon magas;
Magas;
Közepes;
Alacsony.

III. Csökkentési intézkedések elemzése

Ez a fázis azon stratégiák, és eszközök vizsgálatát jelenti, amelyek csökkentik, mérséklük, elkerülik vagy kiküszöbölik a kockázatot. A hatékony intézkedések a kockázat három összetevőjének (valószínűség, súlyosság vagy kitettség) valamelyikét vagy mindegyikét redukálják.

1. lépés: A csökkentési lehetőségek meghatározása

A II. fázisban meghatározott legnagyobb kockázatú veszélyekkel kezdve, a lehető legtöbb csökkentési lehetőséget kell meghatározni az összes olyan veszély esetén, melyek a megengedhetőnél nagyobb kockázatot okoznak vagy okozhatnak. Az I. fázisból származó lehetséges esetek listáját felhasználhatjuk a csökkentési elképzelések meghatározásához. A kockázatcsökkentési lehetőségek magukba foglalják az elkerülést, a csökkentést, az elosztást és az áthárítást. A kockázatelkerülés megkövetelheti a munka, a feladat, illetve a művelet törlését, vagy késleltetését is, bár ez egy olyan lehetőség, amely ritkán alkalmazható fontos feladat esetén. Ez alkalmas lehet speciális kockázatok elkerülésére is.

A kockázatot eloszthatjuk a kitettség szakasz csökkentésével vagy a kitettséget okozó események közti idő növelésével.

A kockázat áthárítása nem változtatja meg annak valószínűségét vagy súlyosságát, noha a lehetséges veszteséget és kitettségeket áthárítja más tényezőkre.

2. lépés: A csökkentési hatások meghatározása

Meg kell határozni az összes lehetséges csökkentésnek a veszélyhez kapcsolódó kockázatra gyakorolt hatását. A súlyosság és/vagy a valószínűség, csökkentési intézkedések végrehajtása utáni becsült értékeit és a teljes kockázatban fellépő változást a Kockázatbecslési Index-hez képest kell rögzíteni.

3. lépés: A kockázatcsökkentések rangsorolása

Mindegyik veszély esetén azokat a kockázatcsökkentéseket kell rangsorolnunk, melyek a kockázatokat az elfogadható szint alá tudjuk redukálni. A legjobb csökkentések a feladat céljaival és a felhasználható források (emberi erők, anyagok, eszközök, pénz és idő) optimális alkalmazásával egyeznek meg. A prioritásokat valamilyen egységes formában kell rögzítenünk a jövőbeni referencia érdekében. Ha a csökkentést már végrehajtottuk, azt dokumentálnunk kell.

A kockázatcsökkentési módok fenti sorrendje megmutatja a „minimális kockázatra való tervezés” elvi lépéseit a biztonsági eszközök hozzáadása vagy az eljárás megváltoztatása érdekében.

A lehetséges alternatívákat kell kidolgoznunk a feladat teljesítés, a pénz és a megmaradt kockázat vagy kitétség fogalmaiban, mértékeiben kifejezve, mérlegelve azok kiadásait és a várható nyereségeit. A teljes kockázatbecslés során tisztán kell meghatározni ezeket a lehetőségeket a döntéshozók számára.

IV. Csökkentési döntéshozatal

A felelős döntéshozó választja ki az alkalmazásra kerülő csökkentési feltételeket az összes lehetséges lehetőségről történt tájékoztatás után. Ez egy logikai döntés, a kockázatkezelési folyamat következő fázisa. A döntést a veszélyek, és annak tudatában kell meghozni, hogy mennyire fontos a veszély csökkentése a feladat sikere vagy kudarca szempontjából.

Csökkentési döntés meghozatalakor szem előtt kell tartani a döntéshozónak a csökkenő hozadék törvényét. Van egy pont, amelyen túl nem kifizetődő tovább folytatni az alkalmazott csökkentési intézkedéseket a csökkentett kockázatban mért járulékos visszatérülés miatt.

1. lépés: A kockázatcsökkentések kiválasztása

A meghatározott veszélyekhez ki kell választani azokat a kockázatcsökkentéseket, melyek az elfogadható szintre vagy az alá fogják csökkenteni a kockázatot. A legjobb csökkentések megegyeznek a feladat céljaival és a felhasználható források (emberi erő, anyag, eszközök, pénz és idő) optimális alkalmazásával. A végrehajtási döntéseket rögzítenünk kell valamilyen egységes formában a jövőbeni referencia érdekében. A menedzsmentnek meg kell határoznia azt a kockázati mértéket, amely túl nagy az elfogadáshoz, illetve dönteni kell a kockázati döntés magasabb döntéshozatali szintnek történő átadásáról.

2. lépés: Döntéshozatal

A művelethez tartozó kockázati szintet a javasolt csökkentésekkel együtt kell elemeznie a döntéshozónak. Határozatot kell hozni, ha a művelet előnyei meghaladják a művelet adta kockázati szintet. Feltétlen meg kell fontolni a veszélyekből adódó halmozott kockázatot és annak a hosszú távú következményeit. Amikor a döntés megszületett a kockázatcsökkentésről, a döntés részeit képező tényezőket rögzítenünk kell. A dokumentálás fontos a későbbi vezetők és menedzsment számára a kockázathoz tartozó veszély enyhítéséhez vagy elfogadásához szükséges lépésekhez. Ez főleg a VI. fázis (Ellenőrzés és számvetés) sikere szempontjából lesz kritikus.

Ha a befektetések nagyobbak az előnyöknél, a csökkentési feltételeket újra meg kell vizsgálnunk. Vannak-e alkalmazható új vagy módosított csökkentési lehetőségek? Ha nem tudunk további csökkentéseket meghatározni, jelentenünk kell a vezetési lánc következő szintjének, hogy a kiértékelés alapján a feladat kockázata túlszárnyalja az előnyöket.

Ha a feladatból származó nyereség nagyobb a kockázatnál a jelenlegi csökkentésekkel, és ha ezek a csökkentések mindegyike végrehajtható a döntéshozó szintjén, dönteni kell. Ha a

csökkentések nem lehetségesek, jeleznünk kell az irányítási láncban a szükséges támogatás érdekében.

Abban az esetben, amikor a kockázat nagyobb a nyereségnél, a vezetési lánc következő szintje vagy segít a szükséges csökkentések végrehajtásában, a feladat módosításával, esetleg törli a feladatot, vagy elfogadja az általunk jelzett kockázati szintet.

V. A kockázatcsökkentések végrehajtása

Mihelyt a kockázatcsökkentési döntéseket meghoztuk, elérhetővé kell tennünk a kiválasztott csökkentések végrehajtásához szükséges eszközöket. A végrehajtási intézkedések része a rendszerhez tartozó személyek tájékoztatása a kockázatkezelési folyamat várható eredményeiről és későbbi döntésekről.

1. lépés: A végrehajtás tisztázása

Meg kell határoznunk a kiválasztott kockázatcsökkentési stratégiák gyakorlati végrehajtási módját. Ekkor figyelembe kell vennünk az adott feladat és kockázatkezelési folyamat végrehajtásának minden sajátosságát.

2. lépés: A felelősség megállapítása

A felelősség meghatározása fontos területe a kockázatkezelésnek. A felelős az az egy személy, aki a döntést hozza (jóváhagyja a csökkentési intézkedéseket), ezért a döntési joggal bíró személynek (a megfelelő vezetői szintnek) kell meghoznia a döntést. Szintén tisztázni kell, hogy mely személyek lesznek a felelősök a részfeladatok végrehajtásért.

3. lépés: A támogatás biztosítása

Gondoskodnunk kell a csökkentési intézkedések végrehajtásához szükséges személyekről és eszközökről, továbbá meg kell határoznunk egy visszacsatoló mechanizmust is, amely információt biztosít a döntéshozónak, hogy vajon a csökkentési intézkedés eléri-e a tervezett célt.

VI. Ellenőrzés és számvetés

A kockázatkezelés egy olyan folyamat, amely a rendszer, a feladat vagy a tevékenység teljes életciklusában folytatódik. Mihelyt a csökkentési döntéshozatal fázisban kiválasztott stratégiát végrehajtják a végrehajtás fázisban, a folyamatot alaposan kell elemeznünk, a későbbi hatékonyabb alkalmazás érdekében.

1. lépés: Ellenőrzés

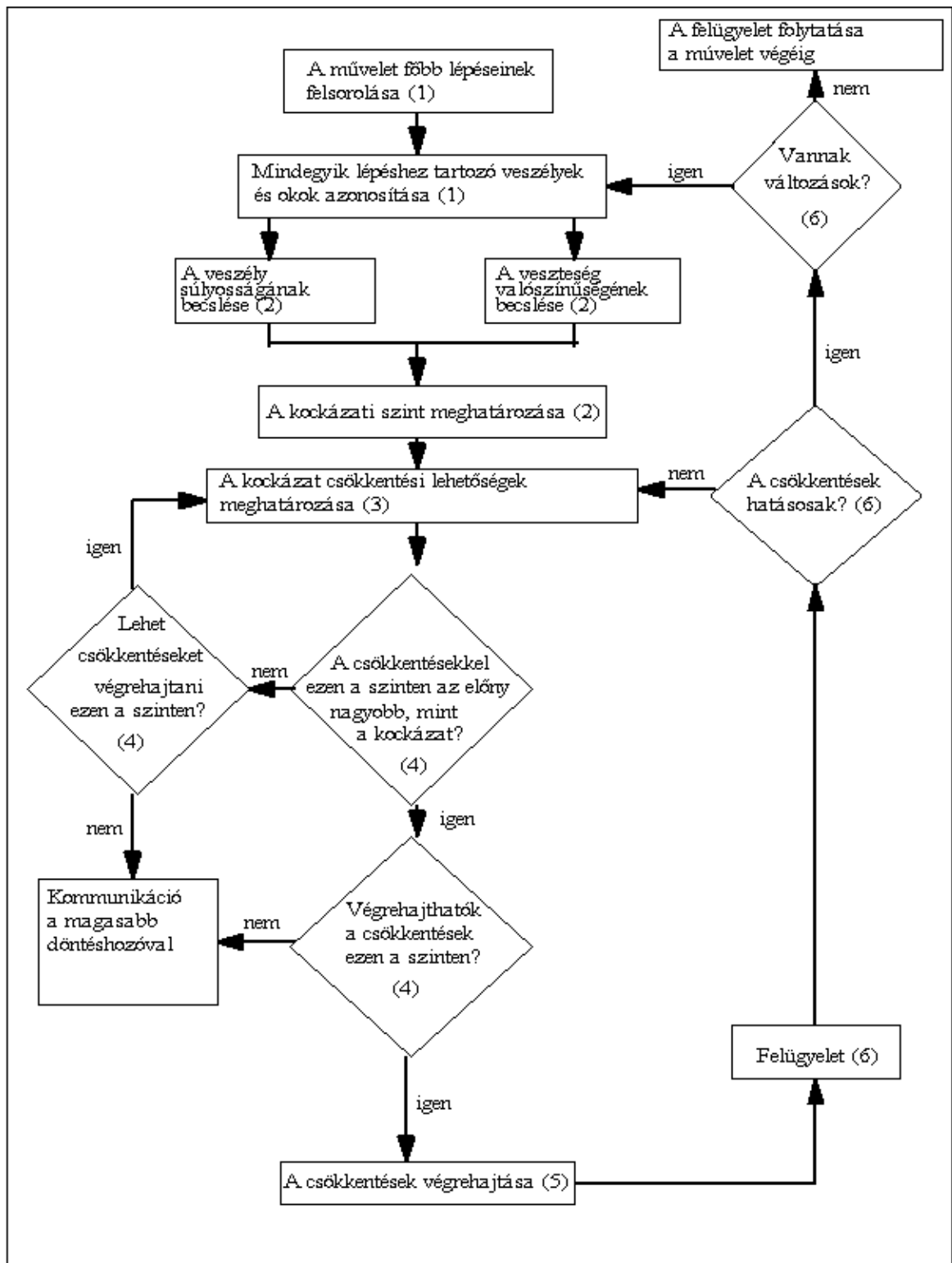
A feladat — és így a kockázatcsökkentési döntések — végrehajtásának ellenőrzése biztosíthatja:

- a kockázatcsökkentés hatásosságát;
- a későbbi kockázatkezeléshez szükséges változtatások meghatározását;
- a nem eléggé hatásos kockázatkezelés, vagy új veszély felbukkanása esetén a kockázatkezelési folyamat korrekcióját.

2. lépés: Számvetés

Ennek a lépésnek a célja a tanulságok összegzése, elért hatások és a döntéshozatalkor rögzített adatok összehasonlítása a későbbi kockázatkezelési folyamatok hatékonyságának növelése, vagy az elkövetett hibák kiküszöbölése érdekében. Az elkövetett hibák elemzésének célja nem a feltétlen felelősségre vonás, hanem a későbbi kockázatkezelési intézkedések

hatékonyságának növelése, a hibalehetőségek csökkentése.



9.4. ábra. A kockázatkezelés logikai folyamatábrája

10. Az Alapvető Ok Elemzés

Az Alapvető Ok Elemzés (**RCA — Root Cause Analysis**) egy olyan döntés-előkészítő és támogató módszertani eszköz, mely egy rendszeren belüli esemény rejtett vagy közvetlenül meg nem határozható okát vagy okait tárja fel. Ezen rejtett okokat nevezzük az alapvető okoknak. Az alapvető okok következtében fellépő eseményen természetesen nem csak egy egyedüli jelenséget kell értenünk, hanem hasonló jelenségek összességét, halmazát is. Ilyen esemény lehet egy gépparkban fellépő hasonló meghibásodások sorozata, vagy egy szervezetben jelentkező belső problémák ismétlődése is. A rendszeren egyaránt érthetünk valamilyen feladatot végrehajtó, személyekből és technikákból álló szervezetet, vagy egy integrált technikai rendszer, berendezést.

Az Alapvető Ok Elemzés főként korszerű matematikai (logikai, gráfelméleti), kockázatkezelési (például HAZOP) és minőségbiztosítási (Pareto-elv) eszközöket alkalmaz, de természetesen az adott kérdéskör szakembereinek tudására építve tárja fel a vizsgált káros esemény alapvető okát, okait.

Az eljárás egyik ága az Alapvető Ok Hibaelemzés (**RCFA — Root Cause Failure Analysis**), mely valós, integrált technikai rendszerek, eszközök meghibásodásának, paraméter-eltéréseinek elemzésével foglalkozik. Az Alapvető Ok Elemzés, illetve az Alapvető Ok Hibaelemzés eredményeiként olyan javaslatok adhatók a megfelelő szinten lévő döntéshozó(k) számára, melyek segítségével a vizsgált, nem kívánatos esemény akár teljes kiküszöbölése is biztosítható.

Ahhoz, hogy egy káros eseményt megelőzzünk az alábbi négy dolgot kell pontosan ismernünk, birtokolnunk:

- a javítás és a megelőzés érdekében olyan módszert, mely azonosítja és értékeli a vizsgált problémát előidéző okokat;
- az azonosított okok által alkotott rendszer természetét;
- a vizsgált okozati rendszerhez kapcsolódó elveket és elméleteket;
- a szervezeten belüli részegységek belső irányítási rendszerét.

Minden szakember más-más módon oldja meg a felmerülő problémákat. A szerelő kijavítja az adott, meghibásodott eszközt, hogy az újra használható legyen. A mérnök technológiai vagy tervezési megoldást keres a hasonló kérdések megoldására is. A menedzser a gyártási vagy szolgáltatási eljárás megváltoztatásán töri a fejét. Az Alapvető Ok Elemzés az okok mindegyikének pontos azonosításával egy döntést támogató javaslatot ad az egész (esetünkben a szerelő—mérnök—menedzser) rendszer számára. Ezért ez az eljárás egy olyan módszertani eszköz, mely az elemzés szigorú logikai láncolatát biztosítja.

Az Alapvető Ok Elemzés folyamatának része az okozati összefüggések csomópontjainak meghatározása. Ez egyrészt klasszikus vagy fuzzy logikai, másrészt a vizsgált rendszerhez kapcsolódó szakmai (például gépészeti vagy harcászati) szempontú elemzések egyidejű elvégzését jelenti.

Összegezve, az Alapvető Ok Elemzés adatok gyűjtésének, rendszerezésének és értékelésének egy szisztematikus folyamata, ami azonosítja azokat a belső okokat, melyek a vizsgált problémát előidézik vagy lehetővé teszik.

Fontos itt emlékeztetni a tisztelt olvasót arra a megfigyelésre, hogy egy repülő katasztrófa csak 3 – 5 kiváltó ok vagy szabálytalanság egyidejű fellépése esetén következik be. Ez nagyban megnehezíti a domináns okok meghatározását.

10.1. Az Alapvető Ok Elemzés folyamata

Az Alapvető Ok Elemzés elvégzéséhez egy jól definiált, logikailag felépített folyamatot kell végrehajtanunk, mely az alábbiakban foglalható össze:

→ *Adatgyűjtés;*

Az elemzés elkezdéséhez szükséges az összes rendelkezésre álló adat összegyűjtése. Egyes, a témakörhöz kapcsolódó irodalmak kifejezetten történelmi (azaz hosszúidő alatt történeteket jellemző) adatokat említenek az elemzés alapfeltételeként. Mások az úgynevezett 5P adatgyűjtési elvet említik, ami a szükséges adatok kategóriáit jelenti. Úgy, mint People (személyek); Parts (részek, részletek); Paper (dokumentumok); Position (elhelyezkedés, helyzet) és Paradigms (minták, példák).

→ *Az elemzés előkészítése;*

Az elemzések, vizsgálatok megfelelő színvonalú elvégzése érdekében egy munkacsoportot kell felállítanunk. A csoportot az Alapvető Ok Elemzés specialistán kívül a vizsgálathoz kapcsolódó összes szakmai kérdéskör legalább egy-egy szakértőjének alkotnia.

→ *Adatok elemzése;*

Ekkor gráfelméleti módszerrel (általában logikai fa), a legkisebb komponensekre kell bontani a problémát, majd valószínűsíteni az azokat kiváltó okokat. A logikai fa módszerének alaplépései a következők:

- ⇒ a főesemény meghatározása;
- ⇒ a hibamód meghatározása;
- ⇒ hipotézis felállítása;
- ⇒ hipotézis ellenőrzése;
- ⇒ az okok (fizikai, humán, rejtett) meghatározása.

→ *Javaslatok kidolgozása, döntés;*

A fenti elemzések eredményeként kapott lehetséges megoldásokról részletes jelentést kell készíteni a döntéshozók számára. A döntéshozót tájékoztatni kell a probléma kiküszöböléséhez szóba jöhető intézkedésekről, azok várható előnyeiről és hátrányairól. A javaslat alapján a döntést a megfelelő szinten kell meghozni, azon a vezetési szinten, amely képes meghatározni az eszközöket a nem kívánatos esemény kiküszöbölésére, és amely közvetlenül végre is tudja hajtani vagy hajtani ezen intézkedéseket.

→ *A végrehajtás ellenőrzése, elemzése.*

A meghozott döntés végrehajtását ellenőrizni kell, hogy a lehetséges hibákat korrigálni lehessen, illetve, hogy a tapasztalatok összegzésével későbbi hasonló feladatok megoldása hatásosabb legyen. Gondoljunk csak a folyamat első lépéseként említett adatgyűjtésre, és ott is az 5P elv „ötödik P-jére” {Paradigms (minták, példák)}.

10.2. Kapcsolat a Megbízhatóság Központú Karbantartással

Létezik egy nagyon valós tévhit a Megbízhatóság Központú Karbantartás és az Alapvető Ok Elemzéssel kapcsolatban. Sokan azt hiszik, hogy a két fogalom látszólag ugyanaz. Noha mindkét eszköz — megfelelő alkalmazásuk esetén — nagyon gyümölcsöző tud lenni, de céljaik alapvetően eltérőek. Együttes alkalmazásuk esetén kiegészítik egymást és a legnagyobb nyereséget biztosítják.

A Megbízhatóság Központú Karbantartás célja meghatározni valamely technikai eszköz

annak adott üzemeltetési környezetében szükséges karbantartási igényét. Ezt az adott technikai eszközhöz kapcsolódó kérdéssorozat felvetésével oldják meg, majd meghatározzák milyen üzemeltetési, karbantartási stratégiát célszerű alkalmazni az adott eszköz üzemeltetése során. Az Megbízhatóság Központú Karbantartás egy folyamatábrát ad a válaszokra épülő legcélszerűbb üzemeltetési stratégia meghatározásához. A kérdések megválaszolásához az összes lehetséges meghibásodási módot feltárják és a meghibásodás következményének csökkentésére az adott hibamódok súlyossága, kritikussága függvényében egy előremutató karbantartási stratégiát ajánlanak.

Az Alapvető Ok Elemzés célja viszont feltárni azokat a mélyebb okokat (az alapvető okokat), melyek miatt egy esemény bekövetkezik, olyannyira, hogy az esemény teljes kiküszöböléséhez szükséges lépések meghatározhatóak legyenek. Ezt az elemzést a módok, eljárások elemzésével oldják meg (ez az a pont, ahol az Megbízhatóság Központú Karbantartás megáll). Az Alapvető Ok Elemzés logikai fát alkalmaz az ellenőrzés minden egyes szintjén. Előnye, hogy az aktuálisan feltárt alapvető okok az ellenőrzési folyamat során nyert tények. A két eszköz közti különbség szembeűnő: az Megbízhatóság Központú Karbantartást a megelőző karbantartási stratégia gondolata vezérli, az Alapvető Ok Elemzést pedig a karbantartást (javítást) megelőző stratégia gondolata.

Fontos tisztázni, hogy a két eszköz közti különbség az, hogy az Megbízhatóság Központú Karbantartás kezeli a jelenséget, az Alapvető Ok Elemzés keresi és korigálja az okokat.

10.3. Alapvető Ok Elemzés röviden

Végezetül az Alapvető Ok Elemzés egy egyszerű, könnyed, „fejben is megoldható” módszere:

1. lépés: Határozd meg a kiinduló kérdést a probléma ismeretében!
2. lépés: Fogalmazd meg „Miért?” formában!
3. lépés: Ismételd meg a 2. lépést legalább ötször!
4. lépés: Megkaptad a probléma alapvető okát!

11. Hibafa-elemzés

A hibafa-elemzés során egy feltételezett rendszerhibából a **fő-esemény**ből indulunk ki, és fokozatosan derítjük fel azokat az alkotóelemek és a részrendszerek azon meghibásodási lehetőségeit, melyek az adott esemény bekövetkezéséhez vezetnek vagy vezethetnek. Az áttekinthető munkát fastruktúrájú gráf megjelenítése segíti, amit megbízhatósági számításokkal is ki lehet egészíteni.

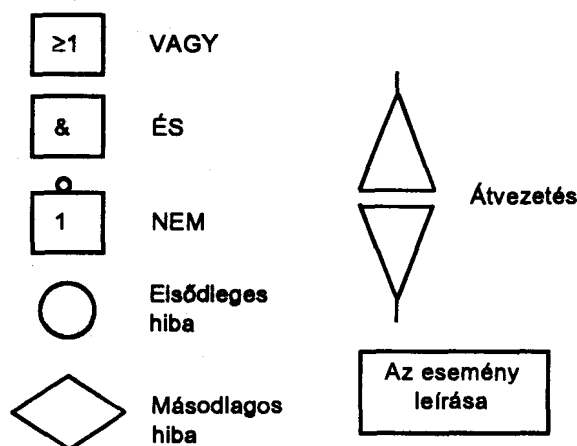
A hibafa-elemzés lehetővé teszi:

- a fő-eseményhez vezető összes hiba és hibakombináció, valamint ezek okainak azonosítását;
- a különösen kritikus események és/vagy esemény-láncolatok kimutatását;
- a megbízhatósági számértékek kiszámítását a hibafa ágain végighaladva;
- a meghibásodási mechanizmusok tiszta és áttekinthető dokumentálását.

A kiinduló állapot egy n elemből álló rendszer. A rendszer állapotát a fő-esemény segítségével írjuk le. A hibafa modellje beazonosítja az összes olyan alkotóelemek meghibásodást, mely ezen rendszerállapot kialakulásához vezet. Az alkotóelemek meghibásodásai három osztályba sorolhatók:

- Az **elsődleges hiba** egy olyan meghibásodás, mely az előírt működési körülmények között áll elő. Ennek oka az alkotóelem kialakításában vagy anyagtulajdonságaiban rejlik.
- A **másodlagos hiba** egy olyan meghibásodás, ami nem megengedett külső behatások következtében áll elő. Ezek lehetnek környezeti feltételek, alkalmazási körülmények, vagy más rendszerelemek hatásai.
- A **kezelési hibát** a nem megfelelő használat okozza.

A hibafa úgynevezett bemenetektől és ezek kapcsolódási láncolatát leíró jelekből áll. A kapcsolódások (kapuk) logikai összefüggéseket fejeznek ki, és a bemenetektől egy kimenetet állítanak elő. Mindez leírható binárisan a 0 (hibátlan) és 1 (hibás) értékekkel és logikai operátorok segítségével. A hibafák kiépítése alapvetően **ÉS/VAGY** kapcsolódások segítségével történik. A 11.1 ábra a hibafa-elemzés alapvető jelölésrendszerét mutatja.



11.1. ábra. A hibafa-elemzés jelölései

A rendszerelemzés lehetőséget teremt arra, hogy az egészen bonyolult rendszerekről a

lehető legvalósabb modellt készítsük el. A hibafa felállítása feltételezi a normálisan működő rendszer folyamatainak pontos ismeretét. Az elemzés táblázatos formában egy munkalapon történik.

A rendszerelemzés három nagy témakörre bontható:

→ **A rendszer feladata;**

A rendszer feladatának egyértelmű meghatározása érdekében felsoroljuk az összes igényelt funkciót, és hozzárendeljük az ezeket kielégítő elemekhez.

→ **Környezeti feltételek;**

A rendszernek előírt módon kell működnie különböző, általa nem befolyásolható környezeti hatások között is. A környezet hatásain kívül figyelembe kell még venni a rendszerelemek fizikai és kémiai tulajdonságait is.

→ **Kapcsolatok és viselkedés;**

A rendszert az alábbi szempontok szerint is meg kell vizsgálni:

- ❖ a rendszerelemek kölcsönhatása a rendszerfeladatok megvalósítása érdekében;
- ❖ a rendszer reakciója a környezeti feltételekre;
- ❖ a rendszer viselkedése belső hibák és az erőforrások meghibásodása esetén.

Az elemzés során két alapvetően különböző felfogás lehetséges:

→ **Megelőzés;**

Ha a hibafa-elemzést megelőzés céljából hajtják végre (elsősorban új rendszer tervezésekor), akkor a nem kívánt események a rendszer azon lehetséges állapotait jelölik, amikor az nem felel meg az elvárásoknak.

→ **Javítás.**

A rendszer bekövetkezett meghibásodása a fő-esemény. Helyes leírásához szükséges az úgynevezett problémaelemzés végrehajtása. Ebből következik a hibás működésre vonatkozó összes információ.

A modell felállításakor figyelembe vett összes alkotóelemre le kell vezetni valamennyi meghibásodási lehetőséget. Egy építő elem különböző meghibásodásai különböző hatást gyakorolhatnak a fő-eseményre, tehát ezek nem összegezhetők egy kapcsolódási pont (kapu) alatt, hanem azokat a hibafa különböző helyeire kell beírni.

Első lépésként célszerű ezeket a meghibásodási lehetőségeket egy erre a célra készített űrlapon összesíteni, külön oszlopban feltüntetve az elsődleges, másodlagos és kezelési hibákat. A hibafa-elemzés során gyakran hajtanak végre egyszerűsített hibalehetőség-elemzést az egyes alkotóelemek meghibásodási lehetőségeinek (bázis-események) rendszerezett felismerése céljából.

Egy hibafa felállításának kiindulópontja mindig a fő-esemény. Első lépésben megvizsgáljuk, hogy a fő-esemény leírható-e egyetlen rendszerelem meghibásodásaként. Ilyenkor általában egy **VAGY** kapu következik három bemenettel (elsődleges, másodlagos és kezelési hiba). Egyébként meg kell keresnünk azon meghibásodásokat vagy meghibásodásláncozatokat, melyek egyenként vagy valamilyen összhatásra a fő-eseményt kiválthatják. Ezek megnevezése egy-egy „megjegyzés” vagy „az esemény leírása” téglalapban történik, majd logikailag összekapcsoljuk őket és megvizsgáljuk, hogy báziseseménnyel van-e dolgunk vagy az adott esemény a vizsgált részrendszer egy alkotóeleme meghibásodása miatt következett-e be. Így minden hibaeseményből egy különálló hibafaág keletkezik. A gyakorlatban az

elsődleges hibákat nem szokták tovább kifejteni, kivéve ha a hibafa analízist tisztán az ok(ok) elemzése céljából végezzük. Egy adott esemény bekövetkezésének okai között nincs mindig jelen mindhárom hibatípus. Egy hibafaág teljes kidolgozása után áttérhetünk a következő ágra, és ezt hasonlóan folytatjuk a többi ág esetében is.

A hibafa kidolgozása után az elemzés céljától függően következik a rendszerhibák és hibaláncolatok minőségi és/vagy mennyiségi kiértékelése. Viszonylag egyszerű esetekben a kiértékelés kézzel, papíron is történhet, azonban a bonyolultabb hibafák számítógép alkalmazását igénylik.

Az elemzés következetes végrehajtása esetén a hibafa tartalmazza az összes olyan meghibásodást és láncolatot, amely a fő-eseményhez vezet. Az eredményeknek csak az alkalmazók ismeretszintje és gondossága szab korlátot.

Megbízhatósági mérőszámok nélkül is levonhatunk következtetéseket a rendszer megbízhatóságára vonatkozóan. Ennek egyik módja a minimális kritikus láncok megkeresése. A minimális lánc egy olyan hibakombináció, mely a lehető legkisebb számú meghibásodás mellett egy nem kívánt esemény bekövetkezését okozza. Ennek alapján meghatározható a hibafa leggyengébb ága. Ha egy biztonsági rendszerben a fő-eseményt egy minimális lánc okozza, akkor szükség lehet a rendszer változtatására.

A rendszerelemekre vonatkozó megbízhatósági mérőszámokból kiindulva kiszámítható a fő-esemény bekövetkezési valószínűsége, és ezáltal jellemezhető a rendszer megbízhatósága. A kiinduló adatokat különböző szakkönyvek táblázataiból választhatjuk ki, vagy ennek hiányában gyakorlati tapasztalatok, esetleg laboratóriumi tesztek alapján kell meghatározni.

A kiértékelés során vizsgált mennyiségek a következők lehetnek:

- rendelkezésre nem állás $U(t)$ valószínűsége annak a valószínűsége, hogy a vizsgált egység a t időpontig meghibásodik;
- rendelkezésre állás $V(t)$ valószínűsége, azaz az $U(t)$ komplementere:

$$V(t) = 1 - U(t) \quad ; \quad (11.1)$$

- a meghibásodás $H(t)$ gyakorisága, azaz a vizsgált egység $(0; t)$ időtartamban történő meghibásodásainak várható értéke,
- a meghibásodások gyakoriságának sűrűsége:

$$\dot{H}(t) = \frac{dH(t)}{dt} \quad . \quad (11.2)$$

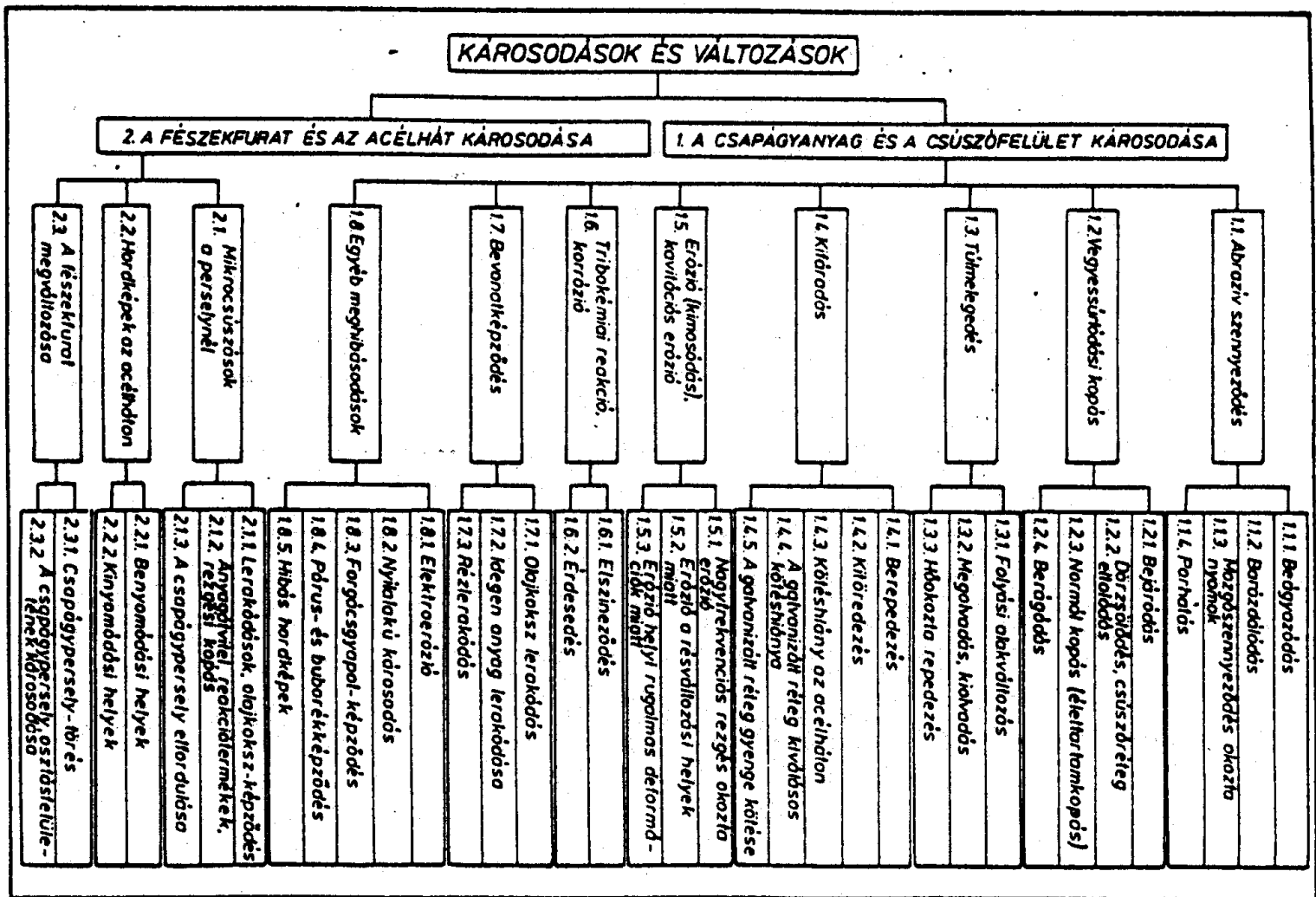
A bázis-eseményektől kiindulva, és az egyes kapukban alkalmazva a 11.1. Táblázatban szereplő összegzési szabályokat, végighaladva az egyes ágakon eljutunk a fő-eseményhez. Amennyiben az így kapott számértékek eltérnek az előírt értékektől, egy érzékenységi elemzés segítségével meg kell keresni azokat a bázis-eseményeket, melyek a legnagyobb befolyást gyakorolják a kedvezőtlen eredményekre. A gyenge pontokat egy listán összegezzük egy fontossági sorrendet felállítva, például egy Pareto elemzés segítségével. Ahol rendelkezésre áll a korábbi meghibásodások megakadályozására hozott megelőző intézkedések leírása, ott az úgynevezett „intézkedés katalógus”-ból gyorsan ki lehet választani a megelőzéshez szükséges teendőket. Amennyiben egy teljesen új esettel állunk szemben, akkor természetesen a szükséges intézkedés kigondolása és gyakorlati hatásának vizsgálata után az adott intézkedést is felveszik a katalógusba.

Kapu	Rendelkezésre nem állás valószínűsége	A meghibásodások gyakoriságának sűrűsége
ÉS	$U = \prod_{i=1}^n U_i$	$\dot{H} = U \sum_{i=1}^n \frac{\dot{H}_i}{U_i}$
VAGY	$U = 1 - \prod_{i=1}^n V_i$	$\dot{H} = V \sum_{i=1}^n \frac{\dot{H}_i}{V_i}$

11.1. Táblázat Valószínűségi paraméterek meghatározási módjai

Az intézkedések hatásának lemérése érdekében később újra végre kell hajtani a hibafa mennyiségi kiértékelését. Ha a számítási eredmények megfelelnek az előírásoknak, akkor az elemzés elérte végső célját.

A 11.2. ábra siklócsapágyak károsodásainak módját és okát adja meg, logikai fa struktúrában.



11.2. ábra Siklócsapágyak károsodásainak módjai és okai

12. Fuzzy logika alkalmazása az üzemeltetésében

Napjaink korszerű technikai berendezései és döntéshozatali módszerei mind szélesebb körben alkalmaznak valamilyen fuzzy eszközt, fuzzy szabályzó vagy szakértői rendszert. A fuzzy logika 1965-ben született meg, Lofti Zadeh munkássága eredményeként. A fuzzy logika egy olyan új matematikai eszköz, mellyel a valós világ bizonytalanságait tudjuk modellezni. Egyes magyar szakirodalmak minősítő logikának is nevezik a matematika ezen ágát.

A szótárak szerint a “fuzzy” angol szó jelentése (többek között): homályos, elmosódott, lágy körvonalú, életlen kontúrú. Alapvetően a fuzzyság a pontatlanság egy típusa. Olyan elemek csoportosításából, halmazából származó pontatlanság, melyeknek nincsenek határozott körvonalai. A fuzzy teóriájának egyik fő célja olyan módszerek kidolgozása, melyekkel szabályokba foglalhatók és megoldhatók a túlságosan bonyolult, hagyományos vizsgálati módszerek segítségével nehezen megfogalmazható problémák. Mérnöki szempontból a fuzzy logika egy olyan módszer, mellyel az analóg folyamatokat digitális eszközökkel (például személyi számítógépekkel) lehet modellezni. Más — humán jellegű — tudományos fogalmazásban a fuzzy elmélet az intuíciót tekinti a központi magyarázó paradigmának.

A klasszikus logika főbb elveit először Arisztotelész fejtette ki, és legfontosabb eljárásait is ő határozta meg. Az arisztotelészi logikát talán legjobban a „kizárt közép törvényével” tudjuk jellemezni, ami szerint minden logikai következtetés csak igaz {1} vagy hamis {0} eredményű lehet.

A fuzzy logika egy olyan sokértékű logika, mely egy következtetés eredményének megengedi a klasszikus logikában felvehető igaz {1} és hamis {0} közti — azaz a [0;1] zárt intervallumban definiált — bármely valós értéket.

12.1. Fuzzy halmazok és műveletek

A klasszikus logikával összekapcsolt Boole-algebra pontosan definiált és éles határral rendelkező halmazokkal végzendő műveletekkel foglalkozik.

Vegyünk például egy B jelű paramétert, mely értékeinek 3 és 4 között kell lennie, azaz:

$$3 \leq B \leq 4 \quad (12.1)$$

feltételt kell (kéne) kielégíteni.

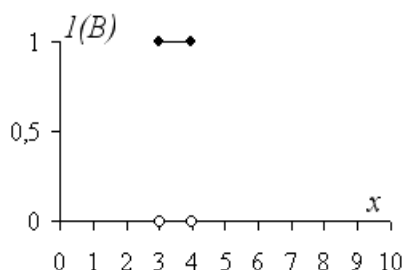
De, mi van, ha ezt a B értéket valamilyen mérés eredményeként kapjuk? Pontatlan a műszer, a skáláról rosszul olvassuk le az értéket. Ekkor fog “elfuzzysodni” a (12.1) egyenlőtlenség kielégítésének igaz volta. Ugyanis — figyelembe véve a fenti tévedési lehetőségeket — a B értékének meghatározásában pontatlanság lép fel. Ezt a pontatlanságot — azaz a $3 \leq B \leq 4$ feltétel teljesítésének igaz voltának mértékét — a B jellemző $\mu(B)$ jelű tagsági függvényével tudjuk jellemezni. A tagsági függvény — követve a klasszikus logikát — csak a:

$$0 \leq \mu \leq 1 \quad (12.2)$$

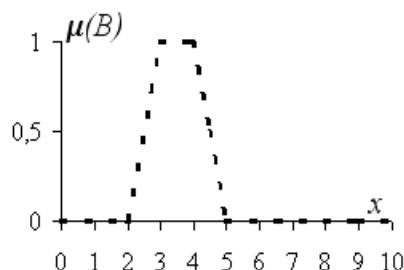
értéket veheti fel.

Például, esetünkben ezt a pontatlanságot megadhatjuk az alábbi függvénnyel:

$$\mu(B) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \leq 2 \\ x-2 & \text{ha } 2 < x < 3 \\ 1 & \text{ha } 3 \leq x \leq 4 \\ 5-x & \text{ha } 4 < x < 5 \\ 0 & \text{ha } 9 \leq x \end{cases} \quad (12.3)$$



"Boole" halmaz



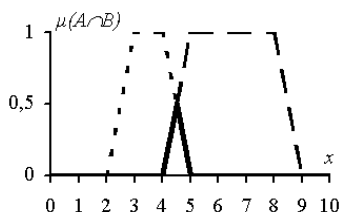
Fuzzy halmaz

12.1. ábra. Boole és fuzzy halmazok összehasonlítása

Természetesen a tagsági függvény megadására nem csak lineáris egyenletek alkalmazhatók.

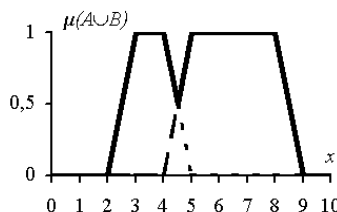
Boole-algebrai művelet	Fuzzy művelet		Szemléltetés
Metszet	Minimum	$\mu(A \cap B) = \text{MIN}(\mu(A), \mu(B))$	12.2a. ábra
Unió	Maximum	$\mu(A \cup B) = \text{MAX}(\mu(A), \mu(B))$	12.2b. ábra
Negáció	Negáció	$\mu(\bar{A}) = 1 - \mu(A)$	12.2c. ábra

12.1. Táblázat. Fuzzy műveletek



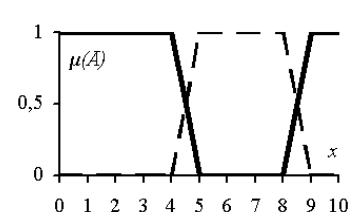
a

Minimum operátor



b

Maximum operátor



c

Negáció

12.2. ábra. Fuzzy operátorok

L. A. Zadeh a Boole-algebrában alkalmazott metszet helyett a **minimum operátort**; az unió helyett a **maximum operátort** javasolta bevezetni, a 12.1. Táblázat szerint. Fontos itt megjegyeznünk, hogy — ha már fuzzy (az eredeti angol szó jelentése a spicces, pityókos is) ez a logika — az alkalmazó által definiált fuzzy más műveletek is használhatók.

12.2. Fuzzy rendszerek működése

Egy fuzzy logikai módszert alkalmazó döntéshozatali eljárás vagy fuzzy szabályzó rendszer lényegében az alábbi folyamatot hajtja végre. Ezek a rendszerek, folyamatok egy időben több logikai szabályt — úgynevezett szabálybázist — alkalmaznak. A szabálybázis sajátossága, hogy a logikai szabályok arisztotelészi logika szerinti megoldásai — egy időben — eltérő eredményeket adhatnak. Lényegében ezen ellentmondást oldja fel a fuzzy logika alkalmazása.

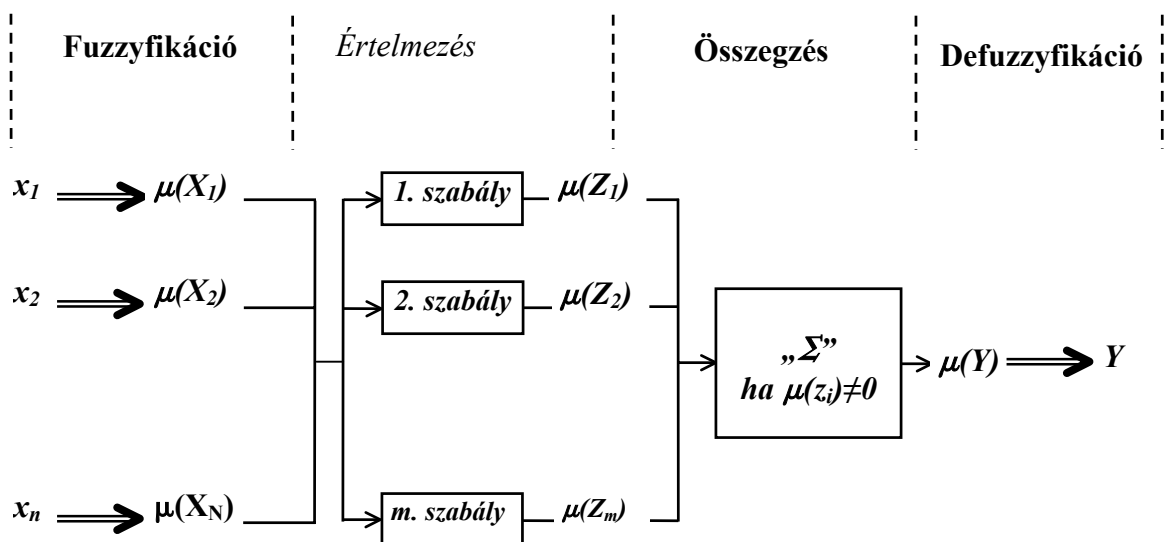
Az első lépésben — melyet **fuzzyfikáció**nak nevezünk — a rendszer konkrét értékekkel bíró bemenő jellemzőinek pillanatnyi értékeihez egy-egy fuzzy tagsági értéket rendelünk. Ekkor a (12.3) egyenlethez, illetve a 12.1. ábrához hasonló meghatározásokat alkalmazunk az input adatok pontatlanságainak, bizonytalanságainak jellemzésére.

A következő az **értelmezés** nevű szakasz. Ebben a lépésben az előzőleg meghatározott fuzzy értékek felhasználásával határozzuk meg az összes szabály alkalmazásának eredményeit. Ezeket a szabályokat a rendszer felállításakor kell meghatározni. Ekkor használják a 12.1. Táblázatban bemutatott — vagy az adott rendszer felállítója által definiált — műveleteket.

Az **összegzés** lépésben az értelmezés során kapott, nem zérus értékű eredmények összefűzése történik. Az összegzés során valamelyik, a 12.1. Táblázatban szemléltetett fuzzy logikai műveletet alkalmazzuk a vizsgált, vagy szabályozott folyamat sajátosságainak figyelembevételével.

A folyamat utolsó lépése az úgynevezett **defuzzyfikáció**. Ekkor a kimenő jellemzők igazság értékeit konvertáljuk vissza valós értékeké. A defuzzyfikáláshoz leggyakrabban a centroid eljárást alkalmazzák. Ennél a módszernél az egyes igazság értékekhez tartozó felületek súlypontja adja meg a kimeneti éles értéket. Az összegzéshez hasonlóan felhasználható más defuzzyfikációs módszer is.

A folyamat főbb lépéseinek láncolatát szemlélteti a 12.3. ábra.



12.3. ábra Fuzzy rendszerben lejátszódó folyamat

A fenti módon meghatározott beavatkozás után egy fuzzy szabályozó rendszer újra megméri a szabályozott folyamat, a technikai eszköz bemenő jellemzőit, majd ismét elvégzi a fenti fuzzy szabályozási folyamatot.

Fuzzy eszközt alkalmazó döntéshozatali eljárás esetén az illetékes vezető a fentiekben kidolgozott javaslat vagy javaslatok alapján hozza meg döntését. Újabb döntési helyzetben

pedig ismét végre kell hajtani a döntés-előkészítő folyamatot az akkori aktuális bemeneti adatokkal.

12.3. Fuzzy logika alkalmazása az üzemeltetésben

A fuzzy logika egyedülálló fejezete a matematika történetének. Megjelenésével szinte egy időben —néha az elvi alapok kidolgozását talán megelőzve — került be a mérnöki gyakorlatba.

A „smart engine” feliratú háztartási gépeinkben már fuzzy-logikai rész (vezérlő) egységet találhatók. Fuzzy logikát alkalmaznak azok a korszerű digitális szabályozórendszerek, melyek folytonos értékű be- és/vagy kimenő jellemzőkkel bírnak.

A korszerű döntéshozatali módszerek technikák, illetve szakértői rendszerek is fuzzy-logikai elemeket tartalmaznak.

A technikai eszközök üzemeltetése során a legnagyobb mértékben talán a diagnosztika területén tudjuk felhasználni a fuzzy logikát, mint matematikai eszközt.

A műszaki életben már régen elterjedt módszer a hibák behatárolására az úgynevezett hibafa-elemzés. A hibafa analízis modellje fuzzy logikai eszközök alkalmazásával fejleszhető tovább, amikor a hibafa klasszikus logikai kapuihoz velük analóg fuzzy kapcsolatokat rendelünk. Ekkor a különféle tagsági értékek meghatározása jelenthet szakmai problémát.

A diagnosztikai, hibakeresési eljárások kidolgozása esetén ez a feladat a szakemberek kikérdezésével oldható meg. Fontos megjegyezni, hogy még a minimális rutinnal rendelkező szakember is jelentős mérvű tapasztalattal rendelkezik, de ennek számszerűsítése igen nehéz feladatot jelent. Ez szakértői riportok, felmérések elvégzésével és kiértékelésével oldható meg. (Jelen sorok írója ilyen felmérést végzett kandidátusi dolgozatának készítésekor a helikopterek megengedhető fékhatás-csökkenésének, illetve fék-aszimmetriájának meghatározására.) A szakértők kikérdezésével kapjuk meg a fuzzy alapú hibakereső rendszer kiinduló adatait. Mivel ezek a szakértői vélemények egyéni tapasztalatok kiértékeléséből származnak, jelentős objektivitással bírnak. Ezért nem lehet ezeket „teljesen objektív” adatokként kezelni — de tekinthetők fuzzy tagsági értékeknek.

A részegységek meghibásodásainak fentiekben meghatározott tagsági értékei alapján tudjuk meghatározni a hibafa elágazásainál választandó utak további elemzésének sorrendjét. A fenti tagsági értékek, valamint a rendszer alkalmazásakor, az üzemeltetés során feltárt meghibásodások okainak ismerete alapján tudjuk pontosítani, naprakésszé tenni a szakértői rendszert.

Az olasz Alenia Aerospazionál fejlesztettek ki az **ADAM** (Aircraft Diagnostic And Maintenance) projekt keretében egy szoftvert, amely a fentiekben bemutatott elven működik.

12.4. Fuzzy logika-alapú kockázatbecslés

A kockázatkezelés — melyet részletesen a 9. Fejezetben már ismertettünk — egyik fő lépése a vizsgált folyamathoz, rendszerhez vagy jelenséghez kapcsolódó kockázat becslése. Egy adott emberi tevékenységhez kapcsolódó kockázat meghatározására, becslésére alkalmazott módszereket két csoportba sorolhatjuk.

Az úgynevezett kemény (más néven kvantitatív) módszerek esetén a kockázat mértékét a várható veszteség, számszerűsített nagyságának és a veszteség bekövetkezés valószínűségének szorzatával határozzuk meg. A veszteség ilyen számszerűsített kifejezése lehet például a befektetett vagy hitelezett összeg vagy a kifizetendő kártérítés nagysága. A veszteség bekövetkezésének valószínűségét — Kolmogorov axiómarendszerét felhasználva — a $[0;1]$ intervallumon belüli számmal jellemezhetjük. Számos, üzemeltetési, környezetvédelmi, katonai és politikai döntéshozatalban az ilyen típusú kockázatbecslés nem

alkalmazható, szakmai és főleg erkölcsi okok miatt.

Az úgynevezett lágy kockázatbecslő eljárások valamilyen kvalitatív eljárást alkalmaznak. Az egyik ilyen módszer a fuzzy logikai kockázatbecslés.

A fuzzy logikai módszert alkalmazó döntéshozatali, kockázatbecslési eljárások egy időben több logikai szabályt — úgynevezett szabálybázist — alkalmaznak. A szabálybázis sajátossága, hogy a logikai szabályok klasszikus, arisztotelészi logika szerinti megoldásaik — egy időben — eltérő megoldásokat adhatnak. Ezen ellentmondást oldja fel a fuzzy logika alkalmazása.

Egy veszélyt okozó jelenség, esemény súlyosságának és bekövetkezési valószínűségének vagy/és a súlyossági, valamint a valószínűségi kategóriák tagsági függvényeinek meghatározása szakértői felmérések alapján történhet. Ekkor a kockázatbecslés kiinduló adatait és függvényeit a válaszok statisztikai elemzésével határozhatók meg. Ebben az esetben természetesen az értékelés, azaz maga a kockázatbecslés a Kockázatbecslési Mátrix klasszikus logikai kapcsolatai helyett fuzzy logikai operátorok alkalmazásával lehetséges.

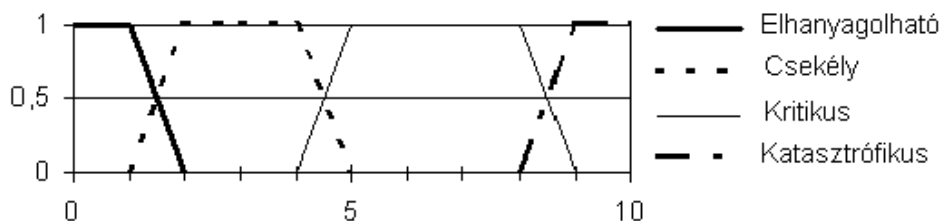
A fuzzy logikai döntéshozatal kidolgozását a szabálybázis és a hozzá kapcsolódó fogalmak, és kategóriák definiálásával kell kezdeni. Kockázatbecslés esetén ez a Kockázatbecslési Mátrix (Risk Assessment Matrix), valamint a súlyossági és valószínűségi fogalmak tisztázását jelenti. A 12.2. Táblázat a 9.3 fejezetben (9.4. és 9.5. Táblázatokban) megadott fogalmak alapján felvett Kockázatbecslési Mátrixot mutatja, a később alkalmazandó logikai szabályok sorszámaival.

	Gyakori	Valószínű	Eseti	Ritka	Valószínűtlen
Katasztrófikus	NM (1)	NM (2)	M (6)	M (8)	K (13)
Kritikus	NM (3)	M (5)	M (7)	K (12)	A (18)
Csekély	M (4)	K (10)	K (11)	A (16)	A (19)
Elhanyagolható	K (9)	A (14)	A (15)	A (17)	A (20)

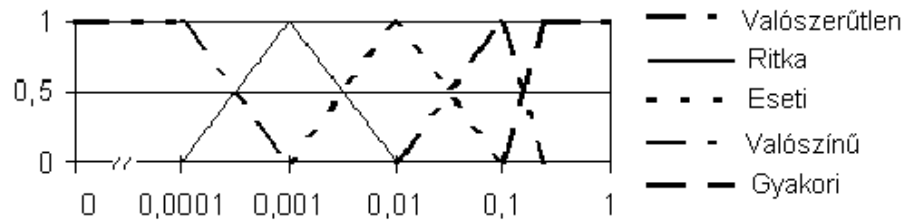
Nagyon Magas; Magas; Közepes; Alacsony.

12.2. Táblázat Kockázatbecslési Mátrix

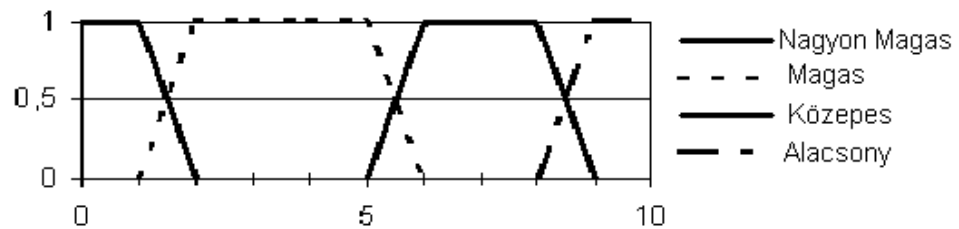
Következő lépésként a be- és kimenő jellemzők tagsági függvényeit kell felvenni. Ezek pontos meghatározása alapvetően nem fuzzy logikai, hanem a konkrét kérdéskörhöz kapcsolódó szakmai feladat is. A 12.4. ábra a súlyossági kategóriák tagsági függvényeit szemlélteti egy [0, 10] skálához viszonyítva. A 12.5. ábrán a valószínűségi kategóriák tagsági függvényei láthatók. A 12.6. ábra pedig a becsült kockázat — mint kimenő jellemző— kategóriáinak tagsági függvényeit mutatja.



12.4. ábra. Súlyossági kategóriák definíciói



12.5. ábra. Valószínűségi kategóriák definíciói



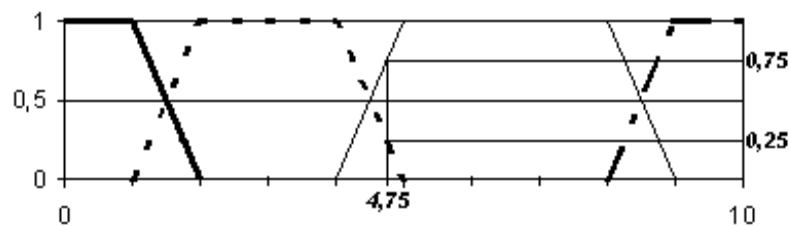
12.6. ábra. Kockázati kategóriák definíciói

A kockázatbecslési folyamat bemutatására tételezzük fel, hogy a szakértői felmérések eredményeként a vizsgált üzemeltetési esemény veszélyességének, várható negatív következményének súlyossága 4,75 értékű a korábban felvett [0;10] skálán, illetve az esemény bekövetkezésének becsült valószínűsége 0,005.

Az első, fuzzyfikáció lépésben a rendszer konkrét értékekkel bíró bemenő jellemzőinek pillanatnyi értékeihez egy-egy fuzzy tagsági értéket rendelünk. Ekkor az 1. és 2. ábrákhoz hasonló meghatározásokat alkalmazunk az input adatok pontatlanságainak, bizonytalanságainak jellemzésére. Ezeket szemléltetik az 12.7. és 12.8. ábrák.

$$\mu(a_súlyosság_kritikus) = 0,75;$$

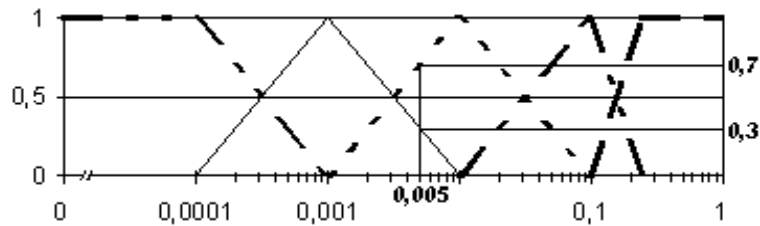
$$\mu(a_súlyosság_közepes) = 0,25.$$



12.7. ábra. Súlyossági kategóriák igazságértékeinek meghatározása

$$\mu(a_valószínűség_eseti) = 0,7;$$

$$\mu(a_valószínűség_ritka) = 0,3.$$



12.8. ábra. Súlyossági kategóriák igazságértékeinek meghatározása

A fuzzyfikációval kapott eredmények alapján az alábbi megállapításokat tehetjük:

- a veszély súlyossága bizonyos (0,75) mértékben kritikus, illetve bizonyos (0,25) fokig közepes mértékűnek tekinthető;
- a jelenség bekövetkezésének gyakorisága bizonyos (0,7) fokig esetinek, illetve bizonyos (0,3) mértékben gyakorinak minősíthető.

A következő az értelmezés nevű szakasz. Ekkor az előzőleg meghatározott fuzzy értékek felhasználásával határozzuk meg az összes szabály alkalmazásának eredményeit. Ezeket a szabályokat a rendszer felállításakor kell meghatároznunk. Ekkor használják a 12.2. Táblázatban bemutatott — vagy az adott rendszer felállítója által definiált — műveleteket.

Esetünkben a Kockázatbecslési Mátrix alapján az alábbi logikai szabályokat kell alkalmazni:

(7) szabály:

HA a súlyosság kritikus ÉS a valószínűség eseti, AKKOR a kockázat magas;
 $\mu(z_7) = \min(0,75; 0,7) = 0,7$;

(11) szabály:

HA a súlyosság közepes ÉS a valószínűség eseti, AKKOR a kockázat közepes;
 $\mu(z_{11}) = \min(0,25; 0,7) = 0,25$;

(12) szabály:

HA a súlyosság kritikus ÉS a valószínűség ritka, AKKOR a kockázat közepes;
 $\mu(z_{12}) = \min(0,75; 0,3) = 0,3$;

(16) szabály:

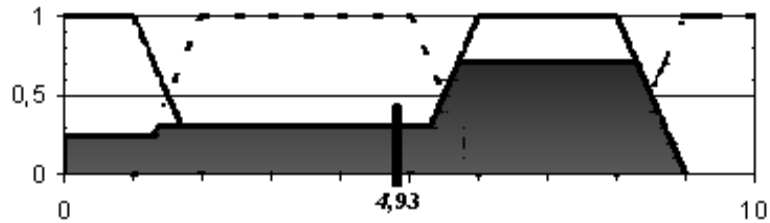
HA a súlyosság közepes ÉS a valószínűség ritka, AKKOR a kockázat alacsony;
 $\mu(z_{16}) = \min(0,25; 0,3) = 0,25$;

A klasszikus logikai összefüggések alapján a kockázat mértéke egy időben lehet(ne) Magas; Közepes és Alacsony mértékű., ami — természetesen — lehetetlen. Ezt az ellentmondást csak fuzzy logikai módszerrel tudjuk feloldani.

Az összegzés lépésben az értelmezés során kapott nem zérus értékű eredmények összefűzése történik. Ha több logikai szabály a következmény ugyanazon kategóriáját adja, igazságértékének a legnagyobbat kell vennünk, azaz:

$$\mu(a_kockázat_közepes) = \max(\mu(z_{11}); \mu(z_{12})) = \max(0,25; 0,3) = 0,3 \quad ;$$

$$\begin{aligned}\mu(a_kockázat_magas) &= 0,7 ; \\ \mu(a_kockázat_közepes) &= 0,3 ; \\ \mu(a_kockázat_alacsony) &= 0,25 .\end{aligned}$$



12.9 ábra. Az összegzés eredménye

A folyamat utolsó lépése az úgynevezett defuzzyfikáció. Ekkor a kimenő jellemzők igazság értékeit konvertáljuk vissza valós értékeké. A defuzzyfikáláshoz leggyakrabban a Weighted Mean of Maximum (Maximumok Súlyozott Átlaga) eljárást alkalmazzák. Ekkor a valós érték a

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (12.4)$$

módon számítható, ahol:

- n — a nullától eltérő értékkel bíró következtetések száma;
- x_i — az i -edik tagsági függvény súlyozó értéke;
- μ_i — az i -edik tagsági függvény tagsági értéke.

A tagsági függvények súlyozó értékén vagy azt az egy értéket értjük, ahol a legnagyobb tagsági értéket eléri, ha csak egy pontban éri el. Abban az esetben, ha egy intervallumon a legnagyobb értékkel bír a függvény, akkor ennek a szakasznak a középértékét kell vennünk súlyozó értéknek.

Esetünkben:

$$Z = \frac{0,25 \cdot 0,85 + 0,3 \cdot 3,5 + 0,7 \cdot 7}{0,25 + 0,3 + 0,7} = \frac{6,1625}{1,25} = 4,93$$

Ez azt jelenti, hogy a vizsgált jelenség kockázatának értéke az általunk felvett [0; 10] skálán 4,93-as értékű.

13. TPM — Teljeskörű Hatékony Karbantartás

A Teljeskörű Hatékony Karbantartás (TPM — Total Productive Maintenance) olyan karbantartási és termelési rendszer, amelynek célja a berendezések általános hatékonyságának folyamatos növelése, valamint a kényszerleállás és meghibásodás nélküli termelés — mint elvi cél — elérése. Szorosan kapcsolódik a Teljeskörű Minőség Menedzsmenthez (TQM) és támaszkodik az állapotvizsgálati technikákra. Egyik legfontosabb alapelve a folyamatos belső fejlődés támogatása. Más megfogalmazásban a TPM egy folyamatos üzemfejlesztési módszertan, ami a gyártási folyamat gyors és folyamatos fejlesztését segíti elő az alkalmazottak bevonásával, jogkörrel történő felruházásával és az eredmények zártkörű mérésével. Némely szakértő szerint a TPM-et talán helyesebb lenne Termelékenység Központú Karbantartásnak nevezni, mivel az egész rendszer a termelékenység növekedését tekinti kulcskérdésnek.

A TPM alapjait eredetileg a JIT (Just In Time – éppen időben) és az 5S adja.

13.1. A Just In Time rendszer

A JIT (Just In Time) egy termelékenység-tökéletesítő rendszer, mely nem pusztán a raktározás nélküli, „épp időben történő” gyártás és szállítás rendszere. A JIT öt tényezőre koncentrálnak:

- a munkaerő energiájának, kezdeményezőkézségének, képességeinek fejlesztésére a hatékonyabb munkavégzés céljából;
- a raktárkészlet és a megmunkálás alatt álló termékek mennyiségének csökkentésére;
- arra, hogy csak azt és akkor gyártunk, amit, és amikor kell, megbízható berendezéseket és jól képzett, motivált munkaerőt feltételez;
- a gyártóvonal hosszának csökkentésére például U alakú sorok alkalmazásával, hogy a munkaerő az aktuális feladatnak megfelelően több munkahelyet is elérhessen.
- arra, hogy legyünk büszkék a pazarlások kiküszöbölésére.

A készletek csökkentése, a mind rugalmasabbá váló termelés és az egyre ésszerűbb gyártóvonalak alapvető fontosságúak egy vállalat fennmaradása szempontjából. E területek minden valamire való vállalatirányítási tankönyvben fejezeteket kapnak.

A vállalati sikerek felett érzett dolgozói büszkeség kialakítása napjaink egyik leginkább felkapott menedzsment témája, és egyben a TPM egyik fontos eleme.

A TPM és a JIT között szoros az összefüggés. A JIT ugyanis nem működhet megbízható és hatékony berendezések nélkül és feltételezi a maximált ember-gép kapcsolatot.

13.2. Az 5S módszer

A TPM a második világháború vége óta alkalmazott japán 5S módszer elemeit is felhasználja.

Mit is jelent ez az 5S? A következőket:

Sort	Távolítsunk el mindent, ami szükségtelen!
Stabilize	Tartsunk mindent a megfelelő helyen!
Shine	Tartsunk tisztaságot és rendet mindig, felismerve azt, hogy a tisztaság elősegíti az állapotromlásra utaló jelek felismerését, segít megfelelően kezelni az eszközöket, mielőtt kialakulna a katasztrófa, büszkeséget és önmegbecsülést teremt a munkahelyen!
Standardize	Vegyük rá a kollégáinkat a rendre és a fegyelemre! Küzdjünk a por- és szeméttmentes munkahelyi környezetért!
Sustain	A magunk fegyelmezett magatartásával juthatunk el a sikerhez és mutathatunk

példát!

Az 5S módszer segít a termelőüzem átlátható és hatékony működtetésében. A rend és a tisztaság láthatóvá teszi a rendellenességeket és hibákat, a rend és a tisztaság fenntartásához az ember aktív és fegyelmezett hozzájárulása nélkülözhetetlen. A valóságban az 5S módszer egy magasabb szintű termelési kultúra megvalósításának az eszköztárához tartozik.

13.3. Veszteségforrások

A karbantartáshoz közvetlenül kapcsolódó költségek bár könnyen mérhetők, véletlenszerű hatásoktól függenek. Az ipari gyártási körülmények között az elvesztegetett lehetőségek költségeit gyakran nevezzük a hat nagy veszteségnek. Ezek:

- meghibásodások és terven kívüli üzemleállások veszteségei;
- hosszadalmas beállítás, átállítás miatti veszteségek (mert „nem vagyunk szervezettek”);
- mikroleállások és holtidők (ezek nem meghibásodások, de a kezelő figyelmét igénylik);
- csökkent sebességen való működés (mert a berendezés „nem elég jó”);
- indulási veszteségek (a meghibásodások és mikroleállások miatt, mielőtt a folyamat stabilizálódna);
- minőségi hibák, hulladék és utólagos megmunkálás (mert a berendezés „nem elég jó”);

A fenti hat veszteségforráson túl olyan helyzetbe is kerülhetünk, amelyet az alábbiakkal jellemezhetünk:

- késve szállítás;
- rossz imázs rólunk a vásárlók szemében és a saját szemünkben is;
- a belső lehetőségek rossz kihasználása;
- rugalmatlanság a vevők igényeivel és problémáikkal kapcsolatban.

13.4. A TPM néhány jellemzője

A TPM olyan módszereket foglal magába, amelyek a berendezés hatékonyságának javítását segítik elő, úgymint adatgyűjtés, elemzés, probléma megoldás és folyamatszabályozás. A TPM a teljeskörű minőség és a csapatomunka gyakorlati alkalmazása

A TPM klasszikus felfogásának 5 építőköve (pillére):

- alkalmazzunk olyan eljárásokat, melyek a berendezések általános hatékonyságát javítják a veszteségforrás kiküszöbölésével;
- fejlesszük a rendelkezésre álló megelőző és előrejelző karbantartási rendszereket;
- a jól képzett termelést végzőkkel alakítsuk ki a tisztítás és a sajáterős karbantartás egy szintjét;
- fejlesszük a termelők és a karbantartók tudásszintjét és motivációját egyénileg és csoportosan;
- vezessünk be olyan megelőző technikákat, mint a javított tervezés és kiválasztás.

A fenti öt építőkövet adja a TPM kialakításának teljes programját. Minden építőkövet egy speciális részecskének és egyenként hét, pontosan meghatározott lépésből áll, azaz összesen 35 ilyen lépést foglal magába. A célok eléréséhez ezeket az építőköveket mind, és hiba nélkül (maradéktaul) ki kell alakítani.

13.4.1. A tervszerű karbantartási program hét lépése

A tervszerű karbantartási program azon karbantartási intézkedések végrehajtása, amelyek stabil gyártási folyamatot biztosítanak. Ez azt jelenti, hogy úgy kell rendben tartani a termelő berendezéseket, hogy többé ne lépjenek fel nem tervezett leállások. E célhoz hozzájárulnak a gépkezelők is karbantartási rutinmunkájukkal, de a bonyolultabb karbantartási feladatok végrehajtását továbbra is a karbantartási részleg végzi.

1. lépés: Karbantartási prioritások felállítása;

A munka kezdetén kell felállítani a fontossági sorrendet. Meg kell állapítani, hogy melyik berendezés vagy gyártási terület igényeli a karbantartási személyzet legtöbb idejét. A karbantartási prioritások megállapítása mellett egy úgynevezett gépnaplót kell készíteni, ami a következő információkat tartalmazza:

- berendezés törzsadatait (gyártó, gyártási év, rendelési adatok...);
- nagyjavításokról szóló karbantartási jelentéseket;
- átépítésről és átalakításról szóló jelentéseket;
- fogyasztási (például kenőanyag fogyasztás) fejleményeket/trendeket;
- tartalék alkatrészekről és kenési részekről szóló bejegyzéseket.

2. lépés: A gyenge pontok eliminálása;

Ebben a lépésben a berendezésekhez kapcsolódó gyenge pontokat kell tartósan kiküszöbölni, a korábban felállított fontossági sorrend figyelembevételével.

3. lépés: Információs rendszer létrehozása;

Ennek a lépésnek a célja egy olyan információs rendszer létrehozása, mellyel egyszerűvé válik az információk gyűjtése és kiértékelése. Ezen információk alapján lehet tervezni, irányítani és koordinálni a karbantartási munkákat.

4. lépés: A tervezett karbantartás kezdete;

A tervezett karbantartás rendszeres ellenőrzési, ápolási és tervezett karbantartási intézkedésekkel kezdődik. Ennek alapját azon berendezésről szóló információk képezik, amelyek a gyártótól megkaphatók és azok, amelyeket a harmadik lépésből nyerünk. A karbantartási tervekben meg kell állapítani, hogy:

- melyik berendezésen, melyik karbantartási feladatokat hajtják majd végre;
- milyen gyakran és milyen intervallumokban hajtják végre a feladatokat;
- ki a felelős az intézkedésekért.

5. lépés: A karbantartási teljesítmény növelése;

A karbantartási folyamatok javítása révén időt takaríthatunk meg, amely aztán felhasználható a kiegészítő tervezett karbantartási intézkedésekre. Például egy zavar okának megtalálása gyakran sok időt vesz igénybe. A diagnosztikai rendszerek alkalmazása segít a hibakeresésben, hogy a javítások célzatosabban és gyorsabban legyenek végrehajthatók. Cél az, hogy minél kevesebb ráfordítással lehetőleg jelentős javulást érjenek el.

6. lépés: Javító karbantartás;

A javító karbantartással három célt kell követni:

- egyes berendezéselemek megbízhatóságának növelése;
- hosszabb élettartamú tartalék- és kopó alkatrészek használata;
- a berendezések teljesítményképességének (minőség és termelékenység) növelése.

7. lépés: Tervezett karbantartási program;

A hetedik lépéssel kezdődik el a bevezetett tervezett karbantartási program folyamatos javítása.

13.4.2. A karbantartási megelőzés hét lépése

A karbantartási megelőzés a berendezés karbantarthatóságát, hozzáférhetőségét és kezelhetőségét már a tervezés és beszerzés során figyelembe veszi. Ez a karbantartást és a termelést végzőkre egyaránt vonatkozik, mivel nekik kell később kezelni, illetve karbantartani a berendezéseket. További nagyon fontos cél a hiba korai felismerése és elkerülése. A karbantartási megelőzés hét lépése:

1. lépés: Termékfejlesztés;**2. lépés: Berendezés koncepció;****3. lépés: Berendezési konstrukció;****4. lépés: Gyártás;****5. lépés: Próbaindítás;****6. lépés: Installáció;****7. lépés: Üzemelés.**

A megelőzés hét lépésével a technikai berendezések egész életciklusát (a kifejlesztéstől a rendszerből történő kivonásig) befolyásolják. Az egyes lépéseket nem csak egyszer hajtják végre, hanem az egészet egy ismétlődő folyamatként kell értelmezni.

Az első három lépésben a termelésből és karbantartásból származó gyakorlati tapasztalatokat (például egy követelménylista formájában) veszik figyelembe a berendezések tervezése során. A negyedik, ötödik, hatodik lépésben — gyártás, indítás és installáció — vizsgálják, hogy a berendezést jól karbantarthatóan és könnyen kezelhetően alakították-e ki.

Az üzemelési lépésben derül ki, hogy tényleg helyesen vették-e figyelembe a karbantarthatóság minden kritériumát. A karbantartási megelőzés célja, hogy a berendezések ezen követelményeknek teljesen megfeleljenek. Viszont mindig fellépnek olyan hibák, amelyeket nem vett eléggé figyelembe a tervezés és a fejlesztés, és ezért nagyon fontos, hogy a termelést és karbantartást végzők visszajelzést adjanak. Csak így lehet az elkövetett hibákat a következő, új berendezésnél ténylegesen elkerülni. A berendezés napi üzemelése a legterjedelmesebb információs forrás az új berendezések tervezése szempontjából.

13.4.3. Az oktatás és gyakorlat hét lépés;

Ahhoz, hogy meg lehessen valósítani a TPM-et egy vállalatnál, minden munkatársnak tudnia kell, hogy mi a TPM és hogyan működik. Oktatások és képzésprogramok során megszerezhetők a TPM alap- és megvalósítási ismeretei.

A szükséges ismeretek és képességek megszerzéséhez hét lépés ajánlott. Minden egyes lépés egy speciális témát érint. A TPM módszerei és eszközei a legjobban gyakorlati példákkal tanulhatók meg. Nagyon fontos, hogy ne „akadémikus előadásokat” tartsunk, hanem, hogy a TPM módszereket létező problémákon mutassuk be.

1. lépés: Tudatosság;

Csak a TPM koncepció melletti teljes vezetői elkötelezettség esetén van esély ennek sikeres megvalósítására. Ez azt is jelenti, hogy a vezetőknek jó példát kell mutatniuk, nem elég csak kiosztani a feladatokat másnak.

2. lépés: A TPM alapjai;

A TPM alap gondolata a koncepció egészének megértésén alapul. A legfontosabb kérdés, hogy hogyan közvetíthetők az alapok a munkavégzők és közvetlen irányítók felé.

3. lépés: A TPM eszközei;

A TPM oktatásában a problémamegoldó technikákról, vizualizálásról, standardizálásról és a lépésenkénti és szisztematikus eljárásról kell szót ejteni.

4. lépés: Kommunikáció a teamben;

Egy terméket általában többen állítanak elő. Ezért nyilvánvaló, hogy együtt és egymással kell dolgozni, azaz úgynevezett team-munkáról van szó minden szinten és minden területen.

A team-munka lényege, hogy minden munkatárs részt vesz benne és hozzájárul az ötleteivel. Fontos a gondolatok tárgyilagos megvitatása.

5. lépés: Autonóm karbantartás;

Az autonóm karbantartás alkalmazása során a gépkezelők vehetik észre leginkább a berendezés normál működésétől való eltérést. Az autonóm karbantartás végrehajtásának alapja a berendezés funkcióinak és összefüggéseinek tiszta megértése és hatékonyságának növelését szolgáló szükséges szerszámok és technikák ismerete.

6. lépés: Tervezett karbantartás;

Ez az oktatás a tervezett karbantartási program végrehajtóinak szól. Az oktatási súlypontokat a tervezett karbantartási program hét lépése szerint kell kialakítani.

7. lépés: Gyártási ismeretek;

A termelő berendezés hatékonyságának növelését szolgáló intézkedéseket azok dolgozhatják ki, akik a legjobban ismerik a gyártási folyamatot. Nagyon fontos ezért a termelést végzők számára, hogy bepillantást nyerjenek a felszerelés, a szerszámcsere és berendezés folyamataiba is. Mindezeket túl a folyamatokra vonatkozó ismeretek állandó képzésekkel javíthatók.

A karbantartók számára elengedhetetlen a termelési feltételeket ismerete, hogy meg tudják érteni, miért lép fel valamely meghibásodás. Ők azok, akik a helyszínen a legkönnyebben tudják megszerezni ezt a tudást.

13.4.3. A súlyponti problémák kiküszöbölésének hét lépése

A súlyponti problémák kiküszöbölésének célja a berendezések hatékonysági veszteségeinek csökkentése. A Pareto elv szerint általában a kiesések okainak 20 %-ára megfelelően koncentrálva el lehet kerülni az összes leállítást 80 %-át.

1. lépés: A veszteségforrások azonosítása;

A hat fő veszteségforrás eltérő mértékben, de minden munkahelyen és minden termelő berendezésen megtalálható. Először azokat a veszteségeket kell megállapítani, amelyek a legnagyobb hatást gyakorolják a berendezés hatékonyságára. Ebből a célból zavarjegyzőkönyveket kell vezetni a veszteség fajtájáról és mértékéről (veszteség mértéke percben, darabszámban és százalékban).

2. lépés: A súlypontok meghatározása;

A veszteségek azonosítása és mértékének megállapítása után azokat rangsorolni kell.

3. lépés: Elemző csoportok kialakítása;

Az azonosított súlyponti problémák a legjobban csoportmunkával csökkenthetők. Az elemző csoportot elsősorban a termelési, karbantartási és minőségbiztosítási terület munkatársaiból kell összeállítani.

4. lépés: Az okok elemzése;

Az elemző csoportok feldolgozzák és kielemezik az egyes problémákat, kutatják azok kiváltó okait is.

5. lépés: Az ellenintézkedések kidolgozása;

Amint valamely problémamegoldási technika segítségével meghatároztuk a kiváltó okokat, a következő lépés a szükséges ellenintézkedések kidolgozása. Célszerű összeállítani egy listát, amely a következő pontokat tartalmazza:

- a probléma oka;
- javítási intézkedések;
- a végrehajtás határideje;
- a végrehajtásért felelős személyek;
- felülvizsgáló/ellenőrzési időpont.

6. lépés: Az intézkedések végrehajtása;**7. lépés: A hatékonysági ellenőrzés végrehajtása;**

Ez a lépés azt vizsgálja, hogy vajon az egyes megtett intézkedések meghozták-e a kívánt sikert. Célszerű a problémakiküszöbölés eredményeit dokumentálni és megőrizni, mivel azok a hasonló esetekben újra felhasználhatók.

13.4.5. Az autonóm karbantartás kialakításának hét lépése

A TPM szemszögéből nézve a termelést és a karbantartást végzők közötti szigorú elkülönítés megakadályozza a karbantartási problémák megoldását. Az autonóm karbantartás azt jelenti, hogy a termelésben dolgozók önállóan hajtják végre a karbantartás egy részét. Más karbantartási feladatok, mint például bonyolult javítások, amelyek elvégzéséhez speciális szakképzettség szükséges, maradnak a karbantartást végzők hatáskörében.

Ha a termelésben dolgozó munkatársak karbantartási feladatokat is végeznek, például azzal, hogy ápolják az általuk használt berendezést, jobban megismerik gépeiket. Ezzel a dolgozók összekötik a gyártásból származó tapasztalataikat a berendezés működésének ismeretével. A termelésben dolgozók érzik a berendezés rendellenességeit és ezzel már előre felismerhetik a zavarokat. A terven kívüli leállításokat ilyen módon elkerülhetik.

Az autonóm karbantartás változást jelent a gondolkodásmódban, és pedig az „én termelek, és te javítasz” nézettől az „én vagyok felelős a berendezésért, amellyel dolgozom” nézet felé. A gépkezelők felelősek lesznek a berendezésükért és a folyamat minőségéért. Ez nagyobb önrendelkezéssel jár, és nagyobb lesz a felelős döntések meghozatali szabadsága.

1. lépés: Alaptisztítás egy első ellenőrzéssel;**2. lépés: A szennyezőforrások elleni intézkedések és a hozzáférhetőség javítása;****3. lépés: Az ideiglenes normák megállapítása;****4. lépés: Az egész termelőberendezés ellenőrzése és gondozása;****5. lépés: Az autonóm karbantartás kezdete;****6. lépés: A munkahely megszervezése és javítása;**

7. lépés: Autonóm karbantartás.

Az első három lépésben a berendezéseket először is egy bizonyos alapszintre hozzuk. Ezzel a termelésben dolgozók foglalkoznak. Az elért alapszint az autonóm karbantartás kiindulási pontja. A 4. és a 5. lépés tartalmazza az alapos ellenőrzések végrehajtását és az ezekből levezetett intézkedéseket. A berendezés használatáról szerzett mélyebb ismeretek és tapasztalatok alapján a 6. és a 7. lépésben a javítótevékenységek kerülnek előtérbe. A javítótevékenységek kiterjednek a berendezés teljes környezetére is, így például a szerszámbeállítási helyekre vagy a logisztikai folyamatokra is.

13.5. A műszaki üzemeltetési folyamat tervezése (MSG-3)

Az előzőkre példa az eredetileg a Boeing repülőgépek műszaki üzemeltetéseire kidolgozott MSG-3 (**MSG — Maintenance Steering Group**) rendszer, amelyet mind több légitársaság is alkalmaz. Lényegében ez tekinthető a TPM előfutárának.

Az MSG-3 nem tartalmaz számszerű követelményeket, azok meghatározása mindig az előírásrendszer konkrét légitársaságra, üzemeltetőre kidolgozó munkacsoport feladata.

Az MSG-3 alkalmazta először a gyakorlatban azt, hogy a karbantartási előírásrendszer kidolgozása az üzemeltető, a tervező-gyártó cég és a felügyelő légügyi hatóság képviselőiből alakult bizottság feladata.

A műszaki üzemeltetés tervezése, irányítása egyrészt a műszaki üzemeltetési rendszer kialakítását, másrészt annak gyakorlati megvalósítását jelenti.

A műszaki üzemeltetés (karbantartás, javítás) korszerű előírásrendszerének megvalósításához egyértelműen meg kell adni:

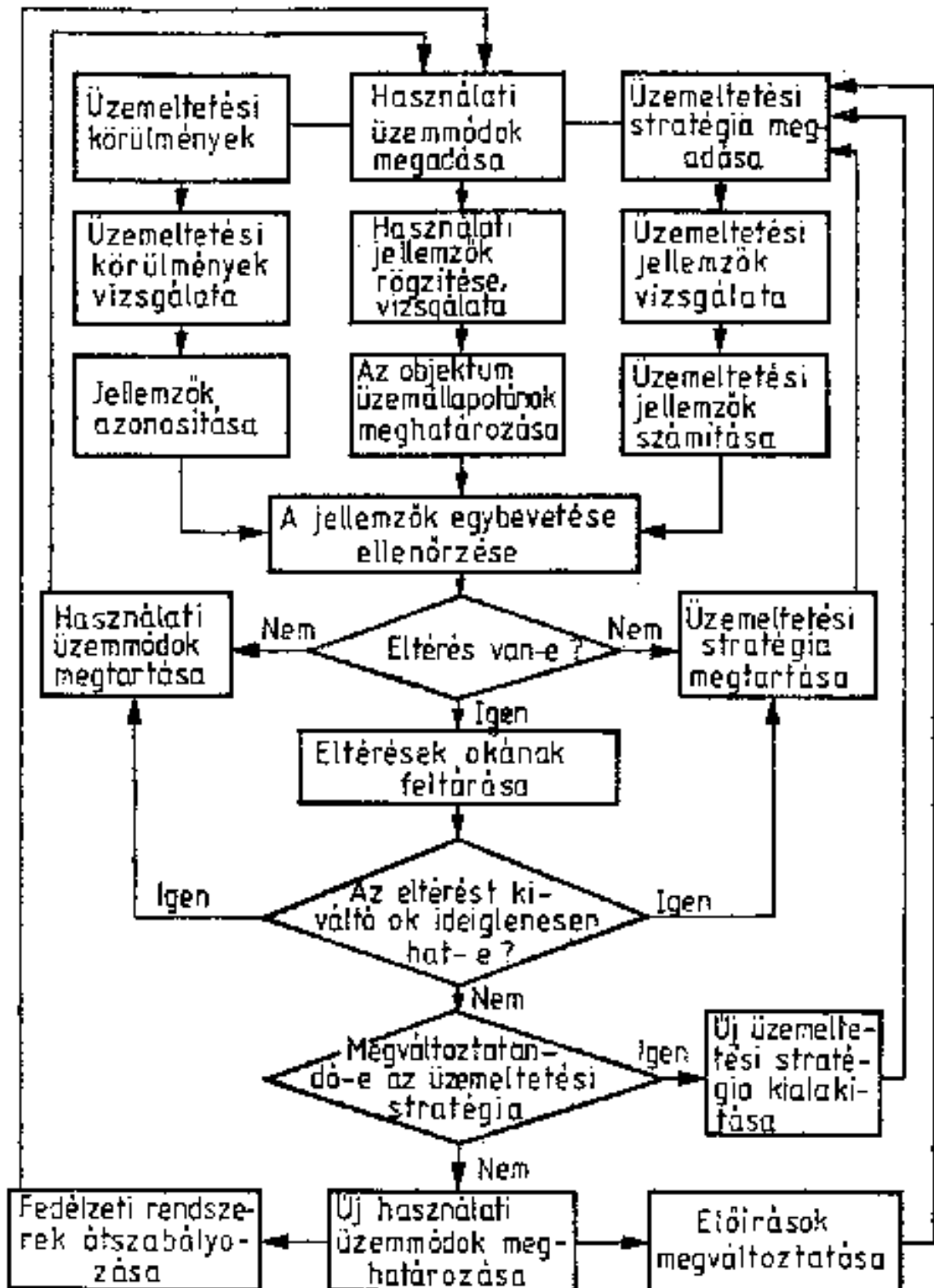
- milyen konkrét munkákat kell elvégezni;
- az elvégzendő munkák gyakoriságát;
- az előírt munkák elvégzéséhez szükséges berendezések, eszközök jegyzékét, leírását;
- mely munkákat gazdaságosabb más műszaki üzemeltető szervezetekkel elvégeztetni.

A korszerű karbantartási, javítási előírásrendszerek lényegében az eddig tárgyaltak egységes rendszerszemléleten alapuló gyakorlati alkalmazását testesítik meg, és létrehozásuk sajátosságai a következők:

- önálló vizsgálatnak kell alávetni a technikai eszköz szerkezetét és egyes rendszereit, illetve annak elemeit;
- sajátos döntési logikát alkalmaz, amely szerint:
 - a vizsgálat során „felülről lefelé” halad;
 - a meghibásodások következményeit tekinti kiindulási alapnak;
 - élesen elkülöníti a biztonsági és gazdasági következmények szerinti értékelést;
 - kiemelten kezeli a meghibásodás észlelhetőségét;
 - figyelembe veszi a szerkezet károsodási folyamatait;
- számol a szerkezet sérülésekkel szembeni érzékenységével;
- a régebbi rendszerektől eltérően nem folyamat-, hanem eljárásorientált;
- a döntési logikában számításba veszi a kenések át-, illetve beszabályozásainak tényét és következményeit;
- lehetővé teszi az úgynevezett vertikális és horizontális döntési elv alkalmazását (a lehetőségeket egy vonalban — horizontálisan — tünteti fel);
- széles körben foglalkozik a rejtett funkcionális meghibásodásokkal;
- számításba veszi az egyidejű, vagy többszörös meghibásodások lehetőségét is.

Az MSG-3 szerinti döntésnek két szintje van. Az első a meghibásodás következményeit értékeli, míg a második az alkalmazandó eljárás kiválasztásának a szintje.

A műszaki üzemeltetési folyamat végeredményben a légiüzemeltetési módok, az üzemeltetési körülmények figyelembevételével optimálható (13.1. ábra).



13.1. ábra. Az üzemeltetés optimális irányításának elve

Felhasznált irodalom

- [1] **POKORÁDI LÁSZLÓ**, A matematikai modell, Tudományos Kiképzési Közlemények, MH. SzRTE, Szolnok 1993/1, p. 30–40.
- [2] **POKORÁDI LÁSZLÓ**, Application of Markov process Theory to Investigation of Aircraft Operational Processes, Proceeding of 19th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, Anaheim, California, USA, 1994, Volume 3, p. 2172–2180.
- [3] **POKORÁDI LÁSZLÓ**, Markovian Modeling Wartime Operation of Military Aircraft, "International Aerospace Congress 1997", Sydney, Australia, Volume 2, p. 537–549.
- [4] **POKORÁDI LÁSZLÓ**, Bevezetés a műveleti kockázatkezelésbe, Új Honvédségi Szemle, Budapest, 1999/4, p. 130–136.
- [5] **POKORÁDI LÁSZLÓ**, A kockázat kategóriái, Új Honvédségi Szemle, Budapest, 1999/6, p. 28–35.
- [6] **POKORÁDI LÁSZLÓ**, A műveleti kockázatkezelés folyamata, Új Honvédségi Szemle, Budapest, 1999/11, p. 33–42.
- [7] **POKORÁDI LÁSZLÓ, SZABOLCSI RÓBERT**, Mathematical Models Applied to Investigate Aircraft Systems, nomográfia, Monographical Booklets in Applied and Computer Mathematics, MB-12, PAMM, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1999., pp. 146.
- [8] **POKORÁDI LÁSZLÓ, SZABOLCSI RÓBERT**, Aircraft Operation Management Based on State-Estimation, Proceedings of 21st ICAS Congress, 13-18 September 1998, Melbourne, Victoria, Australia (CD-version).
- [9] **ROHÁCS JÓZSEF, SIMON ISTVÁN**, Repülőgépek és helikopterek üzemeltetési zsebkönyve, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1989, pp. 523.
- [10] **KADINGER, B.**, Készülékek és berendezések megbízhatósága, BME, Budapest, 1975.
- [11] **Michelberger, P., Horváth, S.**, Mechanika V. Válogatott fejezetek, egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.
- [12] **RÉNYI, A.**, Valószínűségszámítás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1989.
- [13] **ROHÁCS, J.**, Theory of Anomalies and its Application to Aircraft Control, Proc. of 4th Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, 1996, p. 59-73.
- [14] **SZÛCS, E.**, Hasonlóság és modell, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
- [15] **KUNOS, B., TURCSÁNYI, K.**, A haditechnikai eszközök megbízhatóságának alapkérdései, MH. ZMKA, Budapest, 1996. pp.191.
- [16] Operational Risk Management (ORM) Guidelines and Tools, Air Force Pamphlet 91-215 (1998) pp.
- [17] Operational Risk Management (ORM) Implementation and Execution, Air Force Pamphlet 91-214 (1997), pp.21
- [18] **PÉCZELY GY.**, A karbantartás korszerű irányai, Karbantartás és Diagnosztika, 2000. július, p. 4–48.
- [19] **STEIN, J.**, Risk Management Implementation Guide, Riskdriver, Epsom UK, 1999, pp. 19.
- [20] Leader's Safety Guide, US. Army, Safety Center, 1998., pp. 75.
- [21] **BOWLES, J.B., PELÁEZ C.E.**, Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis, Reliability Engineering and System Safety 50 (1995) 203-213.
- [22] **XU, K., TANG, L.C., XIE, M., HO, S.L., ZHU, M.L.**, Fuzzy assessment of FMEA for engine systems, Reliability Engineering and System Safety 75 (2002) 17-19.