

SZENT ISTVÁN EGYETEM

**INTELLIGENS MÉRŐ- ÉS KEZELŐRENDSZEREK MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSA, KÜLÖNÖS
TEKINTETTEL A NAGY BIZTONSÁGI KÖVETELMÉNYEKRE**

Doktori értekezés

Szász Olivér

**Gödöllő
2005**

A doktori iskola

megnevezése: Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága: 2.9 Agrárműszaki tudomány

vezetője: Dr. Szendrő Péter
egyetemi tanár, a mezőgazdasági tudományok doktora
SZIE Gödöllő, Gépészmérnöki Kar, Géptani Intézet

Témavezető: Dr. Walz Géza
egyetemi docens, a műszaki tudomány kandidátusa
SZIE Gödöllő, Gépészmérnöki Kar, Géptani Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

Tartalomjegyzék

1	JELÖLÉSEK ÉS SZIMBÓLUMOK JEGYZÉKE	5
2	BEVEZETÉS	7
2.1	A TÉMA JELENTŐSÉGE	8
2.2	CÉLKITŰZÉS	9
3	IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	11
3.1	A MINŐSÉG.....	11
3.1.1	A megfeleléség.....	11
3.1.2	Megbízhatóság.....	13
3.2	A BIZTONSÁG	17
3.2.1	Számítógépek szerepe, szoftverbiztonsága.....	18
3.2.2	Intelligens gépi rendszerek	19
4	ANYAG ÉS MÓDSZER	21
4.1	A MINŐSÉG/MEGBÍZHATÓSÁG/MEGHIBÁSODÁS MATEMATIKAI JELLEMZÉSE	21
4.1.1	Véletlen-szerű, nem-rendszeres meghibásodások analízise	22
4.1.2	A rendszeres meghibásodás figyelembe vétele.....	24
4.1.3	Szoftver hibák.....	24
4.1.4	Rendszerek megbízhatóságának vizsgálata.....	27
4.1.5	A redundanciával rendelkező rendszerek meghibásodásának elemzése	29
4.1.6	Egyetlen hiba állapot (SFC) feltétel alkalmazása.....	31
4.2	PARADIGMAVÁLTÁS A MEGBÍZHATÓSÁG KIÉRTÉKELÉSÉBEN	32
4.2.1	A műszaki minőség fuzzy leírása	33
4.2.2	A műszaki elhasználódási kísérletek kiértékelése fuzzy-relációkkal	35
4.2.3	Bayes-típusú statisztikai vizsgálatok	36
4.2.4	Bayes-paradigma	39
4.2.5	Bayes paradoxon.....	41
4.2.6	Szemléletes példák	42
4.2.7	Bayes modell rekurzív esetben	43
4.3	MŰKÖDÉS ÉS ÉLETTARTAM LEÍRÁSA	44
4.3.1	Önszervezés és önhasonlóság komplex rendszerekben	45
4.3.2	Dinamikai megfontolások: fluktuációk, zajok	47
4.3.3	A zajok jellemzése	47
4.3.4	Önhasonló zaj	49
4.3.5	A zaj/fluktuáció diagnosztikájának matematikai alapjai.	50
4.4	ELHASZNÁLÓDÁS/ÉLETTARTAM VIZSGÁLAT	55
4.4.1	A műszaki öregedési folyamatok önhasonlósága.....	57
4.4.2	Fluktuáció- és zaj-vizsgálatok.....	58
5	EREDMÉNYEK.....	61
5.1	NAGY MEGBÍZHATÓSÁGÚ RENDSZER KIÉPÍTÉSE A GYAKORLATBAN.....	61
5.1.1	A készülék felépítése.....	61
5.1.2	Központi egység processzoros irányítása	64
5.1.3	Kezelőgy processzoros kontrollja	65
5.1.4	Felhasználói felület szoftverje.....	65
5.1.5	A megoldás bevizsgálása és tanúsítása.....	66
5.2	SZERVIZ-IGÉNY ELŐREJELZÉSE.....	66
5.2.1	A berendezés és validálása	67
5.2.2	Orvosi kezelő berendezés vizsgálata.....	69
5.2.3	Hűtőegység-vizsgálata	73
5.2.4	Szél turbina hosszúidejű vizsgálata.....	74
5.3	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	77
5.4	TÉZISEK.....	78
6	KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	79
6.1	AZ ORVOSI KÉSZÜLÉK TOVÁBBFEJLESZTÉSE	79
6.2	FLUKTUÁCIÓ-VIZSGÁLAT A KONSTRUKCIÓ KIEGYENSÚLYOZOTTSÁGÁRA	79
6.3	FLUKTUÁCIÓ-VIZSGÁLAT A NEM-ELHASZNÁLÓDÁSI HIBÁKRA	80

6.4	AKTÍV FLUKTUÁCIÓ-VIZSGÁLATOK.....	80
6.5	FELÚJÍTÁSOK, UP-GRADE MUNKÁK KONTROLLJA	80
6.6	ÚJABB KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK	81
7	ÖSSZEFOGLALÁS.....	83
7.1	SUMMARY	84
8	MELLÉKLETEK	85
8.1	M1. IRODALMI HIVATKOZÁSOK.....	85
8.2	M2. A KLASSZIKUS STATISZTIKAI VIZSGÁLATOK KONCEPCIÓJA.....	95
8.2.1	<i>Az Avrami-egyenlet.....</i>	<i>99</i>
8.2.2	<i>Weibull eloszlás</i>	<i>100</i>
8.3	M3. BOOLE-FÉLE RENDSZER-MEGBÍZHATÓSÁG VIZSGÁLAT	102
8.3.1	<i>Soros alrendszerek megbízhatósága a rendszeres hiba figyelembe vételével</i>	<i>103</i>
8.3.2	<i>Párhuzamos alrendszerek megbízhatósága a rendszeres hiba figyelembe vételével</i>	<i>104</i>
8.4	M4. A FUZZY-SZÁMOLÁS SZABÁLYAI.....	105
8.4.1	<i>A fuzzy szám visszavezetése rögzített intervallumok halmazára</i>	<i>105</i>
8.4.2	<i>Fuzzy relációk.....</i>	<i>106</i>
8.4.3	<i>Fuzzy relációk kompozíciója, soros kapcsolása.....</i>	<i>107</i>
8.4.4	<i>Fuzzy relációk párhuzamos kapcsolása.....</i>	<i>108</i>
8.4.5	<i>A fuzzy reláció inverze</i>	<i>108</i>
8.5	M4. A NAGYBIZTONSÁGÚ KÉSZÜLÉK KEZELŐI FELÜLETEI.....	110
8.5.1	<i>Központi egység.....</i>	<i>110</i>
8.6	M5. SZOFTVER HASZNÁLATA	114
8.6.1	<i>Áttekintés.....</i>	<i>114</i>
8.6.2	<i>Alapelemek.....</i>	<i>115</i>
8.6.3	<i>Parancslista</i>	<i>117</i>
8.6.4	<i>Karbantartási üzenet.....</i>	<i>122</i>
8.6.5	<i>Kezelő ablak.....</i>	<i>125</i>
8.6.6	<i>Új beteg felvétele az adatbázisba.....</i>	<i>128</i>
8.6.7	<i>Figyelmeztető és hibüzenetek.....</i>	<i>128</i>
8.6.8	<i>Felügyeleti parancsok (adminisztráció).....</i>	<i>130</i>
8.6.9	<i>Diagnosztika és egyéb súgófunkciók.....</i>	<i>131</i>
8.6.10	<i>Az összes páciensadat biztonsági másolata.....</i>	<i>133</i>
8.6.11	<i>Felügyeleti menü.....</i>	<i>133</i>
8.7	M6. RÓZSASZÍN (1/F) ZAJ	135
8.7.1	<i>Modell a rózsaszín-zaj magyarázatára</i>	<i>135</i>

1 JELÖLÉSEK ÉS SZIMBÓLUMOK JEGYZÉKE

CAPA - **C**orrective **A**nd **P**rotective **A**ctions, Javító és megelőző tevékenység

CE - **C**onformity of **E**urope (Európai szabványnak megfelelő termék jelölése.) Különböző kategóriák szerint történik a minősítése.

EMC – **E**lectromagnetic compatibility, Az Európai Unió elektromágneses szabványa

EOQC **E**uropean **O**rganization of **Q**uality **C**ontrol - Európai Minőségügyi Szervezet

FDA **F**ood and **D**rug **A**dministration – az USA élelmiszer és gyógyszer/gyógyellátás minősítő hivatala

FFT – **f**ast **F**ourier **t**ransformation, gyors Fourier transzformáció

IEC **I**nternational **E**lectro-technical **C**ommittee, Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság

MDD – **M**edical **D**evice **D**irective az Európai Unió orvosi készülékekre vonatkozó előírásainak összessége.

PC – **P**ersonal **C**omputer, személyi számítógép,

PEMS - **P**rogramable **E**lectrical **M**edical **S**ystem, programozható elektronikus gyógyászati eszköz

RF – **R**ádió frekvencia

SFC – **S**ingle **F**ault **C**ondition - Olyan állapot, amelynél vagy amely feltételt teljesítő készülékben egyetlen meghibásodás vagy a biztonságos működéshez feltételezett egyetlen körülmény negatív változása nem vezethet biztonsági kockázatra. (MSZ EN 60601-1:1997)

TÜV PS – TÜV **P**roduct **S**ervice, Német Minőségbiztosító Intézet,

UL **U**nited **L**aboratories, Angol-szász minősítő intézet

α , β – meredekségi hatványkitevők

$C_x(t)$ – párkorrelációs függvény

D – adathalmaz vagy lineáris csillapítás

$\delta(x(r,t))$ – átlagtól való aktuális eltérés

E_i – esemény

F(t) – eloszlásfüggvény vagy valószínűség sűrűség

$G(\lambda)$ – a $(\lambda, \lambda+d\lambda)$ intervallumban lévő stohasztikus folyamatok sűrűsége

$\Gamma(t)$ – normáeloszlású fehér zaj

H(t) – kumulatív kockázati függvény

h(t) – kiselejtezési ráta

H_i – hipotézis

J – jel érték

L – tulajdonság

$\lambda(t)$ – meghibásodási ráta

M_i – eseményhalmaz, mért érték

$\mu_i(x_j, y_k)$ - (x_j, y_k) értékpárra vonatkozó fuzzy tagsági függvény

$N(0,1)$ - zérus átlagú, egységnyi szórás négyzetű normáleloszlású stohasztikus folyamat

$P(\tau)$ – valószínűség

Q_{sz} – a szisztematikus hiba javítási idejének aránya az üzemidőhöz

r – skála

$R(t)$ – megbízhatóság

$S(f)$ – spektrális teljesítménysűrűség függvény

σ^2 - szórásnégyzet

t – idő paramétere (s)

τ – karakterisztikus idő paramétere (s)

T – élettartam (s)

Θ – természetes Weibull időskála

$\Theta[X(t), t, dt]$ - stohasztikus növekmény

u_i – a Weibull eloszlás paraméterei

ω – körfrekvencia

$X(f)=F\{x(t)\}$, - $x(t)$ Fourier transzformáltja

Z – zaj érték

$*$ - konvolúciós szorzat

$\langle \rangle$ - átlagolás jelzése

2 BEVEZETÉS

Korunk technikai fejlődésére nem csak a technikai eszközök funkcióinak növekedése, finomodása jellemző, hanem a háttérben meghúzódó biztonsági megoldások is jelentős szerepet kapnak. Ebbe a körbe nem csak az elektronikus megoldások, hanem a mechanikai, logikai, szoftveres, vagy egyéb felhasznált technikák is bele tartoznak. Ugyanebbe a körbe tartozik az elkészült berendezések meghibásodási biztonságához szorosan kötődő eszköz-élettartam vizsgálat és az ehhez szükséges statisztikai módszerek.

A modern technikával együtt járó számítógépes illetve processzoros vezérlések, beprogramozott automatizmusok és védelmi funkciók kézbentartása, kontrollja és továbbfejlesztése igen speciális szakértelmet igényel. A modern ember számára a technika áldásai csak akkor jelentenek előnyt, ha azok veszélyei nem lényegesek, illetve folyamatos ellenőrzéssel kiküszöbölhetőek.

Ma már a modern eszközök tervezése elképzelhetetlen a megfelelő biztonsági és élettartam kiértékelés és statisztika nélkül, hiszen nem csupán a biztonság és balesetvédelem, de komoly gazdasági szempontok is meghúzódnak ennek szükségessége mögött:

A szervizek megfelelő tervezése, a regulárisan kötelező szakszervizek periodicitása és az ezekhez kapcsolódó felújítási munkák tervezése alapvetően meghatározza egy termék/beruházás gazdaságosságát és profitját.

Az alkatrészek élettartam-harmonizálása és statisztikai beállítása kialakíthatja a készülék/berendezés optimális élettartamát, melyben a készülék egyes részei egyszerre érik el élettartamuk végét, és így a leselejtezéskor nem kerül kidobásra olyan alkatrész/részegység, mely még használható lehetne gazdaságosan. Ez a szempont úgy környezetvédelmi, mint hasznosítás-optimalizálási szempontból lényeges, nem is beszélve a fogyasztói társadalom elhasználódást lényeges faktorként figyelembevevő szempontjairól, mely lehetővé teszi a mindenkor legújabb technika (state-of-art¹) gyakorlati alkalmazását, a használt berendezések dinamikus cseréjét.

Az alkatrész kiválasztási és beépítési szempontok még nagyobb hangsúlyt kapnak annak tükrében, hogy vannak olyan nagyberendezések (nagy gépek, beépített eszközök, építményekkel összefüggő berendezések, stb.) melyek drága és nagy anyagigényű térfogata (sok anyagot tartalmazó és így hosszú élettartamú részegységei, pl. öntvény szerkezetek, építmények (mint vízerőmű gátszerkezete és turbina-öntvényei, mezőgazdasági tárolók és feldolgozók, stb.) határozzák meg az adott berendezés árát és befolyásolják hasznosítását. A nagy anyagigényű és változatlanul használható részek megtartásával, de a belső technikai cseréjével olyan felújított berendezés érhető el, mely az újnak csak töredékébe kerül és élettartama még mindig felveszi a versenyt az újjal. Ezen „hibrid” felújítások komoly gazdasági előnyökkel járnak.

Az utóbbi évtizedekben a technika fejlődésének (elsősorban az elektronika és a szoftverek terén) köszönhetően, egyre több olyan eszköz/berendezés (gépészeti kialakítás) került az emberek kezébe, melyekben rejlő potenciális veszélyt azok felhasználói nem is sejtik, vagy egyszerűen képtelenek végiggondolni és mérlegelni azt. (Például az autókban az ABS (Anti-Blocking-System)², is azért készült, mert a vezető többesége, nem megfelelően reagál bizonyos helyzetekben.)

¹ State-of-art: A jelenleg használt és elfogadott legmagasabb szintű „tényállás”, a jelenlegi legfejlettebb állapot, legkiterjedtebb tudás. (Akkor használatos, amikor tudjuk, hogy lehetne jobb is, de a jelen technikai és gazdasági körülmények között, annak megoldása még nem kidolgozott.)

² ABS: Az ABS felelős az autókban, hogy a vezető, egy hirtelen fékezéskor, ne csússzon meg, ezáltal a kocsit továbbra is kormányozható maradjon.

A téma fontosságát jelzi, hogy 1998-ban az Európai Unióban kötelezővé vált a forgalomba került eszközök, berendezések komplex bevizsgálata, minősítése, melyet a CE³ szimbólum jelez. Természetesen a bevizsgálás követelménye, folyamata erősen függ attól, hogy mi a felhasználási cél. A rendszert alapvetően a nagybonyolultságú, vagy magas technikai színvonalat képviselő vagy akár a mindennapi felhasználás során esetlegesen potenciális veszélyforrást jelentő termékek folyamatos szakmai kontrollja, a kockázatának⁴ minimálisra szorítása hívta életre, [Besterfield 1979, EURO CAT 1999, IEEE 1990]. Ezt a komplex vizsgálatot például az orvosi műszerek hatékonyságára az Amerikai Egyesült Államokban az UL (United Laboratories, biztonságtechnika) és az FDA (Food and Drug Administration, mezőgazdasági/állat- vagy humán-gyógyászati megfelelés, humán-kockázati faktorok) külön-külön végzik el.

Dolgozatomban bemutatom az általam kidolgozott és a gyakorlatban széles-körben alkalmazott nagy biztonságú, intelligens rendszer felépítését és eredményeit. A tapasztalatok alapján olyan vizsgálati módszert vezetek be és valósítok meg, mely egyértelműen segíti a gépi intelligencia működését, a komplex ellenőrzési, „asszociatív” előrejelzési és kiegyensúlyozott működési feltételeinek folyamatosságát. A készülékek adaptív jellegét (öregedési folyamatok, környezeti hatások, „tanulási” algoritmusok és folyamatok) követve módszerem lehetővé teszi a karbantartási igények megjelenítését még a készülék meghibásodásának jelei előtt. Ugyancsak lehetővé válik a készülékek kiegyensúlyozott fejlesztésének és harmonikus működésének kontrollja is. A megközelítés különlegessége, hogy nem az individuális és független információk összessége, összerakása, kiértékelése, mérlegelése és a megfelelő halmazon hozott döntés folyamatát célozza, hanem a komplex rendszerek egymásra ható tulajdonságai alapján kollektív információkat használva stratégiai és előrejelző döntések meghozatalát teszik lehetővé. Ennek megfelelően nem a lineárisan független bázisok keresése a fontos a leírás szempontjából, hanem éppen az összefüggések és azok dinamikai meghatározottsága adja a döntési információ alapját.

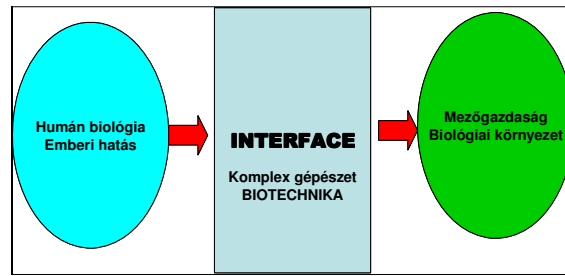
2.1 A téma jelentősége

A mezőgazdasági gépészet az ember fejlődésének egyik legalapvetőbb lépcsőjéhez a szerszámok használatához kapcsolódik. Az ősember szerszámkészítése, mellyel a növényi kultúrák kialakítását, illetve a vadászatot és az állattenyésztés alapjait rakta le, olyan eszközöket adott az akkori ember kezébe, mely az adott kor színvonalán álló „mezőgazdasági gépészet” volt. Általánosságban megállapíthatjuk, hogy a mezőgazdasági gépészet alapvetően az ember ható-erejének megsokszorozására, az emberi erő és tudás kiterjesztésére és célirányos felhasználására, az adott társadalmi szinten a létezéshez szükséges élelmiszerek előállítására, feldolgozására, alakítására, tartósítására, stb. szakosodott tudomány- és munkaterület. Leegyszerűsítve és mai informatika korára jellemző nyelven fogalmazva, például olyan történelmi gépészeti irány, mint a mezőgazdasági gépészet egy mesterségesen előállított interface⁵ (átvezető struktúra), mely az ember, mint ható tényező és a mezőgazdasági biológiai környezet (állattenyésztés és növénytermesztés, élelmiszer-feldolgozás, stb.) között létesít kapcsolatot (ld. 1. ábra.).

3 CE: Conformity of Europe (Európai szabványnak megfelelő termék jelölése.) Különböző kategóriák szerint történik a minősítése.

4 Kockázat: Potenciális veszélyforrás. Kockázattertelés: A potenciális veszélyforrások összegyűjtése, beazonosítása, és lehetséges károk felmérése.

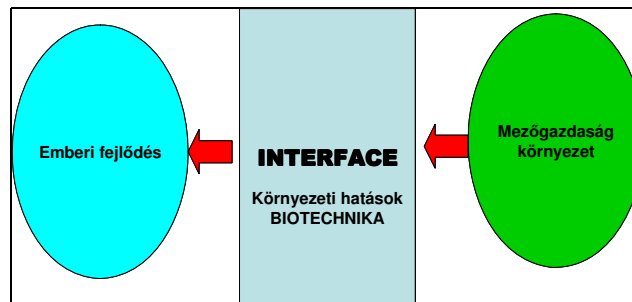
5 Interface: Az a definiált felület, melyen az információ/hatás átkerül az egyik oldalról a másikra.



1. ábra. A mezőgazdasági gépészet klasszikus iránya

Mint ilyen kapcsolati elem, természetesen a minél komplettebb és komplexebb funkciók ellátása a célja: beleértve az egyre nagyobb teljesítményeket és az egyre bonyolultabb és kiterjedtebb felhasználásokat, a növekvő igényekhez való alkalmazkodást is. Ez ma már, a ható humán tényezővel interaktív megoldásokat kíván, és így processzorok, és az azokat működtető szoftverek alkalmazásait foglalja magában [Arsenaults és Roberts 1980]. Ez az egyik tényezője a jelen dolgozat időszerűségének.

Az aktualitás másik tényezője a modern ember sajátja, fejlődésének velejárója: a hirtelen technikai és technológiai változások jelentősen átalakítják környezetünket, és jelentős terhet jelenthetnek magára az emberre nézve is. Ennek a környezeti tehernek a jelenléte a mezőgazdaságban és az élelmiszer lánc védelmének biztosításában talán a leginkább triviális. Ez maga után vonja, hogy a mai mezőgazdasági gépészet a fordított hatás problémáival is szembenéz, (2. ábra). A korszerű mezőgazdasági gépészet éppen ezért alapvető új kihívásnak néz elébe: meg kell felelnie a környezetvédelem és a környezeti biztonság (beleértve a gépnek magának a biztonsági kritériumait is) előírásainak, és meg kell felelnie a kapocs - feladat folyamatos és hibamentes ellátásának is.



2. ábra. A mezőgazdasági gépészet kiterjesztett (adicionális) feladatai

2.2 Célkitűzés

Dolgozatom célja a gép- és műszer-gyártás produktumaiként létrejövő alkalmazott komplex rendszerek minőségi kontrolljának kidolgozása, a biztonságos intelligens vezérlők/szabályzók minőségbiztosításának dinamikai tárgyalása. Ehhez a gyakorlatban tényleges processzoros áramköröket valósítok meg, mely a nagybiztonságú intelligens rendszerek „egyetlen hiba állapot”⁶ feltételeinek megfelelnek, és univerzálisan alkalmazhatóak ellenőrzési és szabályzási feladatok ellátására a mezőgazdasági gépészet, finom-gépgyártás és nagyigényű műszeripar (pl. állat- és embergyógyászati berendezések, biológiai kontrollok, felügyelő és ellenőrző rendszerek) területén. Célom megadni olyan mérhető és folyamatosan kontrollálható paraméterhalmazt, mely a készülék aktuális állapotát, működési minőségét képes nagy biztonsággal követni, és képes a tényleges

⁶ Egyetlen hiba állapot: (Single Fault Condition (SFC)) Olyan állapot, amelynél vagy amely feltételt teljesítő készülékben egyetlen meghibásodás vagy a biztonságos működéshez feltételezett egyetlen körülmény negatív változása nem vezethet biztonsági kockázatra. (MSZ EN 60601-1:1997)

meghibásodás előtt, még a megfelelő működés körülményei között előre jelezni a karbantartási szerviz-igényt, stratégiai döntések meghozatalában jelent támaszt a felhasználónak. Ezzel jelentős kockázat-csökkentést lehet elérni, nem is beszélve a gazdasági és feltétel-rendszeri előnyökről.

Alapvetően felhasználom, hogy az intelligencia és az ahhoz kötött döntések a kollektív adathalmazokhoz rendelve, azokat nem lehet lokális döntésekhez kötni, hiszen az asszociatív és az összefüggéseket figyelembe vevő döntéshozatalt tartjuk intelligensnek. A gépek általában az ember taktikai (aktuális) döntéseit segítik, az intellektus jegyeit nem hordozzák, az egyes műveletek kontrolljával illetve az esetleges hibás, aktuális veszélyt jelentő emberi döntés korrekciójával, felülbíráásával (pl. gépkocsi biztonsági berendezések), adnak támpontokat. Jelen dolgozatomban olyan stratégiai döntéshozási mechanizmust dolgozok ki, mely az aktualitások halmazán stratégiai előrejelzésekre, „jóslásokra” képes.

Úgy gondolom, hogy dolgozatom eredményeivel sikerült olyan nagy biztonságú, az adott előtörténet tanulságait levonni tudó és a jövőben előálló esetleges problémákkal reálisan kalkuláló automatikus rendszer-vezérlést kidolgozni, mely az intelligens számítógép-vezérelt rendszerek minőségét és annak biztosítását jelentős mértékben segíti, és az eddig ismert módszereknél nagyobb határfokkal képes a rendszer a felhasználók számára kiszámítható és magas minőségű körülményeket biztosítani.

3 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1 A minőség

A minőség mint fogalom intuitíven egyszerű, mégis egzakt definiálása problémát jelent. A legalapvetőbb megfogalmazása a felhasználás felől történhet: az a jó minőség, mely megfelel a felhasználás céljainak, beleértve a funkciókat, esztétikát, ergonómiát, és a meghibásodást, sőt általánosabban a szerviz és logisztikai szolgálatot de még a törvényességi korrekciókat (pl. EMC) is. Vagyis a minőség a felhasználó (vásárló) felől fogalmazódik meg, és így nehéz mérnöki definícióval leírni. Ha azonban technikailag definitívebben akarjuk megfogalmazni, a minőség a kiválóság fokmérője, (kiválóság a hasonló rendeltetésű eszközök közül) minden idetartozó tulajdonság csoportosításával, de koncentrálna a felhasználhatóság és megbízhatóság ismérveire. A minőség végül is egy általánosan jellemző kategória, mely az adott eszközt, berendezést megkülönbözteti hasonló más eszközöktől és jellemzi az adott tárgyat annak teljes totalitásában. Kiemelten hangsúlyozandó a minőség totális funkciója, és az hogy nem elegendő az egyes paraméterek aktuálisan megfelelőnek minősített kontrollja illetve azok megkövetelése, hanem a teljes összefüggő rendszer kollektív viszonyai határozzák meg a készülék minőségi állapotát. Pl. egy készülék (pl. használt kocsi) hiába működik évek óta hibátlanul, minőségi értéke idővel csökken hiszen a meghibásodás kockázata (stratégiai faktor) nő. (Ugyanez van a humán életkor megítélésével a biztosító szakmában is, nem az aktuális egészség a meghatározó, az csak egy faktor (fontos természetesen) a teljes kiértékelésben és az előre jelzett valószínűségű értékelésekben.

A termék minősége annak minőségbiztosítása két fogalmat takar: a megfelelést és a megbízhatóságot.

3.1.1 A megfelelés

A megfelelés azt jelenti, hogy a berendezés kielégíti a tervezési előírások célkitűzéseit és a szabványok előírásait, mérhető jellemzői pedig megfelelnek a berendezéssel szemben támasztott műszaki követelményeknek. A megfelelés bonyolultságát ugyanakkor az adja, hogy ez a fogalom a mindenkori vevő/megrendelő/felhasználó által létesített, sokszor nem megfelelően definiált, kategória. Bizonytalanságát nem csak a vevők egyedisége, hanem az egyes vevők saját megváltozásai is okozhatják, a vevő a használati idő alatt megváltoztathatja véleményét, igényét. A modern fogyasztói társadalom filozófiai alapelve az egyébként jól működő, feladatát hibátlanul teljesítő, de a modern technikai-technológiai követelmények state-of-art rendszerétől elmaradt használati eszközök, készülékek berendezések gyors értékvesztése, megfelelésének határozott romlása.

Mivel a megfelelést igények definiálják (annak kielégítése a cél), így az igen sokrétű igényhalmaz esetleg nem teljesen körülírt vagy írható terméket „határoz” meg. Ez azt jelenti, hogy a megfelelés esetleg a piac/marketing/hirdetés speciális szempontjaival keveredve, felvetheti a szabályozott elhasználódás, a külsőségek/csomagolás (esetleg megtévesztő) dominanciája, a fogyasztási kényszer és más, az adott rendszer beltartalmi értékeit esetleg rontó, inkább a gyártó, mint a felhasználó igényeit kielégítő probléma-halmazát. Ezekkel, a leginkább a globális fogyasztói-társadalmat átható, jelenségekkel nem foglalkozom dolgozatomban, ezeket a minőségbiztosítás általam vizsgált szempontjaiból kizárom.

A vevő/megrendelő/felhasználó igényeinek megfelelő kielégítése sokszor azért ütközik nehézségekbe, mert maga az igénylő sincs tisztában (vagy legalább is nem tudja mások számára is érthetően megfogalmazni a fejlesztő/gyártó/szervizelő felé) azzal, hogy mit is igényel. (Különösen a fellépő nem általános, esetlegesen és váratlanul kialakuló használati körülmények befolyása a meghatározó ebből a szempontból.) Még a megfelelően körülhatárolt igény esetén is probléma lehet, hogy a vevő, technikai képzetlensége, járatlansága folytán, nem tudja megadni milyen technikai határok között tartja megfelelőnek az adott berendezést. (Pl. igénye az alacsony ár és egyszerűség, de az ebből adódó esetleges problémákat csak vészhelyzet esetén realizálja.) Sok esetben a fejlesztés folyamán alakul ki a vevő/megrendelő/felhasználó aktív fejlesztői részvételével az igény és a megfelelőség relatív rendszere. Mivel az adott funkció ellátására a körülmények és a felhasználói specialitások valamint a változó/fejlődő alkalmazási területek lényegében a komplex eszköz/berendezés folyamatos fejlesztését (up-grade) igénylik, itt egy folyamatos fejlesztés-megfelelőség dinamikus kölcsönhatásról van szó, mely a továbbfejlődés alapja, és esetleg már új igényeket is teremt. (Az új igények teremtésének marketing aspektusait megint csak kizárom a jelen vizsgálatból.) A fejlődési folyamat alapján a megfelelőség igazi vizsgálata a megbízhatóság (az adott/ígért/elfogadott szintű berendezés működésének és fejlesztésének/fejleszthetőségének folyamatos biztosítása) keretei között meghatározott formát ölt.

Általában a minőség-megfelelőség vonatkozásában a következő gyártói pontokra kell figyelemmel lenni [Life Data 2000]:

- Optimális beüzemelési/(beégetési)/bejáratási idő
- Optimális garanciaidő és várható garanciális költségek
- Az alkatrészek cseréjének optimális ideje (megelőző tevékenység)
- Cserealkatrész-igény és gyártási arány, helyes előrejelzés a cserealkatrészek szükségességére
- Információ az alkatrész- és rendszer-hibatípusokról, ami segíti a tervezés, kutatás, és fejlesztés erőfeszítéseit, hogy csökkentsék ezeket a hibákat (Javító és megelőző tevékenység, [Corrective And Protective Actions, CAPA])
- Annak megállapítása, hogy milyen hibák és mikor fordulnak elő a termék életperiódusában, a jobb előkészítést tesz lehetővé a hibák megoldásához
- Az életkor hatásai, a használat időtartalma, és használat/működési kopási/elhasználódási/feszültség-képződési szintek a megbízhatóság függvényében
- A megbízhatósági optimum, két vagy több változat közül a legjobb kiválasztása
- A redundancia mennyiségének kiértékelése a fejlesztésben (vigyázat, a redundancia nem negatív minden esetben. Sokszor a redundancia alapvető biztonsági szükségszerűség (pl. biztonsági utak, SFC, stb.) és/vagy informatikai korrekciós lehetőség (pl. kontrolszámok, visszaolvasási kontrollok, stb.)
- A szükséges redundancia elvárásai, a megadott megbízhatóság eléréséhez
- Útmutatás a hibajavító tevékenység döntései alapján a hibák minimalizálása, a karbantartás és javítási idő csökkentésére, ami kiküszöböli mind a túltervezést, mind az alultervezést
- Megbízhatósági céloptimalizálás, amit a termékekbe és rendszerekbe bele kell tervezni, a teljes saját költség, és a fenntartási költségek minimalizálására a berendezés teljes életperiódusára
- Tanulmányok a következő paraméterekkel: megbízhatóság, karbantarthatóság, rendelkezésre állás, költség, súly, környezeti teher (zaj, EMC, egyéb környezetszennyezés, stb.), működtethetőség, szervizelhetőség, és biztonság az optimális design eléréséhez

- Garanciális költségek csökkentése, vagy ugyanakkora költségért növelni a garancia időtartamát és lefedését
- Útmutatás a beszállítók kiértékelésére a saját termék megbízhatósága szempontjából
- Az eladások támogatása a megbízhatósági indexek és mutatók alapján az eladási és marketing tevékenységen keresztül
- A vevői megelégedettség növelése, és eladási növekedés a vevői megelégedettség eredményeként
- Profit növelés, vagy ugyanakkora profit mellett felkészülés még több megbízható termékre és rendszerre
- Előrelépés a pozitív cégképben és hírnévben (PR előny)

3.1.2 Megbízhatóság

„Ami elromolhat, az el is romlik”. Ez a híressé vált Murphy törvény tényleges igazságot takar: minden működő technikai/biológiai mesterséges/természetes szerkezet/szervezet meghibásodhat, szervizt igényel, illetve biztosan véges élettartamú, egy bizonyos idő után elhasználódik, ki kell vonni a használatból, le kell cserélni. Ezt a tényt biztosan tudjuk, de azt már nem láthatjuk biztosan előre, mikor történik meg egy hiba amit javítani kell, illetve mikor eléri el az eszköz élettartamának végét, mikor válik véglegesen használhatatlanná egy berendezés/eszköz/ részegység/alkatrész/elem. A sejtekből álló biológiai rendszerek (eukarióták) nagyszámú, lényegében végtelennek tekinthető alapegységekből (sejtekből) felépülő struktúrája összességében másként viselkedik, mint a mikroszkopikus felépítő elemek. Általában mondható, hogy a mechanikai rendszerekhez hasonlóan a kis biológiai építő elemek a használat intenzitásával veszítenek megbízhatóságukból (elhasználódnak). Azonban a nagy (összetett) biológiai rendszer már ellenkező tulajdonságú: az intenzív használat (sport, edzés, gyakorlat, stb.) megnöveli a megbízhatóságot. Ezt a tulajdonságot a nagy elemszámú összetett rendszer kizárólag mint rendszer képes magán hordozni, az azt felépítő elemek természetesen elhasználódnak, cserélődnek, és cseréjük a teljes rendszer folyamatos és magasabb rendű megújításával jár, akár rövid távon (egyedek fejlesztése), akár pedig hosszú távon (evolúciós változások).

A minőségbiztosítás egyik alapfeladata, hogy a meghibásodásokat minimalizálja. Ennek egyik eszköze a rendszeres karbantartás, mely esetleg képes akár ki is zárni a váratlan, és önmagában esetleg technikai, gazdasági, biológiai vagy más veszélyeket, kockázatokat hordozó eseményeket. Azonban ehhez lehetőleg nagy biztonsággal meg kell határozni a rendszeres karbantartó szervizek időpontját. Ezzel elérhetjük, hogy a véletlenszerű meghibásodás előtt legyünk képesek a még a felhasználás szempontjából hibátlanul (esetleg már csak látszólag hibátlanul) működő készülék folyamatos üzemben tartására és biztonságos működésének garantálására. Ez különös jelentőségű a nagy megbízhatóságot követelő, komplex funkciókat ellátó rendszereknél, mint a járművek és munkagépek, beleértve esetleg a repülés, űreszközök és automata gépsorok működését is. Ugyanakkor esetleg kisebb komplexitású, de önmagukban nagy meghibásodási kockázatot jelentő berendezések, mint például az aktív orvosi eszközök az állat- és humán-gyógyászatban (pl. intenzív életfenntartó berendezések: vastüdő, műszív, stb.), elektromágneses kezelők (pl. pacemaker, hipertermia, sebészeti berendezések, stb.), aktív háztartási-eszközök (pl. kazán vagy más gázüzemű berendezések, stb.), nagy kockázatú szórakozási berendezések, (pl. hullámvasút, körhinta, stb.), nagy kockázatú önjáró munkagépek (pl. daru, kombájn, aprító, stb.) megelőző karbantartása is a minőségbiztosítás központi kérdése.

A jelenlegi mezőgazdasági gépészet trendje is az egyre bonyolultabb, számítógép vezérelt, intelligens rendszerek felé mutat. Ezek a berendezések szintén rendszeres karbantartást igényelnek, de egyáltalán nem lényegtelen, hogy mikor.

Annak megállapítása, hogy mikor van szükség megelőző karbantartásra, egy központi feladat. A hibák előrejelzésénél illetve az adott rendszer „életútjának” becslésénél ma már nem lehet Pythia az ókori görög jósnő (Delphi-jósdá) útmutatásaira hagyatkozni. A túl gyakori karbantartás gazdaságtalan és zavaró, esetleg csökkenti a berendezés élettartamát is, a túl ritka pedig kockázatos. Éppen ezért alapvető minőségbiztosítási feladat a karbantartási idők optimalizálása. A karbantartás előírt cseréket és vizsgálatokat jelent, és természetesen nem mindegy, hogy egy adott alkalommal hibátlanul működő alkatrészek cseréjére is sor kerül, mert várható meghibásodásuk a két karbantartás közötti időben. Az sem mellékes, hogy az egyes időszakos karbantartások ellenőrző és cserefeladatait mikor kell elvégezni, hiszen az egyes alkatrészek, részberendezések, stb. élettartama, meghibásodási biztonsága nem azonos. Például, gondoljunk arra, hogy a személy-gépkocsik kötelező/ajánlott karbantartásának időszakonként elvégzett műveletei nagyon különbözhetnek: máskor kell csak olaj-cserét végezni, megint más szakaszolása van a fékbetét vagy futómű ellenőrzésnek, más a gumik futófelületének kontrollja és megint más a kibocsátott égéstermékek, vagy a kocsi általános üzemen-tarthatóságának vizsgálata, stb.

A megbízhatóság egzakt definiáláshoz négy dolgot kell pontosan megadni

1. a funkciót,
2. az időszakot,
3. az üzemi körülményeket,
4. a megfelelő működés kritériumait.

A funkció úgy definiálható, hogy az a tevékenység, melyre a terméket tervezték.

Az időszakot célszerűen két karbantartás közti időtartammal definiálhatjuk. Minél hosszabb ez az időtartam annál inkább számolhatunk a hiba bekövetkezésével, így a megbízhatóság csökken.

Az üzemi körülmények a helyes üzemeltetési feltételekkel vannak definiálva.

Megfelelő a működés, ha a készülék az elvárt és megszokott módon működik. Nem megfelelő a működés, ha a működés minősége kifogásolható, a készülék funkcióját nem látja el maradéktalanul, vagy esetleg egyáltalán nem működik.

Egy berendezés megbízhatóságát három fő tényező határozza meg:

- A felhasznált kész és félkész termékek megbízhatósága
- A gyártási technológia
- Az üzemeltetés tervezett és tényleges fizikai körülményeinek eltérései

A megbízhatóság mindig a berendezés jövőbeli állapotára vonatkozik, tehát egy valószínűség-számításon alapuló előrejelzési eljárással határozható meg, szemben a minőségellenőrzéssel, mely a berendezés pillanatnyi állapotára vonatkozik.

A megbízhatósági vizsgálatok célja nemcsak a berendezés megbízhatóságának meghatározása, hanem azon körülmények folyamatok feltárása, melyek a meghibásodásokat okozzák. Hiszen ezek ismeretében javítható a megbízhatóság.

A megbízhatósággal foglalkozó fontosabb nemzetközi szervezetek:

- Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (IEC)
- Európai Minőségügyi Szervezet (EOQC)

A megbízhatósági fogalmakban hazánkban az MSZ 50(191) szabvány [1992] rögzíti a legfontosabb fogalmakat.

A mérhető jellemzőknek igen fontos szerepe van a minőségbiztosítás-megbízhatóság folyamatában, [Balogh és Dukáti 1980]. Bonyolult nagy darabszámban készülő berendezések esetén az alkatrészként felhasznált kész és félkész termékek mérhető jellemzői valószínűségi változók. Általában a minőségbiztosításban a valószínűség számítás alapvető segédeszköz. Magát a megbízhatóságot is ennek segítségével vezethetjük be. A megbízhatóság annak a valószínűsége, hogy egy termék adott időszakban adott üzemi körülmények között funkciójának megfelelően működik.

A megbízhatóság, mint valószínűség, sokféle módon vezethető be. Nagy megbízhatóságot követelő berendezések (pl. orvosi műszerek) esetén célszerű a megbízhatóságot azzal definiálni, hogy a szóban forgó berendezés alkatrész vagy vezérlő szoftver mennyi időt képes megfelelően működni. Tehát a megbízhatóság

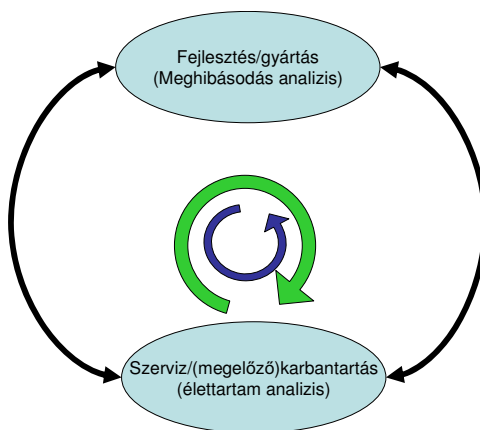
$$\text{Megbízhatóság} = \frac{\text{A megfelelő üzemelés ideje}}{\text{Teljes idő}} \quad (1)$$

összefüggéssel jellemezhető.

A minőségvizsgálat statisztikája két nagy feladat köré csoportosul:

- Fejlesztés/gyártás minőségi kontrollja (meghibásodás analízis)
- Szerviz/(megelőző) karbantartás kontrollja (élettartam analízis)

A fenti két kategória vizsgálata nem független egymástól: a kutatás/fejlesztés/gyártás csakis a szerviz/karbantartás információi alapján képes a megfelelő minőségi kontroll tartására (CAPA) és a továbbfejlesztés (megfelelőség) újabb igényeinek megfelelő beintegrálásába, míg a szerviz/karbantartás csakis az élettartam megfelelő kiértékelése után lehet hatékony (megfelelőségi és gazdasági szempontok egyaránt), (3.ábra).

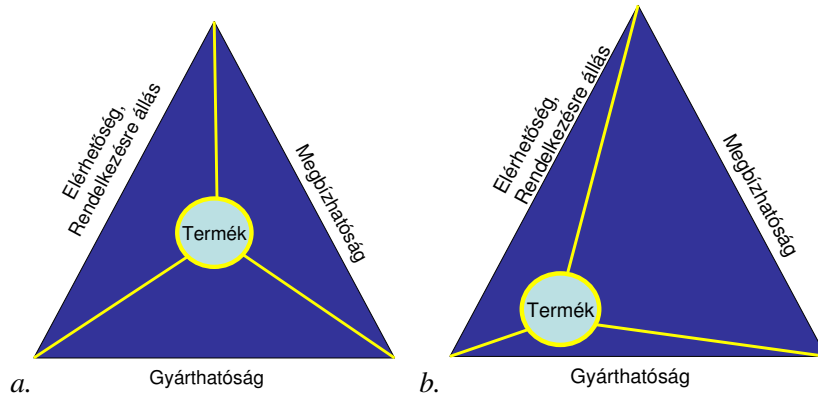


3. ábra. A minőségvizsgálat kölcsönhatásai

A minőségbiztosítás időkitűző alapfeladata (élettartam és megelőző karbantartás) a nagyszámú tapasztalatból leszűrhető valószínűség-számításon alapul. Az élettartam, megbízhatóság és kockázat valószínűségi elmélete széles tapasztalattal rendelkezik, és kiterjedt szakirodalmi bázison [Hahn és Shapiro 1967, Hald 1952, Johnson 1964, Kapur 1977, Kececioglu 1993-94, Lawless 1982, Leemis 1995, Lloyd és Lipow 1962, Mann és Schafer 1974, Meeker és Escobar 1998, Montgomery 1991, Nelson 1982], nyugszik.

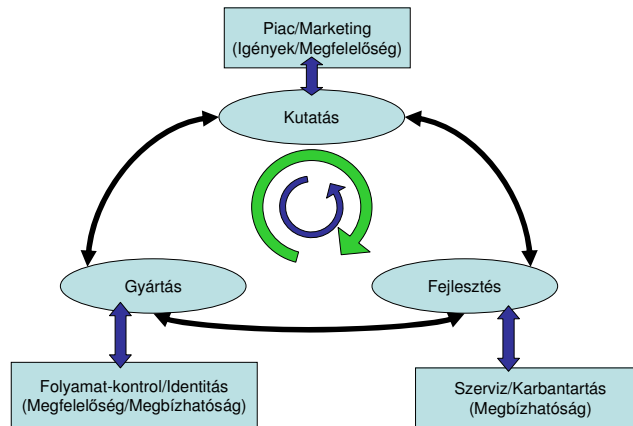
Egy rendszer adott T időre vonatkozó megbízhatósága annak a valószínűsége, hogy a rendszer ez alatt az idő alatt meghibásodás nélkül működik. A megbízhatóság mérnöki szempontból három területet ölel fel: megbízhatóság (reliability), fenntarthatóság (maintainability), rendelkezésre állás

(availability). Ezt a hármat ISO9000-4 fogja össze. Ennek harmóniája meghatározó a termék minőségére, 4. ábra.



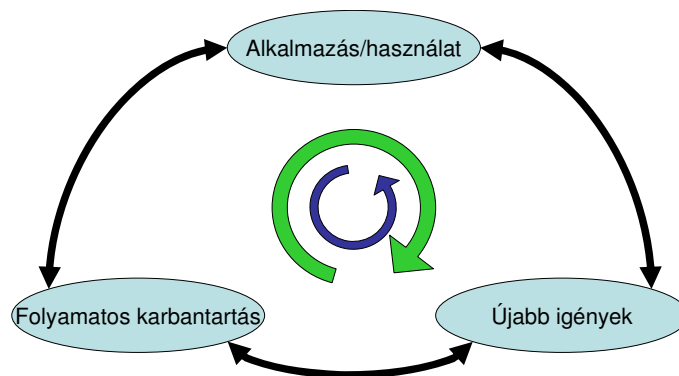
4. ábra. A Függőség harmonikus (a) és nem harmonikus (b) megvalósítása.

A gyártó részről a minőségbiztosítás ismét egy összetett kör (5.ábra) mely alapvetően kötődik külső feltételrendszerekhez is.



5.ábra. A gyártói minőségbiztosítási kör

A felhasználó szintén egy fejlesztési körben vesz részt, igényei, és követelményei fejlődnek, (6.ábra).



6.ábra. A felhasználók alkalmazási minőség-összefüggései

A megfelelő kölcsönhatások és azok egymásba hatása, egymásra épülése is komplex kölcsönhatásai nem teszik lehetővé az egyszerű összehasonlító kiértékeléseket, hiszen az adatok és vizsgálandó paraméterek mennyisége olyan halmazt alkot, melynek elemei önmagukban nem jellemzők a teljes halmazra, (az egyedi készülékek lehetnek egyedi eltérései, hibái, melyek nem a típusból

következnek). A típus vizsgálatához és általános következtetések levonásához csakis statisztikai vizsgálatokkal juthatunk el, az egyedi készülékek működési adatainak, karbantartási igényeinek és élettartamának összesítésével.

3.2 A biztonság

A biztonság fogalma négyféle irányt takar:

1. Felhasználási biztonság (A felhasználás biztonsága, meghibásodási és szerviz-körülmények, technikai élettartam),
2. Felhasználói biztonság (veszélyforrás/rizikó a felhasználóra nézve),
3. Gazdasági biztonság (haszon/élettartam és alkatrészigény alakulása, gazdaságosság)
4. Stratégiai biztonság, (morális élettartam (avulás) mértéke, egyszer-felhasználható eszközök aránya és változásai, környezetvédelemi hatások, fejlesztési biztonság, stb.)

Dolgozatomban lényegében csak az első két kategóriára szorítkozom, és ezen belül is leginkább az első pontba tartozó, a modern eszközökben mindinkább meglévő beépített intelligens vezérlők, ellenőrzők, szoftverek és szabályzók problematikájára koncentrálok, azzal a céllal, hogy egy készülék/berendezés működéséről az egymástól függetlenül begyűjtött információk helyett a kollektív kontrollt és a rendszerjellemzők (rendszer-invariánsok) megfigyelését felhasználva az optimális beavatkozás lehetőségét állítsam elő. Ez az egyre inkább bővülő beavatkozási hatás megváltoztatja a biológiai környezetünket, ami például a mezőgazdaságban az egyre nagyobb számítógépes vezérléssel felszerelt gépészet révén valósul meg.

A készülék-biztonság/élettartam kérdései alapvetően két pilléren nyugszanak:

A teljes tervezés (design), mely a szükséges speciális funkciók (melyekre a készülék készül, mely a szándékolt felhasználás alappillére) megvalósításán kívül a következő elemeket tartalmazza:

- esztétikai,
- ergonómiai,
- mechanikai,
- elektronikai
- szoftver.

A minőségbiztosítás, mely a funkciókhoz és szándékolt felhasználáshoz kötötten biztonsági kérdésekre koncentrálna, beleértve az első pontban felsoroltak ellenőrzését és átölelve a következő területeket:

- teljes tervezés,
- gyártás,
- marketing,
- vevőszolgálat,
- technikai szerviz-szolgálat,
- garanciális és élettartam kérdések,
- korrigáló és megelőző technikai és szoftvertevékenység
- kiértékelés, tapasztalatok visszacsatolása.

Napjainkban ezek a minőségbiztosítási kérdések központi helyet foglalnak el úgy a fejlesztés, mint a gyártás, marketing és piaci felügyelet szempontjából. A piaci versenyt alapvetően a minőség dönti el ma már, és ennek lényeges eleme a biztonság. A minőségbiztosítás ma már a termék védjegyévé női ki magát, egyértelműen önálló intellektuális tartalomként jelenik meg, és szigorú intellektuális- és cég-jogok tartoznak hozzá. A cégek és gyártmányaik értékének jelentős része ma már a minőségbiztosításban testesül meg. Nem véletlen, hogy külön tudományág alakult ki a problémakör mögé, [Bailer és Maltoni 1999], melynek statisztikai megalapozottsága, elméleti háttere is folyamatosan bővül, [Pyzdek 2003].

A legszigorúbb minőségbiztosítási rendszerek az űrutatásban, a légi- és földi-közlekedésben és talán a legkomplexebb módon az aktív (beavatkozó) orvosi műszerek területén [King és Fries 2003, Trautman 1997, Fries 2001, Fries 1997, Gad 1997] vannak jelen.

3.2.1 Számítógépek szerepe, szoftverbiztonsága

A számítógép szerepe sokoldalú alkalmazhatósága miatt szerteágazó lehet [Leveson 1995]. A számítógép (mikro-, makro-gép vagy gép-klasszterek) elláthat közvetlen kontrollt vagy az emberen keresztül közvetve lehet hatással a folyamatokra. Az alkalmazásokban legtöbbször az ember felügyelete melletti közvetlen kontrol az, melyben a szoftverbiztonság nagy súllyal felmerül.

Ma már a modern készülékek bonyolult és kiterjedt alkalmazási feltételei valamint intelligens alkalmazkodóképessége miatt a beépített software nagy jelentőségű tényezővé vált a rendszerben. Ennek biztonsági kérdései [Neufelder 1993], komplex felügyelete és szabályozása önálló és meghatározó részévé válik a minőségbiztosítási munkának [Schulmeyer és McManus 1997], sőt mint egy új tudományág kifejlődésével számolhatunk vele a közeljövőben [Leveson 1995]. Különösen egyértelműen hívják fel a figyelmet a szoftverbiztonság fontosságára azok a gazdasági adatok, melyek a hiányos szoftverbiztonság következményeként hatalmas károkat mutatnak ki: az Ariane-5 hordozó-rakéta felrobbanását 1996-ban egy szoftverhiba (aritmetikai túlsordulás) okozta, több mint fél milliárd dollár kárt okozva. Ez mutatja, hogy gyakran banális hibák vezethetnek hatalmas károkra, ami a szoftver-vezérelt, nagybonyolultságú és drága berendezéseknél beláthatatlan következményekkel járhat. (Esetleg nem csak gazdasági, de halálos kimenetelű balesetek okozásával is, mint a Therac-25 sugárterápiás készülék, mely számítási hiba miatt gyógyítás helyett a betegek halált okozta.) Nem véletlen, hogy az USA Védelmi Minisztériuma komputerekkel foglalkozó költségvetésének csak egy-hetede a hardver, a többi a szoftverre és annak biztonságára fordítódik.

A szoftver determinisztikus működésében, abban, hogy a számítógép mindig egyformán, ugyanúgy végzi el a műveleteket, ahogy azt beprogramozták, nem kételkedhetünk. Ha ez a determinizmus megszűnik, az csakis hardverhiba lehet. Ennek megfelelően a szoftverbiztonság hiba-fogalom rendszere kissé különbözik más hibafogalmaktól. Alapvetően két hibakategória létezik:

A rosszul megadott műveleti igény (pl. nullával osztás, jelentési (szemantikai) hiba, túlsordulás, stb.) vagy logikai ellentmondás (pl. önmagára mutató ciklus, hibás adatforgalom, hibás memóriacímzés, stb.). Ezeknek a hibáknak egy része viszonylag könnyen előbukkan a használat illetve „már a „befordítás” során, mikor a szoftver belső ellenőrzése felfedi ezeket. Ugyanakkor az adatforgalmi hibák külön tesztrendszer igényelnek (adat-folyam ellenőrzés [data-flow-test]) melyek szerteágazó irodalma mutatja a probléma nagyságát. ([Duran és Ntafos 1980, Rapps és Weyuker 2002, Laski és Korel 1983, Frankl és Weyuker 1988, Ntafos 1984]) Ez a hibafajta lényegében a megkívánt szoftverfunkciótól független, a szoftver belső szerkezetéből illetve a számábrázolás és alapműveletkezelés hiányosságaiból adódó hiba. Ezt a hibafajtát sokszor „üvegdoboz teszt”-nek nevezett eljárásokkal szűrjük ki. ([Duran és Wiorkowski 1980, Chilenski és Miller 1994, Offut és Pan 1996, Fairley 1978, Gabow és Maheshawari 1976, Frankl és Weyuker 1993]), lényegében a program struktúráját és adatforgalmát ellenőrizve.

A funkció szempontjából rossz szoftver, mely alapvetően, mint program nem hibás, de azt a funkciót, melyre készült nem tudja maradéktalanul ellátni. (Pl. nem ellenőrzi a veszélyhelyzeteket, nem jelzi a kontroligényeket, félrevezérli a rendszert egy adott szituációban, nem megfelelő pontosságú adatokkal számol, stb.) Ez a hibafajta már sokkal nehezebben felismerhető, mindenkor az adott funkció ellátását kell megvizsgálni kontrolljakor. Ez egyben azt jelenti, hogy tesztje funkcionális, és az adott körülményektől függ. Ezt általában az ún. „fekete-doboz” teszttel szűrik ki ([Peters és Pedrycz 2000]), melyben lényegében a program működéséről semmilyen belső információra nincs szükség, a teszt csakis az igényelt funkciók ellátására szorítkozik.

Ugyanakkor az egyre nagyobb komputerok és a bennük tárolt illetve használt igen nagy mennyiségű információ (az információhalmaz bitmennyisége megközelíti a termodinamika alapmennyiséget, a Loschmidt számot) lehetetlenné teszi a mindenre kiterjedő kontrollt.

A szoftverek szorosan együttműködnek az azokat lehetővé tevő, és viharos ütemben fejlődő hardverekkel, processzor-vezérelt elektronikai eszközökkel. Így a szoftver-biztonság és az elektronikai kiszolgálás biztonsága nem választható szét egyértelműen, [Arsenaults és Roberts 1980].

A szakirodalmi publikációk nagyon intenzíven növekvő száma és a folyamatosan szigorodó nemzetközi szabványok, valamint a hazai igények gyors növekedése egyaránt jelzi a téma fontosságát, időszerűségét és egyben sokrétűségét is.

A műszaki és elektronikai biztonság elveit széles körben külön is tárgyalja a szakirodalom, [Cluley 1974, Goldberg és Vaccaro 1963].

Ennek az általános igénynek a szellemében, az intelligens rendszerek készülékbiztonsága vizsgálatával és tudományos igényű feldolgozásával, valamint a kidolgozott elvek megvalósításával készült dolgozatom.

3.2.2 Intelligens gépi rendszerek

A közvélemény az intelligenciát kizárólag az ember sajátosságának tartja. Amennyiben olyan alkotásokat és intuitív eredményeket várunk el az intelligencia definíciója kapcsán, melyeket az emberiség legkiválóbbjai voltak képesek megteremteni; illetve azokat az érzelmi és pszichológiai jellemzőket is beleértjük a vizsgálatba, melyek kölcsönhatása egy alkotás megszületésére hat, úgy ez valószínűleg így igaz is. A mesterséges, ember által létrehozott rendszerek, bármilyen modern és komplex jellemzőkkel is rendelkeznek, nem képesek érzelmi életet „élni” és még kevésbé képesek ezeket az érzelmi „tényezőket” működésük során, eredményeiket lényegesen módosítva felhasználni [Penrose 1989]. Ezek a készülékek azt „tanulják” el az embertől, amit az aktuálisan tud (beleértve a tanulás mechanizmusát is), de a szociális, érzelmi, kapcsolati rendszerek teljességének hiányában nem lehetnek képesek az emberi komplex intelligencia pótlására. Ezeket az intelligenciaelemeket azonban nem kell feltétlen az intelligens gépekre és elvárható funkciójukra is átruházni. Elegendőnek tűnik ugyanis, ha a gépi intelligenciát a tanulási és adaptív készségek, a kombinatív döntéshozatal, a szelektív, célirányos adat-gyűjtés (felismerés) és az elemi asszociatív önfejlesztés elemeivel ruházzuk fel. Ezek a tulajdonságok, bár az emberiséget egyöntetűen jellemzik, de nem minden emberi egyed azonos mértékű sajátja, (pl. sokszor az emberi intelligencia egyéni mutatói romlanak az érzelmi töltés motiválta határozatlanság, a döntésképtelenség, az alkalmazkodó-képességi hiányok, a tanulási és/vagy információszerzési igénytelenség, az esetleges fizikai és/vagy teljesítőképességi hiányok, adottságok, vagy csak egyszerűen a figyelmetlenség, leterheltség, fáradtság, stb. okán). Ilyen esetekben a rendszert ellenőrző, érzelmileg nem befolyásolható, pszichésen és körülményektől nem zavart gép képes meghozni a megkívánt döntéseket, képes felülbírálni az esetleg hibázó embert, képes az intelligens ember (limitált mértékű, de egyes esetekben elengedhetetlenül fontos) helyettesítésre. Ilyen értelemben a készülékek intelligensek. Dolgozatomban a gépek intelligenciáján ezt a korlátozott definíciót fogom érteni. Az

ilyen jellegű intelligencia fogalom Alan Turing híres „Computing Machinery and Intelligence” c. cikke [Turing 1950] és mások [Simonyi 1996] munkái alapján általánosan elfogadott és használt.

A gépek és eszközök fejlődésére (és fejlesztésére) a legnagyobb hatással kétségkívül az elektronizálás a számítógép és informatikai eszköztárának alkalmazása, és az új anyagokkal és technológiákkal kiegészített gépi intelligencia megjelenése volt, ami felgyorsult mértékben hat ma is. A vitán felül nagyon gyors fejlődés jelentősen megnöveli a készülékek komplexitását, bonyolultságát, és ma már interdiszciplináris tudást igényel nem csupán a készülékek fejlesztése, de működtetésük, karbantartásuk, javításuk is.

4 ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1 A minőség/megbízhatóság/meghibásodás matematikai jellemzése

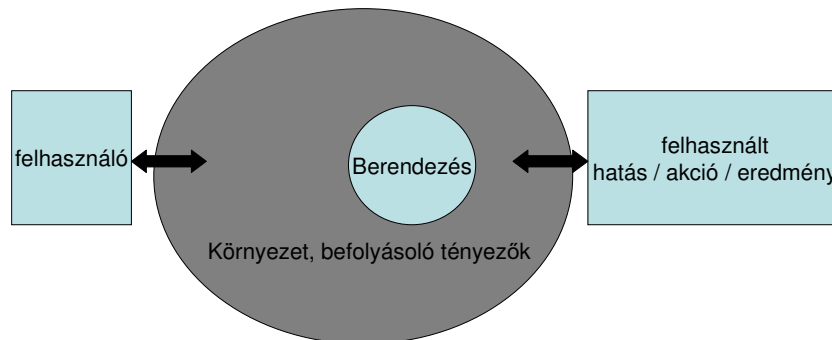
Mivel a minőséget alapvetően meghatározza a készülék/berendezés/rendszer hibamentes működése és a meghibásodás a hibamentes üzemeltetéshez kötött. A hibavizsgálat általában statisztikai elemzésekkel végezhető el, hiszen nagyszámú esemény kiértékelésével állapítható meg a hiba-előfordulás gyakorisága (valószínűsége). (ld. M2. Melléklet)

A megbízhatóság szempontjából vizsgált termék lehet berendezés, alkatrész, félkész-termék és szoftver és ezek komplex egysége is, így a megbízhatóság vonatkozik az elektronikai egységekre, a mechanikai részekre és a szoftverre valamint a teljes komplex berendezésre egyaránt.

Hibákat forrásai szerint a származási helyük alapján lehet csoportosítani. Ezt négy fő csoportra bontható:

- Berendezés hibái (Pl.: kábel szakadás)
- Környezet hibaforrásai (Pl.: áramszünet)
- Felhasználói hibák (Pl.: hibás beállítás)
- Alkalmazási hibák (Pl.: ezt a művelet típust nem tolerálja az adott vegetáció, állati- vagy humán-szervet, stb.)

A berendezést csak környezetében lehet értelmezni (7. ábra), kölcsönhatásaival és kapcsolataival együtt, különben csak egy fekete izolált doboznak tekinthető, melynek nincs semmilyen információ cseréje a környezetével.



7. ábra. Berendezés és környezete

A típus szerint is csoportosíthatjuk a meghibásodást. Ekkor megkülönböztetünk rendszeres és véletlenszerű hibákat.

A rendszeres hibák a rendszer tervezése, fejlesztése, gyártása vagy szervizelése közben kerülhetnek a berendezésbe és jellemzővé válnak a típusra. Ezek a hibák rendszeres hibajavító tevékenységet igényelnek, és kiküszöbölésük a probléma megfelelő analizálásával megoldható.

A véletlenszerű hibák az alkatrészek, a részegységek, a konstrukció vagy más egység önmagában való, mással korrelálatlan meghibásodására (pl. alkatrész-elhasználódás, túlterhelés, nem az előírások szerinti kezelés, stb.) vezethetőek vissza. Amennyiben a véletlenszerű hibák statisztikai

vizsgálata korrelációt állapít meg a hibakeletkezés és valamilyen történés között, akkor a hiba más szisztémásnak tekinthető.

A szoftver hibái jelentősen különböznek a hardver hibáitól, mivel ennél öregedési/elhasználódási és a fizikai körülmények nem játszanak szerepet.

4.1.1 Véletlen-szerű, nem-rendszeres meghibásodások analízise

Itt csak a véletlen, nem-rendszeres (nem-rendszeres) meghibásodás matematikai modelljét vázoljuk. Ekkor a meghibásodás véletlen esemény, melynek bekövetkezését számba nem vehető tényezők befolyásolják. Ezért a valószínűség számítás segítségével a matematikai statisztika módszereivel jellemezhető. A megbízhatóság időbeli leírására törekszünk, ezért a megbízhatóság időfüggvényét fogjuk előállítani.

Tételezzük fel, hogy a berendezés a $t=0$ időpillanatban kezd el működni és a $t=\tau$ időpontban hibásodik meg. A berendezés működési ideje (τ) valószínűségi változó. Erre fogunk értelmezni egy eloszlásfüggvényt. Legyen

$$F(t) = P(\tau < t) \tag{2}$$

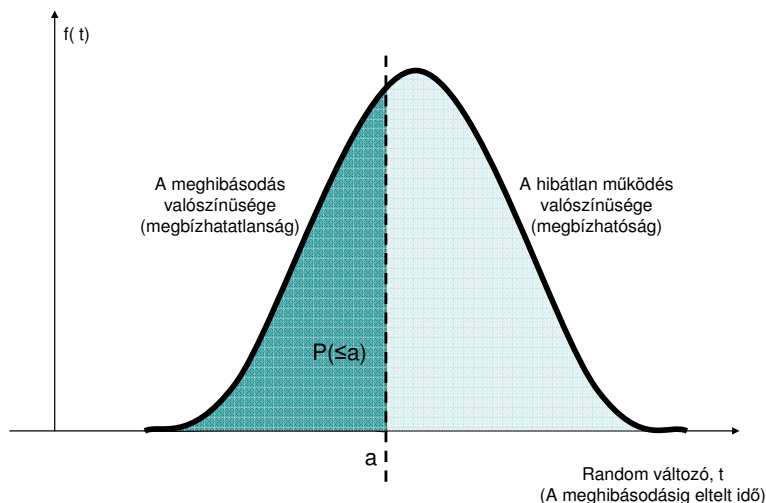
annak a valószínűsége, hogy a berendezés a t időpontig meghibásodik.

Az így bevezetett eloszlásfüggvény nyilván eleget tesz a

$$F(0) = 0, \quad F(t \rightarrow \infty) = 1 \tag{3}$$

feltételeknek. Az első azt jelenti, hogy az üzembe helyezés időpontjában a berendezés működőképes, a második, hogy elegendően hosszú idő alatt meghibásodik.

Az $F(t)$ függvény nyilván monoton nem csökkenő függvény. A meghibásodás és a működőképesség teljes esemény rendszert alkot, (8. ábra):



8. ábra. A Meghibásodás és a megbízhatóság kiegészíti egymást.

Így a megbízhatóság a

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (4)$$

összefüggéssel definiálható. Jelentése: a hibamentes működés valószínűsége. A megbízhatóság rendelkezik a

$$R(0) = 1, \quad R(t \rightarrow \infty) = 0 \quad (5)$$

tulajdonságokkal. Az $F(t)$ és $R(t)$ függvények minden termékre empirikusan határozhatók meg, ezért nevük: empirikus bizonytalansági ill. megbízhatósági függvény.

A működési idő valószínűség sűrűség függvényét tehát a

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (6)$$

összefüggés definiálja. Ezek után megadható a hibamentes működés várható időtartama

$$T_0 = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (7)$$

Figyelembe véve az előbbi és az (5) összefüggéseket parciális integrálással kapjuk, hogy

$$T_0 = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (8)$$

A meghibásodási vizsgálatokban a termék tulajdonságainak jellemzésére a meghibásodási tényezőt, vagy meghibásodási rátát használják. A $\lambda(t)$ meghibásodási ráta annak valószínűségét adja, hogy a t időpontig működő berendezés a következő egységnyi idő alatt meghibásodik. Ebből következik, hogy $\lambda(t)\Delta t$ megadja annak feltételes valószínűségét, hogy a szemlélt elem a $(t, t+\Delta t]$ intervallumban meghibásodik azon feltétellel, hogy a $[0, t)$ intervallumban hibamentesen működött. Jelölje $R(t, t+\Delta t)$ annak a valószínűségét, hogy az elem a $[0, t)$ időtartamban való hibátlan működése esetén a $(t, t+\Delta t]$ intervallumban is hibátlanul működik. Ezt határozzuk meg a következőkben. Jelölje E_1 azt az eseményt, hogy τ eleme a $(t, t+\Delta t]$ intervallumnak és E_2 azt az eseményt, hogy $\tau > t$, akkor a Bayes-tétel [Gelman és Carlin 1995], szerint

$$R(t, t + \Delta t) = \frac{P(E_1 \cap E_2)}{P(E_2)} = \frac{R(t + \Delta t)}{R(t)} \quad (9)$$

Ennek segítségével

$$\lambda(t)\Delta t = 1 - R(t, t + \Delta t) = 1 - \frac{R(t + \Delta t)}{R(t)} \approx -\frac{\frac{dR(t)}{dt} \Delta t}{R(t)} \quad (10)$$

Ebből a kifejezésből pedig következik, hogy

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (11)$$

A gyakorlatban $\lambda(t)$ -re többféle eloszlásfüggvényt használnak.

Összefoglalásként táblázatba foglaltuk (1. táblázat) a bevezetett főbb megbízhatóság-elméleti mennyiségeket

1. táblázat. A főbb megbízhatóság-elméleti fogalmak kapcsolata

	$F(t)$ meghibásodás	$R(t)$ megbízhatóság	$\lambda(t)$ meghibásodási ráta
Definíció	$1-R(t)$	$1-F(t)$	$\frac{\left(\frac{dF}{dt}\right)}{R(t)}$
Matematikai formula	$1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$	$e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$	$\frac{\left(\frac{dF}{dt}\right)}{1 - F(t)}$

4.1.2 A rendszeres meghibásodás figyelembe vétele

Az elemek véletlenszerű meghibásodása mellett főleg a termék bevezető szakaszában számolni kell a rendszeres meghibásodással, melyek okait korábban már felsoroltuk. Megbízhatósági szempontból a rendszeres hiba, csakúgy, mint a véletlenszerű üzemszünetet eredményezhet, mivel a hibát karbantartással ki kell javítani. Célszerű az üzemképtelen (Q_a) ill. üzemképes (R_a) állapot valószínűségét a javításra fordított idővel definiálni:

$$Q_{sz} = \frac{\text{A rendszeres hiba javítására fordított idő}}{\text{Teljes üzemidő}}, \quad (12)$$

$$R_{sz} = 1 - Q_{sz}$$

Általában célszerű a következő feltételezéseket tenni:

- A rendszer véges számú elemből áll
- Minden elemnek két állapota van: működőképes és hibás.
- Ha a rendszer bizonyos számú elem meghibásodása esetén működőképes, akkor ezen események részhalmaza esetén is az, azaz ha M_1 jelöli azt az esemény halmazt, hogy bizonyos számú elem meghibásodása esetén a rendszer működik, akkor bármely $M_2 \subset M_1$ esetén is az.
- Az elemek megbízhatósági adatai ismertek

Fontos megkülönböztetni a rendszer funkcionális és megbízhatósági struktúráját. Szükséges esetben az is előfordulhat, hogy a funkcionálisan párhuzamosan kapcsolt elemek megbízhatósági szempontból soros kapcsolásúak. Ilyen pl. egy szűrő vagy kompenzáló szerv, mely ellenállás és kondenzátor párhuzamos kapcsolása. Akármelyik meghibásodása a szűrő meghibásodásához vezet. Tehát megbízhatósági szempontból soros kapcsolásúak. Ezekben az esetekben a Boole-féle rendszer-megbízhatóság vizsgálat a célravezető. (ld. M3. Melléklet)

4.1.3 Szoftver hibák

A szoftver is a termelő folyamat része, esetleg célzott végterméke, ezért a minőségének garanciája ezen esetben is elengedhetetlen feltétel. A szoftver-minőség egy bonyolult fogalom. Klasszikus értelemben minősége azt jelenti, hogy a fejlesztési folyamat a specifikációs követelményeket

kielégíti [Crosby 1979]. Ennek a definíciónak a szoftverekre történő alkalmazásában problémák vannak:

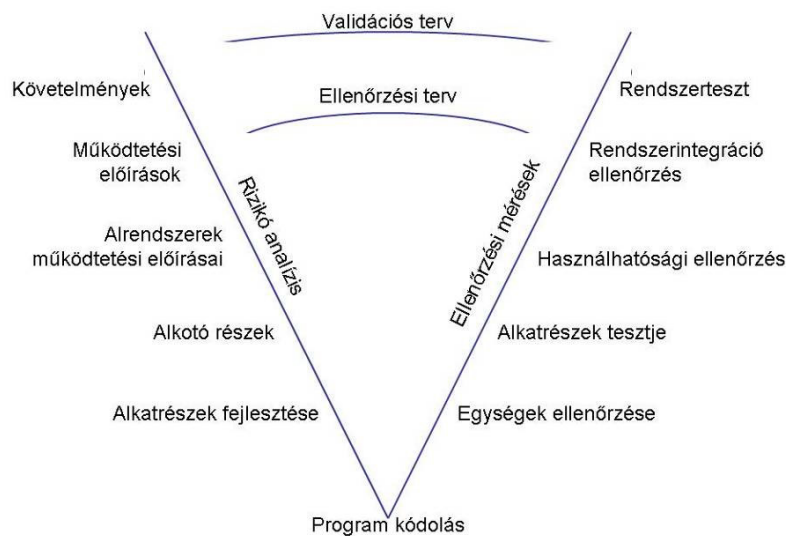
- A specifikációnak a felhasználó által kívánt termék karakterisztikáját kell követni, azonban a fejlesztési szervezetnek, folyamatnak is vannak követelményei amelyek nem szerepelnek a specifikációban.
- A szoftver specifikációk rendszerint nem teljeseek.
- A szoftver-minőség tervezésének kritikus pontja a fontos minőségi jellemzők kiválasztása, és annak megtervezése, hogy ezek hogyan érhetők el.
- A szoftver minőséget alapvetően meghatározó összetevők [Sziray és Majzik 2000]:
- Minősítési, illetve kiértékelési szempontok
- Minőségfaktorkok (hordozhatóság, megbízhatóság, hatékonyság, felhasználási kényelem, tesztelhetőség, érthetőség, módosíthatóság), minőségjegyek
- Szoftverjellemzők (eszközfüggetlenség, teljesség, pontosság, konzisztencia, hatékonyság, elérhetőség, strukturálhatóság, dokumentáltság, tömörség, érthetőség, olvashatóság, bővíthetőség)
- Szoftver-mértékek, szoftver-mérőszámok

A szoftver hibák négy osztályba sorolhatók

- Specifikációs hiba, mikor a szoftver szolgáltatásai és a felhasználó igényei nem találkoznak.
- Tervezési hiba, nem megfelelő előkészítés, célorientáltsági problémák, strukturális illesztetlenség, stb.
- Begépelési (tipografikus) hiba, amikor a program olyan kódokat tartalmaz, melyeket könnyű eltéveszteni.
- Hiányzó szimbólumok okozta hiba. A hiányzó szimbólumokat a kódokban nem tudja felismerni a program és ez hibás működést eredményez.

A szoftver az adott rendszer lényeges irányító egysége. A szoftverfejlesztés során a rejtett típushibák könnyebben fordulnak elő. Még olyan nagy, rutinos és ellenőrzött cégeknél is, mint az Intel előfordul piacon lévő termék típushibája (pl. Pentium-processzor hibája a lebegőpontos számolásoknál pár évvel ezelőtt, de a nagy port felvert Y2K (a 2000 éve dátumának belépése) is ilyen hiba keresésére irányult). A szoftverfejlesztést az EN 60601-1-4 szabvány írja elő mely a folyamat leírása mellett megköveteli a tesztprotokollok és a technikai dokumentumok meglétét is a fejlesztés során.

A nagy megbízhatóságú rendszerek jellemző példái az orvosi műszerek, melyeknek programozott vezérlésre külön szabvány készült (Programmable Electrical Medical System, PEMS) [IEC 2000]. Ennek tipikus V-model szerkezetét a 9. ábra mutatja. Ez világosan rögzíti, hogy a kiindulástól (a V-alak bal felső pontja), a befejezésig (a V-alak jobb felső pontja), a programozás tényleges végigvitelét (a V-alak csúcsa) minden esetben a két száron meglévő megfelelő ellenőrzési pontok kísérik.



9. ábra. PEMS V-modell.

A megbízhatóság alapvető eleme az ellenőrzések rendszere és a lehetséges hibák és következményeinek számbavétele (rizikó (kockázat) analízis). A kockázatok értékelésénél rendszeresen át kell tekinteni a lehetséges meghibásodásokat és azok következményeit, valamint azokat az intézkedéseket, melyek ezt az adott kockázatot minimálisra szorítják.

A szoftver rendszerek megbízható üzemeltetésébe, felhasználásába szorosan beletartozik az a minőségbiztosítási technológia, amely a teljes fejlesztési folyamatot végigköveti, a specifikáció megadásától a kész rendszer üzembe helyezéséig. A minőségi és megbízhatósági követelmények kielégítése szükségessé teszi azt, hogy a szoftvert ún. **igazoló** (verifikációs) és **érvényesítő** (validációs) eljárásoknak vessük alá. A verifikációban az egyes fejlesztési fázisok közötti összhang ellenőrzése a feladat, míg a validációval a végső rendszer ellenőrzésére kerül sor, annak eldöntésére, hogy az mennyire felel meg a felhasználó által előírt (specifikált) követelményeknek.

Az ún. **biztonságkritikus rendszerek** szoftverének fejlesztésére vonatkozik az EN-50128-as európai szabvány, öt különböző biztonság - integritás szintet határoz meg a szoftvereknek 0-tól 4-ig. A 0 szinten a nem - biztonságorientált, míg 1-4 szinteken a biztonság orientált rendszerek vannak. A standard tartalmazza a módszereket, hogy meghatározhassuk egy-egy szoftver biztonsági szintértékét, azonban nem ad meghatározást arra, hogy az alkalmazások milyen biztonsági szintértéket követelnek meg.

Bizonyítani kell, hogy a rendszer bizonyos hibák, zavarok (véletlenszerű hardver zavarok is) esetén is megfelel az SFC és a felhasználó által előírt biztonsági követelményeknek, illetve ha egy rendszeres hiba fellép, a rendszer műszaki konstrukciója az eredő kockázatot olyan alacsony szintre csökkenti, amely ésszerűen megoldható. Ennek megfelelően a következőket kell figyelembe venni:

- egyedi hibák eredményei
- egységek függetlensége
- belső fizikai hatások
- belső funkcionális hatások
- külső fizikai hatások
- külső funkcionális hatások
- egyedi zavarok felderítése

- a felderítést követő eljárás
- többszörös hibák hatása
- rendszeres hibák elleni védelem

A hibatűrés magas fokon való elérése megköveteli a szoftver-hibák önkorrekciós azonnali megoldását, ami plusz (esetleg redundáns) szoftvert igényel, másrészt pedig, a hardver-hibákhoz is szükség van a többlet-szoftver alkalmazására. Ez általában kétcsatornás (paralel figyelés) módon valósul meg. A második csatornát teljes kiépítettségében és figyelő érzékelő-rendszerével általában „watch-dog” terminológiával jelölik.

A szoftverek hibái két nagy csoportra bonthatóak:

Szoftver-specifikációs hibák: A fejlesztés kezdetekor megjelenő hibák, amelyek a szoftver előre megadott, specifikált működési funkcióiban nyilvánulnak meg, a szoftver valamilyen vonatkozásban nem teljesíti a felhasználói követelményeket.

Programozói hibák: A szoftver tervezése és kódolása során a programozó által elkövetett hibákat tartalmaz.

- A lehetséges hibák főbb csoportjai:
- Hibás funkcióteljesítés.
- Hiányzó funkciók.
- Adatkezelési hibák az adatbázisban.
- Indítási (inicializálási) és leállítási hibák.
- Felhasználói interfész hibái
- Határértékek túllépése
- Kódolási hiba
- Algoritmikus hiba
- Kalkulációs hibák
- Inicializálási hiba
- Vezérlési folyamat hibája
- Adattovábbítási hiba
- Versenyhelyzet programblokkok között
- Terhelési hiba

4.1.4 Rendszerek megbízhatóságának vizsgálata

Láttuk, hogy minden elem megfelelő (pl. A-jelű) üzeméhez (berendezés, alkatrész) hozzárendelhető egy valószínűség:

$$P(A) = R_A \quad (13)$$

melyet megbízhatóságnak nevezünk.

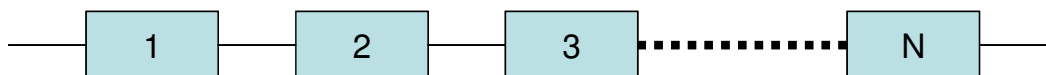
Minden berendezés részrendszerek összessége, így megbízhatósága a részrendszerek megbízhatóságának bonyolult függvénye. Ezt vizsgáljuk a következőkben. A megbízhatóság

szempontjából egy egységet képező alkatrész az elem. A részrendszer ilyen állapotait eseménynek nevezzük. Ezzel a berendezés mindenkori megbízhatósági állapota egy eseményhalmazzal ábrázolható. Ha a halmaz elemeit vizsgáljuk, akkor azt tapasztaljuk, hogy az események rendezhetők. Ez azt jelenti, hogy megbízhatósági szempontból az események lehetnek függetlenek és függők. Független események esetén az egyik elem megbízhatósága nem befolyásolja a másik megbízhatóságát.

Amikor egy bonyolult rendszer megbízhatóságát kell meghatározni, akkor azt fel kell bontani olyan részekre, melyek megbízhatóságát ismerjük. Ezek a részek, mint láttuk, lehetnek függők is. Ezek megbízhatósága feltételes valószínűséggel határozható meg. Vannak esetek, melyekben az összefüggő megbízhatóságú elemek felbonthatók független elemek hálózatára. Ekkor a berendezés megbízhatóságát viszonylag egyszerű meghatározni. Ilyen esetekkel foglalkozunk a következőkben.

Az elemek kapcsolódása esemény-algebrai szempontból kétféle lehet: soros vagy párhuzamos.

Soros a kapcsolású a rendszer, ha meghibásodása bármely elem meghibásodása esetén bekövetkezik. Soros kapcsolású elemek esetén (10. ábra)



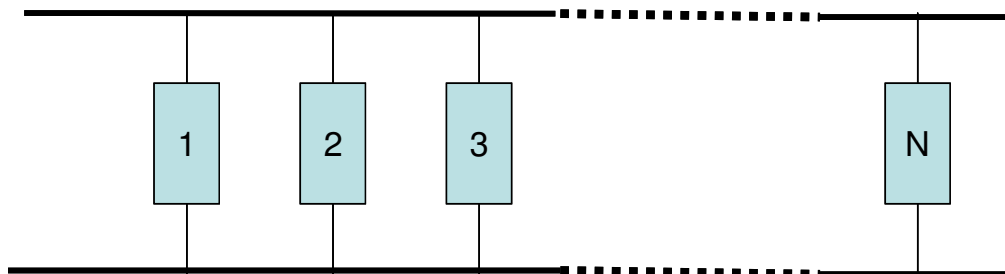
10. ábra. Elemek soros kapcsolása

az eredő meghibásodási ráta, mint azt egyszerű belátni az elemek meghibásodási rátáinak összege

$$\lambda_R(t) = \sum_{i=1}^N \lambda_i(t) \quad (14)$$

Mivel a meghibásodási ráta a működési idő reciprokával hozható kapcsolatba, így soros kapcsolás esetén az eredő kisebb a legkisebb működési idejű eleménél.

Párhuzamos (11. ábra), ha csak akkor hibásodik meg, ha minden eleme meghibásodik.



11. ábra. Elemek párhuzamos kapcsolása

Ebben az esetben a meghibásodási ráta a

$$\lambda^{-1}_R(t) = \sum_{i=1}^N \lambda^{-1}_i(t) \quad (15)$$

módon számolható. Ez a kép igen hasonló az áramközök Kirchoff-féle törvényeivel levezethető kapcsolási szabályaihoz, melyben a meghibásodási ráták az áramkörben lévő ellenállásoknak felelnek meg.

4.1.5 A redundanciával rendelkező rendszerek meghibásodásának elemzése

Egy rendszert nem-redundánsnak nevezünk, ha csak akkor üzemképes, ha minden alrendszere az. Ellenkező esetben a rendszer redundáns.

Kétféle redundancia van. A szigorú értelemben vett, amikor két vagy több azonos alrendszer dolgozik párhuzamosan. Két vagy több azonos funkciójú, párhuzamosan működő, különböző alrendszerek redundanciáját diverzitásnak nevezzük. A szigorú értelemben vett redundancia nem alkalmas a rendszeres hiba kiküszöbölésére, de a diverzitás igen. Ennek alapján egyszerű belátni, hogy a nem redundáns rendszer az alrendszerek soros kapcsolásából állnak.

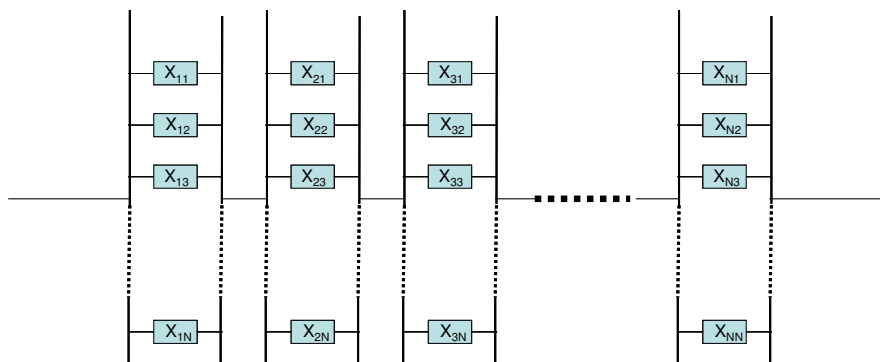
Nagy megbízhatóságú berendezésekben egyetlen hiba nem vezethet a berendezés olyan állapotához, mely veszélyezteti a felhasználót és/vagy azt akire/amire a felhasználás irányul és/vagy a környezetre nézve jelent bármilyen aktuális vagy potenciális veszélyt, (egyszeres meghibásodási feltétel, Single Fault Condition, későbbiekben SFC). Ebből következik, hogy magában álló soros kapcsolás nem lehet egyetlen SFC-t kielégítő berendezésben sem.

Az SFC tehát azt jelenti, hogy egy hiba az adott berendezésekben nem vezethet a berendezés olyan állapotához, mely életveszélyt okozhat (IEC 60601-1 szabvány előírásai). Az SFC koncepciót a következő módon lehet alkalmazni. Ha a rendszer olyan, hogy az első hibát kijelzi, pl. riasztással, akkor a berendezés nem üzemeltethető tovább meg kell javítani. Ha az első hiba, mely nem vezethet életveszélyt okozó állapot beálltához nem ismerhető fel, akkor számolni kell a második hiba lehetőségével, mely szintén nem vezethet a már meglévő hibával együtt életveszélyes helyzet kialakulásához. Három független hiba fellépte az adott berendezésekben a berendezés két előírt karbantartása között, igen valószínűtlen ezért nem kell számolni vele.

Az életveszélyt okozó meghibásodáshoz vezető eseményt nevezzük csúcspontnak (top event). Ez olyan módon érhető el, hogy a megbízhatósági hálózatban az ilyen csúcspontnak vezető utakat úgy alakítjuk ki, hogy kettőnél több szimultán hiba esetén következhesen be. Ez párhuzamos kapcsolással pl. a forrasztások szegecseléssel történő biztosítása, meleg tartalék alkatrészrel vagy részegységgel pl. szükségáramforrás, érhető el. Vezérlő programok esetén pl. több diverzáns gép együttfuttatásával kerülhető el a teljes meghibásodáshoz vezető állapot.

Ez az üzemállapot általában a legközelebbi javításig áll fenn. Fontos tehát a szóban forgó egységek élettartamának vizsgálata.

Nézzünk példákat az SFC koncepcióra, két szimultán hiba esetére. Álljon a berendezés n számú alrendszerből, 12. ábra. Legyen ez a hálózat nem redundáns, akkor megbízhatósági hálózata az alrendszerek soros kapcsolásából áll. Ha azt akarjuk, hogy a berendezés két szimultán hiba esetére teljesítse az SFC koncepciót, akkor minden alrendszerrel két „meleg” (működésben lévő) tartalékot kell párhuzamosan kapcsolni.

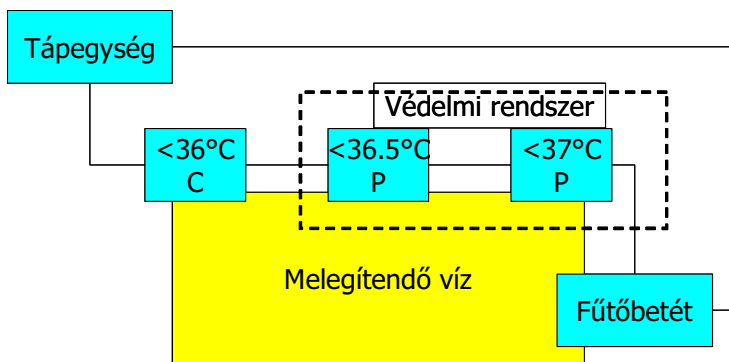


12. ábra. Az egyszeres meghibásodási feltétel (SFC) koncepció szemléltetése két szimultán hiba esetére megbízhatósági hálózaton

A korszerű bonyolult orvosi berendezések két jellegzetes alrendszerből állnak: a fizikai értelemben vett eszközök alkotta alrendszer, melyet hardvernek nevezünk és az azokat működtető eszközmeghajtó programok. Ez utóbbiakat összefoglalóan szoftvernek nevezzük.

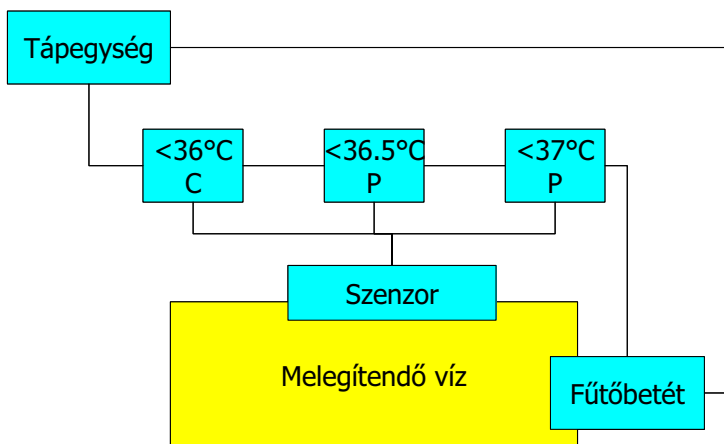
A szoftver csak rendszeres hibát tartalmazhat. A hardver mindkettőt.

A kezelési biztonság növelése ugyanakkor megnöveli a felhasznált alkatrészek, modulok, elemi folyamatokat végző egységek számát, valamint a rendszeres hiba kialakulásának valószínűségét is. Ennek megfelelően a növekedő biztonság csökkenő megbízhatósággal járhat, ha az egyes felhasznált alkatrészek, egységek, modulok saját megbízhatóságát azonos arányban nem növeljük. Példaként bemutatjuk egy konstans hőmérsékletet előállító-ellenőrző egyszerű vízmelegítő rendszer vezérlésének diagramját (13. ábra). A szaggatott rész normál esetben nem kell, itt a túlfűtés elleni védelem miatt szerepel. Amennyiben a kontrol (C-control) egység tönkre megy, úgy még két védelmi (P-protective) egység képes a fűtőbetétet kikapcsolni.



13. ábra. Fűtés-vezérlő modellje.

Jellegzetes SFC hibát mutat be a 14. ábra: ha a közös érzékelő⁷ meghibásodik, és például folyamatosan kisebb hőmérsékletet mér, mint a beállított, megkívánt (példánkban 36°C), akkor a készülék nem csak nem teljesíti az elvárt funkciót, hanem a melegítendő vizet 100°C -ra is felfűtheti, hiába van párhuzamosan három ellenőrző rendszer is.



14. ábra. Tipikus SFC hiba.

⁷ Szenzor: Érzékelő egység, mely a külvilág, vagy a belső rendszer egy adott értékét olvassa le, és továbbítja a megfelelő helyre

4.1.6 Egyetlen hiba állapot (SFC) feltétel alkalmazása

Ha a hiba azonnal felismerhető, akkor a koncepció szerint ezt jelezni kell és intézkedni a cseréről. Ebben az esetben a probléma megoldása az alkatrész/részegység cseréje annak feltételezésével, hogy a csereelem azonnal átveszi a meghibásodott elem szerepét. (Ezt a szituációt a javítási modellben [Gnyegyenko és Beljajev 1970], azonnali cserének nevezzük.)

Az ilyen két elemből álló rendszer élettartama két egymástól statisztikusan független elem élettartamának összegeként határozható meg. Matematikailag: az egyik illetve másik elem élettartamának, mint két független valószínűségi változónak az összegeként adódó valószínűségi változónak az eloszlásfüggvényét kell meghatároznunk. Ehhez feltételezzük, hogy ismerjük mindkét elem élettartamára vonatkozó eloszlásfüggvényeket.

Legyen a két eloszlásfüggvény az alábbi:

$$F_{\xi}(t) = P(\xi < t), \quad F_{\zeta}(t) = P(\zeta < t) \quad (16)$$

Ezekből kell tehát meghatározni a

$$F_{\xi+\zeta}(t) = P(\xi + \zeta < t) \quad (17)$$

eloszlásfüggvényt.

Ehhez szükségünk lesz az (16)-ból következő

$$f_{\xi}(t) = \frac{dF_{\xi}(t)}{dt}, \quad f_{\zeta}(t) = \frac{dF_{\zeta}(t)}{dt} \quad (18)$$

sűrűség függvényekre. Most annak a valószínűsége, hogy ζ a $(\tau, \tau+dt)$ intervallumba esik

$$f_{\zeta}(t)dt \quad (19)$$

Mivel $F_{\xi+\zeta}(t)$ annak a valószínűsége, hogy a $\xi+\zeta$ összeg t -nél kisebb, így ζ csak a (τ, t) intervallumba eső értéket vehet fel. Ennek valószínűsége: $F_{\xi}(t-\tau)$. Az együttes esemény valószínűsége a feltételezett függetlenség miatt

$$F_{\xi}(t-\tau)f_{\zeta}(t)dt \quad (20)$$

A keresett valószínűség ilyen típusú események valószínűségének összege azaz

$$F_{\xi+\zeta}(t) = \int_0^t F_{\xi}(t-\tau)f_{\zeta}(\tau)d\tau \quad (21)$$

Ebből meghatározható a

$$f_{\xi+\zeta}(t) = \frac{dF_{\xi+\zeta}(t)}{dt} \quad (22)$$

sűrűség függvény és az élettartam várható értéke:

$$T = \int_0^{\infty} t f_{\xi+\zeta}(t) dt \quad (23)$$

Ennek értéke nyilván meg kell, hogy haladja a két karbantartás közti időtartamot.

A (21) összefüggés szerint a keresett valószínűség eloszlásfüggvény konvolúciós szorzattal számítható, azaz

$$F_{\xi+\zeta}(t) = \int_0^t F_{\zeta}(t-\tau) f_{\xi}(\tau) d\tau := F_{\zeta} * f_{\xi} \quad (24)$$

Abban az esetben, ha a cserealkatrész is meghibásodik és azt egy harmadikra cseréljük elhanyagolható időn belül (pl. egy „hideg-tartalék”⁸ azonnali bekapcsolásával), akkor a fenti jelölést használva a

$$F_{\xi+\zeta+\psi}(t) = F_{\xi+\zeta} * f_{\psi} \quad (25)$$

konvolúciós szorzattal számítható. Másrésztől konvolúciós szorzat rendelkezik az alábbi sajátságokkal [Preuss és Bleyer 1986]

$$\begin{aligned} f_1 * f_2 &= f_2 * f_1 & \text{a.)} \\ (f_1 * f_2) * f_3 &= f_1 * (f_2 * f_3) & \text{b.)} \\ f_1 * (f_2 + f_3) &= f_1 * f_2 + f_1 * f_3 & \text{c.)} \end{aligned} \quad (26)$$

Ennek alapján a következő észrevételek tehetők:

- Megbízhatósági szempontból az egymás helyébe lépő elemek sorrendje közömbös ((26/a) tulajdonság), hiszen

$$F_{\xi+\zeta} = F_{\zeta} * f_{\xi} = f_{\xi} * F_{\zeta} \quad (27)$$

- Kétszeres biztosítás esetén (26/b) tulajdonság alapján ugyanez mondható el

- A (26/c) tulajdonság alapján a párhuzamosan kapcsolt biztosító elemek belépésével adódó állapot együttes valószínűség eloszlásfüggvénye számítható

4.2 Paradigmaváltás a megbízhatóság kiértékelésében

A klasszikus statisztikai kezelés minden esetben hipotézisvizsgálaton alapul. A kapott eredményeket előzetes elvárásainkkal egyeztetjük, és azt mérjük, hogy a mérési eredmények mennyiben feleltek meg az előzetesen (prekonceptcionálisan) kialakított elvárásoknak. Ez a módszer ennek megfelelően előzetes koncepcióhoz kötött, igényli előzetes elképzeléseinket (igényünket) az

⁸ „hideg-tartalék”: olyan beépített alkatrész/egység/berendezés, mely akkor kezd működni, mikor az eredetileg működő meghibásodik, és annak funkcióját át kell vennie.

„meleg-tartalék”: olyan folytonosan és az aktuálisan megfelelően működővel párhuzamosan működő beépített alkatrész/egység/berendezés, mely az eredeti hibájakor automatikusan és időkihagyás nélkül veszi át a működést (ilyen van pl. a rádió adóállomásokon, vagy olyan berendezésekben (pl. telefonközpont) melynek modul-javításakor/cserékor sem állhat le a rendszer.

adatsor elvárt tulajdonságaira (hipotézis vizsgálat). A statisztikai mérés ekkor azt fogja kimutatni, hogy a tényleges szituáció valamilyen valószínűséggel megegyezik a hipotetikusan feltett feltételek, vagy attól rendszeresen (szignifikánsan) eltér. Ugyanakkor ehhez a klasszikus statisztikai értékeléshez fenn kell állniuk a berendezésre nézve a statisztikai kiértékelés feltételeinek: ismert eloszlásfüggvények és valószínűségek kellene. Ezek a nagy sorozatú, illetve nagy adat-kihozatalú berendezésekre, szituációkra nyilván mérhető, létező mennyiségek, míg egy prototípus és/vagy egyedi gyártás esetén már nem teljes mértékben, csak újabb feltételezések mellett. Ilyen esetben (ha van rá lehetőség) egy hasonló berendezéssel, gyártmánnyal, funkcióval stb. történő összehasonlítás (szintén előre feltételezett hipotézisek alapján) adhat megoldást. Ugyanakkor ez csak egyes „már bejáratott” részekre, alrendszerekre, elképzelésekre adhat megoldást, de a rendszer komplex összességére nem.

Ezek az esetek hozták meg napjainkban az „ortodox” statisztikai szemlélet határozott változásait, ami két vonalon jelenik meg:

A statisztikában figyelembe vették, hogy a mért (megadott) értékek általában pontatlanok, határozott értékük általában nem adható meg. Ez a pontatlanság statisztikai függvénynel esetleg egyáltalán nem értelmezhetően (pl. „fehér”, konstans zajként) rakódik a valós értékre és adja meg a mért érték hibáját. Ez a „pontatlanság logikája” [Singer 1994a, Singer 1994b] vagyis a fuzzy elmélet, mely ma már igen nagy léptékben hódít a gyakorlatban.

Felismerték, hogy az előre elhatározott próbafüggvények (próbaeloszlások, hipotézisek) sokszor félrevezetőek, olyan kényszerpályákat állítanak be a vizsgálatba (bias) melyeket az objektivitás és a megfelelő hűség miatt el kellene kerülni. Ez egy új elméletet hozott létre, mely „Bayesian statisztika” néven vonult be a tudomány eszköztárába [Berger 1985], és hatásaiban jelentős változásokat hozott a statisztika világában. Ez a direkt eloszlások helyett feltételes eloszlások meglétét kívánja meg, aminek meghatározása sokszor igen bonyolult feladat. Ugyancsak fontos, hogy annak az eseménynek az eloszlásfüggvénye, mely feltételül szolgál vagy ismert kell hogy legyen, vagy ismerni kell egy teljes eseményrendszerre vonatkozó eloszlás függvényeit.

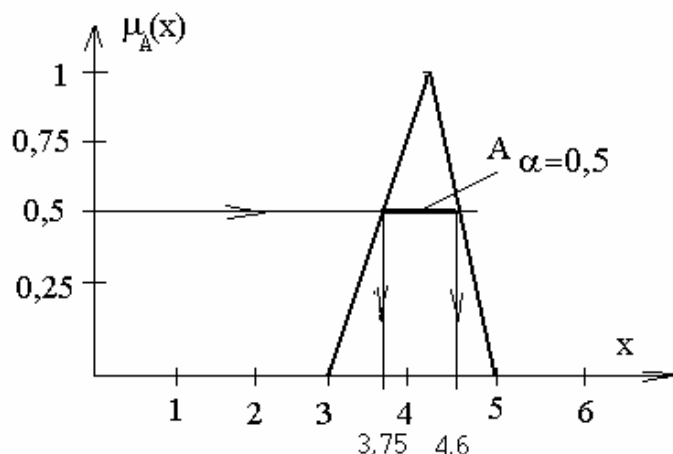
4.2.1 A műszaki minőség fuzzy leírása

A gyakorlati életben az egyes értékek megadása nem egzakt, csak egy körülbelüli érték. Ez nem a nagyszámok eloszlásának alapján, csupán bizonyos becslés vagy hiányos megfigyelés vagy egyszerűség által diktált értékmegadás. Az intelligens rendszerekben ezen ún. Fuzzy számok értelmezése alapfeladat, kiterjedten használják az intelligens mesterséges rendszerek leírásánál és magyarázatánál egyaránt, [Baisch és Bleile 1995, Bezdek 1981, Bleile és Baisch 1995, Bortolan és Pedrycz 1997, Bubenko és Rolland 1994, Chang 2001, Choi és Choi 1999, Dunn 1992, Ebert 1996, Geomets és Kreinovich 1994, Gorzalcany 2002, Gray és MacDonnel 1997, Gray és MacDonnel 1999, Ho és Zhang 2001, Hoppner és Klawonn 1999, Jang és Sun 1997, Joyce 1994, Kandel és Lee 1979, Keller és Gray 1992, Keller és Hunt 1985, Klir és Yuan 1995, Last és Maimon 2001, Lee és Lee 1974, Lee és Lee 1975, Liang és Mendel 2000, Maimon és Last 2000, Mamdani 1974, Mendel és Jordan 2002, Pal és Mitra 1992, Pal és Mitra 1999, Pedrycz és Bezdek 1998, Pedrycz és Smith 1999, Rajapakse és Furuta 2002, Russo 1998, Takagi 1990, Takagi és Sugeno 1985, Wang 1997, Windham 1981, Xie és Beni 1992, Yuan és Khoshgoftaar 2000, Zadeh 1996a, Zadeh 1996b, Zadeh 1997]. Fontos magyar-nyelvű irodalom is megjelent a témában, [Kóczy és Tikk 2000, Ajtonyi 1998, Ajtonyi és Gyuricza 2002, Szemes 1996]. Primitív értelmezésben a fuzzy szám egy nem pontosan („hozzávetőleges” módon) definiált érték. Így használja a köznyelv: középkorú ember; húsz körüli volt a látogatók száma; úgy 20 dkg volt a sonka; három és öt között felugrom hozzád; kb. harmincezer ember lehetett a stadionban; legalább még ötven vannak előttem a sorban; hozzávetőleg ötször próbáltam már megoldani a feladatot; stb.

A fuzzy szám pontosabb értelmezése a számegyenes, mint referencia halmaz fölött értelmezett fuzzy intervallum-halmaz. Ez azt jelenti, hogy a számegyenes minden pontjához tartozik egy ún. tagsági függvény jól meghatározott értéke.

A fuzzy szám tartójának azt az intervallumot nevezzük, melyen belül a tagsági függvény értéke nem zérus. A fuzzy szám tagsági függvénye leginkább egy eloszlás-függvényhez hasonlítható a megadott intervallumon, azzal a különbséggel, hogy az értéke a tartón kívül egzaktul zérus, és belül pedig akár konstans is lehet.

A következő ábra (15. ábra) a 4 körüli fuzzy számot ábrázolja. Látszik, hogy tartója a $[3,5]$ zárt intervallum.



15. ábra. A négy körüli fuzzy szám

Megadható a fuzzy következtetések eredményeként kapott halmazok „visszafordítása”, „defuzzifikálása” is. Ezt különböző forrásokból származó következményeket reprezentáló, egyesített fuzzy halmazokból számíthatjuk [Borgulya 1998].

A fuzzy-modell alkalmazásának sok előnye van [Sántáné-Tóth 2000]:

- Szemlélete közel áll az ember napi valóság szemléletéhez: számok helyett használhatjuk a megszokott nyelvi kifejezéseket, ami egyben könnyűvé teszi a rendszer módosítását is.
- A többi numerikus modellhez képest sokkal egyszerűbb a fuzzy rendszerleírás.
- Nem kell részletesen kidolgozni a feladat modelljét. A fuzzy szabályokkal részleges igazságot is ki lehet fejezni.
- Alkalmazható hiányos, valamint bonyolult feladatok esetén.
- A fuzzy bizonyosságokkal könnyű számolni.

A fuzzy-modell alkalmazásának természetesen vannak hátrányai is:

- Nem mindig nyilvánvaló, hogy hogyan kell megadni a szubjektív elem függvényét. Ez nehézséget okoz az alkalmazásoknál; e függvények kidolgozása és finomítgatása gyakran hosszabb időt vesz igénybe, mint a tárgyterületet leíró ismeretanyag megszerzése.
- Fuzzy leírásban két idegen halmaz együttes bizonyossága a halmazok bizonyosságának minimuma, holott azt 0-nak várnánk.

Ugyanakkor a fuzzy-modell hasznosságát mutatja, hogy alkalmazásainak száma egyre nő. Első sikeres alkalmazása a teljesen automatikus Sendai metrónvat fékberendezését szabályozó rendszer vezérlése volt (1989-ben). 1993-ban Japánban több mint 1500 szabályozástechnikai alkalmazást

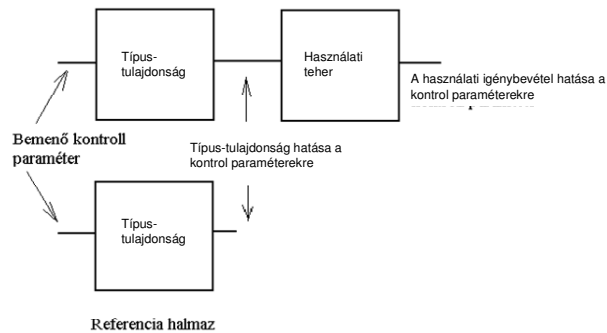
tartottak számon. Ezek a fuzzy szabályozók a vezérlés hagyományos eszközeihez vagy a neuronhálózatos rendszerekhez képest egyszerűbb és olcsóbb megvalósításokat adnak. Kiterjedten alkalmazzák a bizonytalanság kezelésére orvosi diagnózis, információ-visszakeresés, folyamatvezérlés és hibafelderítés területén.

A fuzzy számítások szabályait az M3. Melléklet tartalmazza.

4.2.2 A műszaki elhasználódási kísérletek kiértékelése fuzzy-relációkkal

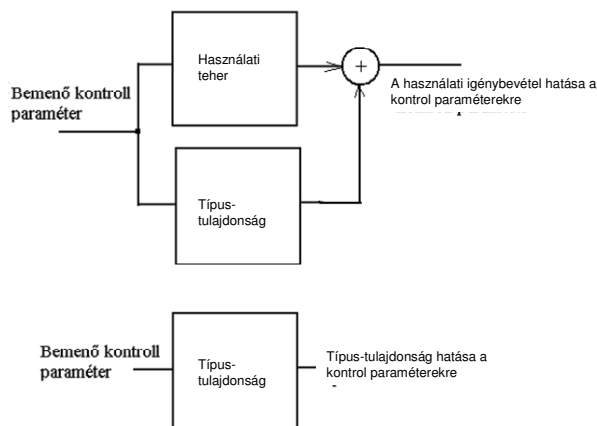
Kiválasztunk egy referencia halmazt, melyet ugyanaz a fuzzy változó jellemez. Ez utóbbi halmaz a referencia készüléknek (minta-készülék, típus-vizsgálati referencia) felel meg, mely teljesőrű működésre képes, de tényleges termelő vagy aktuális munkát nem végeztetünk vele. Ilyen reális példa alapján a típus-vizsgálatokon átesett készülék lehet, mely mint típus-referencia folyamatosan rendelkezésre áll, vita esetén megtekinthető mint referencia működés, ellenőrizhető rajta keresztül, hogy a tényleges gyártmányok megfelelnek a típus-vizsgálat engedélyezett és minősített adatainak. A másik készülékkel pedig a felhasználóknál tényleges munkát végeztetünk, és vizsgáljuk a kontrolparaméter változását. Lényeges, hogy a kontrol paraméter mindig fuzzy-szám marad, hiszen az egyes készülékek kontrolparaméterei nem azonos módon változnak.

A használati teher eredő hatásának meghatározására a 16. ábra szerinti soros modellt adhatjuk meg.



16. ábra. A műszaki elhasználódási kísérletnél megvalósuló transzformációk

Felvetődött annak lehetősége, hogy a típus-tulajdonság a használati teherrel párhuzamosan fejti ki hatását. Ezt mutatja a 17. ábra.

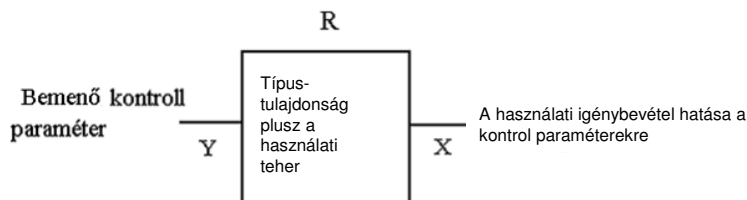


17. ábra. A típus-tulajdonság hatás egy másik figyelembevétele

Ha ismernénk 17. ábra szerinti párhuzamos kapcsolásban szereplő relációk mindegyikét, akkor fuzzy relációkkal (ld. M3. Melléklet) ki tudnánk értékelni. Ennek hiányában azonban a 16. ábra

szerinti eredő átviteli tényezőt (a típustulajdonsággal kevert használati teher értékét) tudjuk meghatározni a bemutatott módszerrel. Ugyanez megtehető a típus-tulajdonság hatással is. Így ennek is ismerjük az átviteli tényezőjét. A feladat tehát a következő: hogyan kell az eredő és a típus-tulajdonság hatás átviteli tényezőjéből a használati teher hatás átviteli függvényét meghatározni?

Az elrendezést blokkvázlat-szerűen a 18. ábra mutatja.



18. ábra. Az elhasználódás blokkvázlata

A műszaki elhasználódási kísérletekből tehát minden szóban forgó (x_i, y_j) érték-párra ismerjük az $\mu_{er}(x_i, y_j)$ eredő és a $\mu_{típus}(x_i, y_j)$ típus-tulajdonság hatás tagsági függvényének értékét. Ebből kell meghatározni a $\mu_{haszn}(x_i, y_j)$ használati teherhatás tagsági függvényének értékét ugyanezen érték párokon.

Ha az M3. Melléklet (207/c.) harmadik összefüggéséből indulunk ki, akkor írhatjuk

$$\mu_{er}(x_i, y_j) = \mu_{haszn}(x_i, y_j) + \mu_{típus}(x_i, y_j) - \mu_{haszn}(x_i, y_j) \mu_{típus}(x_i, y_j) \quad (28)$$

Ebből pedig $\mu_{haszn}(x_i, y_j)$ egyszerű algebrai úton meghatározható:

$$\mu_{haszn}(x_i, y_j) = \frac{\mu_{er}(x_i, y_j) - \mu_{típus}(x_i, y_j)}{1 - \mu_{típus}(x_i, y_j)} \quad (29)$$

A másik két M3. Melléklet (207) összefüggésében szereplő definíciónál ((207/b.) és (207/c.)) az eredő és a típus-tulajdonság hatás tagsági függvényéből nem határozható meg a használati teherhatás tagsági függvénye minden esetben. Pl. ha minimumkereséssel kaptuk az eredőt és az megegyezik a típus-tulajdonság hatás tagsági függvényével akkor nem tudunk semmit a használati teherhatás tagsági függvényére mondani! Következmény: a feladat korlátozás nélkül csak (207/c.) harmadik összefüggés esetén oldható meg! Vagyis a szélsőértékekkel való jellemzés nem felel meg a használt esetekben.

A fuzzy modell alkalmazásának előnyei nyilvánvalóak. Azzal együtt, hogy igen közel áll a hétköznapi ember „pongyola” valóság szemléletéhez (csak körülbelüli, megbecsült értékekkel dolgozik), egyszerűvé és könnyen módosíthatóvá teszi a rendszer leírását. Az nagy előnye, hogy nem kell részletesen kidolgozni, ismertetni a feladat modelljét, és részleges igazságokat is ki lehet fejezni a fuzzy-logikával. Előnyösen alkalmazható hiányos, és/vagy bonyolult feladatok esetén, fuzzy bizonyosságokkal könnyű számolni. Ugyanakkor hátrányai is komolyak a módszernek. Nem mindig nyilvánvaló a szubjektív tagsági függvény és tartójának megadása, gyakran hosszú folyamat, és esetleges módosítása, finomíthatása sokszor hosszabb időt vesz igénybe, mint a feltételek pontos megismerésén alapuló más módszerek. A fuzzy-alkalmazások száma gyorsan terjed világszerte.

4.2.3 Bayes-típusú statisztikai vizsgálatok

A statisztikai szemlélet-változás alapjait már nagyon régen lerakták, de a változás igénye csak a modern technika megjelenésével lett nyilvánvaló. Egy komplex rendszer vizsgálatánál esetleg nincs

összehasonlító adatsorunk, vagy az egyszerűbb esetekben esetlegesen jobb híján feltett parametrikus eloszlások (pl. normális eloszlás) nem vezet megfelelő eredményre. Ekkor az olyan fogalmak mint az előbb kifejtett „konfidencia”, vagy más összehasonlítási jellemzők, mint az „adatok konzisztenciája”, „adatgyűjtés befolyásmentessége (unbiasedness)”, „adatgyűjtés elegendősége”, „adatvétel egyenletessége, lefedettség”, stb. elvesztik jelentőségüket.

A matematikai statisztika kiemelkedő úttörője az angol Thomas Bayes [Holland 1962], akinek 1750 körül felfedezett (de csak halála után megjelent) tétele [Bayes 1958]. Bayes tételét mint új statisztikai paradigmát fedezte fel újra Laplace [Stigler 1986] melyet elsőként csak jóval később, geofizikai problémák megoldására használtak fel, [Jeffreys 1939], majd filozófiailag is értelmezték, [Cox 1946]. A tétel olyan tudományos viták kiindulópontja lett, amelyek hevesége mind a mai napig nem csökkent, sőt a „bayesi” és „nem-bayesi” matematikusokat semmivel sem kisebb felfogásbeli szakadék választja el egymástól, mint annak idején Einsteint és a kvantummechanika képviselőit.

A paradigma Bayesian - statisztika néven került be a tudományos köztudatba [Meyer és Collier 1970]. Először főleg a képfelismerésben [Duda és Hart 1973], és a gazdasági statisztikákban [Zellner 1984] alkalmazták. Lényege egy döntési stratégia, mely minimalizálja a döntési utakat, olyan filozófiával, melyhez, - az eddigi összehasonlító jellegű hipotézisekkel ellentétben, - elegendő egyetlen adatsor megfigyelése, és inverz valószínűség alapján az alternatív modellek legvalószínűbbjét választja ki. Az új paradigma, a Bayesian statisztika, térhódítása csak nagyon lassan és sok ellenálláson keresztül történhetett meg, azonban ma már a módszer részletes matematikai megalapozottsággal ki van dolgozva, és elfogadott statisztikai eszköz, [Carlin és Louis 1996, Ibrahim és Chen 2001]. Az információ-elméletben elfoglalt helye központi szerepet mutat [MacKay 2003]. A módszer filozófiáját [Box és Tiao 1992, Casella és Berger 1990], tárgyalja részletesen.

A Bayes-tétele a feltételes valószínűségre alapít. Ha A és B két tetszőleges esemény, valószínűségeik $P(A) > 0$ és $P(B) > 0$, együttes bekövetkezésük valószínűsége $P(A \cap B)$, Annak valószínűsége, hogy az A esemény a B esemény állandó megléte mellett bekövetkezik

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (30)$$

A B eseményt hipotézisnek is szokták nevezni. Ebben az esetben így olvassák: annak valószínűsége, hogy A bekövetkezik a B hipotézis teljesülése esetén: (30). Az események szerepe nyilván felcserélhető, így van értelme a

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} \quad (31)$$

feltételes valószínűség kiszámításának is. Sőt a kettő nem is független egymástól, hiszen a fentiekből:

$$P(B|A)P(A) = P(A|B)P(B) = P(A \cap B) \quad (32)$$

Ez a formula logikailag invertálja a feltételes valószínűségeket, vagyis

$$P(B|A) = \frac{P(A|B)P(B)}{P(A)} \quad (33)$$

Ebből következik, hogy ha B_0, B_1 , egymást kizáró pozitív valószínűségű események, amelyek valamelyike biztosan (vagy legalábbis 1 valószínűséggel) bekövetkezik, akkor

$$P(B_k|A) = \frac{P(A|B_k)P(B_k)}{P(A|B_0)P(B_0) + P(A|B_1)P(B_1) + \dots} \quad (34)$$

vagyis ha ismerjük a B_k eseményeknek az A esemény megfigyelése előtti (előzmény, ún. „apriori”) $P(B_k)$ valószínűségeit, akkor az A esemény bekövetkezése utáni (következmény, ún. „aposteriori”) valószínűségeik a fenti képlet szerint változnak meg. Ha a B_k eseményeket „okoknak” interpretáljuk, akkor a Bayes-tétel az „okok valószínűségének” tétele. Maga a tétel önmagában semmi vitára nem ad alkalmat, de az alkalmazásokat igen sokszor olyan esetekben is használják, amikor a $P(B_k)$ valószínűségek nem ismertek. Igen tipikus és általánosságban nem is elfogadható az az elképzelés, hogy a B_k „okokra” vonatkozó „semmilyen előzetes információ” azzal egyenértékű, hogy a $P(B_k)$ valószínűségek egyformák. Bayes olyan esetekben alkalmazta a tételét, amikor az apriori valószínűségek folytonos eloszlásúak voltak, pontosabban egyenletes eloszlásúak a $(0, 1)$ intervallumon. Bayes szerint, ha egy ismeretlen p valószínűségű esemény $n + m$ megfigyelés közül n -szer következett be és m -szer nem, akkor annak az esélye, hogy p a $(0, 1)$ intervallum egy (a, b) részintervallumába esik

$$\frac{\int_a^b x^n (1-x)^m dx}{\int_0^1 x^n (1-x)^m dx} \quad (35)$$

Nézzük meg ezt egy szemléletes példán. Legyen egy adó, mely egy átviteli vonalon keresztül ad jeleket, melyeket egy vevő vesz. Ez lehet egy busz, mely egy perifériát köt össze egy számítógéppel. Pl. adatok olvasása tárból, program olvasása tárból. Legyen az adó jelkészlete: $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ a vevő pedig $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$. Mivel a zaj eltorzíthatja az adó által kiadott jeleket, így az $\{A_j\}$ és $\{B_k\}$ halmazok nem kölcsönösen egyértelműen vannak egymáshoz rendelve.

Mi a valószínűsége annak, hogy az adó által kiadott jel A_i ? Legyen ez ismert $P(A_i)$ értékű. Legyen most a vevő által vett jel B_j , melynek bekövetkezési valószínűsége $P(B_j)$. Ezek az adó ill. a vevő oldalon végzett kísérletekből meghatározhatók. Mi a valószínűsége annak, hogy a B_j jel vétele esetén az adó A_i jelet sugárzott? A fentiek alapján:

$$P(A_i|B_j) = \frac{P(A_i \cap B_j)}{P(B_j)} \quad (36)$$

Ha minden egyes adó által kiadható jelre meghatározzuk ezt a feltételes valószínűséget, akkor ésszerű azt mondani, hogy a B_j -jel ahhoz az A_i -jelhez tartozik, melynél ez a feltételes valószínűség a legnagyobb. (Ez egy entrópia jellegű megfogalmazás, melyet a későbbiekben még kifejtenk.)

Feltehető a fordított kérdés is: ha ismerjük a $P(A_i)$ és a valószínűségeket hogyan számíthatók ki a $P(B_j)$ valószínűségek? Ha az A_i események egymást kizáró teljes eseményrendszert alkotnak, akkor igaz bármely B_j eseményre, hogy

$$P(B_j) = \sum_{i=1}^n P(B_j|A_i)P(A_i) \quad (37)$$

Kérdés, hogy az egyik esemény rendszerre vonatkozó valószínűségek $P(A_i)$ és a $P(B_j|A_i)$ feltételes valószínűségek ismeretében kiszámíthatók-e az inverz feltételes valószínűségek $P(A_i|B_j)$? Erre vonatkozik Bayes tétele: Ha az A_i események egymást kizáró teljes eseményrendszert alkotnak, akkor igaz bármely B_j eseményre, hogy

$$P(A_k|B_j) = \frac{P(B_j|A_k)P(A_k)}{\sum_{i=1}^n P(B_j|A_i)P(A_i)} \quad (38)$$

Tételezzük fel, hogy egy véletlenszerű kísérletben az $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ események lépnek fel és hogy ismert ezek $P(A_i)$ valószínűsége, melyeket a-priori valószínűségeknak nevezünk. Tegyük fel azt is, hogy az egyes események direkt kísérleti megfigyelése nem lehetséges. Meg tudjuk viszont figyelni egy B eseményt az $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ hipotézisekre vonatkozóan és így meg tudjuk határozni a $P(B|A_i)$ valószínűségeket. Ekkor a Bayes tétel segítségével meg tudjuk határozni a $P(A_i|B)$ a következmény (aposteriori) valószínűségeket is, vagyis hogy adott B esemény mint feltétel milyen valószínűséggel adódik az A_i eseményekből. Tehát pl. ha a vizsgálandó készülék megfelelő kimenetén nem az elvárt jelek jelennek meg, hanem zajos háttérrel kapunk, és ekkor egy jelsorozat (B_j) mérünk úgy, hogy azoknak egyes jel-elemei $P(B_j)$ valószínűséggel jelennek meg, de ugyanakkor egy A_i elemeket tartalmazó elvárt (értelmes) jelsorozat $P(A_i)$ valószínűséggel lenne mérhető. Meg kell határoznunk annak a valószínűségét, hogy az aktuálisan mért B_j jelsorozat milyen valószínűséggel felel meg az A_i jelsorozatnak.

Bayes „természetesen” abból indult ki, hogy ha p -ről semmi előzetes információ sincs, akkor p a-priori valószínűségsűrűsége az egész $(0, 1)$ intervallumon egyenletes. Ha például $n = 1$, $m = 0$, $a = 1/2$ és $b = 1$, vagyis, ha csak egyetlen kísérletet végzünk és ekkor bekövetkezik a vizsgált esemény, akkor annak esélye, hogy a vizsgált esemény valószínűsége több, mint $1/2$, a fenti képlet szerint $3/4$. Nyilván probléma lehet az ismeretlen valószínűségek becslése ennek alapján, részben azért, mert az a-priori eloszlás egyenletessége kétséges.

Az a-priori eloszlás ismeretének hiánya olyan negatív hatással volt a Bayes-tétel szerinti statisztikai következtetésekre, hogy az már-már teljesen kiszorult a statisztika fő vonalából. A XX. század második harmadában azonban a Bayes-féle következtetéseknek új fellendülése kezdődött többek között azért, mert bebizonyosodott, hogy a megengedhető és minimax-becslések 9 meghatározásának igen természetes útja éppen a Bayes-tételen keresztül vezet [Neumann és Morgenstern 1944, Ferguson 1967].

4.2.4 Bayes-paradigma

A statisztikai döntéseknél azt mondhatjuk, hogy egy B hipotézisre vonatkozóan az az A_i esemény valósul meg, melynek legnagyobb a $P(A_i|B)$ feltételes valószínűsége. Ez a Bayes-paradigma [Savage 1972, Lindley 1960, Lindley 1975, Lindley 1978, Berkson 1977, David és Stone 1973, Stone és Springer 1965].

Világítsuk meg ezt a következő feladattal: Adott egy fizikai mennyiség (J), melyet mérni akarunk. Erre a J jelre Z zaj ráadódik. Tegyük fel, hogy a jel készlete és a mérési eredmények készlete diszkrét, azaz a lehetséges jelkészlet: J_1, J_2, \dots, J_n . A mérési eredmények készlete pedig: M_1, M_2, \dots, M_n , melynek valószínűségei $P(M_i)$. Tegyük fel, hogy ismerjük a zajra vonatkozóan a valószínűségeket, tehát annak a valószínűségét, hogy a zaj adott értékű ($J_k + Z = M_i$). Tehát ki tudjuk számítani, hogy mekkora a valószínűsége annak, hogy M_i mérési eredmény esetén a jel J_k értékű, hiszen ilyenkor a zaj:

$$Z = M_i - J_k \quad (39)$$

így annak a feltételes valószínűsége, hogy M_i mérési eredmény esetén a jel J_k értékű:

$$P(J_k|M_i) = P(Z) = P(M_i - J_k) \quad (40)$$

⁹ Az óvatos játékos számára az a legjobb stratégia, mely a maximumális veszteségét (mely optimális ellenjátékkal lép fel) minimumálissá teszi. Neumann János megmutatta (minimax téte, a játékelmélet alaptétele), hogy kevert stratégiák körében mindig van nyeregpont, vagyis létezik mindkét fél részére optimális stratégia.

Ebből meghatározhatnánk a jel valószínűség eloszlását:

$$P(J_k) = \sum_{i=1}^n P(J_k|M_i)P(M_i) \quad (41)$$

ha leírnánk a $P(J_k|M_i)$ -t, de ezt keressük. Képzeljük el tehát, hogy ismerjük a jelre vonatkozó $P(J_k)$ valószínűségeket és a $P(M_i|J_k)$ feltételes valószínűséget. Ez utóbbi jelentése: annak a valószínűsége, hogy a jel állandónak feltételezett J_k értéke esetén a mért érték M_k . Ekkor (38) szerint kapjuk, hogy egy adott M mért értékek esetén

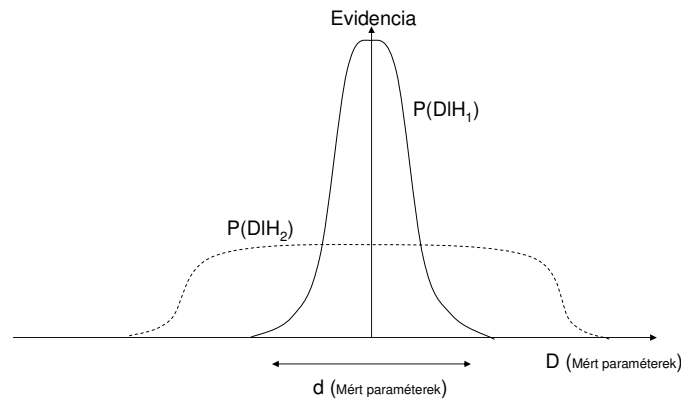
$$P(J_k|M) = \frac{P(M|J_k)P(J_k)}{\sum_{i=1}^n P(M_i|J_i)P(J_i)} \quad (42)$$

Alkalmazva a Bayesian paradigmát: az a J_k jel fog ehhez tartozni melynél a fenti $P(J_k|M)$ feltételes valószínűség a maximális, azaz melyre a

$$P(M|J_k)P(J_k) \quad (43)$$

kifejezésnek J_k szerint szélsőértéke van, azaz melyre ez a kifejezés maximális valószínűség (maximum-likelihood) függvény.

A megfelelő függvény megtalálásához W. Occam filozófus [Ockham 1280] egyszerűségi elvét lehet a legkönnyebben alkalmazni, mely az „Occam-borotva” néven [Kashyap 1977] került be a statisztikai vizsgálatok történetébe. Az elv azon alapszik, hogy ha van egy D adathalmaz, mely előállhat egy H_1 hipotézist feltételezve vagyis $P(D|H_1)$ evidenciát tételezünk fel D paraméterhalmaz előállítására, akkor ha ezt egy ennél bonyolultabb H_2 hipotézis felállításával érjük el, az evidencia valószínűségfüggvénye elmosódottabb lesz, vagyis több együttes paraméter adja ugyanazt az integrális értéket, tehát a valószínűségi értékek az eloszlási görbe kiszélesedésével automatikusan csökkennek (Ld. 19. ábrát):



19. ábra. Az Occam-feltétel magyarázatához.

Vagyis az előrejelzések (hipotézisek) limitált tartománya a teljes valószínűségi függvény élesedését eredményezi. Ha tehát a mért eredmények a d adathalmazba esnek, akkor a H_1 -es hipotézis valószínűbb a H_2 -esnél. A Bayes elv (34) alapján ha feltételezzük, hogy a H_i modell igaz, akkor a modellt illesztő paraméterek (\mathbf{w}) vektora egy adott D adathalmaz mérésével:

$$P(\mathbf{w}|D, H_i) = \frac{P(D|\mathbf{w}, H_i)P(\mathbf{w}|H_i)}{P(D|H_i)} \quad (44)$$

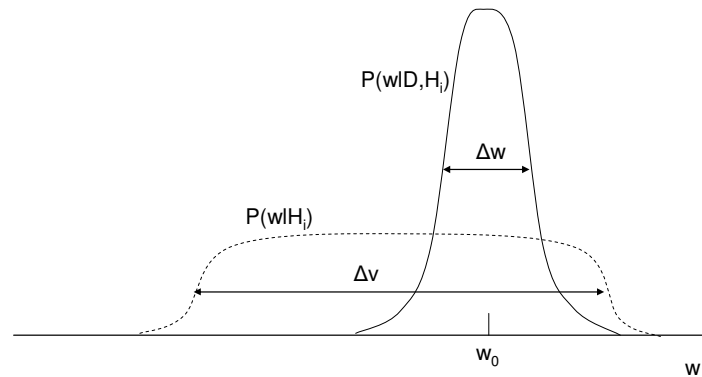
Vagyis szavakkal: $\text{Következmény} = \frac{\text{Valószínűség} \times \text{Előzmény}}{\text{Mért érték}}$

$$\text{Posterior} = \frac{\text{Likelihood} \times \text{Prior}}{\text{Evidencia}} \quad (45)$$

Ebből az evidencia mint normalizáló konstans:

$$P(D|H_i) = \int P(D|\mathbf{w}, H_i) P(\mathbf{w}|H_i) d\mathbf{w} \quad (46)$$

Ekkor az 20 ábra alapján:



20. ábra. Az Occam feltétel az eloszlás változása esetén

$$P(D|H_i) \cong P(D|\mathbf{w}_0, H_i) \times P(\mathbf{w}_0|H_i) \Delta\mathbf{w} \quad (47)$$

$$(\text{Evidencia}) \cong (\text{Legjobb illesztési likelihood}) \times (\text{Occam - faktor})$$

Az un. Occam-faktor, az élesedés mértéke a két felértek-szélesség aránya, hiszen

$$P(\mathbf{w}_0|H_i) = \frac{1}{\Delta\mathbf{v}} \quad (48)$$

Tehát:

$$\text{Occam - faktor} = \frac{\Delta\mathbf{w}}{\Delta\mathbf{v}} \quad (49)$$

A következmény (poszterior) lehetséges térfogata a hipotézisek paraméterterében az előzmény (prior) lehetséges térfogatához viszonyítva.

Az Occam borotva lehetőségén kívül a másik segítség a hipotézis kiválasztásában az un. „maximális entrópia törvénye” [Grandy és Schick 1991, Skilling 1989], mely a termodinamika második főtétel mintájára fogadja el a legnagyobb valószínűségű hipotézist.

4.2.5 Bayes paradoxon

Legyenek egy X valószínűségi változó lehetséges értékei az egész számok, és tételezzük fel, hogy X valószínűség-eloszlása valamilyen $[a, b]$ intervallumba eső p paramétertől függ. Legyen az apriori eloszlás egyenletes az $[a, b]$ intervallumon. Ha az X ismeretlen eloszlására nézve (vagyis az eloszlás ismeretlen p paraméterére nézve) független X_1, X_2, X_3, \dots megfigyeléseket végzünk (az X_i -k ugyanolyan eloszlásúak, mint X), akkor igen természetesnek látszik, hogy az eredetileg egyenletes előzmény (apriori) eloszlás alapján számított következmény (aposteniori) eloszlások sorozata egyre

inkább p igazi értékére koncentrálódik. Paradox módon azonban ez egyáltalán nem mindig van így: előfordulhat, hogy például p igazi értéke $1/4$, de a következmény (aposteniori) eloszlások sorozata (amint egyre több megfigyelést végzünk) egyre inkább például a $3/4$ értékre koncentrálódik.

A paradoxon azért tűnik valóban meglepőnek, mert arra gondolunk, hogy a következmény (aposteniori) sűrűségfüggvénynek az igazi $1/4$ érték körül kell a legnagyobbnak lenni, ez azonban egyáltalán nincs ellentmondásban azzal, hogy a következmény (aposteniori) sűrűségfüggvények egyre inkább a $3/4$ körül koncentrálódnak. Csak annyit kell elérni, hogy az $1/4$ helyen túl nagy sűrűségfüggvény igen gyorsan lecsökkenjen, a $3/4$ környékén pedig magas maradjon. Ha X -nek csak véges sok lehetséges értéke van, akkor ez a helyzet nem érhető el, de ha X értékei már akármilyen egész számok lehetnek, akkor valóban lehetőség nyílik a paradox helyzet megteremtésére. Legyen például p előzmény (apriori) eloszlása egyenletes az $[1/8, 7/8]$ intervallumon. Értelmezzünk ezen az intervallumon egy $f(p)$ függvényt úgy, hogy $f(p)$ mindig valamilyen természetes szám legyen, kivéve a $p = 1/4$ és a $p = 3/4$ helyeket, ahol $f(1/4) = f(3/4) = +\infty$. Az X valószínűségi változó p -től függő eloszlása legyen a következő:

$$P(X = i) = c(1 - p)p^i \quad (50)$$

ahol $i = 0, 1, 2, \dots, f(p)$, és ahol c csak a p -től függő olyan állandó, amelyre:

$$\sum_{i=1}^{f(p)} c(1 - p)p^i = 1 \quad (51)$$

Az $f(p)$ függvény ügyes megválasztásával elérhető, hogy valóban előálljon az említett paradox helyzet. A részletesebb matematikai elemzés Freedman [Freedman 1963] cikkében található.

A Bayes modell előnye a szilárd elméleti alapja és jól definiált értelmezése. Hátránya, hogy nehéz az apriori valószínűségek megadása, ami a legtöbbször egy jó szakértő „megérzésein” alapul. Ha megváltozik a tárgyterület, minden feltételes valószínűséget újra kell értékelni, ami megint csak a kezdetekkel azonos munkamennyiség. A Bayes módszer nagy térhódítását egyértelműen mutatja, hogy olyan klasszikus statisztikai módszerekkel operáló tudományterület, mint a biológiai élettartam vizsgálat és az ezzel kapcsolatos gyógyszer-hatásvizsgálatok igen komolyan megalapozott elméleti háttérrel térnek át a nem parametrikus statisztikai eloszlásokról (Kaplan-Meier) a Bayes analízisre, [Ibrahim és Chen 2001].

4.2.6 Szemléletes példák

Legyen kiindulásunk egy meghibásodás vizsgálat. Tudjuk, hogy ha a vizsgált készülék környezeti hőmérséklete magasabb mint 45°C , akkor $0,75$ valószínűséggel elromlik. Mi van, ha az elromlott készülékből szeretnénk következtetni az okra, vagyis, hogy 45°C -nél nagyobb melegen volt-e kitéve a készülék? Legyen tehát a H hipotézis, hogy a készülék 45°C feletti hőmérsékletnek volt kitéve, és legyen az E evidencia, hogy a készülék meghibásodott. Ekkor tehát:

$$P(H|E) = \frac{P(E|H)P(H)}{P(E|H)P(H) + P(E|\neg H)P(\neg H)} \quad (52)$$

feltéve, hogy $P(E) \neq 0$. Tudjuk tehát, hogy $P(E|H) = 0,75$ (a készülék $0,75$ valószínűséggel elromlik, ha a környezeti hőmérséklet 45°C fölé emelkedik), és feltesszük, hogy $P(H) = 0,2$ (annak a valószínűsége, hogy a készülék 45°C feletti környezetbe került), és $P(E|\neg H) = 0,2$ (annak a valószínűsége, hogy a készülék elromlik akkor ha nem volt 45°C feletti környezeti hőmérsékletnek kitéve). A $P(H) = 0,2$ értékből számolható az ellentétes esemény (teljes rendszer), $P(\neg H) = 0,8$; és így a Bayes szabály szerint, annak valószínűsége, hogy 45°C felett volt a környezeti hőmérséklet $P(H|E) = 0,75 * 0,2 / (0,75 * 0,2 + 0,2 * 0,8) = 0,484$, míg annak a valószínűsége, hogy a jelenleg jól

működő készülék, ennek ellenére valamikor 45 °C feletti hőmérsékleten volt: $P(H/\neg E) = 0,25 * 0,2 / (0,25 * 0,2 + 0,8 * 0,8) = 0,0725$.

Másik példában legyen több paraméteres a meghibásodás pl. szállításkor fellépett hiba esetére. A paraméterek:

E – esemény- a készülék elromlott,

H₁ – hipotézis, a készüléket magas hőmérsékletnek tették ki (napon volt),

H₂ – hipotézis, a készülékbe víz került, (megázott),

H₃ – hipotézis, a készülék ütést kapott (leejtették),

H₄ – hipotézis, az előzőeken kívüli esemény történt.

Keressük azokat a valószínűségeket, melyek az előző hipotéziseket jellemzik ($P(H_i|E)$ -ket). Ugyanakkor tudjuk, hogy az egyes bekövetkezhető eseményekre mennyire érzékeny a készülék, vagyis meg tudjuk adni azokat a valószínűségeket, melyek megadják, hogy milyen „érzékeny” a készülék az egyes szállítási hibákra. Így annak valószínűsége, hogy a készülék elromlik, ha napon van: $P(H_1|E) = 0,75$, annak valószínűsége hogy elromlik ha megázik: $P(H_2|E) = 0,55$, elromlik ha leejtik: $P(H_3|E) = 0,35$, és minden más hibára a készülék elromlási valószínűsége: $P(H_4|E) = 0,10$. Ugyanakkor az adott időjárási viszonyok (tél) és meteorológiai jelentés mellette a napsütés valószínűsége $P(H_1) = 0,1$, az eső valószínűsége $P(H_2) = 0,2$, az elcsúszás (leejtés) valószínűsége $P(H_3) = 0,3$, és minden más meteorológiai esemény és szállítási nehézség valószínűsége $P(H_4) = 0,4$, ($\sum H_i = 1$). Ekkor a Bayes tétel szerint:

$$P(H_k|E) = \frac{P(E|H_k)P(H_k)}{\sum_{i=1}^n P(E|H_i)P(H_i)} \quad (53)$$

Vagyis $\sum_{i=1}^n P(E|H_i)P(H_i) = 0,75 * 0,1 + 0,55 * 0,2 + 0,35 * 0,3 + 0,1 * 0,4 = 0,33$. Kiértékelve az adott

helyzetet kapjuk, hogy az elromlás származhatott a napsütésből $P(H_1|E) = 0,75 * 0,1 / 0,33 = 0,23$, esőből $P(H_2|E) = 0,55 * 0,2 / 0,33 = 0,33$, leejtésből $P(H_3|E) = 0,4 * 0,3 / 0,33 = 0,36$, vagy más okból $P(H_4|E) = 0,1 * 0,4 / 0,33 = 0,12$. Következtetés: a készüléket valószínűleg leejtették ($P = 0,36$). Figyelemre méltó, hogy annak ellenére jutottunk erre a következtetésre, hogy a leejtés valószínűsége önmagában 30%-kal maradt el a legvalószínűbben bekövetkező esemény a megázás mögött.

4.2.7 Bayes modell rekurzív esetben

Jelen dolgozatom szempontjából alapvető megfigyelés az az általánosan elterjedt nézet [Székely 2004], hogy ha a Bayes-tételt ismételten alkalmazzuk, minden újabb megfigyelés után kiszámítjuk az a posteriori valószínűségeket, és ezt használjuk a legközelebbi alkalommal a priori-nak, akkor elég sokszori ismétlés után végül is teljesen lényegtelenné válik, hogy mi is volt kiinduláskor az a priori eloszlás. (Természetesen bizonyos degenerált esetektől eltekintve: ha például a p valószínűség tényleges értéke 1/10, és olyan a priori eloszlást választunk, amelyik az [1/2, 1] intervallumon egyenletes eloszlású, akkor eleve kirekesztettük az 1/10-et, így ettől az a priori eloszlástól semmi jót nem várhatunk.) Az a posteriori valószínűségeket egyébként nem szükséges minden egyes megfigyelés után kiszámítani: a független megfigyeléseket egyesítve a Bayes-tétel egyszeri alkalmazásával is ugyanazt az a posteriori valószínűség-eloszlást kapjuk.

Bernstein és Mises már 1920 előtt rámutattak [Bishwal 2002] arra, hogy bizonyos feltételek mellett a Bayes-tétel ismételt alkalmazásakor az a posteriori eloszlások sorozata mindig a tényleges

eloszláshoz konvergál, bármilyen volt is az apriori eloszlás, így aszimptotikusan nincs túl nagy jelentősége az apriori eloszlás megválasztásának. Az említett paradoxon szerint azonban ehhez szükségesek is bizonyos feltételek.

Az apriori eloszlás szubjektív megválasztása általában is felveti azt a kérdést, hogy az ismeretlen valószínűségek, illetve valószínűség-eloszlások objektíven meghatározottak-e, teljesen függetlenül a megfigyeléseinktől, méréseinktől, vagy pedig éppen ellenkezőleg: a valószínűségek és valószínűség-eloszlások csak a szubjektív információink által nyernek értelmet. Az olasz valószínűség-számítási iskola vezetője, de Finetti [deFinetti 1970, deFinetti 1974], kifejti, hogy a valószínűség ugyanolyan értelemben nem létezik objektíven, mint az abszolút tér és idő. Véleménye szerint egy esemény (például az, hogy holnap esik az eső) vagy bekövetkezik, vagy nem (ez objektív), és a rendelkezésünkre álló információk alapján következtethetünk ennek „szubjektív” valószínűségére. A szubjektív valószínűség azt fejezi ki, hogy milyen arányú fogadást mernénk kötni egy esemény bekövetkezésére. Szubjektív valószínűségről természetesen akkor is beszélhetünk, ha objektív véletlen nincs is. Ugyanakkor hangsúlyozni kell, hogy lényegesen nagyobb az objektív véletlen és az objektív valószínűség hirdetőinek tábora, akik szerint a világ jelenlegi állapotába éppen a jövőbeli események bekövetkezésének objektív valószínűségei vannak „belekódolva”. Igaz, ezek a valószínűségek csak véletlen tömegjelenségekre értelmezhetők, amelyek lényegében azonos körülmények között igen sokszor észlelhetők, és ilyenkor az „objektív” valószínűség éppen azt fejezi ki, hogy az egyes lehetséges kimenetek a megfigyelt esetek kb. hányadrészében fognak bekövetkezni. A valószínűségnek ezt az objektív létezését fejezi ki a Nobel-díjas Max Born is [Born 1964], a kvantumfizika valószínűség-számítási megalapozója. Úgy látszik, azonban még mindig sok vonatkozásban aktuális Bertrand Russel 1929-ben elhangzott véleménye [Russel 1948], mely szerint „A valószínűség a modern tudomány legfontosabb fogalma, különös tekintettel arra, hogy senkinek halvány fogalma sincs arról, mit is jelent.” Különös dokumentum-összefoglalót ad A. Koestler erről a témáról, [Koestler 2002].

4.3 Működés és élettartam leírása

A hibátlan-működés/elhasználódás/élettartam vizsgálata a megelőző karbantartás és a selejtezés/működési-élettartam szempontjából is alapvető jelentőségű. A probléma igen komplex és bonyolult, hiszen típusvizsgálati eredményekből kell az adott egyedi gép tulajdonságaira következtetni, illetve sok egyedi gép működési adataiból az adott típus jellemzőit kell megkapnunk. Ez a probléma lényegében egyetlen gyökerre vezethető vissza: az alkalmazott rendszerek nyitottak, sok szálon kapcsolódnak környezetükhöz, zárt rendszernek még a mérés idejére sem tekinthetők. Ez a nyitottság az alapvetően fontos energetikai (energiacsere a környezettel, energia beadás (táp) és kivétel (hasznos effektus) jellemző és el nem vehető lényegi tulajdonságok) kapcsolatokon kívül a felhasználási kölcsönhatások, (amire irányul a hatás, visszaható effektusok), a környezeti behatások (környezeti terhek, pl. hőmérséklet, szennyezés, nyomás, eső, stb.), a felhasználói szokások és körülmények, (pl. kora reggeli használat, megszokott használati sorrend, megszokott erősségű, irányú, stb. hatás¹⁰, stb.) szempontokból, és elkerülhetetlen lényegi velejárója az adott felhasználási igényeknek. Ennek alapján a mért értékek a fuzzy logika szabályai szerint kezelendők, illetve a kölcsönhatások sokasága esetleg lehetetlenné teszik a parametrikus eloszlás-hipotéziseket. (Pl. az élettartam kiértékelés csak a Kaplan-Meier nem-(semi)-parametrikus kiértékelés alapján történik.)

¹⁰ Pl. a gépkocsik kézi működtetésű váltójánál fellépő személyes individuális hatások, melyeket a modern kocsik ma már „megtanulnak”.

4.3.1 Önszervezés és önhasonlóság komplex rendszerekben

Az önszervezés az egymásra épülő, egymás munkáját feltétlenül igénylő, és egymás dinamikáját okságilag is meghatározó részrendszerek kölcsönös meghatározottsága, komplex működése során jön létre. A modern sokfunkciós és számítógéppel kontrollált bonyolult gépipari és beavatkozó berendezések, a környezetükkel sokoldalú kapcsolatban álló komplex rendszerek általában nem-egyensúlyi, nem stacioner állapotúak, és magas szintű hierarchikus struktúrával rendelkeznek. A struktúrát alkotó alrendszerek sokféle módon fizikai, kémiai folyamataikon vagy más informatikai hálón keresztül kapcsolódnak egymáshoz. Az egyes alrendszerek által generált fizikai, kémiai, információs jelek amplitúdója, karakterisztikus ideje vagy más jellemzője széles határok között változhat. Pl. a legegyszerűbb biológiai rendszerek is nagyon sokféle folyamatot mutatnak az egyes karakterisztikus időskálákon, melyeket skálázás kapcsol egymáshoz [Vicsek 2001, Brown és West 2000, Calder 1996, Mandelbrot 1982].

A önhasonlóság¹¹ azt jelenti, hogy az adott objektum minden mérhető mennyisége skálázható. Legyen r a skála lineáris mérete és L egy tulajdonság, mely függ a skálától: $L=L(r)$. Ha a skálát a szerezésre nyújtjuk, akkor a tulajdonság a

$$L(ar) = kL(r) \quad (54)$$

módon transzformálódik, ahol a k tényező csak a -tól függ (A pontos alakja később adjuk meg, ld. (56)). A fraktálok elméletében [Mandelbrot 1977, Mandelbrot 2002,], megállnak a hatvány típusú

$$L(r) = Ar^\alpha \quad (55)$$

függvénykapcsolatnál, mely

$$L(ar) = Ar^\alpha a^\alpha = a^\alpha L(r) \quad (56)$$

alakban változik. Meg lehet mutatni, hogy az önhasonlóság igen általánosan a hatványfüggvényekhez kapcsolódik. Látszik az

$$\lg L(r) = \lg A + \alpha \lg r \quad (57)$$

átalakításból, hogy log-log skálán egyenest kapunk, melynek meredeksége éppen a hatványkitevő. A fraktáloknál pontosan ezzel a tulajdonsággal verifikálják az önhasonlóságot. A legismertebb önhasonló (rekurzív formulával előállított) fraktálok a Mandelbrot halmazok és a hozzájuk kapcsolódó Júlia halmazok [Kecskés 2002].

Az önhasonlóság fogalma átvihető folyamatokra is [Embretchs és Maejima 2002]. Legyen egy folyamat, melyet a

$$f : t \in I = [0, \infty) \mapsto f(t) \in \mathbb{R} \quad (58)$$

függvény ír le. Legyen t egy időpont, mely egy korábbi t' időpont segítségével a

$$t = \tau t' \quad (59)$$

alakban fejezhető ki. Azt mondjuk, hogy az f függvény által leírt folyamat önhasonló, ha

$$f(t) = f(\tau t') = g(\tau)h(t') \quad \forall t, t' \in I = [0, \infty) \quad (60)$$

A fenti függvényegyenlet megoldása

$$f(t) = abt^n, \quad g(\tau) = a\tau^n, \quad h(t') = bt'^n \quad (61)$$

alakú, ezért látszik, hogy az önhasonlóság egyszerűbb alakban is írható:

¹¹ Széles körben használt angol terminológiája: Self-similarity

$$f(\tau t') = f(\tau)f(t') \quad \forall t, t' \in I = [0, \infty) \quad (62)$$

Ez azt jelenti, hogy a folyamatban szereplő fizikai mennyiség értéke egy későbbi időpontban előállítható egy korábbi értéke nyújtásával vagy zsugorításával, ahol a nyújtás vagy zsugorítás mértéke csak a két időpont arányától függ. Tehát a függvényértékek aránya az időpontok arányának függvénye. A (62) un. Cauchy-féle függvényegyenlet megoldása [Aczél 1961]:

$$f(t) = t^\alpha \quad (63)$$

ahol α tetszőleges állandó. Ugyanakkor, nem minden folyamat önhasonló a természetben. Figyelmet fordítunk azonban azokra a folyamatokra, melyek vagy maguk önhasonlóak, vagy leképezhetőek önhasonló folyamatra. A leképezés azt jelenti, hogy ha az f folyamat nem is, de valamilyen alkalmasan választott u leképezéssel való $u \circ f$ kompozíciója már önhasonló, azaz

$$u[f(\tau t')] = g(\tau)h(t') \quad \forall t, t' \in I = [0, \infty) \quad (64)$$

ahol az u függvényt összehasonlító függvénynek nevezzük (Ld.M2. Melléklet.)

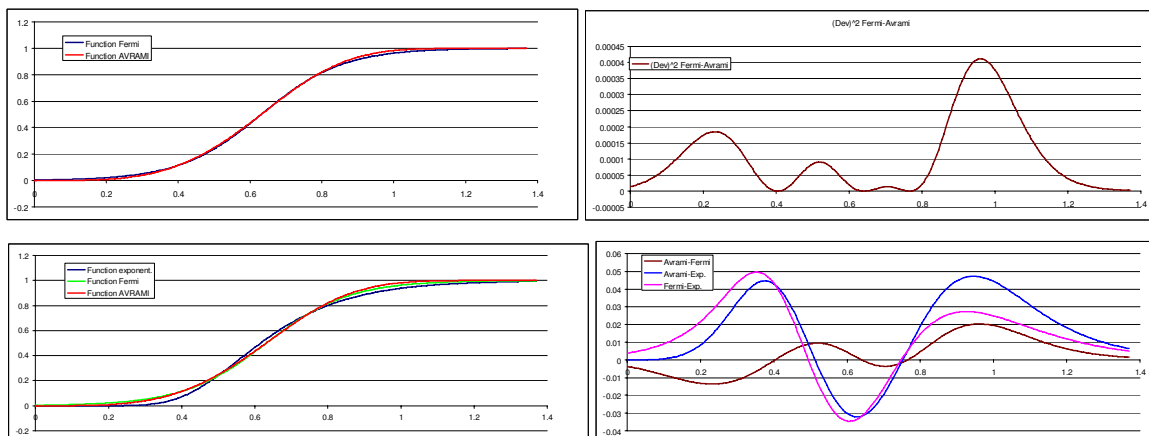
Megmutatható, [Maryan és Szász 2000, Wilson 1994], hogy a leggyakoribb folyamatok összehasonlító függvényeivel történt transzformációjuk (az illesztési paraméterek alkalmas megválasztása) esetén alig térnek el egymástól. Az Avrami-, Fermi- és az exponenciális-eloszlások összehasonlítása és egymáshoz optimalizált paramétereik a következők:

$$\text{Avrami} := \exp(-ax^b) \quad [a = 0.695] \quad [b = 3.821] \quad (65)$$

$$\text{Fermi} := \frac{1}{\exp(-a(x+b))+1} \quad [a = 8.824] \quad [b = -0.631] \quad (66)$$

$$\text{Exponential} := \exp(-a \exp(-bx)) \quad [a = 31.430] \quad [b = 6.194] \quad (67)$$

Grafikus összehasonlításukat a 21. ábrsorozaton (összerajzolt függvények és különbségeik) adjuk meg.



21.ábra. Speciális paraméterek mellett a különböző eloszlás függvények nagy pontossággal megegyeznek egymással ($R2\text{Avrami-Fermi}=0.99975$, $R2\text{Avrami-Exponent.}=0.997228$, $R2\text{Exponent.-Fermi}=0.997556$). Bal panelek: a Fermi- és Avrami-eloszlások összehasonlítása, Jobb felső panel a szórás a jobb alsó a különbségek összehasonlítását mutatják. A szórás és a különbségek elhanyagolhatóan kicsik.

Azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a folyamatok egy tág osztálya matematikailag különbözik, de egymástól közelítési képességben alig különböző összehasonlító függvénnyel önhasonlóvá transzformálható.

4.3.2 Dinamikai megfontolások: fluktuációk, zajok

A dinamikai változók fluktuációja, mint a rendszerre jellemző spektrum a vizsgált rendszerben kialakuló önszervezést tükrözhet. A dinamikai hatások, változások csak kivételes, egészen egyszerű és reverzibilis esetben (energetikailag zárt rendszerben) zajmentesek. Ez lényegében ilyenformán csak elvi idealizáció, a valóságos esetben a fluktuáció, mint az adott (mért, beállított, felhasznált, stb.) jel zaja mindig megjelenik [Robinson 1974, Freeman 1958].

A zaj forrását a sokoldalú kölcsönhatások, a nyitott dinamikai rendszer folyamatos energia és entrópia/információ cseréje és az egyes alrendszerek kölcsönös függőségei alkotják, és szinergetikus módon hozzák létre az aktuális zajspektrumot [Reif 1965]. A kívánt hatást tehát minden reális esetben a dinamikai rendszerek sajátos tulajdonsága, zajspektrumuk kíséri. A zaj tehát a mindenkor fellépő, az adott vizsgálatban közvetlenül nem szereplő paraméterek, folyamatok, dinamikai viselkedés stb. valamilyen fokú megjelenése az adott vizsgálatban.

A zaj mindenképpen a vizsgált rendszer (rendszeren belüli és/vagy kívüli) kölcsönhatásaira ad információt. A zaj általában és természetesen az adott vizsgálatban zavarként jelentkezik, hiszen olyan fluktuáló kölcsönhatásokat hoz be a rendszerbe, melyek állandósága egyébként a mérhetőség és reprodukálhatóság feltétele kellene hogy legyen. A „kézben tartott” (kontrollált, rögzített, „befagyasztott”) paraméterek halmaza, fix rögzített értékeinek ismerete kell minden esetben az adott mérés/kísérlet/esemény reprodukálásához, melyben a zaj ilyen formán zavaró, és a kontrollálatlanság mutatója is egyben. Ennek megfelelően a zajok szűrése, a minél nagyobb jel/zaj viszony megteremtése minden mérésnél és információ-szerzésnél alapvető fontosságú.

A zajok kiküszöbölésére két alapvető stratégia létezik:

Minden lehetséges kölcsönhatást rögzítünk, illetve változási dinamikáját minél szűkebbre korlátozzuk, statikus feltételként kezeljük csupán (rögzített paraméterű szűrés).

A dinamikai kölcsönhatást, mint a zaj forrását elfogadjuk, de megfelelő szűrési mechanizmusokkal leválasztjuk az általunk vizsgálni kívánt „hasznos” jeltől (lock-in jellegű szűrés).

A nyílt, diszzipatív rendszerek esetében (alapvetően minden nem spontán termodinamikai változásokat realizáló történés pl. hőerőgépek, biológiai rendszerek, elektromágneses sugárzók, stb., mind ilyen rendszerek) a zaj csökkentése a kölcsönhatások merev rögzítésével lehetetlen, hiszen a nyílt, diszzipatív tulajdonság a környezettel történő határozott kölcsönhatást tételezi fel. A valóságos, irreverzibilis dinamikai rendszereknél éppen ezért mindenképpen kell zajjal (fluktuációval) számolnunk, legfeljebb olyan dinamikai módszereket alkalmazhatunk, melyek ezt elnyomják, a lehetőségek szerint kiemelik a „hasznos” jelet.

Azonban észre kell vennünk, hogy a zajokban a teljes dinamika szerepel, és lényegében minden dinamikus változó melynek kölcsönhatásai szerepet kapnak az adott (kívánt/hasznos) jel létrehozásában megjelenik benne a teljes rendszert átfogva. Ez lehetővé teszi, hogy ezekkel a rendszert teljes egészében vizsgáljuk, és a rendszer működését az aktuális zajspektrumából analizáljuk. A kopási, elhasználódási, fáradási, folyamatában keletkező meghibásodások (általában stohasztikus változásokon keresztül zajlanak) mindegyike a zajspektrum folyamatos változását fogja eredményezni. A zaj-spektrum folyamatos mérése és trendjeinek kiértékelése tehát lehetővé teszi, hogy az elhasználódási (kifáradási, stb.) folyamatokat előre jelezzük.

4.3.3 A zajok jellemzése

Komplex berendezéseink, alkalmazott készülékeink annak ellenére, hogy esetlegesen igen nagy mennyiségű információ cserében vesznek részt környezetükkel, általában jellemezhetőek egy stacionárius állapottal, vagyis olyannal, mely dinamikus egyensúlyban van, ebben a minőségében a

rendszer állandó. Ez a dinamikus egyensúly lényegében a célja nagyon sok gép/berendezés kifejlesztésének, hiszen használata, hatása, termelő vagy szolgáltató funkciója bizonyos állandóságot tételez fel. Amennyiben a dinamikus egyensúly megszűnik, az esetek többségében hibás működéshez vagy alapvetően megváltozott funkcióhoz kötődik. Tehát a megfelelő működést jellemző dinamikus egyensúly az adott időbeli hatást $(x(r,t))$ egy átlag körüli fluktuációval írhatja le, vagyis:

$$x(r,t) = \langle x(r,t) \rangle + \delta(x(r,t)) \quad (68)$$

ahol $\langle x(r,t) \rangle$ az átlagképzést, $\delta(x(r,t))$ pedig az átlagtól való aktuális eltérést (fluktuáció) jelöli. [Természetesen léteznek dinamikus nem-egyensúlyi rendszerek is, (pl. robbanószerek), de ezek nagy átlagban mérhető hatását (pl. valamihez viszonyított romboló hatása, melyet pl. dinamit-egyenértékben mérhetünk) szintén egy átlag körüli fluktuáció szabja meg.] Mivel a folyamat időbeli lefolyását vizsgáljuk a későbbiekben, egy adott (rögzített) r mellett, így a továbbiakban az r változót külön nem tüntetjük fel.

Legyen az $x(t)$ függvény Fourier transzformáltja $X(f) = F\{x(t)\}$, [Nigam 1983]

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt := F\{x(t)\} \quad (69)$$

A Fourier transzformáció definíciója alapján könnyű megmutatni, hogy az $x(at)$, (ahol a egy tetszőleges pozitív skalár):

$$F\{x(at)\} = \frac{1}{a} X\left(\frac{f}{a}\right) \quad (70)$$

Reprezentáljon $x(t)$ egy stohasztikus folyamatot. Ekkor a folyamat effektív teljesítménye:

$$\bar{x} = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T x^2(t) dt \quad (71)$$

A Wiener-Khinchine elv [Nigam 1983] alapján az átlagos teljesítményt a következő integrállal lehet kiértékelni:

$$\bar{x} = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T x^2(t) dt = \int_0^{\infty} S(f) df \quad (72)$$

ahol $S(f)$ az un. spektrális teljesítmény-sűrűség függvény.

$$S(f) = \frac{1}{2\pi} X(f) X^*(f) = \frac{1}{2\pi} |X(f)|^2 \quad (73)$$

és a csillaggal komplex konjugáltat jelöltünk.

Vagyis ha a folyamat véletlen, ha a változó véletlenszerű, akkor az x folyamat teljesítmény-sűrűség függvénye:

$$S_x(f) = \frac{|X(f) X^*(f)|^2}{\Delta f} \quad (74)$$

ahol Δf a Fourier-integrál effektív sávszélessége, és:

$$X(f) = \int_0^{\infty} \exp(-2i\pi ft) x(t) dt \quad (75)$$

Másként fogalmazva [Voss 1993]:

$$S_x(f) = \text{Re} \left\{ \int_0^{\infty} \exp(-2i\pi ft) C_x(t) dt \right\} \quad (76)$$

ahol $C_x(t) = \langle \delta x(t) \cdot \delta x(0) \rangle$, a x -folyamat két időpont közötti autó-korrelációs (pár-korrelációs) függvénye, vagyis:

$$C_x(t) = \langle (x(t) - \langle x(t) \rangle)(x(t_0) - \langle x(t_0) \rangle) \rangle = \langle x(t_0)x(t_0+t) \rangle - \langle x(t_0) \rangle^2 \quad (77)$$

Az $S_x(f)$ és $C_x(t)$ függvények természetesen nem függetlenek, hiszen a (76) mellett a Wiener-Khintchine reláció [Robinson 1974, Reif 1965] fennáll:

$$C_x(t) = \text{Re} \left\{ \int_0^{\infty} \exp(-2i\pi ft) S_x(f) df \right\} \quad (78)$$

Amennyiben a $C_x(t)$ korrelációs függvény τ időállandóval lecseng, (ez természetes követelmény a valós esetek többségében), vagyis:

$$C_x(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (79)$$

akkor:

$$S_x(f) = \frac{\tau}{1 + (\omega\tau)^2} \quad [\omega = 2\pi f] \quad (80)$$

Ha $(\omega\tau) \ll 1$, (ez a korreláció gyors lecsengésekor vagy alacsony frekvenciákon van), akkor $S(f)$ konstans, a zaj független a frekvenciától, ún. fehér zajt kapunk.

4.3.4 Önhasonló zaj

A stohasztikus folyamatok Flicker zaja általában a következő ($1/f$ zajnak nevezett) függvényrel jellemezhető:

$$S(f) \approx \frac{1}{f} \quad (81)$$

Egy stohasztikus folyamatot önhasonlónak nevezünk, ha az $x(t)$ stohasztikus folyamatot reprezentáló függvény effektív munkája (négyzetének integrálja a $[-T \div +T]$ intervallumon) megegyezik az $x(at)$ folyamatot reprezentáló függvény effektív munkájával a teljes at skálán minden pozitív a skalárra, vagyis:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T x^2(t) dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T x^2(at) d(at) \quad (82)$$

Megmutatjuk, hogy ha egy stohasztikus folyamat önhasonló, akkor Flicker-zaj típusú, vagyis $1/f$ -es a spektrális teljesítmény-sűrűség függvénye. A Wiener-Khintchine elvet alkalmazva a (82) egyenletre és felhasználva (70)-at is, kapjuk:

$$a \int_0^{\infty} \frac{1}{a^2} S\left(\frac{f}{a}\right) df = \int_0^{\infty} S(f) df \quad (83)$$

Mivel a spektrális teljesítménysűrűség spektrumra is érvényes a (70) egyenlet minden pozitív a és f skalárra:

$$S\left(\frac{f}{a}\right) = aS(f) \quad (84)$$

Ezt megoldva az $a=f$ feltétel mellett, bebizonyítottuk hogy a zaj Flicker-típusú:

$$S(f) = \frac{S(1)}{f} \quad (85)$$

Kicsit módosítva (82) jellemezhetünk más véletlen folyamatokat is. Tegyük fel, hogy $x(t)$ és $x(at)$ két stohasztikus folyamat reprezentánsa, akkor minden pozitív és rögzített a -ra:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T x^2(t) dt = a^\beta \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T x^2(at) dt \quad (86)$$

Alkalmazzuk most a Wiener-Khintchine elvet (86)-re, kapjuk:

$$a^\beta \int_0^\infty \frac{1}{a^2} S\left(\frac{f}{a}\right) df = \int_0^\infty S(f) df \quad (87)$$

Ebben az esetben a spektrális teljesítménysűrűség függvény hasonló típusú függvényegyenlettel írható le:

$$a^{\beta-2} S\left(\frac{f}{a}\right) = S(f) \quad (88)$$

Ezt megoldva a -ra $a=f$ esetben, kapjuk:

$$S(f) = S(1) f^{\beta-2} \quad (89)$$

Egyszerű belátni ebből az egyenletből, hogy $\beta=2$ esetben a fehér zaj, $\beta=1$ esetben a Flicker zaj, $\beta=0$ esetben a drift nélküli Wiener folyamat zaja [Gillespie 1992] (Brown-zaj, [Voss 1989]) áll elő. A log-log skálán ábrázolt (89) összefüggés meredeksége így természetesen $(\beta-2)$, vagyis azonnal megadja a zaj tulajdonságait:

$$\beta - 2 = \frac{\log\left[\frac{S(f)}{S(1)}\right]}{\log[f]} \quad (90)$$

Amennyiben a rendszer komplex, és a log-normál eloszlás feltételei fennállnak, úgy a rendszer I/f típusú zaj-teljesítmény sűrűség függvényt mutat. (ld. M6. Melléklet) Ebben az esetben a korrelációs hosszak kiterjednek a rendszerre, vagyis a rendszer minden dinamikai műveletében minden részdinamikai történés mindig részt vesz. („Cseppben a tenger” elv.) Ennek alapján követni lehet a rendszer működésének változásait, és megfelelő automatizálással és szoftver-figyeléssel előre lehet jelezni az esetleges meghibásodást, illetve meg lehet mondani a szükséges karbantartási szervíz igényét.

4.3.5 A zaj/fluktuáció diagnosztikájának matematikai alapjai.

A matematikai leíráshoz felhasználjuk, hogy minden bonyolult rendszer nagyon sok egyszerű alrendszerre bontható, melynek állapota néhány az alrendszerre jellemző fizikai állapotatórővel jellemezhető. Ez azt jelenti, hogy a teljes rendszer állapota akkor ismert, ha minden alrendszerének ismerjük az állapotát. Jelölje \bar{X} az összes alrendszer állapotatórőjéből alkotott vektort, melyet a továbbiakban a rendszer mikro állapotának nevezünk. Diagnosztikai szempontból a kiválasztható korlátozott számú a makro rendszerre jellemző F_i mérhető mennyiség, melyek alapján megítélhető

hogyan a rendszer működése megfelel-e a követelményeknek vagy sem. Ezeket a mennyiségeket makroszkopikus diagnosztikai állapothatározóknak és a belőlük alkotott \bar{F} vektort diagnosztikai állapotvektornak nevezzük. Mivel ezek száma lényegesen kisebb, mint a mikro állapot leírására szolgáló állapothatározók száma, ezért mikroszkopikus szempontból a diagnosztikai állapothatározókkal történő rendszer leírás nem teljes.

Tételezzük fel, hogy a diagnosztikai állapothatározók függvényei a mikro állapotnak. Mivel a berendezés a környezetével kölcsönhatásban áll, az állapothatározók függenek külső paramétereiktől is, melyek vektorát \bar{Y} jelöli:

$$F_i = F_i(\bar{X}, \bar{Y}), (i = 1, 2, \dots, n) \quad (91)$$

Mivel $\dim(\bar{X}) \gg n$, ezért a diagnosztikai állapothatározók ismeretében a mikro állapotra, ezért egy diagnosztikai állapotvektorral jellemzett rendszer mikro állapotára legfeljebb statisztikai kijelentéseket tehetünk, hiszen egyazon makro állapothoz nagyon sokféle mikro állapot tartozhat, melyek időben gyorsan változhatnak. Ez azt jelenti, hogy legfeljebb annak valószínűségét tudjuk megadni, hogy a mikro állapot a t időpontban az $(\bar{X}, \bar{X} + d\bar{X})$ intervallumba esik, azaz a $w(\bar{X}, t)$ valószínűsűrűséget, mellyel:

$$P(\bar{X} < \bar{\xi} \leq \bar{X} + d\bar{X}) = w(\bar{X}, t) d\bar{X} \quad (92)$$

Mivel a rendszer mikro állapota időben gyorsan változhat ezért az (91) diagnosztikai állapotváltozók időben fluktuálnak, azaz stohasztikus változók. Az ilyen változókat a legegyszerűbben a

$$\langle F_i \rangle = \int_{(x)} F_i(\bar{X}, \bar{Y}) w(\bar{X}, t) d\bar{X}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (93)$$

közéértékével és a

$$\sigma_{F_i} = \sqrt{\langle (F_i - \langle F_i \rangle)^2 \rangle}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (94)$$

szórásával jellemezhetjük. A Csebisev-tétel szerint annak valószínűsége, hogy $|F_i - \langle F_i \rangle| > a$

$$P(|F_i - \langle F_i \rangle| > a) \leq \frac{\sigma_{F_i}^2}{a^2} = \frac{(F_i - \langle F_i \rangle)^2}{a^2} \quad (95)$$

abban az esetben, ha σ_{F_i} igen kicsiny, akkor a fenti egyenlőtlenségből az következik, hogy az eltérés valószínűsége igen kicsiny, így a gyakorlatban F_i és annak (93) átlaga egybe esik. Ha a fenti eset nem áll fenn, akkor úgy járhatunk el, hogy a stohasztikus fluktuációra jellemző:

$$f_i = F_i - \langle F_i \rangle, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (96)$$

függvényeket is jellemezzük. A mérnöki gyakorlatban ezek jellemzése a teljesítménysűrűség spektrummal történik. Ennek a jellemzésnek az a további előnye, hogy a teljesítmény spektrum torzulásából olyankor következtethetünk valamilyen hiba jövőbeli bekövetkezésére, amikor egyébként a diagnosztikai állapotvektor átlagértéke alapján a rendszer megfelelőnek tekinthető.

Az előzőekben tehát bevezettük a diagnosztikai mennyiségek ingadozását. Tételezzük fel, hogy az ingadozás felbontható különböző időskálájú kvázi-periodikus stohasztikus folyamatok összegére, melyek statisztikusan függetlenek. Világos, hogy a különböző időskálájú kvázi-periodikus stohasztikus folyamatok különböző frekvencia skálájúak is. Minden ilyen komponens folyamatról feltételezzük, hogy statisztikusan önhasonló. Az $X(t)$ stohasztikus, folyamat memória nélküli, ha az $[X(t+dt) - X(t)]$ növekmény a következő alakban adható meg:

$$X(t+dt) - X(t) = \Theta[X(t), t, dt]. \quad (97)$$

Tehát, ha általában vett Markov folyamat. Feltételezzük, hogy $\Theta[X(t), t, dt]$ sima függvénye a X, t, dt változóknak, továbbá, hogy $X(t)$ folytonos:

$$\lim_{dt \rightarrow 0} X(t+dt) = X(t). \quad (98)$$

A stohasztikus folyamat Gillespie-értelemben [Gillespie 1996] önhasználó, ha a különbség felbontható statisztikusan független növekmények összegére, és akkor ezek normáloszlásúak az intervallumon belül. Itt is benne van a Markovi karakter: a memóriamentesség és az egymásra épülés (rekurzió) $X(t) \rightarrow X(t+dt)$ függ.

$$\begin{aligned} X(t+dt) - X(t) &= \Theta[X(t), t, dt] = \sum_{i=1}^n X\left(t + i \frac{dt}{n}\right) - X\left(t + (i-1) \frac{dt}{n}\right) = \\ &= \sum_{i=1}^n \Theta\left[X\left(t + (i-1) \frac{dt}{n}\right), t + (i-1) \frac{dt}{n}, \frac{dt}{n}\right] \end{aligned} \quad (99)$$

Mivel dt tetszőlegesen kicsinyre választható, így a $t_{i-1} = t + (i-1) \frac{dt}{n}$ időpontok t tetszőleges közelségébe kerülhetnek n megfelelően nagyra választásával, tehát fenti egyenletünkből elegendően nagy n -re a folytonosság kihasználásával kapjuk, hogy

$$\begin{aligned} t_{i-1} \rightarrow t, X(t_{i-1}) &= X(t), \\ \Theta[X(t), t, dt] &= \sum_{i=1}^n \Theta_i\left[X(t), t, \frac{dt}{n}\right]. \end{aligned} \quad (100)$$

Itt a $\Theta_i\left[X(t), t, \frac{dt}{n}\right]$ kifejezéseket a $\Theta\left[X(t), t, \frac{dt}{n}\right]$ változó reprezentációinak tekinthetjük, melyek statisztikusan függetlenek a folyamat memória mentessége miatt. Mivel n tetszőlegesen nagy, így a központi határeloszlás tételből következik, hogy $\Theta[X(t), t, dt]$ n számú statisztikusan független $\Theta_i\left[X(t), t, \frac{dt}{n}\right]$ valószínűségi változó összege. Tehát normál eloszlású valószínűségi változó. Az előbb elmondottak szerint így a $\Theta\left[X(t), t, \frac{dt}{n}\right]$ valószínűségi változók is.

A normál eloszlású valószínűségi változók tulajdonságából következnek az alábbi tulajdonságok:

$$\begin{aligned} \langle \Theta[X(t), t, dt] \rangle &= n \left\langle \Theta\left[X(t), t, \frac{dt}{n}\right] \right\rangle \\ \sigma^2(\Theta[X(t), t, dt]) &= n \sigma^2\left(\Theta\left[X(t), t, \frac{dt}{n}\right]\right) \end{aligned} \quad (101)$$

ahol a $\langle \rangle$ átlagolást, σ^2 pedig a szórásnégyzetet jelöli. A függvényegyenletek megoldása

$$\begin{aligned} \langle \Theta[X(t), t, dt] \rangle &= A[X(t), t] dt \\ \sigma^2(\Theta[X(t), t, dt]) &= D[X(t), t] dt \end{aligned} \quad (102)$$

ahol A és D sima függvénye X és t -nek, továbbá D pozitív. Figyelembe véve $X(t+dt) - X(t) = \Theta[X(t), t, dt]$ normalitását és a fenti eredményeket, (2)-ből kapjuk, hogy

$$\begin{aligned} X(t+dt) - X(t) &= \Theta[X(t), t, dt] = N[A(X, t)dt, D(X, t)dt] = \\ &= A(X, t)dt + D^{\frac{1}{2}}N(0,1)dt^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (103)$$

ahol $N(0,1)$ a zérus átlagú, egységnyi szórás négyzetű normáloszlású stohasztikus folyamat. Áttérve differenciálegyenletre kapjuk a következő

$$\frac{dX}{dt} = A(X, t) + D^{\frac{1}{2}}(X, t)\Gamma(t) \quad (104)$$

inhomogén egyenletet, ahol:

$$\Gamma(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} N(0, dt^{-1}) \quad (105)$$

normál eloszlású fehérzaj. (Az egyenletet általánosított Langevin egyenletnek nevezzük.) Vegyük ezen önhasonló stohasztikus folyamatok közül a legegyszerűbbet:

$$\frac{dX}{dt} = -\frac{1}{\tau}X + D^{\frac{1}{2}}\Gamma(t) \quad (106)$$

mely egy Ornstein-Uhlenbeck-féle [Uhlenbeck és Ornstein 1930, Jacobsen 1996], stohasztikus folyamatot ír le. A középérték exponenciálisan lecseng és van rajta egy fehér zaj, ami hajtja.

$$\frac{dX}{dt} = -\frac{1}{\tau}X + \frac{D^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\tau}}\Gamma(t) \quad (107)$$

Az egyenlet egy energia tárolóból (pl. tömeg, forgó tömeg, kondenzátor, induktivitás) és egy lineáris csillapításból (pl. közegellenállás, ohmos ellenállás) álló fehérzajjal gerjesztett rendszer zaját írja le. A folyamat teljesítmény spektruma, mint arról egyszerűen meggyőződhetünk:

$$S(\omega, \tau) = \frac{D\tau^2}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (108)$$

Itt τ a rendszer időállandója, mely egyúttal a stohasztikus folyamat természetes időskálájának is tekinthető. Vezessük be

$$\lambda = \frac{1}{\tau} \quad (109)$$

definícióval egy frekvencia skálát, mellyen jellemezni akarjuk a stohasztikus folyamatokat. Legyen a $G(\lambda)d\lambda$ a $(\lambda, \lambda+d\lambda)$ frekvencia intervallumba eső stohasztikus folyamatok száma, akkor a (λ_2, λ_1) frekvencia skálák közti intervallumba eső stohasztikus folyamatok energia spektruma:

$$S(\omega, \lambda_1, \lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{DG(\lambda)}{\lambda^2 + (\omega)^2} d\lambda \quad (110)$$

Ha az eloszlás egyenletes, azaz ha,

$$G(\lambda)d\lambda = \frac{d\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (111)$$

akkor kapjuk, hogy

$$S(\omega, \lambda_1, \lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{DG(\lambda)}{\lambda^2 + \omega^2} d\lambda = \begin{cases} D, ha & 0 < \omega \ll \lambda_1 \ll \lambda_2 \\ \frac{D\pi}{2\omega(\lambda_2 - \lambda_1)}, ha & \lambda_1 \ll \omega \ll \lambda_2 \\ \frac{D}{\omega^2}, ha & \lambda_1 \ll \lambda_2 \ll \omega \end{cases} \quad (112)$$

jól ismert eredményt, mely az első intervallumban fehér-, a másodikban rózsaszín, a harmadikban pedig Wiener-féle zajt ad.

Vizsgáljuk most meg, hogy milyen feltételnek kell eleget tennie, az időskálák eloszlásfüggvényének ahhoz, hogy $1/f^\beta$ alakú zaj teljesítmény spektrumot kapjunk. A normálisan működő élő szervezet zajának elemzése azt mutatja, hogy ezek a zajok az időskálájuk szerint önhasonlók. Ez azt jelenti, hogy egy reprezentációból kiválasztható olyan időintervallum, melyen a zaj hasonló az eredetihez, ezen belül szintén kiválasztható egy időintervallum, melyen belül a zaj hasonló ahhoz, amiből kiválasztottuk sit. Ez azt jelenti a matematika nyelvén, hogy egy kiválasztott zaj összetevő frekvenciáját lehet úgy skálázni, hogy egy másik frekvencia skálájú zaj összetevővel hasonló legyen. Ebből következik, hogy az eloszlásfüggvény önhasonló módon skálázható. (Nem minden skálára természetesen, de létezik olyan skála, melyre a rendszer eloszlásfüggvénye skálázható.)

$$G(\lambda) = \frac{\gamma}{N} G\left(\frac{\lambda}{N}\right) \quad (113)$$

Ez azt jelenti, hogy az eloszlásfüggvény a $\frac{\lambda}{N}$ frekvencia skálán az ordináta értékek egységes nyújtásával fedésbe hozható a λ skálán vett eloszlás függvénnyel. A fenti függvényegyenlet megoldása, mint arról könnyű meggyőződni a

$$G(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{\lambda^{1+\alpha}}, \quad \alpha = \frac{\ln \frac{1}{\gamma}}{\ln N} \quad (114)$$

alakú, ahol $A(\lambda)$ periodikus függvénye annak a skálának, melyre nézve az eloszlásfüggvény önhasonló., azaz

$$A(\lambda) = A\left(\frac{\lambda}{N}\right) \quad (115)$$

Tegyük fel, hogy ez a függvény állandó és számítsuk ismét ki a (λ_2, λ_1) frekvencia intervallumba eső stohasztikus folyamatok energia spektrumát. Ekkor kapjuk, hogy

$$\begin{aligned} S(f, \lambda_1, \lambda_2) &= \\ &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{DG(\lambda)}{(\lambda^2 + \omega^2)} d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{DA}{(\lambda^2 + \omega^2)\lambda^{1+\alpha}} d\lambda \\ &= \frac{DA}{\omega^{2+\alpha}} \int_{\lambda_1/\omega}^{\lambda_2/\omega} \frac{1}{\left[\left(\frac{\lambda}{\omega}\right)^2 + 1\right]\left(\frac{\lambda}{\omega}\right)^{1+\alpha}} d\frac{\lambda}{\omega} \end{aligned} \quad (116)$$

Az integrál kifejezhető a hypergeometrikus függvények segítségével azonban szemléletes jelentést nehéz adni neki. Ezért a $(0, \infty)$ intervallumra végezzük el az integrálást -ami a rózsaszín-zaj esetét leszámítva- véges állandóra vezet. Ezzel a közelítéssel kapjuk a kívánt eredményt.

$$\begin{aligned}
S(\omega, \lambda_1, \lambda_2) &= \\
&= \frac{DA}{\omega^{2+\alpha}} \int_{\lambda_1/\omega}^{\lambda_2/\omega} \frac{1}{\left[\left(\frac{\lambda}{\omega}\right)^2 + 1\right] \left(\frac{\lambda}{\omega}\right)^{1+\alpha}} d\frac{\lambda}{\omega} \approx \\
&\approx \frac{DA}{\omega^{2+\alpha}} \int_0^{\infty} \frac{1}{\left[\left(\frac{\lambda}{\omega}\right)^2 + 1\right] \left(\frac{\lambda}{\omega}\right)^{1+\alpha}} d\frac{\lambda}{\omega} \propto \\
&\propto \frac{1}{\omega^{2+\alpha}}
\end{aligned} \tag{117}$$

Az önhasznó eloszlásfüggvény tehát a feltétele a

$$S(\omega) \propto \frac{1}{\omega^\beta} \tag{118}$$

alakú teljesítmény spektrumnak. Megmutatjuk, hogy ez előállítható bármely olyan eloszlásfüggvényből, ami nagy λ frekvenciákra zérus fele tart. Valóban legyen $g(\lambda)$ ilyen függvény, (teljesen általános, nem feltétlen log-normál, csak annyi kell, hogy a végtelenben nulla (aszimptotikusan nullához tart)). Generáljunk ebből a

$$\begin{aligned}
g_i(\xi_i) &= \frac{\gamma}{N} g_{i-1}\left(\frac{\xi_{i-1}}{N}\right), \quad (i = 1, 2, \dots) \\
g_0(\xi_0) &= g(\lambda)
\end{aligned} \tag{119}$$

rekurziós eljárással újabb eloszlás függvényeket. Ezek segítségével állítsunk elő egy

$$\begin{aligned}
G(\lambda) &= (1-\gamma) \sum_{i=1}^{\infty} g_i(\xi_i) = \\
&= (1-\gamma) \left[g(\lambda) + \frac{\gamma}{N} g\left(\frac{\lambda}{N}\right) + \left(\frac{\gamma}{N}\right)^2 g\left(\frac{\lambda}{N^2}\right) + \dots + \dots \right]
\end{aligned} \tag{120}$$

alakú eloszlásfüggvényt. Könnyű megmutatni, hogy ez eleget tesz a

$$G(\lambda) = \frac{\gamma}{N} G\left(\frac{\lambda}{N}\right) + (1-\gamma)g(\lambda) \tag{121}$$

függvényegyenletnek. Nagy frekvenciák esetén a tett megkötésünk szerint $g(\lambda)$ közel zérus, így a

$$G(\lambda) = \frac{\gamma}{N} G\left(\frac{\lambda}{N}\right) \tag{122}$$

függvényegyenletre jutunk, ami pontosan az önhasznósági tulajdonság kifejezője.

4.4 Elhasználódás/élettartam vizsgálat

Az élettartamra vonatkozó megfontolások matematikai értelemben azonosak a hiba-vizsgálat megfontolásaival, és teljes párhuzamba állíthatóak az ott megfogalmazottakkal.

Két eloszlásfüggvényt vezetünk be. Az egyik az élettartam eloszlásfüggvény, a másik a túlélési (használati idő) valószínűség eloszlásfüggvénye.

Legyen T készülékek halmaza fölött értelmezett valószínűségi változó, melyet élettartamnak nevezünk. Az élettartam eloszlásfüggvény annak a valószínűsége, hogy az élettartam kisebb egyenlő t -vel, $\{t \in [0, \infty)\}$ azaz

$$F(t) = P\{T \leq t\} \quad (123)$$

A túlélési valószínűség-eloszlást ezek után a

$$S(t) = 1 - F(t) \quad (124)$$

kifejezés definiálja, mely megfelel a (4) megbízhatósági egyenletnek. Vagyis annak a valószínűsége, hogy a T élettartam nagyobb t -nél:

$$S(t) = 1 - F(t) = P\{T > t\} \quad (125)$$

Az $S(t)$ függvény monoton csökkenő, $S(0)=1$ és $S(\infty)=\lim_{t \rightarrow \infty} S(t)=0$. A készülék, eszköz élettartama a felhasználhatóság (használhatóság) ideje, vagyis az a idő mely végén fatális (javíthatatlan, vagy gazdaságosan már nem javítható vagy biztonsági okokból már nem üzemeltethető, stb.) hiba keletkezik vagy minőségbiztosítási felülvizsgálaton megállapítják. Az élettartamtól függően a fatálisan hibás eszközöket berendezéseket kivonják a forgalomból (kiselejtezik, megsemmisítik, használatát tiltják, stb.). Az élettartam eloszlásfüggvény deriváltja, a (6) összefüggésnek megfelelően:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad \left[F(t) = \int_0^t f(\zeta) d\zeta \right] \quad (126)$$

a élettartam valószínűségsűrűség, (tehát az élettartam eloszlás függvény ennek kumulatív eloszlás függvénye), mellyel (7)-nek megfelelően az átlagos élettartam:

$$\langle T \rangle = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (127)$$

Ennek valószínűség-eloszlása az un. házárd-függvény (kiselejtezési ráta): $h(t)$, mely a meghibásodási ráta ($\lambda(t)$, (11)) megfelelője. A $h(t)dt$ mennyiség annak a valószínűsége, hogy a t idő túlélése esetén a $t + dt$ időtartamban kiselejtezés következik be.

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P\{t < T \leq t + \Delta t | T > t\}}{\Delta t} \quad (128)$$

Nézzük ennek kapcsolatát az előbbi eloszlásfüggvényekkel! Annak valószínűsége, hogy a t túlélése esetén a $t + dt$ időintervallumban nem következik be kiselejtezés a

$$\frac{S(t + dt)}{S(t)} \quad (129)$$

feltételes valószínűség. Ezzel annak valószínűsége, hogy a t túlélése esetén a $t + dt$ időintervallumban bekövetkezik az kiselejtezés:

$$h(t)dt = 1 - \frac{S(t + dt)}{S(t)} = -\frac{dS(t)}{S(t)} dt = -\frac{d[1 - F(t)]}{S(t)} dt = \frac{f(t)}{S(t)} dt \quad (130)$$

ahol kihasználtuk a (125) és (126) összefüggéseket. Az $f(t)$, $F(t)$, $S(t)$ és $h(t)$ függvények egyaránt jól jellemzik a T eloszlását, matematikailag ekvivalens leírást adnak, hiszen

$$f(t) = -\frac{dS(t)}{dt} \quad h(t) = -\frac{d \ln(S(t))}{dt} \quad (131)$$

Vagyis:

$$S(t) = \exp\left(-\int_0^t h(\zeta) d\zeta\right) \quad (132)$$

A kumulatív károsodás-függvény:

$$H(t) = \int_0^t h(\zeta) d\zeta \quad (133)$$

Mivel

$$S(t) = \exp(-H(t)) \quad (134)$$

és $S(\infty)=0$, vagyis $H(\infty)=\lim_{t \rightarrow \infty} H(t) = \infty$, tehát

$$h(t) \geq 0 \quad \int_0^{\infty} h(t) dt = \infty \quad (135)$$

akkor végül is:

$$f(t) = h(t) \exp\left(-\int_0^t h(\zeta) d\zeta\right) \quad (136)$$

Legyen a (130) kiselezési ráta időfüggvénye önhasonló, akkor:

$$h(t) = at^{u_1-1} = (u_0)^{u_1} u_1 t^{u_1-1} \quad (137)$$

alakú függvényre jutunk. A (131) összefüggésből meghatározható a működési élettartam valószínűség eloszlás-függvénye:

$$\int_0^t h(\zeta) d\zeta = -\ln S(t) \rightarrow S(t) = e^{-\int_0^t h(\zeta) d\zeta} \quad (138)$$

4.4.1 A műszaki öregedési folyamatok önhasonlósága

A műszaki öregedési kísérletek kiértékelésénél a túlélési valószínűség empirikus (non-parametric) eloszlásfüggvényét határoztuk meg, és arra illesztettünk parametrikus eloszlást, Weibull függvényt (ld. M2. Melléklet). Megjegyezzük, hogy a hasonló alapokon bevezetett, az emberi élettartamot tanulmányozó gerontológiai vizsgálatok is ezt az eloszlás-formát használják, [Piantanelli 1986, Economos 1982].

Az önhasonló kiselezési ráta (137) kifejezéséből látszik, hogy

$$h(t) = at^{u_1-1} = (u_0)^{u_1} u_1 t^{u_1-1}, \quad h(t) = \begin{cases} u_1 > 1, \text{ monoton növekvő} \\ u_1 < 1, \text{ monoton csökkenő} \\ u_1 = 1, \text{ állandó} \end{cases} \quad (139)$$

A kiselezési ráta jellemzésére bevezethetünk egy, az időállandóval analóg fogalmat. Ehhez írjuk át a kiselezési rátát a

$$h(t) = at^{u_1-1} = \left(\frac{t}{\left(\frac{1}{a}\right)^{\frac{1}{u_1-1}}} \right)^{u_1-1} = \left(\frac{t}{\left(\frac{1}{(u_0)^{u_1} u_1}\right)^{\frac{1}{u_1-1}}} \right)^{u_1-1} \quad (140)$$

alakban, melyből látjuk, hogy a függvény változásának természetes skálája:

$$\Theta = \left(\frac{1}{(u_0)^{u_1} u_1} \right)^{\frac{1}{u_1-1}} \quad (141)$$

ami Weibull paraméterekkel:

$$\Theta = \left(\frac{\beta^\alpha}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} = \beta \left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \quad (142)$$

Egy műszaki részmegoldás jobbá tételével esetleg több a maradvány készülékünk a becsült élettartam után. Lehet-e maradvány-készülékekkel számolni, ha túl vagyunk a becsült élettartamon, annak érdekében, hogy az adott alkalmazott műszaki megoldás hatását lemérjük? Általában ez nem megtehető a statisztikai kiértékelés folyamán, mert a maradványértékek meghamisítják az önhasonlósági alapokra épített kiértékelést.

4.4.2 Fluktuáció- és zaj-vizsgálatok

A Brown-mozgás a fizikában és a matematikában egyaránt alapvető szerepet játszik. A természet és jelenségei fraktál-szerkezetének alapvető fogalomrendszeréhez tartozik a Brown mozgás [Mandelbrot 1982, Mandelbrot 1977, Mandelbrot 1999, Mandelbrot, 2001]. A frakcionális Brown-mozgás a folyamatok zajának és általában a véletlen folyamatoknak jó modellje, [Mandelbrot 1968, Voss, 1986].

A $x(t)$ időfüggő folyamatot leíró egyszerű függvény, melyben az idő egy véletlen változó:

$$x(t)dt = P[\tau \in (t, t + dt)] \quad (143)$$

A közép ($\langle t \rangle$) és medián (\tilde{t}):

$$\langle t \rangle = \int_0^\infty tx(t)dt \quad \int_0^{\tilde{t}} x(t)dt = \frac{1}{2} \quad (144)$$

Ha $\langle t \rangle$ véges akkor van időmérési skála, az időmérés eszköze pedig a rate-állandó: $\langle t \rangle^{-1}$. Ha $\langle t \rangle \rightarrow \infty$ de \tilde{t} véges, akkor is bevezethető időskála. Ha tehát a t változó egyenletesen elosztott és véletlenszerű, akkor aszimptotikusan egyszerű formával írható le, eloszlása normális (Gauss). A folyamat megváltozása:

$$\Delta x(\Delta t) = x(t_2) - x(t_1) \quad (145)$$

szintén normális, Gauss eloszlást követ, vagyis:

$$\langle \Delta x^2(\Delta t) \rangle \propto (\Delta t)^{2q} \quad (146)$$

ahol: $\Delta t = |t_2 - t_1|$, és az átlagolást a $x(t)$ minták nagy mennyiségére elvégezzük, a q paraméter értéke pedig $0 < q < 1$ intervallumba esik. Ez egy stacionárius folyamatot ír le, vagyis feltettük t véletlen

jellegét, tehát, hogy minden t időpillanat statisztikusan ekvivalens, és az átlagolás csak a Δt függvénye. Ha $q=1/2$, az a jól ismert $\Delta x^2 \propto \Delta t$ Brown mozgás egyenletét [Karatzas és Shreve 1991] adja. Annak ellenére, hogy $x(t)$ folytonos függvény, egyetlen pontban sem differenciálható, a Weierstrass függvénynek felel meg, [Shlesinger 1987].

Egy egyváltozós folyamat menetére általában jellemző a Brown mozgás-szerű viselkedés: vagyis minden döntést (következő lépés) csak az előző ismeretében lehet meghozni. Ez az oka annak, hogy a gazdasági számításoknál, [Forsyth 2003], tőzdespekulációkban [Burton 1999], vagy banki kölcsönök kamatainak [Furrer 2003] illetve a piaci árak kiszámításánál [Garven 2003], is felhasználják a Brown mozgást leíró egyenletet. **A lépések szigorúan egymásra épülnek, a teljes út csakis rekurzív módon vezethető le (okság elve).** Ez filozofikus megfogalmazásban azt jelenti, hogy egy adott folyamat, rendszer idejét csakis a kölcsönhatások egymásra épülésének rendjével (nem az egymás utáni független bekövetkezésükkel) lehet leírni. Ez azt jelenti, hogy a kölcsönhatások egymásra épülnek, és ez jelenti az elhasználódás (az idő) múlását. Tehát az idő (egyváltozós és oksági alapon) egymásra épülő, szukcesszíven kialakított rekurzív lépésekből áll. A használati idő múlása, az elhasználódás folyamatát adja. Ez egyben megfelel egy rekurzív önszervezésnek, mellyel a Mandelbrot-halmazok alakulnak ki. Így alakul ki egy speciális, és a rendszerre jellemző önszervezés, mely az adott rendszert sajátossá, a többitől bizonyos tekintetben megkülönböztethetővé teszi. Ilyen értelemben ez az önhasonló megoldás megfelel az entrópia termodinamikai fogalmának. A nyílt dinamikus rendszerek általában $1/f$ zajúak, [Li 1989], vagyis az idő múlik, a nyílt rendszer energiacseréje a környezettel (információ felvétel, entrópia csökkentés) az alapja a rendszer mozgásának és munkavégző képességének.

Ennek megfelelően a vizsgálat lehetővé teszi hogy a rendszer szokásos öregedési tulajdonságait (az idő múlását) folyamatosan nyomon követhessük. A rendszert jellemző zaj, mint a rendszer szokásos „életvitele” a rendszer sajátos öregedési folyamatairól ad számot. Ezek megfelelő kiértékelése alapján a rendszer öregedéséből adódó meghibásodások előre jelezhetőek, megelőző karbantartásnál figyelembe vehetőek.

Legyen egy hibátlanul működő gépünk, melynek elvárt és hibátlan funkciója periodicitásában látszik. A mechanikai, géptani megoldások döntő többségében forgás, rotáció van. (Ebben is alapvetően különbözik a mesterséges dinamikai megoldás a természetes biológiai fejlődés által kialakított folyamatoktól, ahol forgó mozgás, periodikusan ismétlődő teljes fordulat, mechanikai rotáció egyetlen élő anyagban sem lép fel úgy, mint a rendszer dinamikájának alapja. Ez önhasonló, minden skálán egyforma viselkedésű. Természetesen a készülék egyrészt a saját belső alkatrészeivel, másrészt a környezetével állandó és dinamikus kölcsönhatásban áll. Ha ezek a kölcsönhatások nem módosítják lényegesen a működést, akkor csak egy zajként ülnek rá a mérhető periodicitásra. A készülék időbeli viselkedésének Fourier transzformáltja csak egyetlen karakterisztikus frekvenciát fog tartalmazni, és ez korrelálatlan zajként (fehér zaj, nincs frekvencia függése) ül rá a mért periodikus jelre. Minden egyes fordulat természetesen látszólag független az előzőtől, és azt látszólag nem befolyásolja. Ugyanakkor, amennyiben a készülék kopik (változik a kölcsönhatás a fordulattoktól), úgy az egyes egymásra következő fordulatok az előző fordulat által konstruált feltételek mellett fognak bekövetkezni, vagyis azokra „ráülnek”, folyamatosan és egymásra épülve újabb és újabb eredményeket adnak. Ha az egyes fordulatok által „hátrahagyott” változások nem lényegesek, vagyis a teljes rendszer reverzibilis és nem öregszik, akkor a frekvenciában mérhető változást nem tapasztalunk. Ugyanakkor azonban, ha az öregedés nem reverzibilissé teszi a rendszert, akkor minden egyes fordulat más körülmények között zajlik, a frekvenciaspektrum változik, bár a karakterisztikus frekvencia továbbra is megmarad, csak megjelennek mellette más frekvencia komponensek is. Ha a folyamatok egymásra épülő, rekurzív módon módosítják a fordulatszámot, akkor a frekvenciaváltozás már nem lesz korrelálatlan fehér zaj, hanem rendszeresen jelenik meg a teljesítmény spektrumban, a magasabb frekvenciák felé csökkenően, az alacsonyabb frekvenciákat preferálva. Ennek alapján a rekurzív információ mérhetővé válik, az öregedési folyamat a teljes rendszerre jellemzően kontrollálható és a folyamat dinamikája becsülhető lesz. Ez egyértelműen a Bayes-féle rekurzívan alkalmazott lánc vizsgálata,

ahol szukcesszíven az apriori és aposteriori feltételek egymásra épülése a szerkezet alapja. Ahogy korábban megmutattuk, elegendően nagyszámú lépés után a kiinduló valószínűség-eloszlás tényleges függvénye lényegtelenné válik.

5 EREDMÉNYEK

Eredményeimet több publikációban tettem közzé. A minőségbiztosítással foglalkozó publikációk [Szász 2005], [Szász és Vincze 2005], [Szász 2000a], [Szász 2000b], [Szász 2000c], [Szász 2001b] [Szász és társai 2002h], [Szász 2002], [Szász és társai 2003a], igen fontosak, hiszen jelenleg a hyperthermia kezelés standardizálása folyik, melyhez a technikai szabványosítás elengedhetetlen.

A technikai megoldásokhoz szabadalmak is kapcsolódnak [Szász és társai 2003j], [Szász és társai 2003k], [Szász és társai 2003l], [Szász és társai 2004d], [Szász és társai 2004e], [Szász és Szász 2004], [Szász és társai 2004f].

5.1 Nagy megbízhatóságú rendszer kiépítése a gyakorlatban

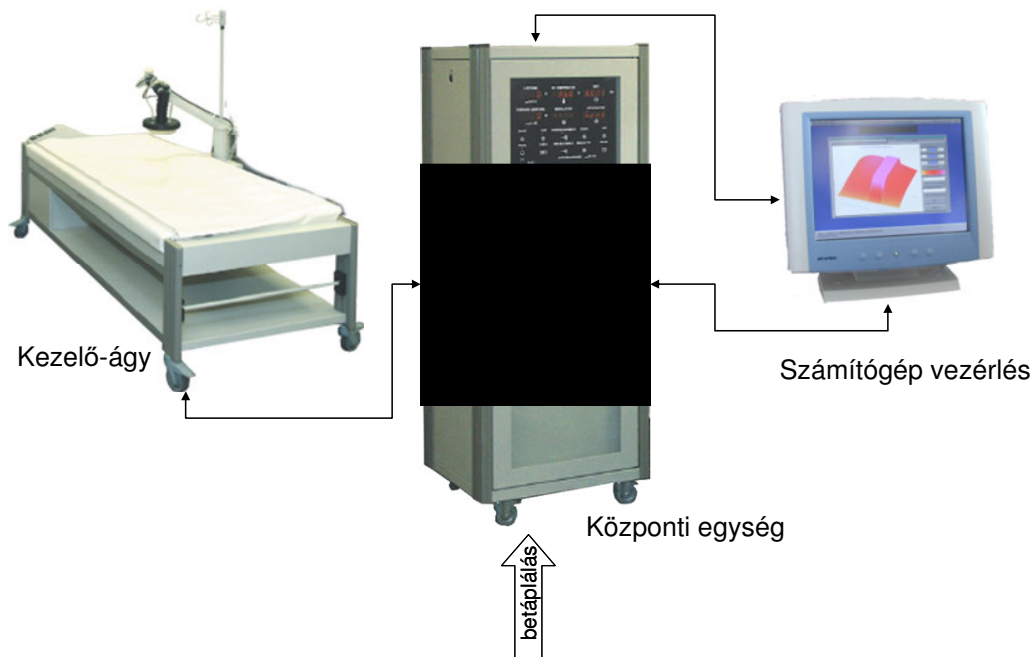
A előzőekben kifejtett elvek alkalmazásával egy nagy megbízhatóságú orvosi berendezés szoftverjét készítettem el. Ez több részből állt, hiszen a felhasználói felület kiépítése és a mikroprocesszoros vezérlések is ebbe a munkába tartoztak.

A készülék aktív orvosi eszköz, mellyel daganatos betegek gyógyítását végzik [Szász és társai 2001a], [Szász és társai 2001b], [Szász és társai 2002a], [Szász és társai 2002b], [Szász 2004], [Szász és társai 2005], [Szász és társai 2001c], [Szász 2001a], [Szász és társai 2001d], , [Szász és társai 2002c], [Szász és társai 2002d], [Szász és társai 2002e], [Szász és társai 2002f], [Szász és társai 2002g], [Szász és társai 2002i], [Szász és társai 2003b], [Szász és társai 2003c], [Szász és társai 2003d], [Szász és társai 2003e], [Szász és társai 2003f], [Szász és társai 2003g], [Szász és társai 2003h], [Szász és társai 2003i], [Szász és társai 2004a], [Szász és társai 2004b], [Szász és társai 2004c], [Szász és Szász 2005a], [Szász és Szász 2005b].

A készülék az Európai piacokon bevezetett márka, az adott kezelési témában piacvezető. A készülék szoftverje alapvető jelentőségű a megbízhatóság szempontjából, hiszen nem csak a beavatkozás folyamatának teljes kontrollja, de az esetleges felhasználói hibák kontrollja is bele van építve. A szoftver verifikációját és validációját egy független szakértő cég, a TÜV Product Service (München) készítette el, és ez után bizonyítvánnyal látta el. (A TÜV Product Service Európa legnagyobb minősítő intézete, speciális orvosi berendezéseket minősítő részlege pedig az egész világon végzi ezt a tevékenységet.)

5.1.1 A készülék felépítése

A készülék általános leírását és felhasználási irányait az M4. Melléklet tartalmazza. A készülék három alapvető egységből áll, melynek blokkvázlatát az 22. és 23. ábrák mutatják.

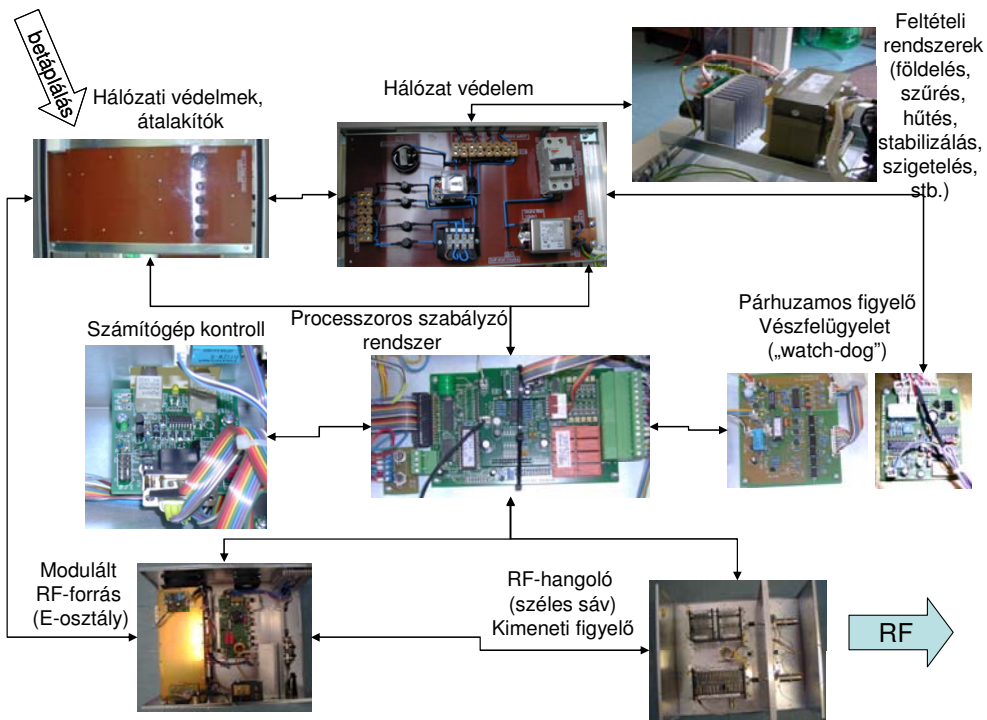


22. ábra. A készülék főbb elemei, a kezelő berendezés részei.

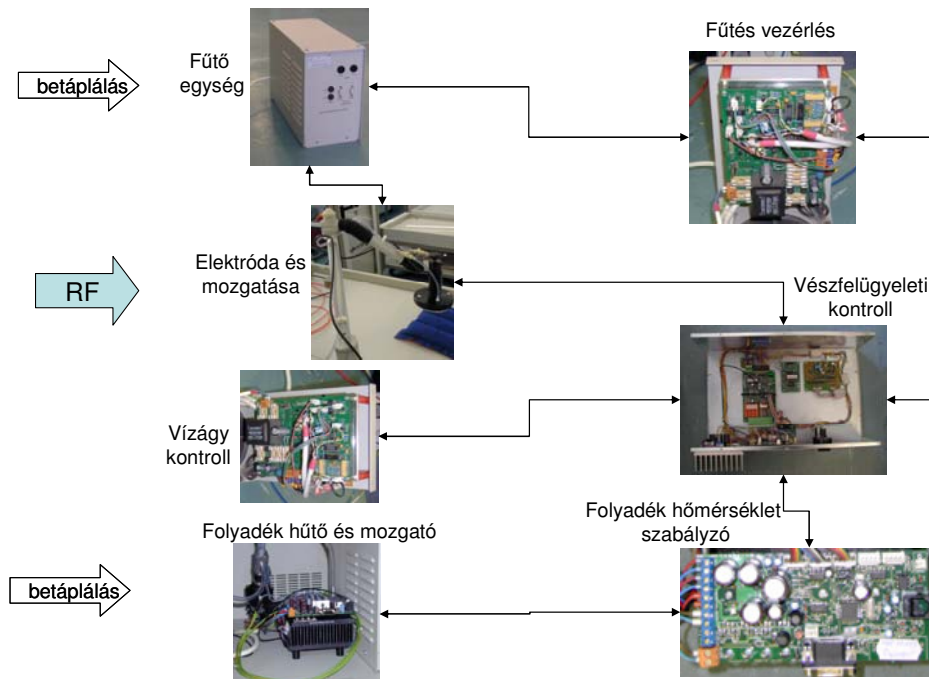


23. ábra. Az installált berendezés egy példája (Clifford Hospital, Guangzhou, Kína)

Minden egység saját mikroprocesszoros vezérléssel (és az ehhez irt szoftverrel) rendelkezik. A központi egység és a kezelőágy blokkvázlatát az 24. és 25. ábrákon mutatom be:



24. ábra. A központi egység részei. A teljes irányítást több processzor párhuzamos működése végzi. A processzorok programjait úgy alakítottam ki, hogy a hardveres visszajelzések elsőbbséget kapjanak a biztonsági szabályzásban.



25. ábra. A kezelőpult részei. A vezérlések itt is mikroprocesszorosak.

5.1.2 Központi egység processzoros irányítása

A rendszer tervezése, fejlesztése már tíz évvel ezelőtt elkezdődött. A rendszer bevezetésének, elfogadásának hosszú útja nem a technikai megvalósítás, hanem a gyógyászati és orvosi eszközök területén meglévő nagyon körültekintő és klinikai működési vizsgálatokkal alátámasztott, a betegek hosszúidejű követési vizsgálatával kombinált folyamat következménye. A hosszú vizsgálati idő természetesen a műszaki megoldások elöregedését jelenti, hiszen az elektronika területe viharos gyorsasággal fejlődik. Így figyelembe kell vennünk minden elfogadott új gyógyászati eljáráshoz kapcsolódó orvosi berendezés vizsgálatakor, hogy nem a legmodernebb processzorokon alapszik. Ugyanakkor természetesen a régebbi vezérlő egységeknek is tökéletesen el kell látniuk a rájuk bízott feladatokat.

Az egység tényleges vezérlését két processzor végzi, egymással párhuzamosan:

80C552 (Phillips) processzor, ami a főbb funkciókat (kommunikáció a számítógép felé, erősítő rendszer szabályozása, vízágó rendszerrel, való kapcsolat fenntartása,...) végzi el, és

PIC16F84, ami a fő processzort ellenőrzi, és a saját méréseivel összehasonlíttja (un. „watch-dog funkció”).

A processzorok programozása a feladat bonyolultsága és összetettsége miatt assembly és C programnyelv kombinációjával készült. Míg a processzor tesztek, a megszakítások, és a sebesség függő rendszerek assembly betétekkel, addig a többi összefogó bonyolultabb rendszerrészek C nyelvben valósultak meg. Így az időre, vagy parancs-sorra érzékeny és a magasabb szinten integrálisan leírható program-részek, is áttekinthetően ellenőrizhetőek és szükség esetén továbbfejleszhetőek.

A program több modulból tevődik össze:

- Az egyik modul felelős, az assembly rutinokért (időkritikus, vagy hardver specifikus részek), mely a kommunikációs vezérlést, a memória tesztet, feltételes ugrás tesztet végzi el. Ez két további almodulra támaszkodik:
 - Az első almodul felelős, a rendszer tesztekért, mely megvizsgálja a rendszer összes fontosabb egységét, hogy működőképes állapotban vannak-e,
 - a másik almodul kifejezetten a számítógéppel való kommunikáció és annak elemzésére van kialakítva.
- Másik modul felelős a külső csatolt hardverek vezérléséért, (például a teljesítmény olvasása, és módosítása, a hangoló rendszer szabályozása, védelmi rendszerek státusz olvasása), melyek megfelelően beépített érzékelőktől kapják az információt.

A képernyő kezelése, feliratok tárolására egy külön modul készült.

A legterjedelmesebb modul az egész rendszert fogja össze, az összes többi modult vezérli. Ez ellenőrzi és szabályozza a feladatok elosztását, a processzorok munkamegosztását is.

A rendszer kezdetben nem a PEMS szabvány ajánlása szerint készült, hiszen a fejlesztés indulásakor, ez nem volt még kötelező, de későbbi módosításokkal, a megfelelő dokumentáltság kialakításával a rendszer a PEMS szabványok szerint is elfogadhatóvá vált. Ennek megfelelően nagy figyelmet fordítottam a terméktesztelésre. A kockázatelemzésből adódó tesztek folyamatos elvégzése, a rendszer saját-ellenőrzési rendszerének kiépítése, valamint a programban esetleg meglévő hibás kódok kiszűrése, korrigálása program folyamatos ellenőrzése fontos elemként épült be a szoftver megoldásokba. Az egész rendszert egy külső PC-re megírt program (HWTester) felügyeli, mely képes a rendszernek manuálisan vagy programozottan alap és összetett parancsokat kiadni, így többek között a beépített hibák felfedezésére is alkalmas.

5.1.3 Kezelőágy processzoros kontrollja

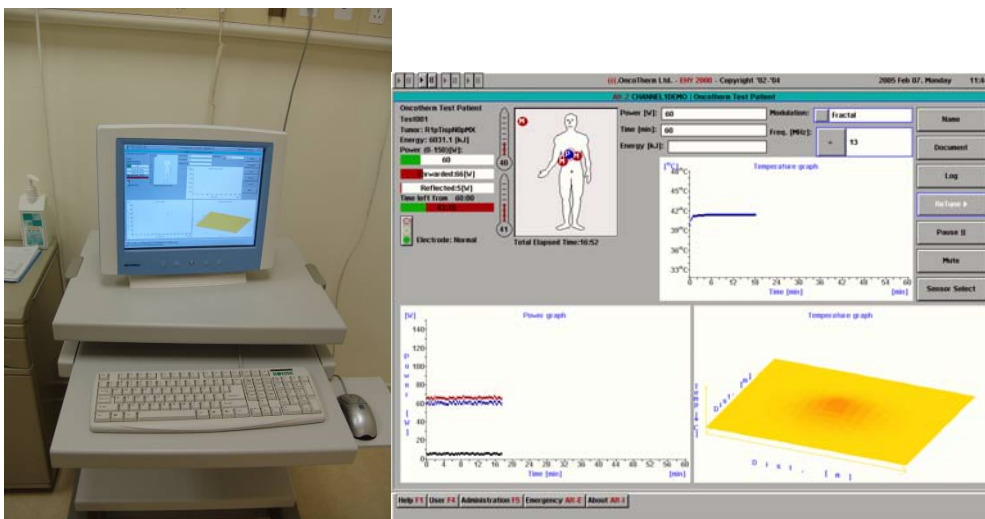
A kezelő ágy, vezérlőrendszere nagyban hasonlít a központi vezérlés kialakítására. Itt is két processzor dolgozik egymást támogatva, ellenőrizve. Ebben az esetben PIC16F84-es processzorokkal dolgoztam csak, mivel a feladat nem kívánt nagyobb számítási és logikai teljesítményt. Mindkét processzoron ugyanaz a program fut, csak az egyik elsődleges (master), a másik meg másodlagos (slave) üzemmódban. Mind a két processzor saját független érzékelőtől kapja az információkat, ezeket kielemezi, majd tájékoztatja a másikat az eredményről. Amennyiben az így kiszámított és kapott eredmény nem egyezik meg egymással, bármelyik processzor képes a rendszert leállítani, és ezáltal biztonságos állapotba hozni. Ez után a rendszer tájékoztatja a felhasználót a leállás okáról.

A master/slave megkülönböztetés, csak és kizárólag a vezérléshez kell, mert az adott ágyat folyamatosan csak egy irányító jellel lehet vezérelni, és ez a master feladata.

A programok assembly nyelven készültek, hogy a processzorok időzítését egyszerűen és precízen, órajel szinten kézben lehessen tartani, hogy biztosítsam a két processzor közti kommunikáció szinkronját. A kezelőágy programkódját a melléklet tartalmazza.

5.1.4 Felhasználói felület szoftverje

A felhasználói felület egy PC alapú rendszer, de a biztonságos működés miatt nem Windows operációs rendszerrel. A Windows rendszer biztonságtechnikailag problémákat hozott volna be a rendszerbe (pl. kikapcsoláskor mentési idők, ami vészkipcsoláskor adatvesztéssel jár, kontrollálhatatlan paralel felhasználói lehetőségek, komplex megállási problémák, a forráskód hiánya, stb.), melyet a biztonságos DOS rendszerben megnyugtatóan megoldottam. Ugyanakkor a felhasználói igények Windows megjelenítési formákat követeltek meg (26. ábra), így saját Windows felületet oldottam meg a felhasználói és közvetlen kezelési feladatok megkönnyítésére. A felhasználói felület programja C++-ban (objektum orientáltan) készült el.



26. ábra. A kezelői felület hardverje (PC) és szoftverjének indító képe.

A szoftver kezelői programjának működtetését az M5. Melléklet tartalmazza.

A program kimondottan egészségügyi személyzet számára készült. Kérés esetén a program személyre szabható, a speciális igényeknek megfelelően.

A program felhasználóbarát környezetben működik és Windows (ablakos) technikát használ. Ez a technika azt jelenti, hogy különböző műveletek végezhetőek párhuzamosan a különböző ablakokban, és az egérrel vagy billentyűzettel kiválasztható, hogy melyik ablakkal kívánunk dolgozni.

A program többszintű biztonsági védelemmel rendelkezik.

- Az első szint a programindításkor bekért jelszó. Ez védelem az illetéktelen felhasználók ellen és ugyanakkor az egészségügyben alapvető fontosságú adatvédelem alapja is.
- A második szint az adminisztrációs parancsokhoz való hozzáférés. Ez azért védett funkció, mert itt változtatható meg a gép viselkedése, és ehhez bizonyos szintű szakmai ismeretek szükségesek.
- Egy harmadik védelmi szint a karbantartást végző szakemberek számára szolgál segítségül. Ebben ellenőrizhetik a gép alapvető működési paramétereit, visszanezhetik a működés körülményeit, eltárolhatják a régebbi eredményeket.

5.1.5 A megoldás bevizsgálása és tanúsítása

A készülék a német TÜV Product Service (München) minősítő intézet részletes típusvizsgálatának (benne a funkcionális biztonsági analízisek és a gépi „intelligencia” vizsgálata megfelelt, amiről a TÜV minőségi tanúsítványt adott ki. A tanúsítvány a számítógépes vezérlést külön is tartalmazza.



5.2 Szerviz-igény előjelezése

A konkrétan javasolt mérési folyamat a következő: mérjük meg az adott folyamat zaját/fluktuációját (vagyis akár elektronikai, akár mechanikai vagy más mérhető jel átlagtól való eltérésének időbeli változásait mérjük). Fourier–transzformáljuk ezt a jelet, és vegyük ennek négyzetét. (Képezzük a spektrális teljesítmény-eloszlást.) Ezt elosztva a transzformáció effektív frekvencia sávszélességével kapjuk az $S(f)$ teljesítménysűrűség függvényt, melynek logaritmusát ábrázolva a frekvencia logaritmusának függvényében megmérjük a kapott görbe deriváltját. (A folyamat trendjét, időbeli fejlődését nézzük.) A derivált (általában egyenest kapunk, és a derivált konstans, vagy néhány konstanssal illeszthető) jellemző lesz a rendszer dinamikus viselkedésére. Ennek változásait figyeljük, és amennyiben a változás eléri az előre meghatározott értéket (elhasználódási határ, melyet külön mint kalibrációs értéket felvehetünk), vagy hirtelen változásokat, megnövekvő periodicitást mutat, akkor kell megelőző karbantartást végezni. A zajmérés művelete minden lényegesebb paraméterre folyamatosan megtehető, és így a rendszer teljes egészében kontrollálható.

A módszer lényege, hogy minden külső energiaforrással működő (energetikailag nyitott) berendezés, gép, szerkezet dinamikai viselkedését a paraméterek zaja kíséri, nyílt rendszer zajmentes dinamikája nem elképzelhető. A bármely fizikai paraméteren mérhető zaj spektruma jellegzetes kollektív tulajdonságot mutat: hatvány függvény szerint függ a frekvenciától. A hatványkitevőt mint a rendszer dinamikájára jellemző invariáns mennyiséget mérjük és a rendszer

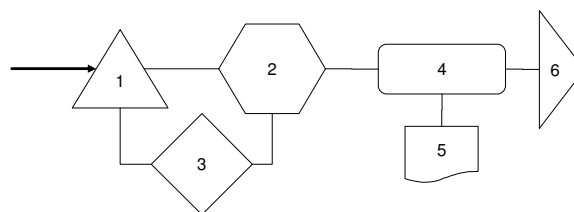
dinamikájának megfigyelésére használjuk fel. Ez a mérőszám tehát nem egyedi zajok (egy-egy frekvencia figyeléséből származó információ) hanem a teljes rendszer tulajdonságait (a teljes frekvenciaspektrum tulajdonságait) hordozó paraméter, mely alkalmas arra, hogy a rendszer dinamikájában beálló változásokat érzékenyen jellemezze. Így ennek a paraméternek a monitorozása kiválthatja a bonyolult rendszerek több-érzékelős megfigyelését, egy invariáns integrális paraméterbe foglalva a rendszer aktuális állapotát. Ez a paraméter ennek megfelelően technikailag alkalmas arra, hogy:

- a hibátlan rendszeren előre felvett paramétert, mint referenciát felhasználva, a rendszer teljességének állapotát figyeljük meg vele,
- kiválsuk a több-érzékelős megfigyelés bonyolult rendszerét, (ugyanakkor annak megállapítására, hogy hol van a hiba, kellene a helyi érzékelők, de sokkal integrálisabb mérési csoportokba, mint az invariancia használata nélkül),
- előre jelezzük a meghibásodásra utaló trendeket,
- megfigyeljük az adott rendszer elhasználódásának (élettartamának) trendjét,
- a tervezési folyamatban az egyenletes dinamikai terhelés igényét mérhetővé tegyük a hatványkitevő egységet megközelítő értékével,
- érzékeljük a nem „szokásos”, hirtelen beálló változásokat, felhasználási hibákat és illetéktelen használatot (nem szokásos és nem kioktatott felhasználó, mint beavatkozó, módosít az invariáns mennyiségen, még akkor is, ha nem okoz működési hibát, (hasonlóan, mint pl. gépkocsik kézi sebességváltója „betanulja” a rendszeresen használó szokásait)).

Ennek megfelelően konkrét alkalmazási példákon mutatjuk be a vizsgálatot és működést. Először az orvostechikai eszköz vizsgálatán mutatom be a módszer hatékonyságát, majd két másik technikai eszköz vizsgálatával demonstrálom a módszerem széleskörű alkalmazhatóságát.

5.2.1 A berendezés és validálása

A mérő berendezés lehet egy speciális céleszköz, melynek elrendezését az 27. ábra mutatja. A mérést legegyszerűbben mindenkor feszültségmérésre vezethetjük vissza (megfelelő érzékelő illetve mérendő paraméter megválasztásával). A érzékelő méréshatárát az aktuális mérendő határozza meg, pontosságát az aktuális zaj típusa. Laboratóriumi körülmények között lehetséges oszcilloszkóp vagy spektrum-analizátor használata is. Ma már vannak olyan oszcilloszkópok és analizátorok, melyek beépített FFT funkcióval rendelkeznek, így ekkor annak külön beépítése a rendszerbe nem szükséges. A beavatkozás off-line (kijelzés után kezelői beavatkozás) lehet, de on-line, real-time beavatkozó szervek kiépítése a mért paraméterek alapján előnyös.



1. Mérőfej (feszültségmérés az adott esetben szükséges méréshatárral és pontossággal)
2. Gyors Fourier analizátor (FFT)
3. Független, (akkumulátoros) tápegység
4. Számítógép, kiértékelő szoftverrel
5. Megjelenítő
6. Esetleg beavatkozó

27. ábra A zaj/fluktuáció mérő-berendezés blokkvázlata

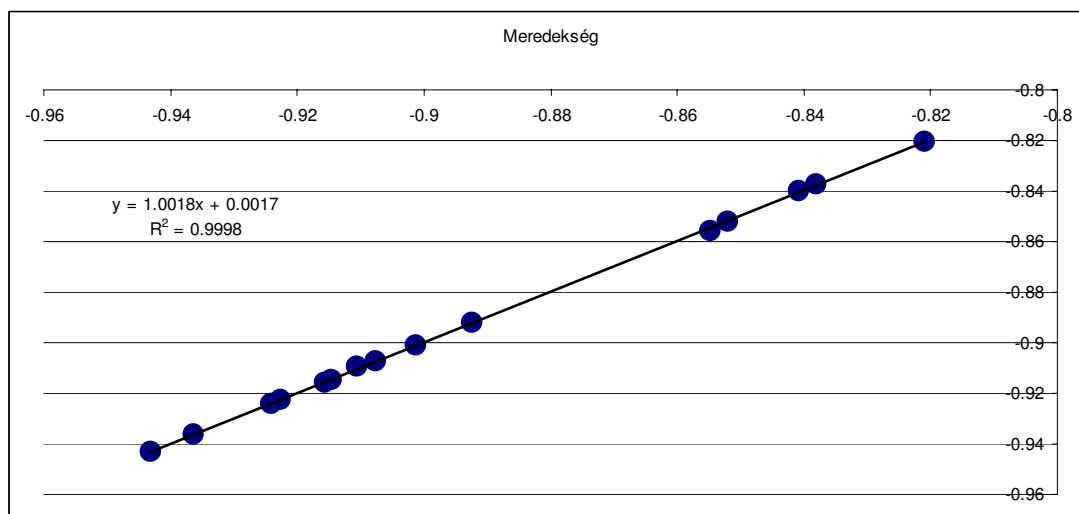
A konkrét mérésekhez még nem a céleszközzel, hanem laboratóriumi eszközökkel készítettem. Az adatgyűjtést a Tektronix gyártmányú oszcilloszkóppal, míg az adat rögzítést személyi számítógépen végeztem el.

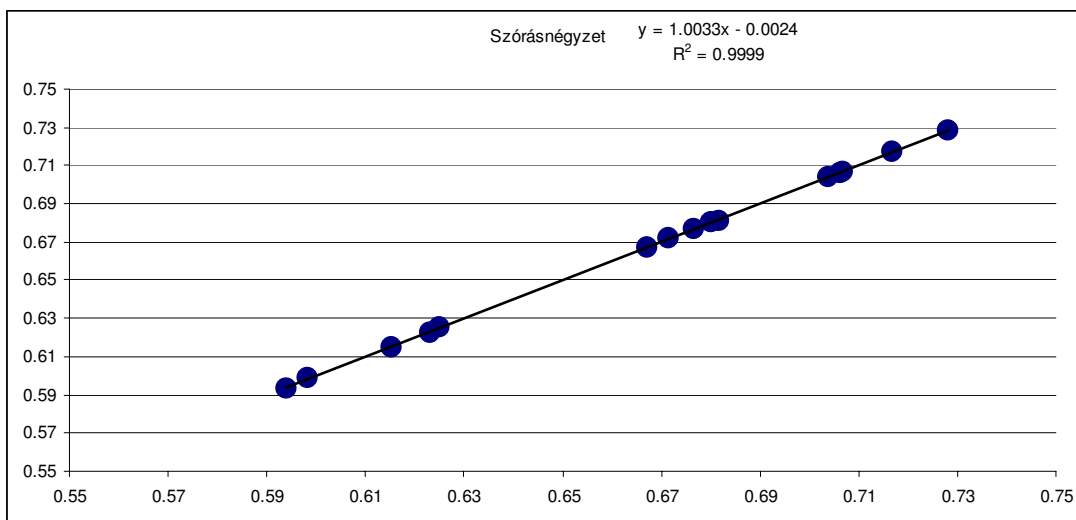
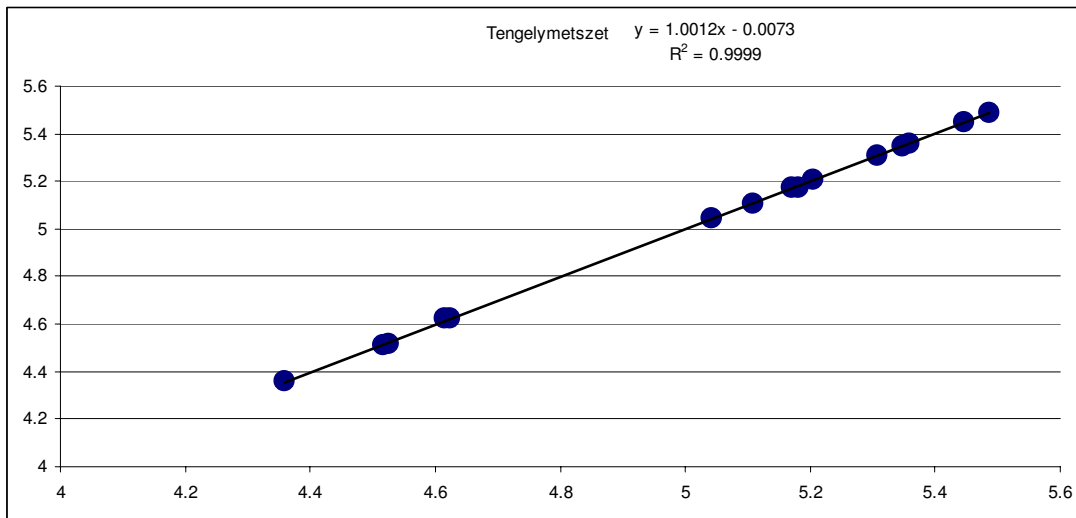
A mérési elrendezést a 28. ábra mutatja.



28. ábra A mérési elrendezés a fluktuációs spektrum felvételéhez.

Az adatokat kettő hatványai szerint csoportosítottam (általában $2^{11} - 2^{12}$ adatot vettem egy csoportba) és az általam készített szoftverrel elvégeztem a Fourier analízist, majd ezt a szokásos MS Excel programmal ábrázoltam. Saját Fourier analízis programom igazolását (verifikációját) és érvényesítését (validációját) az amerikai gyártmányú, erre a célra fejlesztett programmal (Dplot) végeztem el. A saját programommal készített Fourier analízis és illesztés valamint a Dplot eredményei igen jól korrelálnak egymással (ld. 29. ábra.). A meglévő program természetesen számítógépen futtatható professzionális megoldás. Ennek ellenére a saját program azért volt szükséges, mert a processzoron írt programom közvetlenül végrehajtható, célberendezésekbe beépíthető, nem szükséges a komplett számítógép felhasználása.





29. ábra a) A meredekség illesztése, b) A tengelymetszet illesztése, c) A szórásnégyzet illesztése, d) A Fourier spektrumok meredeksége, e) A Fourier spektrumok tengelymetszete, f) A Fourier spektrumok szórásnégyzete

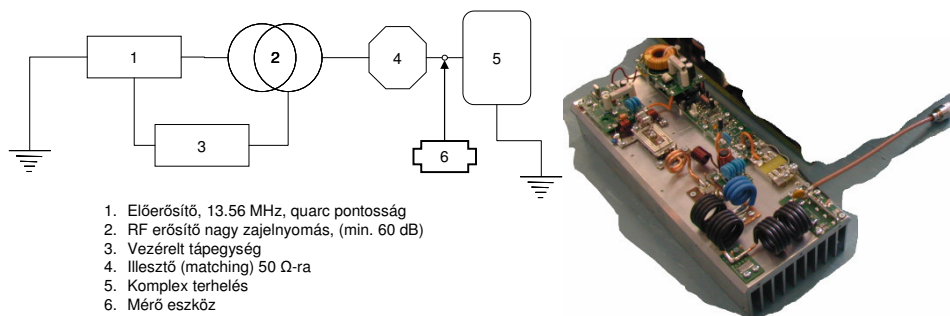
5.2.2 Orvosi kezelő berendezés vizsgálata

Nagyteljesítményű, vezérelt, rádiófrekvenciás kezelő leglényegesebb alkatrészét a teljesítmény erősítőt vizsgáljuk be első példaként. (Off-line beavatkozás) A mérési elrendezést két külön terhelés esetén alakítottuk ki: műterheléssel, melynek impedanciájában képzetes rész nincs, tiszta ohmikus a terhelés, és egy pacienssel, mint terheléssel, melynek impedanciája csakis komplex számmal jellemezhető (jelentős kapacitív tagok (sejtmembrán, szöveti dielektrikum-változások, vezető, messze nem ideális dielektrikum, stb.), vagyis a terhelés nem ideális, nem tisztán ohmikus. A kétféle elrendezés fényképét a 30. ábrán mutatjuk be.



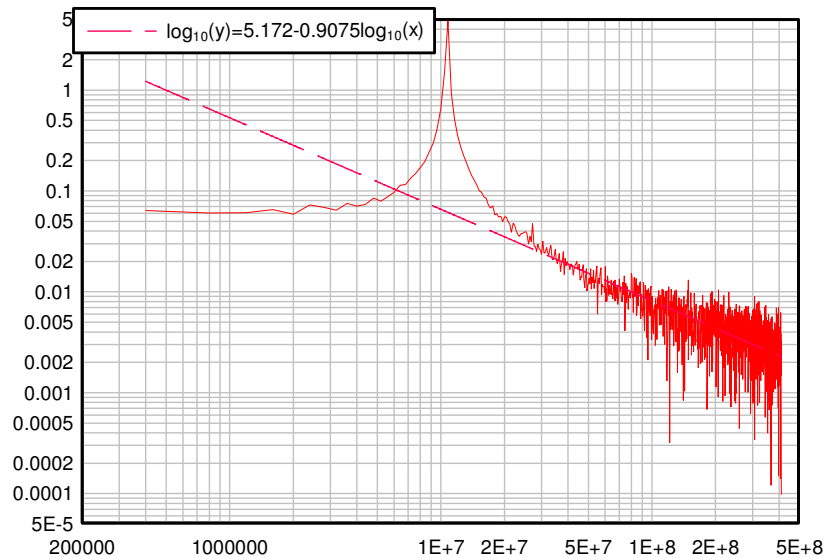
30. ábra. Mérési elrendezés tisztán ohmikus műterheléssel és reális paciennsel.

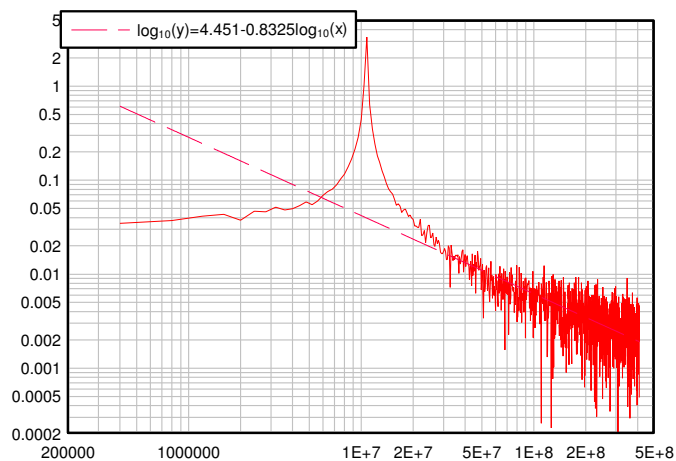
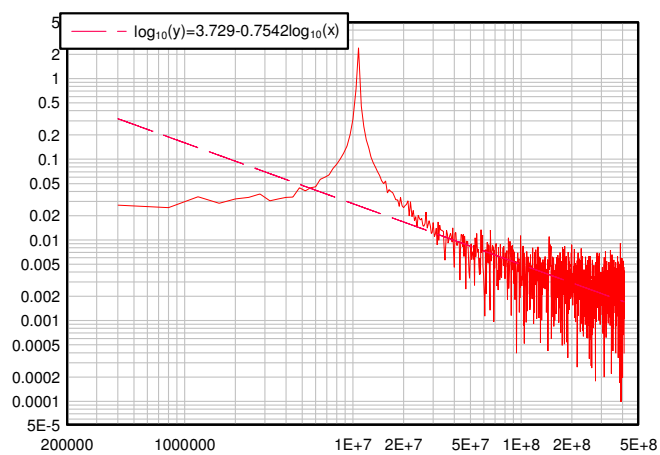
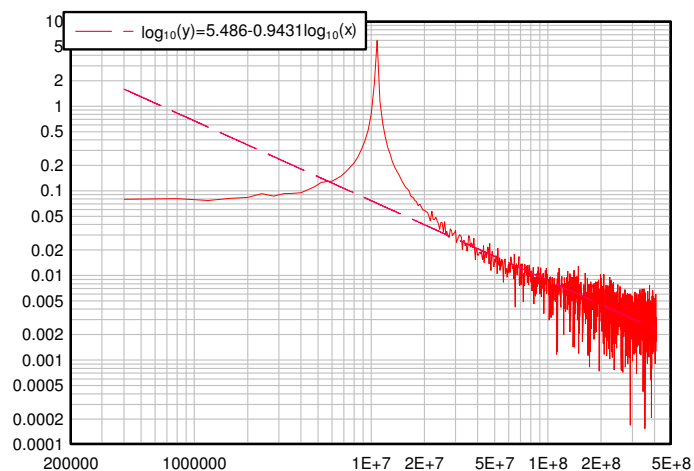
A berendezés blokkvázlatát a leíró részben megmutattuk, most a mérés szempontjából egyedül lényeges erősítő blokkvázlatát és fényképét mutatjuk csak be. (31. ábra). A mérőeszköz (6) identikus az előzőekben leírt zajmérő elrendezéssel.



31. Az RF erősítő modul blokkvázlata és fényképe

A mért eredmény egy példáját a 32. ábra mutatja. A jelentkező csúcs a primer 13.53 MHz frekvenciának felel meg.

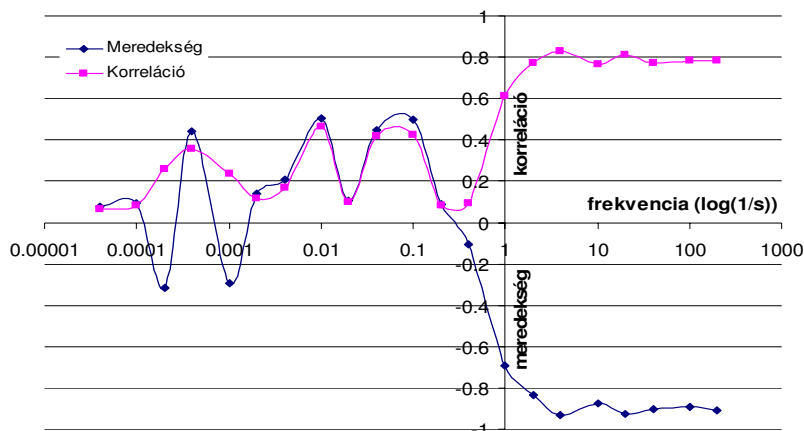




32. ábra. RF erősítő néhány mért eredménye

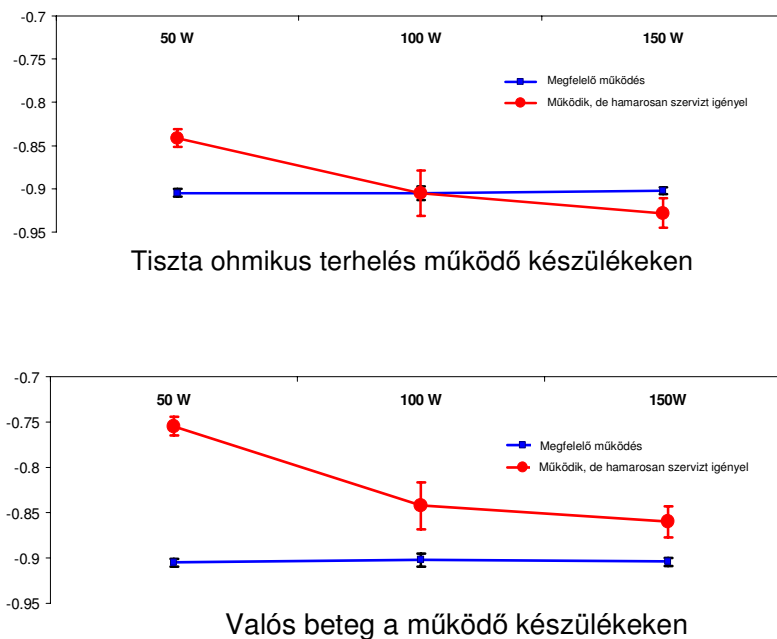
Természetesen az eredmény függ a „letapogatósi” frekvenciától is. Mivel itt 13.56 MHz-es jeleket kellett analizálni (ez a rádiófrekvenciás forrás vivő-frekvenciája), így a letapogatósi frekvencia csak ettől az értéktől kezdődhet. Ezt jól mutatja a 33. ábra. A karakterisztikus frekvencia alatt a

korreláció meredeken csökken (nincs illesztési pontosság), és a meredekség pozitív értékeken fluktuál.



33. ábra. A meredekség és a korreláció függése a mintavételi sebességtől az EHY berendezés vizsgálatában.

A különböző körülmények között 10 MHz-es letapogatással végzett méréseket összefoglalóan a 34. ábra mutatja. Minden esetben legalább öt független mérés átlagát vesszük az invariáns mennyiség pontos méréséhez.



34. ábra. A működési körülmények hatása az RF erősítő invariáns paraméterére. (az 50 W, 100 W, 150 W kimenő-teljesítmény mellett kapott értékeket a tiszta ohmos terhelés esetén, illetve ugyanolyan terhelési sorozat mellett a komplex terhelés (beteg) esetén).

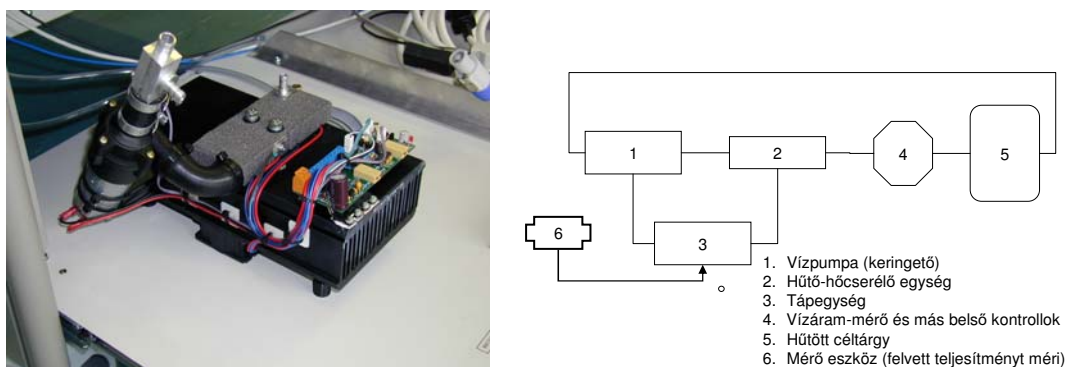
Jól látható, hogy az optimálisan működő készülék invariáns mennyisége akár műterheléssel, akár reális impedanciával mérjük, (kék vonal) gyakorlatilag minden körülmények között azonos, míg a nem optimálisé (amelyik karbantartó szervizt igényel) erősen változik a körülményekkel mind a két terhelési esetben. Ugyanakkor az is látszik, hogy a tiszta ohmikus terhelés nem ad olyan mértékű

különbséget mint a komplex impedancia, mely egyértelműen minden teljesítménynél lerontja a meredekség értékét.

5.2.3 Hűtőegység-vizsgálata

Megvizsgáltam a kezelő berendezés egyik a kezelés aktív menetétől független, elektromechanikus részegységének, a Peltier-elemes vízhűtőnek működését is. A vízhűtő berendezés sok esetben nagyon fontos technikai biztonsági funkciókat láthat el. Ebben a példában bemutatjuk működésének módszerünkkel történő vizsgálatát.

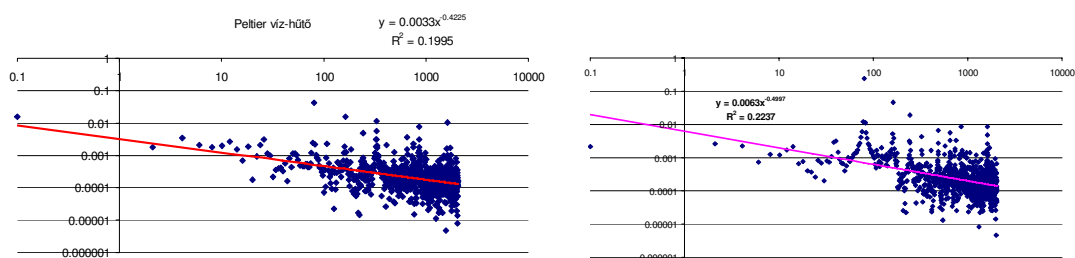
Az egység fényképét és blokkvázlatát a 35. ábra mutatja.



35. ábra. A folyadékűtő fényképe és a mérési elrendezés blokkvázlata

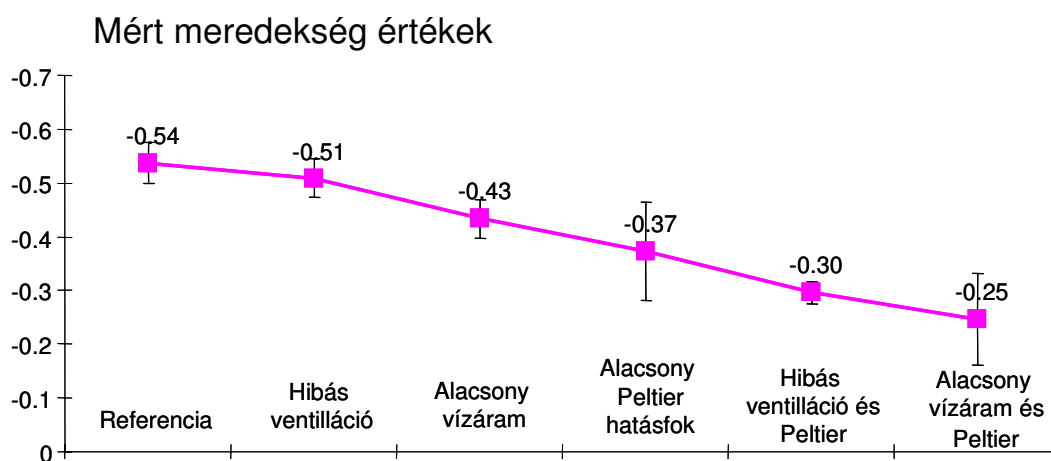
Mivel ez az egység különböző lényeges további alegységekkel rendelkezik, szimuláltam azok hibás működését úgy, hogy a teljes egység még működőképes maradt, de a hosszabbidejű helyes működése már nem biztosítható.

A mért eredmény egy-egy példáját a 36. ábra mutatja. A különböző körülmények között végzett méréseket összefoglalóan a 37. ábra mutatja.



36. ábra. A vízűtő berendezés mérésének példái. Az ábra log-log tengelyekkel van felvéve, így az illesztés direkt hatvány-függvényes. Itt nincs külön kiemelt karakterisztikus frekvencia, bár a szabályzó elektronika, a keringetés és más műszaki megoldások miatt több kiemelt frekvencia is látszik.

A különböző műszaki állapotokhoz tartozó értékek jól megkülönböztetők az ábrán: „Referencia” a kifogástalanul működő rendszert adja. „Hibás ventiláció” és „Alacsony vízárám” azonos, nem súlyos hibák felléptét mutatja, „Alacsony Peltier hatásfok” pedig más komolyabb, de a rendszer működését meg nem fatálisan rontó hiba látszik. A vegyes hibákat mutatja az utolsó két pontban felvett mérési eredmény. Minden pont legalább öt mérés reprodukciója, hibáját az ábra mutatja.



37.ábra. A hűtőgép különböző működési állapotainak mért értékei. A meredekség az illesztett invariáns.

5.2.4 Szélturbina hosszúidejű vizsgálata

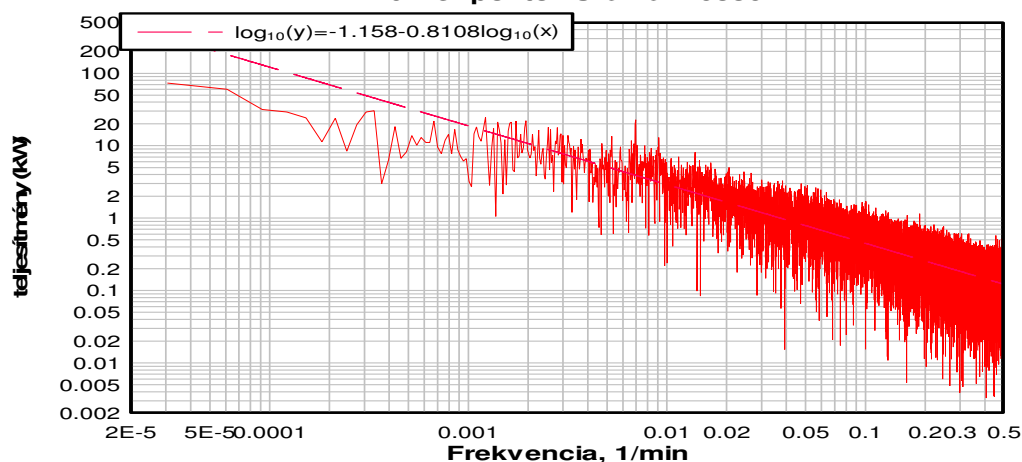
A szélturbinák nem csupán modern energiaforrások, de olyan alternatív energiatermelők, melyek megújuló energiaforráson alapszanak, gazdaságosságuk mellett környezetkímélők is. A legnagyobb hátrányuk ugyanakkor az előre nehezen megbecsülhető szélenergia jelenlét, illetve az ennek kiegyenlítését szolgáló energiatárolók megépítése és üzemeltetése. Ma már a nagyüzemi szélenergia telepeken nem lokális energiatárolásról gondoskodnak, hanem a központi elektromos hálózatra csatlakoztatják az egyes turbinákat, és ezzel jelentősen ki tudják egyenlíteni a természetes fluktuációkat. Ugyanakkor a szélturbinák karbantartása jelentős odafigyelést igényel, hiszen a hálózati rákapcsolódás fázishelyessége és lehetőleg szünetmentessége a hálózat szempontjából döntő jelentőségű. Ennek vizsgálata, a szélturbina „öregedése” és esetleges szervizigénye fontos vizsgálati cél. Ezt oldottam meg módszeremmel.

Adatként megkaptam¹² egy Magyarországon kísérleti jelleggel üzemeltetett szélturbina fél éven keresztül, tíz percenként mért kísérleti adatait feldolgozásra. Az adathalmaz több mint 32 ezer pontban vette fel a szélturbina és a környezeti hatások adatsorait. Elemzésemben a kimenő (produkált) elektromos teljesítmény fluktuációit vizsgáltam. Az adatokat $2048 = 2^{11}$ pontonként csoportosítottam, és Fourier analizáltam. A Fourier analízishez az általam írt szoftvert használtam fel. A teljes spektrum Fourier képe és annak illesztett egyenese az 38. ábrán látható.

¹² Hálás köszönet illeti Dr. Tóth László professzor urat, aki az adatokat rendelkezésemre bocsátotta, és bevezetett a szélturbinák „rejtelméi”-be.

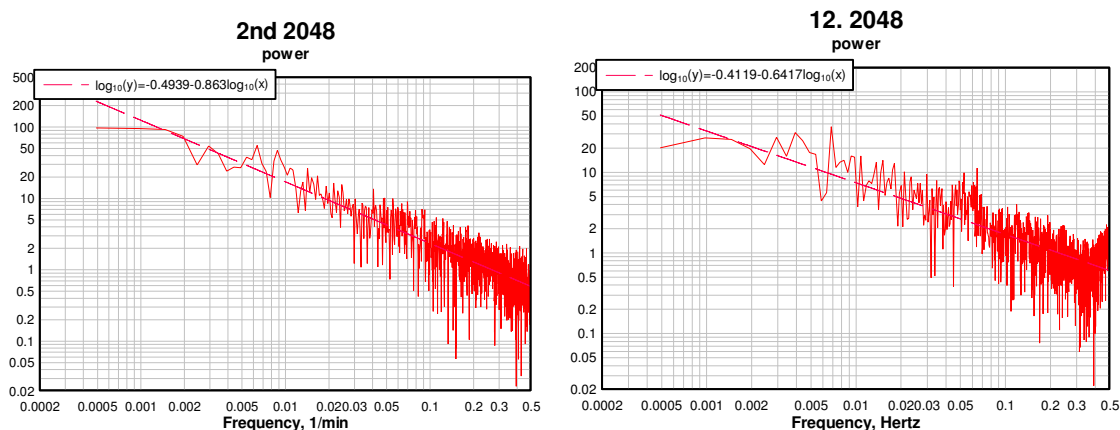
32768 pont figyelembevétele

Fourier pontok száma: 16386



38. ábra. A rendelkezésre álló teljes spektrum teljesítménysűrűség görbéje és illesztése. (A legközelebbi kettő-hatvány volt analizálható)

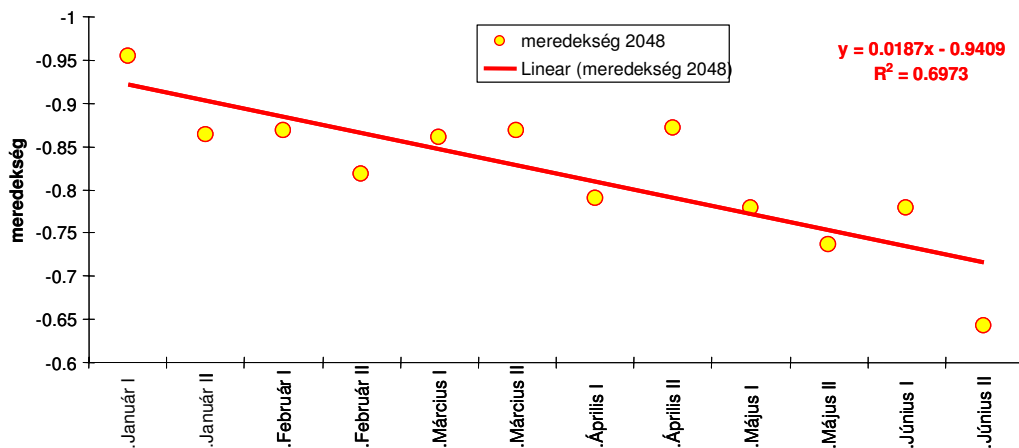
Az adatokat 2048 pontonként csoportosítottam, és így időben a rendszer fejlődését tudtam vizsgálni 12 adagban (kb. két hetes periódusok). Az egyes csoportok Fourier kiértékeléséből néhány példát mutat a 39. ábra.



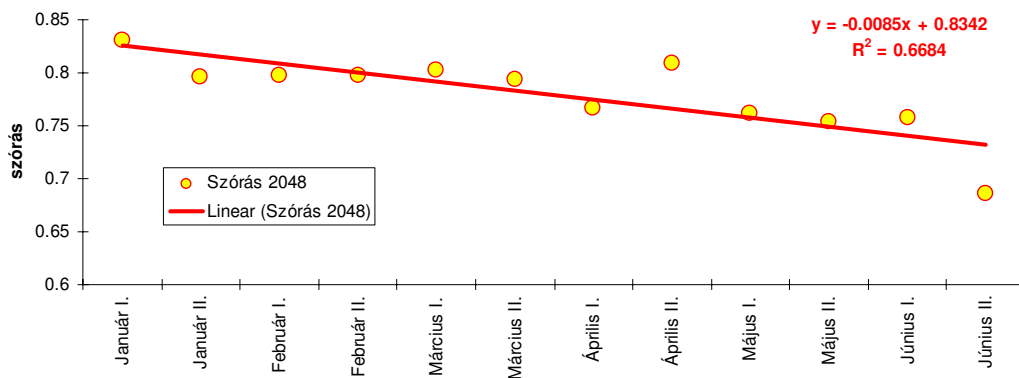
39. ábra. Január végi és a Június eleji kiértékelő spektrumok.

A kapott eredményeket ábrázolva, az adatok trendje jól mutatja a szélturbina öregedési folyamatát. A meredekség abszolút értéke a kezdeti 0,9 felettiről tendenciózusan csökken (40. ábra), és a illesztés jóságának mértéke (az illesztés Pearson-szórásának négyzete) is folyamatosan csökken (41. ábra).

Megfelelő mennyiségű tapasztalattal olyan kalibrációs görbe hozható létre, mely egyértelműen jelezni tudja a leendő hibákat és így a karbantartó szerviz igényét is. A jelenlegi adatokból következően, ez -0,65 határértéknél lejjebb van (hiszen ilyen mérési pontunk volt a fluktuációkból következően) ami kb. 9 hónapos karbantartási igénynél jobbat jelent. A tényleges igény nagy valószínűséggel kb. a -0,5-ös határnál van, vagyis 35 egység után, tehát hozzávetőlegesen (referencia-mérés nélküli megállapítás) 1.5 évenként a szél-turbinák megelőző karbantartása szükséges.

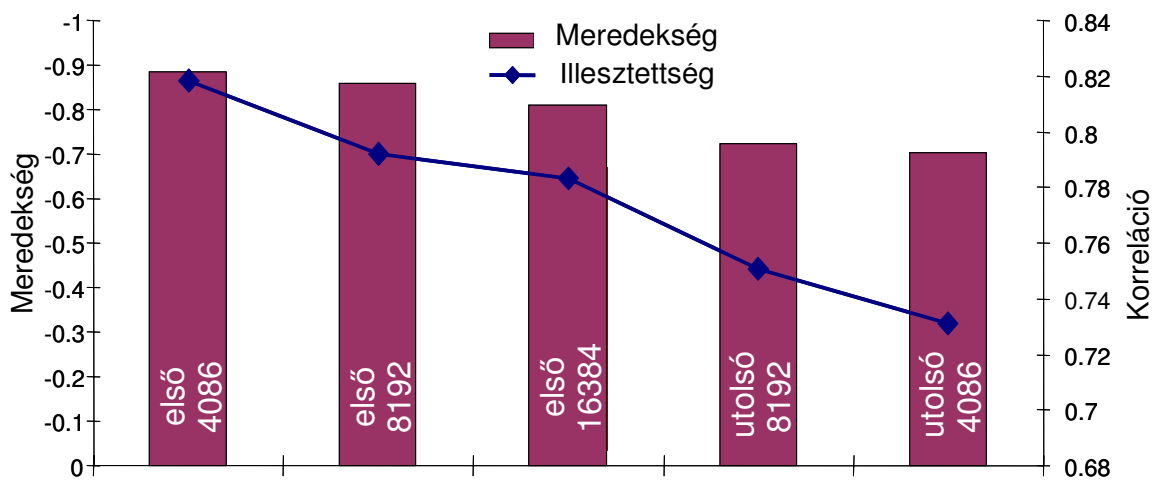


40. ábra. A szélturbina invariáns mennyiségének trendje.



41. ábra. A szórás alakulása az idővel.

Különbözőképpen csoportosítva az adatokat jól látszik (42. ábra), hogy az idő előrehaladtával az illesztett meredekség abszolút értéke csökken, míg az illesztési szórásé nő [Szász és Vincze 2005]. Ennek rendszeres vizsgálata jelenleg folyamatban van [Szász és Vincze 2006, Szász és Tóth 2006].



42. ábra. Az adtcsoport választás hatása az illesztett meredekségre és a szórásra.

5.3 Új tudományos eredmények

Eredményeim a nagybiztonságú intelligens rendszerek fejlesztésében három nagy csoportra oszthatóak:

1. Létrehoztam olyan, orvosi berendezésben is alkalmazható, sokoldalú, biztonságos és intelligens vezérlőrendszert, mely nagytekintélyű bevizsgáló intézet által is tanúsítva képes a berendezést biztonságosan kontrollálni és az egyszeri hiba feltételnek is eleget tesz. Ennek a munkának teljes egészét átfogva a rendszer szoftverjét kizárólag magam készítettem. A szoftveres vezérléshez szükséges multiprocesszoros hardver készítését megterveztem és magam irányítottam. Az általam kifejlesztett rendszer kereskedelmi forgalomban kapható orvosi berendezések alapvető része, elengedhetetlen tartozéka. A teljes vezérlő rendszer a bevizsgáló német intézet folyamatos ellenőrzése mellett tart lépést a legmodernebb elektronikai és technikai megoldásokkal és az orvosi gyakorlat változásaival, legújabb eredményeivel. A szoftver a berendezést irányító mikroprocesszorok biztonságos és SFC kapcsolati rendszerét és funkcióit intézi.

2. A kifejlesztett szoftver felhasználói felülete a megszokott ablak-rendszerű, de saját, DOS-alapra fejlesztett, operációs rendszert használók a hibák és az esetleges szoftver-vírusok elkerülésére, és az egyszeri hibafeltétel teljesítésére. Ez a rendszer nem követeli meg a Microsoft rendszereknél megszokott ki- és belépési várakozásokat, illetve nem omlik össze, ha váratlanul kikapcsol vagy meghibásodik a készülék. Ugyanakkor felhasználtam a Microsoft ablakszerű megjelenítési formáját annak érdekében, hogy a felhasználó a lehető legismertebb környezetben dolgozhasson és végezhesse a kezelést.

3. Megalkottam egy speciális vizsgálatot, mellyel a nagybiztonságú intelligens (komplex) rendszerek folyamatosan és teljes komplexitásukban ellenőrizhetőek, karbantartásuk tervezhető és működtetésük biztonságos keretek között tartható. Ez az alkotás a komplex rendszerek fluktuációs vizsgálatán alapul, és nemzetközi szabadalmi szintre fejlesztettem alkalmazását.

A találmányi gondolat azon a felismerésen alapul, hogy a zajban/fluktuációban a teljes dinamika szerepel, és lényegében minden olyan dinamikus változó megjelenik benne, amelynek kölcsönhatásai szerepet kapnak az adott (kívánt/hasznos) jel létrehozásában. A zaj/fluktuáció spektrum ezenkívül számot ad a rendszeren belüli korrelációkról is. Ez lehetővé teszi, hogy a rendszert teljes egészében vizsgáljuk, és a rendszer működését a zajspektrumából analizáljuk. A kopási, elhasználódási, fáradási, folyamatában keletkező meghibásodások (általában stohasztikus változásokon keresztül zajlanak) mindegyike a zajspektrum folyamatos változását eredményezi. Az egyes időpontokban megjelenő esetleges elhasználódásból vagy inkompatibilitásból adódó rendszeres eltérésekre ráépülnek a következő időpillanat történései, vagyis minden egyes időpillanatban meglévő eltérés az előző eltérésre „ül rá”, vagyis rekurzív módon származtatható (Markov-lánc). Ez a rekurzivitás adja a fluktuációk rendszeres változásait és így a rendszer univerzális jellemzőjévé válik. Amennyiben a rendszerjellemzők az egyes időpillanatokban csak az előző időpillanattól függték, úgy a rendszer fluktuációs viselkedése a leginkább a Brown-mozgás jellemzőivel és a Brown-zajjal írható le. Ha azonban a rendszer bonyolultsága hosszú korrelációkat is meghatároz a rendszeren belül, akkor a zaj mint rendszerjellemző más színes zajokhoz, ideális esetben az $1/f$ -viselkedéssel leírható rózsaszín zajokhoz hasonlít. A zajspektrum felvétele tehát lehetővé teszi, hogy az elhasználódási (kifáradási, stb.) folyamatokat előre jelezzük. Az, hogy mekkora időintervallum tekinthető a rekurzív folyamat „egységének” azt az adott rendszer jellemző frekvenciái határozzák meg. Célszerű, de nem szükségszerű) olyan frekvenciát felvenni alapnak, mely a rendszernek az adott vizsgálatban szereplő karakterisztikus frekvenciáival összevethető.

5.4 Tézisek

1. Tézis: Megvalósítottam és a mindennapi használatba átültem egy intelligens, nagy-megbízhatóságú vezérlőrendszert. A rendszer több mikroprocesszor együttes munkájával valósítja meg a komplex intelligens rendszerekre jellemző funkciókat. Az intelligens vezérlés az orvosi gyakorlatnak megfelelő egyszeri hiba feltételnek (SFC) tesz eleget. A rendszert funkcionálisan egy nagy német minősítő intézet bevizsgálta és megfelelőnek találta. Ez ma már az európai piacokon kereskedelmi forgalomban kapható orvosi berendezés része.

2. Tézis: Megvalósítottam és a mindennapi használatba átültem egy intelligens, nagy-megbízhatóságú, személyi számítógépen történő felhasználásra alkalmas felhasználói rendszert. Az intelligens vezérlés az orvosi gyakorlatnak megfelelő egyszeri hiba feltételnek (SFC) tesz eleget, azzal a megoldással, hogy a megkívánt ablakos megjelenítés megtartásával nem windows-rendszerű operációs rendszert alkalmaztam, hanem DOS alapon kidolgoztam a nagybiztonságú új operációs feltételeket. A rendszert funkcionálisan egy nagy német minősítő intézet bevizsgálta és megfelelőnek találta. Ez ma már az európai piacokon kereskedelmi forgalomban kapható orvosi berendezés része

3. Tézis: Az egyszeri hiba feltételnek (SFC) eleget tevő vezérlés működése során összegyűjtött tapasztalatok alapján kidolgoztam egy új rendszert, mely beépítésre került az orvosi berendezések új generációjába. A rendszer lehetővé teszi a saját operációs rendszerrel működő vezérlések és a Microsoft windows-alapú irodai számítógépek biztonságos összekapcsolását.

4. Tézis: Kidolgoztam egy rendszer-invariáns paraméter bevezetésének elméletét és megmutattam, hogy a zajok és fluktuációk megfelelő feldolgozása képes a nagybonyolultságú készülékek működésének ellenőrzésére, a szükséges javítások előrejelzésére és az élettartam becslésére.

5. Tézis: Megmutattam, hogy ez a rendszer-invariáns paraméter nem függ a keletkezés eredeti eloszlásától, és minden nagybonyolultságú nyitott rendszerre alkalmazható.

6. Tézis: Kidolgoztam a rendszer-invariáns mérésének feltételeit, és mérésekkel igazoltam a rendszer-invariáns lehetőségeit különböző nagybonyolultságú rendszereken. Ezt a kidolgozott módszert szabadalmaztattam, és jelenleg az alkalmazásokról érdeklődnek Japánból és Németországból.

7. Tézis: Kidolgozott eljárásom és találmányom az orvosi készülékek új generációjának vezérlésébe is beépül, mellyel lehetővé válik a rendszeres karbantartás biztonságos szervezése anélkül, hogy a betegek kezelését váratlanul meg kellene szakítani vagy a kezeléseket a váratlanul fellépő hiba miatt le kellene állítani.

6 KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

6.1 Az orvosi készülék továbbfejlesztése

A készülék működése és elterjedése határozott továbbfejlesztési igényeket támasztott. Ez a szoftveres és biztonságtechnikai-minőségbiztosítási oldalról a következő igények felmerülését jelentette:

1. Mivel a készülék betegek kezelését végzi, ezért meghibásodása esetleg a beteg kezelésének elmaradását és ezzel a beteg gyógyulásának veszélyeztetését jelenti. Ennek megfelelően olyan módszer kidolgozására volt szükség, mely képes a még működő készülék vizsgálatából az esetlegesen bekövetkező hibákat előre jelezni, és így a szükséges szervizek elvégezhetőek a gép tervezhetetlen leállása nélkül. Ez egyébként egy általános minőségbiztosítási és gazdaságossági kérdéshez is kapcsolódó feladat: meg kell adni a szükséges karbantartó szervizek idejét, hatókörét és effektivitását. Ez az a feladat, melyre egy új módszert dolgoztam ki, szabadalmaztattam, és nagy sikerrel alkalmaztam is a fejlesztés jelenlegi fázisaiban, és a következő generációs készülékek tervezésében is. Ezt a módszert ismertetem a következőkben.

2. A készülék egyre jobban elterjedt a világban, szervizelése komoly logisztikai és gazdasági háttérrel kívánt meg. Ennek megfelelően a szerviz központi megoldását (ami szintén biztonságtechnikai kérdés) csak akkor lehetett tartani, ha a készülék olyan moduláris rendszerűvé alakul, melyben a modulok postai szállítása után helyben egy betanított segéderő is képes a készülékben modulcserére és a készülék magától képes a cserélt modul után a megfelelő igazító bemérések és hangolások elvégzésére, a modul „felismerésére”. Ez együtt jár a készülék egyes moduljainak processzoros kontrolljával, illetve a teljes vezérlési rendszer átalakításával. Ez a rendszer terveiben már ki van dolgozva, sőt egyes részei már megvalósultak jelenleg kiértékelő fázisban vannak. Dolgozatomban azonban nem kívánom ezeket felmutatni, mert a nagymennyiségű és túlzottan elektromérnöki anyag túl meggya a dolgozat keretein.

3. A készülékbe bele kell építeni az időközben kifejlesztett új eredményeket, a szakirodalom és a megfelelő szakmai eredmények beépítését és a készülék teljes körű „up-grade”-jét. Ez a pont alapvetően orvos-biológiai feladat, melyet a mérnöki gyakorlat számára kell megfoghatóvá tenni, és azt minőségbiztosítással, szoftverrel ellátni. Ez a pont túlmegegya a jelenlegi disszertáció keretein, tehát itt nem tárgyalom.

6.2 Fluktuáció-vizsgálat a konstrukció kiegyensúlyozottságára

Ugyancsak zajvizsgálattal azt is el lehet dönteni egy adott komplex rendszernél, hogy mennyire kiegyensúlyozott konstrukcióról van szó: ha valamely dinamikai részművelet, részegység nagyobb dominanciával vesz részt az egység működésében, mint a kiegyensúlyozott, csak a szükséges redundanciát tartalmazó ideális eset, akkor a zajspektrum egyre inkább eltér a harmonikus $1/f$ -től. Ez a módszer a tervezés fázisát képes szabályozni, segíteni.

6.3 Fluktuáció-vizsgálat a nem-elhasználódási hibákra

Természetesen, azok a folyamatok, melyek előzmény nélkül, hirtelen állnak be (általában nem a normális működtetés, hanem attól eltérő, hirtelen behatások, váratlan körülmények, kezelési rendellenesség, stb. keltik ezeket), továbbra sem követhetők ilyen módon. Ugyanakkor, mivel ezek a hirtelen, előzmény nélküli hibák nagy valószínűséggel nem a rendszer normális és szabályszerű működtetéséből erednek (valamilyen az addig nem fellépő hatás keltette, vagyis olyan, mely a rendszer dinamikus működésében addig nem játszott szerepet, hatása a rendszerben nem volt értékelhető). Ez esetleg kiszűrheti az illetéktelen, képzetlen, nem hozzáértő, illegális használatot, vagy olyan használati hibákat, melyeket a felhasználó okoz szakszerűtlen eljárásával vagy a működési körülmények szakszerűtlen megváltoztatásával. Ez a módszer akár az illetéktelen behatolás (az egység műszaki tanulmányozása), vagy illetéktelen re-installáció felismerésére is lehetőséget ad, amennyiben bármilyen dinamikai paraméter megváltozik, és így nyomot hagy a zajspektrumon. Ennek megfelelően a zaj-előzmény nélküli vagy hirtelen és váratlan változások zajspektrummal kísért meghibásodás általában kezelési/környezeti/vis-majorkörülményekre utal, ezek szűrése zaj-spektrum megfigyeléssel, folyamatos kontrollal (számítógépes adatgyűjtés), szintén megoldható.

6.4 Aktív fluktuáció-vizsgálatok

A zajvizsgálatok egy másik lehetséges megoldása a külső zajok felhasználása a rendszer „átvilágítására”. Amennyiben a rendszer nem eléggé komplex, de ciklikus változókat tartalmaz, akkor fehér zaj hatására, mint szűrő viselkedhet, és speciális válasszal (mint egy próba-teszt) indikálhatja a rendszer működésének hibáit vagy megfelelőségét, [Szendrő és Vincze 2001].

6.5 Felújítások, up-grade munkák kontrollja

Nagyértékű és/vagy helyhez/épülethez/infrastruktúrához kötött berendezések cseréje helyett az a gyakorlat honosodott meg, hogy a berendezések felújításra kerülnek. Ugyan így a felújítás az elektronikai és high-tech fejlődés velejárója a modern kisebb eszközökön is, hiszen a rendkívül gyors fejlődés által diktált tempót berendezés-cserével megoldani igen költséges lenne. A felújításkor, up-grade-kor beépített modulok/alkatrészek/eszközök természetes velejárója, hogy a kicserélt résznél modernebb, esetleg jelentősen jobb tulajdonságokkal rendelkező, de mindenképpen már az előző gyártási technológiához képest más technikai technológiai módszerekkel gyártott cserealkatrész beépítését jelenti. Az ilyen cserénél határozott rizikót jelent a lecserélt alkatrész kompatibilitása, mely az esetek többségénél (mivel a formai és a közvetlen kiszolgáló felületi azonosság biztosítása természetes) nem közvetlen a kicserélésekor, hanem működés közben, esetleg már csak jelentős káresemények után válik nyilvánvalóvá a csere valamilyen szempontból problémás inkompatibilitása. Ezt a komoly problémát, mely a modern, domináns modulokból álló elektronikai eszközök fejlődésével, a távolról vezérelt szerviztechnikai lehetőségek kialakításával, a teljes modulszerű kompatibilitás igényével napjainkban egyre nő, a zajvizsgálat fenti módszereivel kontroll alatt lehet tartani és a minden szempontból megfelelő kompatibilitást biztosítani lehet. Vagyis a megfelelő zajvizsgálati invariáns mennyiség megkövetelésével az esetleges rejtett kompatibilitási hiba azonnal észlelhető, javítható. Ez különösen fontos lehet a ma már modulrendszerű kiserelésben kapható eszközök kompatibilitásának bemérésénél (pl. számítógépek és perifériák) melyek kompatibilitási problémái a rendszer teljes használhatóságát képesek megakadályozni.

6.6 Újabb kutatási lehetőségek

A továbbiakban a módszer széles körben el kívánjuk terjeszteni. Úgy gondoljuk, hogy a komplex rendszerek vizsgálatában egy egyszerű és igen jól használható eljárást sikerült kidolgozni, mely a még olyan bonyolult rendszerek vizsgálatához mint a biológiai szervezetek, illetve az ember-gép kapcsolattal előálló nagybonyolultságú rendszerek vizsgálatában is új irányokat jelenthet.

7 ÖSSZEFOGLALÁS

Értekezésemben az intelligens rendszerek minőségbiztosításával kapcsolatos problémákat jártam körül és bemutattam azokat a munkákat, melyeket ennek megoldására készítettem. Az intelligens rendszerek minőségét alapvetően meghatározza a bonyolult rendszer kézben tarthatósága, megbízhatósága, üzemben tarthatósága és gazdaságossága. Az üzembiztonság szempontjából két területet emeltem ki dolgozatomban: a nagy megbízhatóságú rendszerek és szoftvereinek elméleti háttere, és ezzel kapcsolatban egy ilyen rendszer előállítása, igazolása (verifikációja), érvényesítése (validálása) és certifikáltatása.

A tényleges megvalósítást olyan saját tervezésű szoftver-vezérelt mikroprocesszoros elektronikai eszközön mutatom be, mely teljesíti a fenti feltételeket, és tényleges alkalmazásra is kerül a legigényesebb területen, a gyógyászati felhasználásokban. A készülékvezérlő szoftvert eddig száz feletti darabszámú az EU-piacon megelégedésre működő készülékekbe építették be (EHY2000 loko-regionális rákkezelő berendezés, ECT2000 felületi rákkezelő berendezés, ICT2000 ablációs kezelő) és a legszigorúbb ellenőrzéseken ment át¹³. Ugyanakkor több éves alkalmazása során¹⁴, a szoftverbiztonsági követelményekkel probléma nem merült fel. (két további készüléktípusba építették be az általam készített szoftvereket, a PCT2000 prosztata kezelőbe és a szisztémás teljes test kezelőbe a WBH2000-be.) A berendezéseket a TÜV Product Service (München) munkatársai bevizsgálták, és megfelelőségéről bizonyítványt állítottak ki. Az eddigi működés tapasztalatait felhasználva kidolgoztam a szükséges biztonságelméleti hátteret és ennek alapján új szoftvert és a hozzá szükséges hardvert terveztem meg, mely hamarosan újabb generációjú készülékekben kerül beépítésre.

Az intelligens rendszerek minőségbiztosításának alapeleme, hogy a mérési folyamatok és kontrollok a rendszert komplexitásában, kölcsönhatásaiban tudják értékelni. Ehhez dolgoztam ki és valósítottam meg (valamint szabadalmaztattam) egy olyan kontrol lehetőségét is, mely nagy bonyolultságú, legtöbbször szoftvert is tartalmazó komplex rendszerek folyamatos ellenőrzését, minőségének garantálását képes biztosítani, azzal, hogy az aktuális állapot mérésén kívül lehetővé teszi a prediktív (előrejelző) méréseket is, és így a minőségbiztosítás egy új szakaszát jelentheti. Ezzel a módszerrel az aktuálisan keletkező hiba javítása nem a kríziskezelés szokásos módszereivel kell hogy megtörténjen (vagyis akkor mikor már a hibát észlelik, és a szokásos működéstől alapvetően eltér a rendszer), hanem még működőképes állapotában, a krízishelyzetet elkerülve, az aktuálisan működő rendszert menedzselve lehet a hibát észrevenni, kijavítani, illetve ennek hiányában felkészülni a soron következő krízishelyzetre.

Az igény az ilyen jellegű munkákkal kapcsolatban óriási. Egyre több rendszerben van szükség olyan szoftver-hardware kombinációra, mely az irányított rendszert biztonságosan és megbízhatóan vezérli és/vagy kontrollálja. Jelenleg a állat- és humán-gyógyászati alkalmazások azonnali igényei kerülnek kielégítésre, de a kidolgozott rendszer univerzalitása alkalmassá teszi bármilyen modern intelligens berendezésben történő azonnali alkalmazásra is.

¹³ Funkcionális szoftver-biztonság és elektronikai megoldásai szempontjából a legnagyobb Európai Minősítő Intézet a német TÜV Product Service (München) ellenőrizte és folyamatosan ellenőrzi a hardware-t és a szoftvert. Ezekről a vizsgálatról megfelelőségi bizonyítványt adott ki.

¹⁴ 1998 óta vannak használatban, kereskedelmi forgalomban ez az általam fejlesztett verziók és up-gradejeik.

7.1 Summary

In my present Theses I discussed the quality-assurance problems of intelligent systems in details and presented my work to meet these challenges. The quality of the intelligent systems is strongly determined by controllability, reliability, operability, and lucrativity. I worked out in details two areas of reliability: the theoretical background of the run and software of the highly reliable systems and connected to this the maintenance, verification, validation and certification of such systems.

I show the real implementation on such a self-planned software-controlled electronical device, which accomplishes the essential requirements, and applied on the most demanding area: in medical use. At the moment more than a hundred satisfactorily working devices have been equipped with this controlling software (cancer treating device, locoregional EHY2000, surface treating device ECT2000 and ablation device ICT2000) on the EU-market, and were tested by the most rigorous manner¹⁵. During the years¹⁶ of application not any problems have been reported with software risk-assessment. Two more devices are equipped with my software (prostate treating device PCT2000 and whole body systemic treatment device WBH2000, but these devices are not certified yet.) The devices were tested and continuously checked by TÜV Product Service (Münich), and issued a certification on its conformity. Using the running experience until now, I worked out the necessary theoretical background of safety, and based on this I developed a new software and hardware concept, which will be implemented in a new generation of the devices soon.

The basic issue of the quality-assurance is that the measuring processes and controls are evaluated in the complexity and interactions of the given system. For these purposes I worked out and patented such a control-possibility which is able to provide a continuous check and guarantee of the quality of the complex systems containing software tools in most of the cases. This method makes it possible to do predictions together with the registration of the actual working status, so it could be a new approach in the quality assurance of such systems. With this new method the management of the actual faults does not make a usually handled crisis process, (when the fault is detected the system is out of the usual operating regime), but it signalizes the possible problem in the normal working process avoiding the crisis situation. So the maintenance could manage the operating system preparing the situation to avoid the next crisis situation.

The demand for such works is enormous. More and more systems need such hardware-software combinations, which are reliable and safely control and check the guided system. At the moment the prompt demands of the veterinary- and human –medical-biological applications are satisfied by my method, but the universality and versatility of the worked out system makes it possible to apply in any kind of “intelligent” devices.

¹⁵ The softwer reliability and its electronic solutions were checked by the largest and most prestigious Notified Body in EU, the TÜV Product Service (Munich), who controls the devices and its connected activity continously, issuing certificates on these actual investigations.

¹⁶ My software versions and its up-grades are marketed from 1998.

8 MELLÉKLETEK

8.1 M1. Irodalmi hivatkozások

ACZÉL J. (1961): Vorlesungen über Funktionalgleichungen und Ihre Anwendungen. VEB Deutsche Verlag der Wissenschaften, Berlin

AJTONYI I. (1998): Digitális rendszerek, Miskolc, Egyetemi Kiadó

AJTONYI I. GYURICZA I. (2002): Programozható irányítóberendezések, hálózatok és rendszerek, Budapest, Műszaki Könyvkiadó,

ALTMAN D. G., MACHIN D., BRYANT T. N., GARDNER M. J. (2000): Statistics with Confidence. British Medical Journals Book, British Medical Journal, London

ARSENAULT J. E., ROBERTS J. A. (1980): Reliability and Maintainability of Electronic Systems. Computer Science Press, Potomac

ARSENAULT J. E., ROBERTS J. A. (1980): Reliability and Maintainability of Electronic Systems. Computer Science Press, Potomac

AVRAMI M. (1940): Transformation-time relations for véletlen distribution of nuklei. J. Chem. Phys., 8, 212

AVRAMI M. A. (1939): Kinetics of phase change I-III. J. Chem. Phys. 7, 1103

BAILER A. J., MALTONI C., BAILAR III. J. C., BELPOGGI F., BRAZIER J. V., SOFFRITTI M. (Eds) (1999): Uncertainty in the Risk Assessment of Environmental and Occupational Hazards. An international workshop. Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 895, The New York Academy of Sciences, New York

BAISCH E., BLEILE T., BELSCHNER R. (1995): A neural fuzzy system to evaluate software development productivity. In Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 4603-4608 p.

BALOGH A., DUKÁTI F., SALLAY L. (1980): Minőségellenőrzés és megbízhatóság. Műszaki Könyvkiadó, Budapest

BAR-LEV S. K., LAVI I., REISER B. (1992): Bayesian inference for the power law process. Annals of the Institute of Statistical Mathematics, Vol. 44:4, 623-639 p.

BAYES T. (1958): An Essay towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances. Philos. Trans. Roy. Soc. London, 53:370-418, 1763, Reprinted by Biometrika, 1958, 45:293-315 p.

BERGER J. (1985): Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis. Springer Verlag

BERKSON I. (1977): My encounter with neo-Bayesianism. Internat. Statist. Rev. 45, 1—9 p.

BESTERFIELD B. V. (1979): Quality Control. Prentice-Hall, Engelwood Cliffs

BEZDEK J. C. (1981): Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York: Plenum Press

BISHWAL J. P. N. (2002): The Bernstein-von Mises theorem and special symptotics of Bayes estimators for parabolic SPDEs. J. Austral. Math. Soc. 72:278-298 p.

BLEILE T., BAISCH E., BELSCHNER R. (1995): Neural fuzzy simulation to gain expert knowledge for the improvement of software development productivity. In Proceedings, Summer Computer Simulation Conference, Ottawa, ON, Canada, July 24-26, 317-322 p.

BORGULYA I. (1998): Neurális hálók és fuzzy rendszerek. Budapest - Pécs, Dialog Campus K.

BORN M. (1964): Natural Philosophy of cause and chance. Dover, New York

BORTOLAN G., PEDRYCZ W. (1997): Reconstruction problem and information granularity. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 5:2, 234-248 p.

BOX G. E. P., TIAO G. C. (1992): Bayesian Inference in Statistical Analysis. John Wiley&Sons, Inc. New York

BROWN J. H., WEST G. B. (2000): Scaling in Biology. Oxford University Press

- BUBENKO J., ROLLAND C., LOUCOPOULOS P., DEANTONELLIS V. (1994): Facilitating 'fuzzy to formal' requirements modeling. In Proceedings, 1st International Conference on Requirements Engineering, Colorado Springs, CO, USA, April 18-22, 154-157 p.
- CALDER III W. A. (1996): Size, Function and Life History. Dover Publications Inc. Mineola, New York
- CARLIN B. P., LOUIS T. A. (1996): Bayes and Empirical Bayes Methods for Data Analysis. Chapman and Hill, London
- CASELLA G., BERGER R. L. (1990): Statistical Inference. Belmont CA, Duxbury Press
- CHANG Y.-C. (2001): A robust tracking control for chaotic Chua's circuits via fuzzy approach. IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, Vol. 48:7, July 2001, 889-895 p.
- CHILENSKI J. J., MILLER S. P. (1994): Applicability of Modified Condition/Decision Coverage to Software Testing. Softwer Eng. J., 9:193-200 p.
- CHOI J., CHOI B. (1999): Test agent system design. Proceedings, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Seoul, Korea, August 22-25, 326-331 p.
- CLULEY I. C. (1974): Electronic Equipment Reliability. New York, Halsted Press
- COPE F. W. (1977a): Detection of phase transitions and cooperative interactions by Avrami analysis of sigmoid biological time curves for muscle, nerve, growth, firefly, and infrared phosphorescence, of green leaves, melanin and cytochrome C. *Physiol. Chem. And Phys*, 9:443-459 p.
- COPE F. W. (1977b): Solid state physical replacement of Hodgkin-Huxley theory. Phase transformation kinetics of axoal potassium conductance. *Physiol. Chem. & Physics*, 9:155-60 p.
- COPE F. W. (1980): Avrami analysis of electrical switching in hydrated melanin suggest dependence on a phase transition. *Physiol. Chem. And Phys*, 12:537-538 p.
- COX R. T. (1946): Probability, Frequency and Reasonable Expectation. *Ann. J. Phys.* 14:1-13 p.
- CRAMER H. (1946): *Mathematical Methods of Statistics*. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ
- CROSBY P. B. (1979): *Quality is Free*. McGraw Hill, New York
- DAVID A. P., STONE M., ZIDEK I. V. (1973): Marginalization paradoxes in Bayesian and structural inference. *J. Roy. Statist. Soc., Sev. B.*, 35, 189—233 p.
- DEFINETTI B. (1970): *Teoria Delle Probabilità*. Einaudi, Torino
- DEFINETTI B. (1974): Bayesianism. *Internat. Statist. Rev.* 42, 117—130 p.
- DUDA R., HART P. (1973): *Pattern Classification and Scene Analysis*. John Wiley&Sons, Inc. New York
- DUNN J. C. (1992): A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters. *J. of Cybernetics*, Vol. 3:3, 1973, p. 32-57. Reprinted in BEZDEK J. C., PAL S. K.: *Fuzzy Models for Pattern Recognition: Methods that Search for Structures in Data*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 82-101 p.
- DURAN J. W., NTAFOSS S. C. (1980): An Evaluation of Véletlen Testing. *IEEE Trans. on Software Engineering*, 10:438-444 p.
- DURAN J. W., WIORKOWSKI J. J. (1980): Qualifying Softwer Validity by Testing. *IEEE Trans. on Reliability*, 29:141-144 p.
- EBERT C. (1996): Fuzzy classification for software criticality analysis. *Expert Systems with Applications*, Vol. 11:3, 323-342 p.
- ECONOMOS A. C. (1982): Rate of aging, rate of dying and the mechanism of mortality. *Arc. Gerontol. Geriatr.* 1:3-27 p.
- EMBRETCHS P., MAEJIMA M. (2002): *Selfsimilar Processes*. Princetos Series in Applied Mathematics, Princeton University Press, Princeton, Oxford
- EURO CAT (1999) *Guideline on compliance with EN 60601-1-4*
- EZAWA K. J., SINGH M., NORTON S.W. (1996): Learning goal oriented Bayesian networks for telecommunications risk management. Proceedings, 13th Int. Conf. On Machine Learning, Bari, Italy, July 3-6, 139-147 p.
- FAIRLEY R. E. (1978): Tutorial: Static Analysis and Dynamic Testing of Computer Software. *IEEE Computer*, 11:14-23 p.
- FERGUSON T. S. (1967): *Mathematical statistics, A decision theoretic approach*. Academic Press, New York-London

- FORSYTH P. A. (2003): Introduction to computational finance. Department of Computer Science, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada
- FRANKL P. G., WEYUKER E. J. (1988): An Applicable Family of Data Flow Testing Criteria. *IEEE Trans. on Software Engineering*, 14:1483-1489 p.
- FRANKL P. G., WEYUKER E. J. (1993): A Formal Analysis of the Fault-detecting Ability of Testing Methods. *IEEE Trans. on Software Engineering*, 19:202-213 p.
- FREEDMAN D. F. (1963): On the asymptotic behavior of Bayes' estimates in the discrete case. *Annals of Math. Statist.* 34, 1386— 1403 p.
- FREEMAN J. J. (1958): Principles of Noise. John Wiley & Sons, Inc.
- FRIES R.C. (1997): Reliable Design of Medical Devices. Marcel Dekker, New York
- FRIES R.C. (2001): Handbook of Medical Device Design. Marcel Dekker, New York
- FURRER H-J. (2003): The term structure of interest rates as a véletlen field. Applications to credit risk. ETH Zurich and University of Zurich, Theses
- GABOW H., MAHESHAWARI S. N., OSTERWELL L. J. (1976): On Two Problems in the Generation of Program Test Paths. *IEEE Trans. on Software Engineering*, 2:227-231 p.
- GAD S.C. (1997): Safety Evaluation of Medical Devices. Marcel Dekker, New York
- GARDNER M. J., ALTMAN D. G. (1989): Statistics with Confidence. British Medical Journals Book, British Medical Journal, London
- GARVEN J. R. (2003): Derivation and Comparative statistics of the Black-scholes call and put option pricing equations. Baylor University, Hankamer School of Business
- GELMAN A., CARLIN J. B., STERN H. S., RUBIN D. B. (1995): Bayesian Data Analysis. Chapman and Hall, London
- GEMOETS L. (1994); KREINOVICH V., MELENDEZ H. (1994): When to stop testing software? A fuzzy interval approach. Proceedings, NAFIPS/IFIS/NASA '94, San Antonio, TX, USA, December 18-21, 182-186 p.
- GILLESPIE D. T. (1992): Markov Processes: An Introduction for Physical Scientist. Academic Press, San Diego
- GILLESPIE D. T. (1996): The mathematics of Brown motion and Johnson noise. *Am. J. Phys.* 64:3
- GLANTZ S. A. (1997): Primer of Biostatistics. McGraw Hill Health Professions Division, New York
- GNYEGYENKO B. V., BELJAJEV I. K., SZOLOVJEV A. D. (1970): A megbízhatóságelmélet matematikai módszerei. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- GOLDBERG M. S., VACCARO J. (1963): Physics of Failure in Electronics. Spartan Books, Inc.
- GORZALCZANY M. B. (2002): Computational Intelligence Systems and Applications: Neuro-Fuzzy and Fuzzy Neural Synergisms. New York: Physica-Verlag Heidelberg
- GRANDY JR. W. T., SCHICK L. H. (1991): Maximum Entropy and Bayesian Methods. Kluwer Publ
- GRAY A. R., MACDONELL S. G. (1999): Fuzzy logic for software metric models throughout the development life-cycle. Proceedings, 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society -- NAFIPS, New York, NY, USA, June 10-12, 258-262 p.
- GRAY A., MACDONELL S. (1997): Applications of Fuzzy Logic to Software Metric Models for Development Effort Estimation. Proceedings of the Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society -- NAFIPS, Syracuse, NY, USA, September 21-24, 394-399 p.
- HAHN G. J., SHAPIRO S. S. (1967): Statistical Models in Engineering. John Wiley&Sons, Inc. New York
- HALD A. (1952): Statistical Tables and Formulas. John Wiley&Sons, Inc. New York
- HALD A. (1952): Statistical Theory with Engineering Applications. John Wiley&Sons, Inc. New York
- HO D. W. C., ZHANG P.-A., XU J. (2001): Fuzzy wavelet networks for function learning. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 9:1, 200-211 p.
- HOLLAND ID. HOLLAND (1962): The reverend Thomas Bayes EPS. (1702—61). *J. Roy. Statist. Soc. (A)*, 125,451—461 p.
- HOPFNER F., KLAWONN F., KRUSE R., RUNKLER T. (1999): Fuzzy Cluster Analysis: Methods for Classification, Data Analysis and Image Recognition. New York: John Wiley&Sons, Inc.

IBRAHIM J. G., CHEN M-H., SIHNA D. (2001): Bayesian Survival Analysis. Springer Series in Statistics, Springer Verlag, New York, Berlin, Heidelberg

IBRAHIM J. G., CHEN M-H., SINHA D. (2001): Bayesian Survival Analysis. Springer Verlag, New York, Berlin, Tokyo

IEC 60601-1-4 (2000) Medical electrical equipment - Part 1-4: General requirements for safety - Collateral Standard: Programmable electrical medical systems CONSOLIDATED EDITION Edition: 1.1 International Electrotechnical Commission 07-Apr-2000

IEEE Std. 610.12 (1990): Standard Glossary of Software Engineering Terminology. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers

JACOBSEN M. (1996): Laplace and the origin of the Ornstein-Uhlenbeck-process. Bernoulli, 2:271-286 p.

JANG J.-S. R., SUN C.-T., MIZUTANI E. (1997): Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc.

JEFFREYS H. (1939): Theory of Probability. Oxford University Press

JEWELL W. S. (1985): Bayesian extensions to a basic model of software reliability. IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. 11:12, 1465-1471 p.

JOHNSON L. G. (1964): The Statistical Treatment of Fatigue Experiment. Elsevier Publishing Company, New York

JOSHNSON W. A. , MEHL P. A. (1939): Reaction kinetics in processes of nucleation and growth. Trans.Am. Inst. Min. Engrs. 135, 416

JOYCE D. T. (1994): Examining the potential of fuzzy software requirements specifications. Information Sciences, Vol. 2., 85-102 p.

JUCKETT D. A., ROSENBERG B. (1993): Comparison of the Gompertz and Weibull functions as descriptors for human mortality distributions and their intersections. Mech. Aging Dev. 69:1-31 p.

KANDEL A., LEE S. C. (1979): Fuzzy Switching and Automata: Theory and Applications. New York: Crane, Russak & Company, Inc.

KAPUR K. C., LAMBERSON L. R. (1977): Reliability in Engineering Design. John Wiley&Sons, Inc. New York

KARATZAS I., SHREVE S. E. (1991): Brownian Motion and Stochastic Calculus: Springer Verlag, New York. Second Edition

KASHYAP R. L. (1977): A Bayesian Comparison of Different Classes of Dynamic Models Using Empirical Data. IEEE Trans. Automat. Control, AC-22:715-727 p.

KECECIOGLU D. (1993-94): Reliability & Life Testing Handbook. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, Vols. 1-2.

KECSKÉS L. (2002): Egy ölnyi végtelen. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002

KELLER J. M., GRAY M. R., GIVENS J. A. JR. (1992): A Fuzzy K-Nearest Neighbor Algorithm. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 15:4, Jul/Aug 1985, 580-585 p. Reprinted in BEZDEK J. C., PAL S. K.: Fuzzy Models for Pattern Recognition: Methods that Search for Structures in Data, Piscataway, NJ: IEEE Press, 258-263 p.

KELLER J. M., HUNT D. J. (1985): Incorporating fuzzy membership functions into the Perceptron algorithm. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 7:6, 693-699 p.

KING P. H., FRIES R.C. (2003): Design of Biomedical Devices and Systems. Marcel Dekker, New York

KLIR G. J., YUAN B. (1995): Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR

KÓCZY TL, TIKK D. (2000) Fuzzy rendszerek, Budapest, Typotex Kiadó

KOESTLER A. (2002) : A vak véletlen gyökerei. Európa Könyvkiadó, Budapest

KOLMOGOROV N. N. (1937): On the statistical theory of the crystallization of metals. Bull. Acad. Sci. UssR, Math.Ser. 1, 355

KYPARISIS J., SINGPURWALLA N. D. (1984): Bayesian inference for the Weibull process with applications to assessing software reliability growth and predicting software failures. Proceedings, Computer Science and Statistics: The 16th Symposium on the Interface, Atlanta, GA, USA, 57-64 p.

LASKI J. W., KOREL B. (1983): A Data Flow Oriented Program Testing Strategy, IEEE Trans. on Software Engineering, 9:347-354 p.

- LAST M., MAIMON O., KANDEL A. (2001): Knowledge Discovery in Mortality Records: An Info-Fuzzy Approach. Medical Data Mining and Knowledge Discovery, CIOS K. (Ed.): Studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 60, Springer-Verlag, 211-235 p.
- LAWLESS J. F. (1982): Statistical Models and Methods for Lifetime Data. John Wiley&Sons, Inc. New York
- LEE S. C., LEE E. T. (1974): Fuzzy sets and neural networks. Journal of Cybernetics, Vol. 4:2, 83-103 p.
- LEE S. C., LEE E. T. (1975): Fuzzy neural networks. Mathematical Biosciences, Vol. 23, 151-177 p.
- LEEMIS L. M. (1995): Reliability – Probabilistic Models and Statistical Methods. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey
- LEVESON N. G. (1995): Safeware, System Safety and Computers. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, USA
- LI W. (1989): Spatial 1/f Spectra in Open Dynamical Systems. Europhys. Lett. 10:395-400 p.
- LIANG Q., MENDEL J. M. (2000): Interval type-2 fuzzy logic systems: theory and design. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 8:5, 535-550 p.
- Life Data Analysis Reference(2000), Reliasoft Publishing, Tucson, AR, USA
- LINDLEY D. V. (1960): The use of prior probability distributions in statistical inference and decision. Proc. 4th Berkeley Symp. on Math. Statist. and Prob. 1, 453-468 p.
- LINDLEY D. V. (1975): The future of statistics — a Bayesian 21st century. Advances in Appl. Probability, 106—115 p.
- LINDLEY D. V. (1978): The Bayesian Approach. Scand. J. Statist, 5, 1—26 p. (E cikk 3. pontjának címe: Marginalization paradoxes)
- LITTLEWOOD B., VERRALL J. L. (1974): A Bayesian reliability model with a stochastically monotone failure rate. IEEE Transactions on Reliability, Vol. 23:2, 108-114 p.
- LLOYD D. K., LIPOW M. (1962): Reliability: Management, Methods and Mathematics. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey
- MACKAY D. J. C. (2003): Information Theory, Inference and Learning Algorithms. Cambridge University Press
- Magyar Szabvány (1992), MSZ IEC 50(191)
- MAIMON O., LAST M. (2000): Knowledge Discovery and Data Mining: The Info-Fuzzy Network(IFN) Methodology. New York: Kluwer Academic Pub.
- MALKEIL B. (1999): A véletlen walk down Wall Street. W.W. Norton, New York
- MAMDANI E. H. (1974): Application of fuzzy algorithm for control of simple dynamic plant. Proceedings of the Institute of Electrical Engineers, Vol. 121, 1585-1588 p.
- MANDELBROT B. B. (1977): Fractals form, chance, and dimension. San Francisco, CA: W. H. Freeman and Company
- MANDELBROT B. B. (1982): The Fractal Geometry of Nature. New York, NY: W. H. Freeman and Company
- MANDELBROT B. B. (1999): Multi-fractals and 1/f Noise, Wild Self-affinity in Physics. Springer, New York, Berlin
- MANDELBROT B. B. (2001): Gaussian Self-affinity and Fractals, Globality, The Earth, 1/f Noise and R/S. Springer, New York, Berlin
- MANDELBROT B. B. (2002): Gaussian Self-affinity and Fractals. Springer Verlag, New York, Berlin, Heidelberg
- MANDELBROT B. B., VAN NESS J. W. (1968): Fractional brownian motions, fractional noises and applications. SIAM Review, 10:422-437 p.
- MANN N. R., SCHAFER R. E., SINGPURWALLA N. D. (1974): Method for Statistical Analysis of Reliability and Life Data. John Wiley&Sons, Inc. New York
- MAR'YAN M. I., SZÁSZ A. (2000): Self-organizing processes in non-crystalline materials: from lifeless to living objects. OncoTherm Publishing, Neubeuern-Budapest
- MEEKER W. Q., ESCOBAR L. A. (1998): Statistical Methods for Reliability Data. John Wiley&Sons, Inc. New York
- MENDEL J. M., JORDAN R. (2002): Type-2 fuzzy sets made simple. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 10:2, 117-127 p.
- MEYER D. L., COLLIER R. O. (1970): Bayesian Statistics. Peacock Publishers

- MONTGOMERY D. C. (1991): Design and Analysis of Experiments. John Wiley&Sons, Inc. New York
- NELSON W. (1982): Applied Life Data Analysis. John Wiley&Sons, Inc. New York
- NEUFELDER A. M. (1993): Ensuring Software Reliability. Marcel Dekker, Inc. New York
- NEUMANN J., MORGENSTERN O. (1944): Theory of games and economic behavior. Princeton Univ. Press, Princeton
- NIGAM, N. C. (1983): Introduction to Véletlen Vibrations. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England
- NTAFOS S. C. (1984): On Required Element Testing. IEEE Trans. On Software Engineering, 14:795-803 p.
- OCKHAM W. (1280-1349), philosopher, Principle of simplicity
- OFFUT A. J., PAN J. (1996): Detecting Equivalent Mutants and the Feasible Path Problem. In: Proc. COMPASS'96: 11th Annual Conference on Computer Assurance, Gaithersburg, MD, USA, June 17-21, 224-236
- PAL S. K., MITRA S. (1992): Multilayer perceptron, fuzzy sets, and classification. IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 3:5, 683-697 p.
- PAL S. K., MITRA S. (1999): Neuro-Fuzzy Pattern Recognition Methods in Soft Computing. New York: John Wiley&Sons, Inc.
- PEDRYCZ W., BEZDEK J. C., HATHAWAY R. J., ROGERS G. W. (1998): Two nonparametric models for fusing heterogeneous fuzzy data. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 6:3, 411-425 p.
- PEDRYCZ W., SMITH M. H. (1999): Granular Correlation Analysis in Data Mining. Proceedings of the 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society-NAFIPS, 715-719 p.
- PENROSE R. (1989): The Emperor's New Mind. Oxford University Press
- PETERS J. F., PEDRYCZ W. (2000): Software Engineering: An Engineering Approach. John Wiley&Sons, New York
- PHAM L., PHAM H. (2000): Software reliability models with time-dependent hazard function based on Bayesian approach. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part A: Systems and Humans, Vol. 30:1, 25-35 p.
- PHAM L., PHAM H. (2001): A Bayesian predictive software reliability model with pseudo-failures. IEEE Transactions on Systems, man & Cybernetics – Part A: Systems and Humans, Vol. 31:3, 233-238 p.
- PIANTANELLI L. (1986): A mathematical model of survival kinetics. I. Theoretical basis. Arc. Gerontol. Geriatr. 5:107-118 p.
- PREUSS W., BLEYER A., PREUSS H. (1986): Disztribúcióelmélet műszaki alkalmazásokkal. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- PYZDEK T. (2003): The Six-sigma Handbook. McGraw-Hill, New York
- QIAO H., TSOKOS C. P. (1995): Estimation of the three parameter Weibull probability distribution. Mathematics and Computers in Simulation, Vol. 39, 173-185 p.
- RAJAPAKSE A., FURUTA K., KONDO S. (2002): Evolutionary learning of fuzzy controllers and their adaptation through perpetual evolution. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 10:3, 309-321 p.
- RAPPS S., WEYUKER E. J. (2002): Selecting Software Test Data Using Data Flow Information. IEEE Trans. on Fuzzy Systems, 10:309-321 p.
- REIF F. (1965): Fundamentals of Thermal and Statistical Physics. McGraw Hill, New York
- RICKLEFS R. E., SCHEUERLEIN A. (2002): Biological implications of the Weibull and Gompertz models of aging. J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci. 57:B69-76
- ROBINSON F. N. H. (1974): Noise and Fluctuations. Clarendon Press, Oxford
- RUSSEL B. (1948): Human Knowledge: Its scope and limits. London, George Allen and Unwin
- RUSSO M. (1998): FuGeNeSys - A fuzzy genetic neural system for fuzzy modeling. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 6:3, 373-388 p.
- SÁNTÁNÉ-TÓTH E. (2000): Mesterséges intelligencia alapú döntéstámogatás. Egészségügyi informatika, Medicina Könyvkiadó Rt. Budapest, 11. fejezet, 366 p.
- SAVAGE L. (1972): The foundations of statistics. Dover, New York
- SCHULMEYER G. G., MCMANUS J. I. (Eds) (1997): Handbook of Software Quality Assurance. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ 07458

- SHLESINGER M. F. (1987): Fractal time and $1/f$ Noise in Complex Systems. *Ann. New York Acad. Sci.* 504:214-225 p.
- SHLESINGER M. F., WEST B. J. (1988): $1/f$ versus $1/f^{\alpha}$ Noise. In: STANLEY H. E., OSTROWSKY N. (Eds.): *Véletlen Fluctuations and Pattern Growth: Experiments and Models. NATO Scientific Series, Applied Sciences, E157: 320-324, Kluwer Acad. Publishers, Dordrecht, Boston, London*
- SIMONYI A. (1996): Machines and Thought. in MILLICAN P. J. R., CLARK A., (Eds.): *The legacy of Alan Turing. Vol.1. Clarendon Press, Oxford, 297 p.*
- SINGER D. (1994a): A pontatlanság logikája: A fuzzy módszerek elméletéről és eredményeiről. I.rész, *Fizikai Szemle*, 44:385-393 p.
- SINGER D. (1994b): A pontatlanság logikája a gyakorlatban: A fuzzy módszerek elméletéről és eredményeiről. II. rész, *Fizikai Szemle*, 44:466-472
- SKILLING J. (1989): *Maximum Entropy and Bayesian Methods, Kluwer Publ.*
- STIGLER S. M. (1986): Laplace's 1774 Memoir on Inverse Probability. *Stat. Sci.* 1:359-378 p.
- STONE M., SPRINGER B. G. F. (1965): A paradox involving quasi prior distributions. *Biometrika*, 52, 623—627 p.
- SWINSCOW T. D. W., CAMPBELL M. J. (2002): *Statistics at square one. British Medical Journals Book, British Medical Journal, Bristol*
- SZÁSZ A., SZÁSZ N., SZÁSZ O. (2003b): Electro-hyperthermia: principles and practice. 14th International Congress on Anti-Cancer Treatment, Session II: Regional Tumor Treatment, Paris, Conference Center
- SZÁSZ A., SZÁSZ O. (2005a): Hyperthermia quality assurance control. 22nd Annual Meeting of the European Society for Hyperthermic Oncology, June 8-11, Graz, Abstract book 81 p.
- SZÁSZ A., SZÁSZ O. (2005b): What is against and how to protect oncological hyperthermia? XXVII International Clinical Hyperthermia Society Annual Meeting, Florence, October 27-28, Abstract book 32-33 p.
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2001a): Hipertermia az onkológiában: onkotermia. *Medicus Anonymus* 2001/11, 32-34 p.
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2001b): Electrohyperthermia: a new paradigm in cancer therapy. *Deutsche Zeitschriften für Onkologie*, 33, 1-9 p.
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2001c): Hyperthermic Radiology. Why to combine? *Strahlentherapie und Onkologie, Journal of Radiation Oncology-Biology-Physics*, 177, P10,25, 110 p.
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2002a): Onkotermia: fizika a rák ellen. *Fizikai Szemle* 2002/2, 45-52 p.
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2002c): Onkotermia: lehetőségek és eredmények. A Magyar Klinikai Onkológiai Társaság II. Kongresszusa, Budapest, november 21-23., 46. évf./1. szupplementum, 43 p.
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2002d): Az onkotermia gyakorlata és újabb eredményei. Magyar Onkológusok Társasága Tudományos Konferenciája Kecskemét, október 4-5., Lokális és teljestest hyperthermia szekció/1.
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2002e): OncoThermic Radiology. Slovenian-Croatian-Hungarian Radiological Symposium, Maribor, szeptember 19-20., abstract book 54 p.
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2003d): Heat of Field? 7. Deutscher Kongress für Komplementärmedizin, Wilhelmshaven
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2003e): Thoughts and facts on hyperthermia for oncology. *OncoTherm kiadvány*

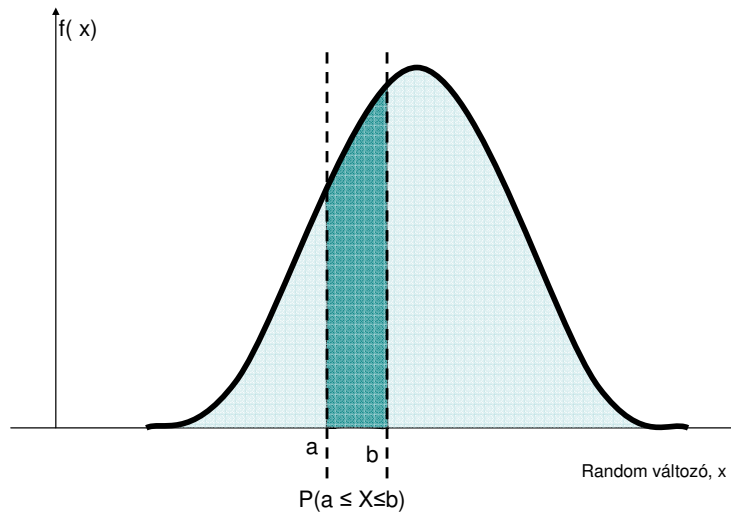
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2003f): Hipertermia az Onkológia, Radiológia és Tumorsebészet számára (Onkotermia). Szent István Egyetem, Gödöllő, OncoTherm kiadvány
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2003g): Hyperthermie in der Onkologie mit einem historischen Überblick. Deutsche Zeitschrift für Onkologie, 35, 140-154 p.
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2003h): Hyperthermia in oncology: Heat of Field? 6th International Congress of the European Bioelectromagnetics Association, P-110
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2003i): Electro-hyperthermia: a new paradigm in cancer therapy (OncoThermia). Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Hyperthermie, OncoTherm kiadvány
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2004): Hyperthermie in der Onkologie: eine aktuell beforschte Behandlungsmethode. Integrative Onkologie, Deutsche Zeitschrift für Integrative Onkologie, 1/2004, 19-27 p.
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2004): Temperature or something else? The Kadota Fund International Forum, Osaka, Yamabuta, Japan, paper number 23
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2004a): Electro-hyperthermia: a new paradigm in cancer therapy (OncoThermia). The 9th International Congress on Hyperthermic Oncology, USA, OncoTherm kiadvány
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2004c): Oncothermia: change of paradigm. The 26th congress of International Clinical Hyperthermia Society, China, paper number HP-01
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N. (2005): Physical background and technical realizations of hyperthermia. In: BARONZIO G. F., HAGER E. D.: Hyperthermia in cancer treatment: A primer. Springer, Landes Bioscience/Eurekah.com, Chapter 3
- SZÁSZ A., SZÁSZ O., SZÁSZ N., VINCZE Gy. (2003c): An Energy Analysis of Extracellular Hyperthermia. Electromagnetic Biology and Medicine, 22:2-3, 103-115 p.
- SZÁSZ N., SZÁSZ O., SZÁSZ A. (2002f): Electro-hyperthermia: preventing heat shock protein production during hyperthermia. 20th Annual Meeting of the European Society for Hyperthermic Oncology, Bergen, Norway, May 23-25, abstract book 20-21 p.
- SZÁSZ N., SZÁSZ O., SZÁSZ A. (2002g): Using RF hyperthermia to avoid stress response. 25th BEMS Annual Meeting, Quebec City, Canada, June 23-27, P-28
- SZÁSZ N., SZÁSZ O., VINCZE Gy. (2002h): Optimal Energy-coupling to Heat Deep-seated Lesions in a Body. 24th BEMS Annual Meeting, Quebec City, Canada, June 23-27, presentation number: 7-8
- SZÁSZ O. (2000a): Nagymegbízhatóságú általános vezérlőrendszerek. Tavasz szél, Fiatal Magyar Tudományos Kutatók és Doktoranduszok IV. Világtalálkozója, Gödöllő
- SZÁSZ O. (2000b): Az elektro-hipertermia berendezések műszaki paraméterei, biztonsága. Szent István Egyetem, Gödöllő, augusztus 24., IIC szeminárium/2.
- SZÁSZ O. (2000c): Az elektro-hipertermia szoftver biztonsága. Szent István Egyetem, Gödöllő, augusztus 24., IIC szeminárium/9.
- SZÁSZ O. (2001a): OncoTherm Software, EHY, ECT, PCT, WBH. User's Conference, Essen, május 5.
- SZÁSZ O. (2001b): Quality Assurance of the Oncothermia. Medica, Düsseldorf, november 23.
- SZÁSZ O. (2002): Minőségbiztosítás és szoftverfejlesztés az onkotermiában. Szent István Egyetemi napok, Az elektro-hipertermia újabb eredményei és az elektromágneses biohatások szeminárium/11.
- SZÁSZ O. (2005): Quality examination by using noise dynamical methods. IASTED Biomedical Engineering Conference, February 16-18, paper number: 458-198

- SZASZ O., SZASZ A., SZASZ N. (2003j): Nagyfeszültségű, pormentes, kompakt hangolható kondenzátor, P0300361
- SZASZ O., SZASZ A., SZASZ N. (2003k): Kis dielektromos állandójú heterogenitások túlmelegítésének elkerülése kapacitív kicsatolású elektromágneses melegítés esetén P0300362
- SZASZ O., SZASZ A., SZASZ N. (2003l): Felületi tangenciális áramok elkerülése kapacitív kicsatolású elektromágneses melegítés esetén, P 0300360
- SZASZ O., SZASZ A., SZASZ N. (2004d): Ablációs/hyperthermiás tű mágneses indukciós fűtésen alapuló ablációs eljárás, valamint ilyen tűt tartalmazó ablációs rendszer és tűkészlet, P 0401772
- SZASZ O., SZASZ A., SZASZ N. (2004e): Csökkentett zajú optikai kapcsoló és eljárás optikai kapcsoló zajszűrésére, P 0401771
- SZASZ O., SZASZ A., SZASZ N. (2004f): Hipertermiás kezelő berendezés asztma kezelésére, P0402572
- SZASZ O., SZASZ N. (2004): Berendezés és eljárás rendszer zajának mérésére tervezési folyamatok, valamint elhasználódás- és minőségvizsgálatok során, P 0402087
- SZÁSZ O., SZÁSZ N., SZÁSZ A. (2001d): Electro-hyperthermia in Oncology. 2nd Cancer Symposium and World Congress on Surgical Oncology, Naples, September 19-22.
- SZÁSZ O., SZÁSZ N., SZÁSZ A. (2002b): OncoThermic Radiology (Onkotermiás radiológia). Magyar Radiológia 76:4, absztrakt, 189 p.
- SZÁSZ O., SZÁSZ N., SZÁSZ A. (2002i): Electro-hyperthermia in Oncology. Proceedings of 3rd Cancer Symposium and World Congress on Surgical Oncology, Naples, September 19-22
- SZÁSZ O., TÓTH L., VINCZE GY. (2006): Self-similarity in maintenance prediction for wind-turbines (paper in preparation)
- SZÁSZ O., VINCZE Gy. (2005): Function diagnostics of complex systems by fluctuations. Submitted to Journal of Applied Physics
- SZÁSZ O., VINCZE Gy., SZENDRŐ P. (2003a): Meghibásodás számítása nagy-megbízhatóságú vezérlő rendszereknél. MTA Agrárműszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2003
- SZÁSZ O., VINCZE GY., SZENDRŐ P. (2006): Self-similarity for quality evaluation (paper in preparation)
- SZÁSZ O., VINCZE GY. (2005): Function diagnostics of complex systems by fluctuations, Submitted to Information Systems Control Journal
- SZÉKELY J. G. (2004): Paradoxonok a véletlen matematikájában. Typotex Kiadó
- SZEMES G. (1996) Bevezetés a fuzzy logika irányítástechnikai alkalmazásába, Paks, Főiskolai jegyzet,
- SZENDRŐ P., VINCZE GY., SZÁSZ A. (2001): Bio-response to White Noise Excitation. Electro- and Magnetobiology, 20:215-229 p.
- SZIRAY J., MAJZIK I., BENYÓ B, PATRICZA A., GÓTH J., KALOTAI L., HECKENAST T., NAGY R. (2000): Szoftverrendszerek minőségbiztosítása és verifikálása. Széchenyi István Főiskolai Jegyzet, Győr
- TAKAGI H. (1990): Fusion technology of fuzzy theory and neural networks – survey and future directions. Proceedings, International Conference on Fuzzy Logic and Neural Networks, Iizuka, Japan, 13-26 p.
- TAKAGI T., SUGENO M. (1985): Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 15, 116-132 p.
- TRAUTMAN K. A. (Ed) (1997): The FDA and Worldwide Quality System Requirements Guidebook for Medical Devices. ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, USA
- TURING A. (1950): Computing Machinery and Intelligence. Mind, 59:236
- TYURIN Y., YKOVLEV A., SHI J., BASS L. (1995): Testing a model of aging in animal experiments. Biometrics, 51:363-372 p.

- UHLENBECK G., ORNSTEIN L. (1930): On the theory of Brownian motion. *Phys. Rev.* 36:823-841 p.
- VAN DER ZIEL A. (1950): On the noise spectra of semi-conductor noise and of flicker effect. *Physica* 16:359-375 p.
- VANFLETEREN J. R., DE VREESE A., BRAECKMAN B. P. (1998): Two-parameter logistic and Weibull equations provide better fits to survival data from isogenic populations of *Caenorhabditis elegans* in axenic culture than does the Gompertz model. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 53:B393-403
- VICSEK T. (2001): *Fluctuations and Scaling in Biology*. Oxford University Press
- VOSS A. F. (1986): Characterization and measurement of véletlen fractals. *Physica Scripta* T13:27-32 p.
- VOSS R. F. (1989): Véletlen Fractals: Self-affinity in Noise, Music, Mountains and Clouds. *Physica D*, 38:362-371 p.
- VOSS R. F. (1993): 1/f Noise and Fractals in DNA-base Sequences. In: CRILLY A. J., EARNSHAW R. A., JONES H., (Eds.): *Application of Fractals and Chaos, The Shape of Things*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 7-20 p.
- WANG L.-X. (1997): *A Course in Fuzzy Systems and Control*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR
- WEIBULL W. (1949): A Statistical Representation of Fatigue Failure in Solids. *Trans. On the Royal Inst. Techn.* No. 27., Stockholm
- WEIBULL W. (1951): A Statistical Distribution Function of Wide Applicability. *J. of Applied Mechanics, Inst. Techn.* 18:293-297 p.
- WILSON D. L. (1994): The analysis of survival (mortality), data: fitting Gompertz, Weibull and logistic functions. *Mech. Aging Dev.* 74:15-33 p.
- WINDHAM M. P. (1981): Cluster Validity for Fuzzy Clustering Algorithms. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 5:2, 177-185 p.
- XIE X. L., BENI G. (1992): A Validity Measure for Fuzzy Clustering. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 13:8, 841-847 p. Reprinted in BEZDEK J. C., PAL S. K.: *Fuzzy Models for Pattern Recognition: Methods that Search for Structures in Data*, Piscataway, NJ: IEEE Press, 219-225 p.
- YUAN X., KHOSHGOFTAAR T. M., ALLEN E. B., GANESAN K. (2000): An application of fuzzy clustering to software quality prediction. *Proceedings of the 3rd IEEE Symposium on Application-Specific Software Engineering Technology*, 85-90 p.
- VINCZE GY., SZÁSZ N., SZENDRŐ P., SZÁSZ O., SZÁSZ A. (2003a): Stimulation of seeds by electromagnetic fields. 25th Annual Meeting of Bioelectromagnetics Society, Maui, June 22-27, P-152-B
- VINCZE GY., SZÁSZ N., SZENDRŐ P., SZÁSZ O., SZÁSZ A. (2003b): Stimulation of seeds by magnetic fields. 25th Annual Meeting of Bioelectromagnetics Society, Maui, June 22-27, P-153-C
- ZADEH L. A. (1996a): Fuzzy sets and information granularity. *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications*. GUPTA M. M., RAGADE R. K., YAGER R. R. Eds. New York: North-Holland, 1979. Reprinted in *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems: Selected Papers by LOTFI A. Z., KLIR G. J., YUAN B.* Eds. River Edge, NJ: World Scientific Pub. Co.
- ZADEH L. A. (1996b): Fuzzy logic = computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 4:2, 103-111 p.
- ZADEH L. A. (1997): Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 90, 111-127 p.
- ZELLNER A. (1984): *Basic Issues in Econometrics*. Chicago Press

8.2 M2. A klasszikus statisztikai vizsgálatok koncepciója

Egy tipikus valószínűség-sűrűségfüggvényt (*pdf*) mutat a 43. ábra.:



43. ábra. A valószínűség-sűrűség függvény (*pdf*) értelmezése.

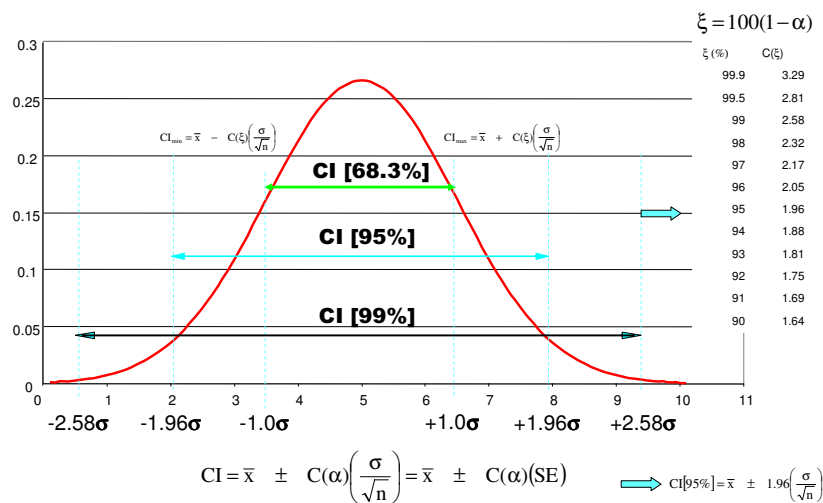
Ezzel az $[a, b]$ intervallumba eső esemény valószínűsége:

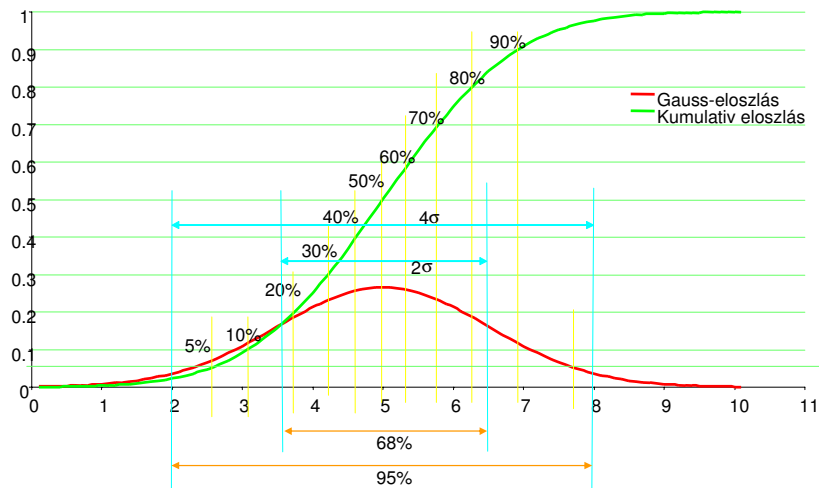
$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(\chi) d\chi \geq 0 \quad (147)$$

Az adott χ ideig tartó megfigyelés alatt bekövetkező esemény valószínűsége (kumulatív eloszlás függvény, *cdf*) pedig:

$$F(\chi) = P(X \leq \chi) = \int_{0, -\infty}^{\chi} f(s) ds \quad (148)$$

Amit grafikusán a 44. ábra mutat.





44. ábra. A normál (Gauss) eloszlás paraméterei és kumulatív függvénye (cdf) és értelmezése.

Tehát a cdf és pdf függvények egymásból előállíthatóak:

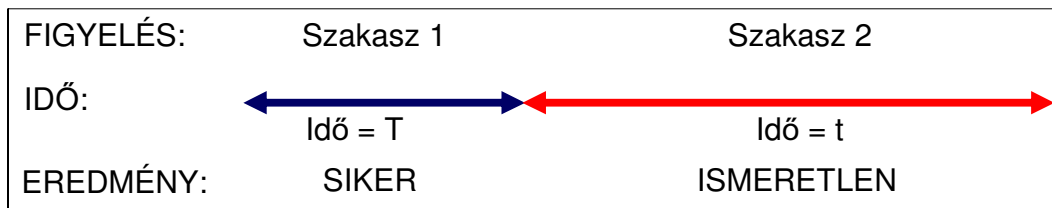
$$F(\chi) = \int_{-\infty}^{\chi} f(s) ds \quad f(\chi) = \frac{d(F(\chi))}{d\chi} \quad (149)$$

A normálási feltétel (a sűrűség-függvény alatti teljes terület egy, vagyis az esemény bekövetkezése végtelen hosszú megfigyelési idő alatt biztos):

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(\chi) d\chi = 1 \quad (150)$$

Ha több eseményt építünk egymásra, feltételes valószínűséget használunk. Ha a rendszert egy ideig (T) figyeljük, és addig nem következett be a megfigyelés tárgya, akkor még további t -ideig tartó megfigyelés (ld. 45. ábra) alatt bekövetkező esemény valószínűsége:

$$R(t|T) = \frac{R(T+t)}{R(T)} \quad (151)$$



45. ábra. A feltételes valószínűség eseményábrája

Ekkor a meghibásodási ráta ($\lambda(t)$) és az átlagérték (μ , a sűrűség-függvény első momentuma):

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \int_0^t f(s) ds} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (152)$$

$$\mu = m = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt. \quad (153)$$

A klasszikus vizsgálat minden esetben hipotézisen alapul: az eloszlás sűrűség-függvénye (valószínűség-sűrűség függvény (pdf)) és annak kumulatív eloszlása (kumulatív eloszlás függvény, (cdf)) szolgálnak a matematikai kiértékelés alapjául. Ez azt jelenti, hogy előzetesen meg kell

adunk azt a hipotetikus eloszlást (sűrűség-függvényt) melyet az adott értékelés alapjául választunk. Ennek vizsgálatára természetesen megbízható statisztikai módszerek állnak rendelkezésre, melyek bizonyos valószínűséggel eldöntik a választás helyességét. A standard statisztikai értelmezésben lényegében csak a feltett hipotézis próbája valósul meg, vagyis a vizsgálat a hipotézis valamilyen előre elvárt megbízhatóságú jóságára, vagy annak elvetésére irányul. A szokásos tesztek (t-teszt, F-teszt, χ^2 -teszt, Z-teszt, stb.) annak eldöntését tűzi ki, hogy az előre feltett (megsejtett) eloszlás és paraméterei megfelelnek-e az elvárt pontosságnak vagy nem, vagyis kipróbálja, hogy az aktuálisan mért adatok beleillenek-e az előre elhatározott koncepcióba.

Ezek a módszerek akkor nagy jelentőségűek, mikor két mért adat-halmazról kell eldönteni, hogy azok valamilyen megbízhatósággal ugyanahhoz az eloszláshoz tartoznak, vagy sem. Ez nagy jelentőségű például akkor, mikor egy szerkezeten új tulajdonságokat (up-grade) vezetnek be, vagy egy betegnek új gyógyszert próbálnak ki. Ekkor valamilyen megbízhatósággal meg kell becsülni azt, hogy a bevezetett újdonság javított az igény szerint javítandó paramétereken, vagy sem. A „régí” (nem változtatott) és „új” (megváltoztatott) körülmények/paraméterek/adottságok mért adat-halmazai kerülnek ekkor összehasonlításra. Az összehasonlító vizsgálatnak még azt is előre, hipotetikusán fel kell tennie, hogy mekkora az elvárt (objektív kimutatásra váró) változás (mérendő változás) mértéke, mert ez fogja meghatározni a független mérési adat-halmazok független mérési pontjainak (mérendő egyedeinek) számát.

A feltett eloszlás és a mért pontok halmazának viszonyát abban lehet megfogalmazni, hogy mennyire felel meg a mért érték-halmaz az előre feltett statisztikai eloszlásnak, vagyis milyen biztonsággal, (konfidenciával) állíthatjuk, hogy a mért adatsor az adott eloszlás mintája vagy sem. Ennek megfelelően a konfidencia határozott módon megjelenik, és azt fejezi ki, hogy mekkora százalékos valószínűsége van az adott adatsor hipotetikusán választott eloszláshoz tartozásának, (vagy a mért két adathalmaz azonos eloszláshoz tartozásának). Ezt azzal fejezzük ki, hogy (az eloszlás tulajdonságaitól függően egy vagy két oldalon) megadjuk azt az értéket, melyen belül elfogadható egyezést állapítunk meg. Így pl. a 95%-os konfidencia intervallum azt jelenti, hogy az eloszlás „farka(i)”-ból 5%-os részt levágunk, és megállapítjuk, hogy adatsorunk 95%-ban beleesik a „csonkított” eloszlás függvény által leírt intervallumba. Ekkor tehát 95%-os biztonsággal kijelenthetjük, hogy adatsorunk az előre hipotetikusán feltett eloszlást követi, vagy esetleg azt állapíthatjuk meg, hogy adatsorunk 95%-os konfidencia mellett biztosan nem tartozik a hipotetikusán feltett próba eloszláshoz. A gyenge konfidenciájú (90% alatti) egyezéseket mint bizonyítékot, a szignifikancia hiányára hivatkozással nem lehet elfogadni.

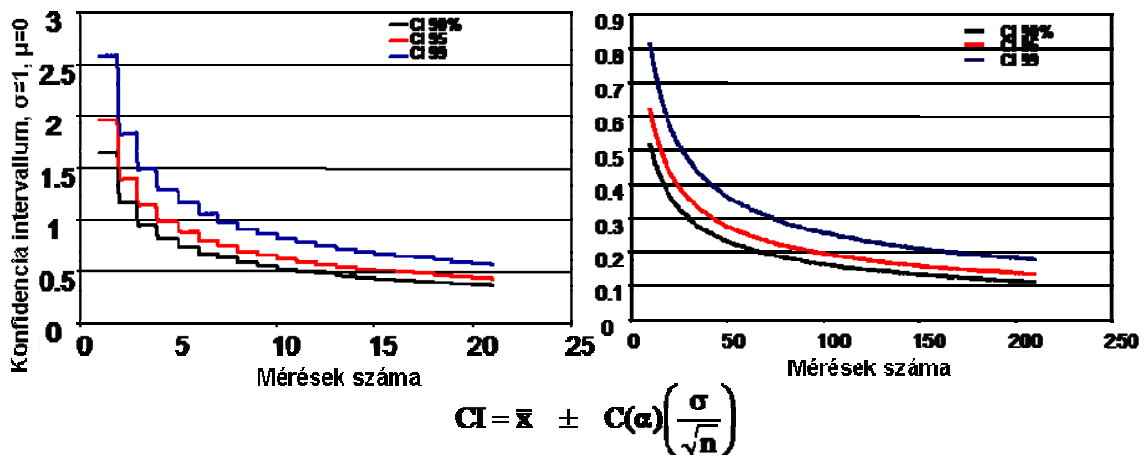
A normál (Gauss) eloszlást (az (154) összefüggés mutatja), a 46. ábrán vettük fel, tulajdonságait és a konfidencia-számítás alapjául szolgáló intervallumokat a szórásnégyzet függvényében mutatjuk be, (a σ^2 szórás-négyzet, míg μ az átlagérték).

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (154)$$

A szintén sokszor alkalmazott log-normál eloszlás sűrűség-függvénye:

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot \sigma' \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu'}{\sigma'}\right)^2} \quad (155)$$

Mindkét eloszlás jellemzően két paraméteres, (σ és μ , valamint σ' és μ').



46. ábra. A konfidencia intervallum méretének változása a mérésszámmal.

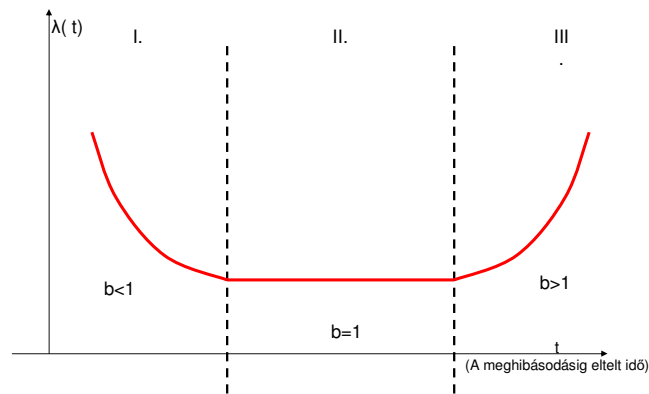
A legfontosabbak az $F(t)=1-\exp(-\lambda t)$ exponenciális eloszlásból következő

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda = const. \quad (156)$$

és a Weibull-féle, melynek alakja

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = a b t^{b-1} \quad (157)$$

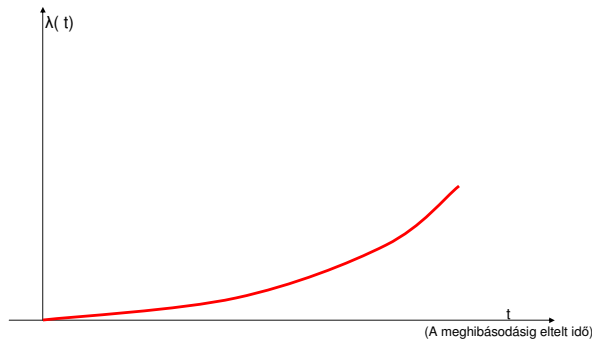
ahol az a és b skálatényezők állandók. Ez a Weibull-féle függvény, (ld. később). A Weibull-féle függvény gyakorlati előnye az, hogy az elektronikai termékekre jellemző ún. kádgörbe jól leírható vele (47. ábra).



47. ábra. Az elektronikai termékek megbízhatóságára jellemző kádgörbe

Az első szakasz az úgynevezett. korai meghibásodások tartománya, melyet időben csökkenő meghibásodási tényező jellemez. A második szakasz a hasznos működés tartománya. Ebben a meghibásodási tényező állandó, a hiba véletlenszerű. A harmadik tartomány az elhasználódási, melyben a meghibásodási ráta időben növekvő jellegű.

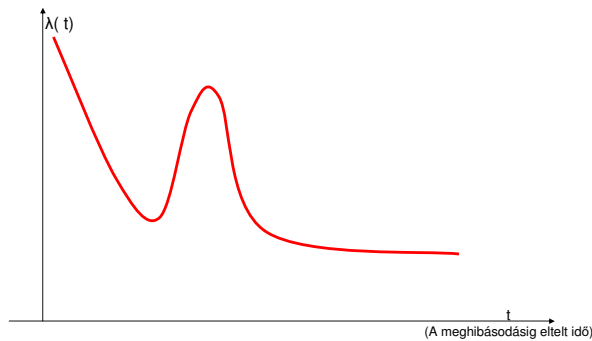
A mechanikai berendezések megbízhatósági görbéje a 48. ábrán látható.



48. ábra. A mechanikai rendszerek megbízhatósági görbéje

Az ábrából látható, hogy a mechanikai alkatrészek meghibásodási tényezője az idő monoton növekvő függvénye.

Végül a szoftverek megbízhatósági görbéje látszik a 49. ábrán.



49. ábra. A szoftver megbízhatósági görbéje

Az ábrából kitűnik, hogy a hibák kijavítása után a szoftver állandó meghibásodási rátával üzemel.

8.2.1 Az Avrami-egyenlet

A szilárdtesteken belül lezajló fázisátalakulások dinamikájának leírására Kolmogorov és mások kidolgoztak egy statisztikai elméletet, [Kolmogorov 1937, Johnson és Mehl 1939, Avrami 1939]. FW. Cope vizsgálataiból kiderült [Cope 1977a, Cope 1977b, Cope 1980], az elmélet (Avrami-egyenlet néven) egy sor eltérő biológiai folyamat leírásának matematikai modelljéül szolgálhat. Ebből úgy tűnik, hogy az egyenlet bizonyos univerzalitással rendelkezik a természeti jelenségek leírásában. Az univerzalitás azt jelenti, hogy segítségével a vizsgálatok elvégezhetők anélkül, hogy ismernénk a vizsgált rendszer konkrét anyagi szerkezetét és a folyamat dinamikájának pontos törvényeit. A helyzet sok tekintetben hasonló a kritikus jelenségek leírásához, ahol a fizikai törvények igen általános függvénytani tulajdonságok következményei.

Írjuk át a kiselejtezési rátát definiáló (131) egyenletet (125) segítségével a

$$h(t) = -\frac{\left(\frac{dS(t)}{dt}\right)}{S(t)} = -\frac{\left(\frac{d[1-F(t)]}{dt}\right)}{1-F(t)} \quad (158)$$

alakba. Ebből kapjuk a

$$\frac{dF(t)}{dt} = h(t)[1-F(t)] \quad (159)$$

differenciálegyenletet. Behelyettesítve ide az kiselejtezési ráta (137) alakját adódik az Avrami-féle differenciálegyenlet:

$$\frac{dF}{dt} = (u_0)^{u_1} u_1 t^{u_1-1} (1-F) = u_0 u_1 (u_0 t)^{u_1-1} (1-F). \quad (160)$$

melynek megoldása az Avrami-féle függvény:

$$F(t) = 1 - e^{-(u_0 t)^{u_1}} \quad (161)$$

mely esetünkben az élettartam eloszlásfüggvénynek felel meg. Az Avrami-egyenlet tehát a következő alakú [Avrami 1940]

$$x(t) = 1 - e^{-(ct)^\alpha} \quad (162)$$

ahol t az asztronómiai időskálán mért idő, α és c pedig állandók. Írjuk át az egyenletet a

$$g(t) = \ln \frac{1}{1-x} = (ct)^\alpha \quad (163)$$

alakba, majd térjünk át egy új időskálára a $t \rightarrow v = ct$ lineáris transzformációval. Ekkor az Avrami-egyenlettel leírt folyamat az alábbi végső alakot ölti

$$f(v) = \ln \frac{1}{1-x} = (v)^\alpha \quad (164)$$

Az $\ln(1/(1-x))$ függvényt Avrami-féle folyamatok összehasonlító függvénynek, vagy röviden Avrami összehasonlító függvénynek nevezzük. A (163) és (164) összefüggésekből a következő érdekes eredményt kapjuk: lineáris transzformációval választható olyan időskála, melyen a (164) Avrami összehasonlító függvény önhasonló.

Egyszerű megmutatni, hogy folytonosan differenciálható függvény esetére az (62) függvényegyenlet egyenértékű a következő differenciálegyenlettel:

$$\frac{df}{dv} = \alpha \frac{f}{v} \quad (165)$$

Behelyettesítve ebbe a (164) függvényt, kapjuk a

$$\frac{dx}{dv} = \alpha v^{\alpha-1} (1-x) \quad (166)$$

differenciálegyenletet, melyből, ha visszatérünk az asztronómiai időskálára adódik a

$$\frac{dx}{dt} = c\alpha (ct)^{\alpha-1} (1-x) \quad (167)$$

az Avrami-folyamat dinamikáját leíró differenciálegyenlet.

8.2.2 Weibull eloszlás

Behelyettesítve (138)-be az önhasonló kiselejtezési rátát, kapjuk a Weibull eloszlást ([Weibull 1949, Weibull 1951, Hald 1952, Cramer 1946]):

$$S(t) = e^{-\int_0^t (u_0)^{u_1} u_1 t^{u_1-1} dt} = e^{-(u_0)^{u_1} t^{u_1}} = e^{-(u_0 t)^{u_1}} \quad (168)$$

Tehát az élettartam-eloszlás a kétparaméteres Weibull eloszlásfüggvény, mely önhasznó. Tehát a Weibull eloszlásfüggvény olyan eloszlásfüggvény, melynél az kiselejtezési/meghibásodási ráta önhasznó. Ez az alapja a Bayesian vizsgálatoknak is, [Bar-Lev és Lavi 1992, Ezava és Singh 1996, Jewel 1985, Kyparisis és Singpurwalla 1984, Pham és Pham 2000, Pham és Pham 2001, Qiao és Tsokos 1995].

A Weibull eloszlás ismertebb formában:

$$\frac{d(S_w(t))}{dt} = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (169)$$

Alakú, ahol α az un. skálaparaméter, β pedig a forma (shape) vagy meredekség (slope) paraméter, aminek kumulatív formája:

$$S_w(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (170)$$

ahonnan a megbízhatósági függvény:

$$F_w(t) = e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (171)$$

Tehát (168) és (171) összehasonlításából $u_0=1/\beta$ és $u_1=\alpha$. Konkrét mérések esetén, ha az átlag (közép) és a medián mért értékek, akkor ezek alapján is paraméterezhető az eloszlás. Az átlagos Weibull-élettartam (127):

$$\langle T_w \rangle = \beta \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right) \quad \left[\Gamma(n) = \int_0^\infty e^{-x} x^{n-1} dx \right] \quad (172)$$

míg a Weibull-medián (\tilde{T}_w):

$$\tilde{T}_w = \beta (\ln 2)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (173)$$

melyekkel a Weibull eloszlás szintén egyértelműen leírható. Az egzakt, nem parametrikus statisztikai tesztek [Altman és Machin 2000, Glantz 1997, Gardner és Altman 1989, Swinscow és Campbell 2002], (Kaplan-Meier, log-rank test [Cox-Mantel]), ilyen alapon megközelíthetőek parametrikus (Weibull) eloszlással is [Juckett és Rosenberg 1993, Tyurin és Ykovlev 1995, Ricklefs és Scheuerlein 2002, Vanfleteren és De Vreese 1998]. A Weibull parametrikus eloszlás módusa (mode) és standard deviációja az alábbiakkal számolható:

$$\hat{T}_w = \beta \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad \text{és} \quad \sigma_t^{(w)} = \beta \sqrt{\Gamma\left(\frac{2}{\alpha} + 1\right) - \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)^2} \quad (174)$$

8.3 M3. Boole-féle rendszer-megbízhatóság vizsgálat

Rendeljük a megbízhatósági struktúrát ábrázoló kapcsolási vázlat minden elemhez egy x_i ($i=1,2,\dots,n$) Boole változót, a rendszerhez pedig az $S(x_1,\dots,x_n)=S(\bar{x})$ Boole változót. A Boole változók két értéket vehetnek fel:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{ha az elem hibátlan} \\ 0 & \text{ha az elem hibás} \end{cases} \quad S = \begin{cases} 1 & \text{ha az elem hibátlan} \\ 0 & \text{ha az elem hibás} \end{cases} \quad (175)$$

Ezek után a számolási szabályok

$$\begin{aligned} \bar{x}_i &= 1 - x_i \\ \bigcap_{i=1}^n x_i &= \min_{1 \leq i \leq n} x_i = \prod_{i=1}^n x_i \\ \bigcup_{i=1}^n x_i &= \max_{1 \leq i \leq n} x_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_i) \end{aligned} \quad (176)$$

A rendszer megbízhatósági vizsgálatára két módszer van: a megbízhatósági kapcsolási vázlat és a fő-eseményhez vezető esemény gráf.

Ez utóbbi lényege az, hogy definiálunk olyan rendszerállapotokat, melyek nem felelnek meg a rendeltetés szerinti működés feltételeinek. Ezek az úgynevezett fő-események. Ezután azt vizsgáljuk, hogy elemi események milyen kapcsolat rendszerei (elem meghibásodások) vezetnek ilyen főállapothoz. Az ilyen kapcsolat rendszereket hibafának nevezzük. A rendszer és a kiesés függvény meghatározásához szükséges a minimális vágat és minimális út fogalma.

Egy megbízhatósági kapcsolási vázlaton belül metszethalmazon (úthalmazon) azon elemek részhalmazát értjük, melyek együttes meghibásodása (hibamentesség) rendszer kieséshez (rendszer hibamentességhez) vezet.

Egy metszethalmaz (út) minimális, ha egy redukciónál már az együttes meghibásodás (hibamentesség) nem vezet rendszer kieséshez (rendszer hibamentességhez).

Egy hibafán belül metszethalmazon (úthalmazon) azon elemek részhalmazát értjük, melyek együttes meghibásodása (hibamentessége) főhibához (főhiba-mentességhez) vezet.

A minimális metszet és fa analóg módon definiálható, mint előbb. Ezekkel a fogalmakkal a két függvény a következő módon határozható meg:

$$S(\bar{x}) = \max_{1 \leq i \leq m} \min_{v \in W_i} x_v = \min_{1 \leq \sigma \leq s} \max_{v \in M_\sigma} x \quad (177)$$

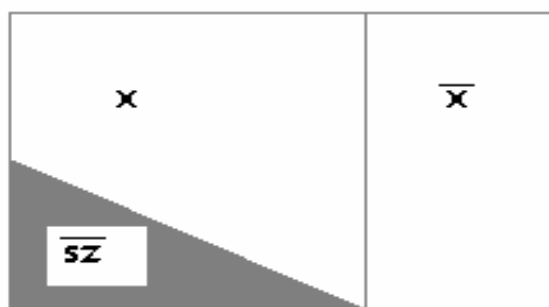
A vizsgálathoz bevezetjük a következő Boole algebrai változókat:

- X meghibásodás mentes üzemállapot
- \bar{X} véletlenszerű meghibásodás üzemállapota
- SZ rendszeres meghibásodástól mentes üzemállapot
- \overline{SZ} rendszeres meghibásodás üzemállapota

Az állapotfüggvény meghatározásához egy megkötést teszünk. A véletlenszerű és a rendszeres hiba együttes fellépte igen valószínűtlen, azaz

$$X \cap \overline{SZ} = \emptyset \quad (178)$$

Az egyes üzemállapotokat, a fenti megszorítás figyelembevételével, mutatja a 50. ábra szerinti Venn-diagram.



50. ábra. Az alrendszer egyes üzemállapotainak szemléltetése

Ennek alapján megállapíthatjuk a következőket. A teljes eseményteret X és \overline{X} uniója állítja elő. Ezenkívül el kell helyezni \overline{SZ} -t is a tett kényszer figyelembe vételével. Ez csak úgy lehetséges, ha \overline{SZ} része X -nek. Ami érthető, hiszen a rendszeres hiba a különben véletlen hibától mentes berendezésben következik be. Az alrendszer akkor üzemképes, ha mentes a véletlen és a rendszeres hibától, azaz ha

$$X \cap SZ \quad (179)$$

állapotú. Ebből az üzemképes állapot valószínűsége:

$$\begin{aligned} P(X \cap SZ) &= P(\overline{X - \overline{SZ}}) = P(X) - P(\overline{SZ}) = R_X - Q_{SZ}, \\ Q_{SZ} &= P(\overline{SZ}) \end{aligned} \quad (180)$$

Annak a valószínűsége, hogy üzemképtelen:

$$\begin{aligned} P(\overline{X \cap SZ}) &= P(\overline{X}) + P(\overline{SZ}) = Q_X + Q_{SZ}, \\ Q_X &= P(\overline{X}) \end{aligned} \quad (181)$$

Vizsgáljuk most az alrendszerek soros és párhuzamos kapcsolását!

8.3.1 Soros alrendszerek megbízhatósága a rendszeres hiba figyelembe vételével

Két soros elemből álló rendszer üzemképtelen, ha

$$\overline{X_A} \cup \overline{X_B} \cup \overline{SZ_A} \cup \overline{SZ_B} \quad (182)$$

állapotú. Ha feltesszük, hogy véletlen és rendszeres meghibásodás szimultán nem lép fel, azaz ha

$$\overline{X_A} \cup \overline{X_B} \cap \overline{SZ_A} \cup \overline{SZ_B} = \emptyset \quad (183)$$

akkor az üzemképtelen állapot valószínűsége:

$$\begin{aligned} Q_{X_A X_B} &= P(\overline{X_A} \cup \overline{X_B} \cup \overline{SZ_A} \cup \overline{SZ_B}) = P[(\overline{X_A} \cup \overline{X_B}) \cup (\overline{SZ_A} \cup \overline{SZ_B})] = \\ &= P(\overline{X_A} \cup \overline{X_B}) + P(\overline{SZ_A} \cup \overline{SZ_B}) = Q_{X_A} + Q_{X_B} - Q_{X_A} Q_{X_B} + Q_{SZ_A} + Q_{SZ_B} - Q_{SZ_A} Q_{SZ_B} \end{aligned} \quad (184)$$

az üzemképesség pedig:

$$\begin{aligned} R_{X_A X_B} &= 1 - P(\overline{X_A} \cup \overline{X_B} \cup \overline{SZ_A} \cup \overline{SZ_B}) = \\ &= 1 - (Q_{X_A} + Q_{X_B} - Q_{X_A} Q_{X_B} + Q_{SZ_A} + Q_{SZ_B} - Q_{SZ_A} Q_{SZ_B}) \end{aligned} \quad (185)$$

A valószínűségek szorzata általában kicsi, így elhanyagolhatók. Ezzel

$$\begin{aligned} R_{X_A X_B} &= 1 - (Q_{X_A} + Q_{X_B} + Q_{SZ_A} + Q_{SZ_B}), \\ Q_{X_A X_B} &= Q_{X_A} + Q_{X_B} + Q_{SZ_A} + Q_{SZ_B} \end{aligned} \quad (186)$$

8.3.2 Párhuzamos alrendszerek megbízhatósága a rendszeres hiba figyelembe vételével

Két párhuzamos alrendszerből álló rendszer akkor üzemképes, ha

$$X_A \cap X_B \cap SZ_A \cap SZ_B \quad (187)$$

Ebből felhasználva a Morgan tételt és azt, hogy rendszeres és véletlen hiba nem lép fel szimultán kapjuk, hogy az üzemképes állapot valószínűsége:

$$\begin{aligned} R_{X_A X_B} &= P(X_A \cap X_B \cap SZ_A \cap SZ_B) = \\ &= P(\overline{\overline{X_A} \cup \overline{X_B} \cup \overline{SZ_A} \cup \overline{SZ_B}}) = R_{X_A} R_{X_B} - Q_{SZ_A} R_{X_B} - Q_{SZ_B} R_{X_A} \end{aligned} \quad (188)$$

Az üzemképtelené:

$$Q_{X_A X_B} = 1 - R_{X_A X_B} = 1 - (R_{X_A} R_{X_B} - Q_{SZ_A} R_{X_B} - Q_{SZ_B} R_{X_A}) \quad (189)$$

Fentiekben kifejtettük, hogy a szoftvernek csak rendszeres hibája lehet, véletlen nem. Ebből következik, hogy a szoftver üzemképes állapotának valószínűsége (180) szerint:

$$R = 1 - Q_{SZ} \quad (190)$$

Az adattárból és a szoftverből álló rendszer nyilván akkor üzemképes, ha mindkét része az. Ebből a működőképes állapot valószínűsége (186) alapján:

$$R_{X_T X_{SZ}} = 1 - (Q_{X_T} + Q_{SZ_T} + Q_{SZ_{SZ}} - Q_{SZ_T} Q_{SZ_{SZ}}) \quad (191)$$

8.4 M4. A fuzzy-számolás szabályai

Fuzzy szám olyan halmaz, melynek referencia halmaza az R valós számok halmaza tagsági függvényének definíciós halmaza pedig egy adott

$$a \leq x \leq b \quad (192)$$

intervallum. Ezt az intervallumot itt is konfidencia intervallumnak nevezik. Az $x \in R$ szám tehát a tagsági függvényével meghatározott eséllyel esik a konfidencia intervallumba.

A konfidencia intervallumokkal történő számolás szabályait Moore dolgozta ki.

Az $[a_1, a_2]$ és $[b_1, b_2]$ intervallum összegét és különbségét az

$$[c_1, c_2] = [a_1, a_2] \pm [b_1, b_2] = [a_1 \pm b_1, a_2 \pm b_2] \quad (193)$$

szorzását az

$$[c_1, c_2] = [a_1, a_2] \circ [b_1, b_2] = [\min(a_1 b_1, a_1 b_2, a_2 b_1, a_2 b_2), \max(a_1 b_1, a_1 b_2, a_2 b_1, a_2 b_2)] \quad (194)$$

és osztását az

$$\begin{aligned} [c_1, c_2] &= [a_1, a_2] / [b_1, b_2] = \\ &= [\min(a_1 / b_1, a_1 / b_2, a_2 / b_1, a_2 / b_2), \max(a_1 / b_1, a_1 / b_2, a_2 / b_1, a_2 / b_2)] \end{aligned} \quad (195)$$

összefüggések definiálják.

8.4.1 A fuzzy szám visszavezetése rögzített intervallumok halmazára

Az elmélet alapja az un. dekompozíciós tétel. Ez azt mondja ki, hogy bármely fuzzy szám ábrázolható α -vágataival.

Egy A fuzzy szám A_α vágata az a jól definiált (hard) zárt intervallum, melyre

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu(x) \geq \alpha\} \quad (196)$$

Világos, hogy a $\alpha \in [0, 1] \mid \rightarrow A_\alpha \in A$ függvény ismerete egyenértékű A ismeretével.

Az előző ábra szemlélteti a négy körüli fuzzy szám $A_{\alpha=0.5}$ vágatát. Az ábrából az is látszik, hogy ez a vágat azonos a $[3.75, 4.6]$ zárt intervallummal.

A dekompozíciós tétel lehetővé teszi, hogy bevezessük a fuzzy számok aritmetikáját.

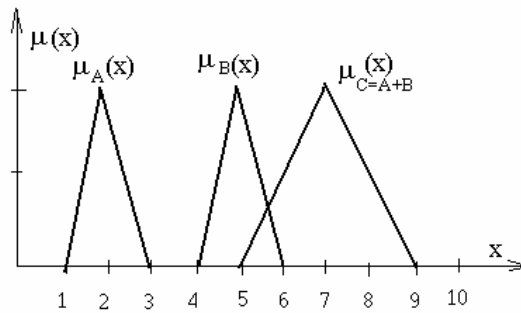
Legyen A és B két fuzzy szám. Tartozzanak ezek α vágatához rendre a $[a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}]$, $[b_1^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}]$ zárt intervallumok, akkor a két szám $C=A \pm B$ összegének/különbségének α vágatához a

$$[c_1^{(\alpha)}, c_2^{(\alpha)}] = [a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}] \pm [b_1^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}] = [a_1^{(\alpha)} \pm b_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)} \pm b_2^{(\alpha)}] \quad (197)$$

intervallum fog tartozni.

Az előbbieket alapján hasonlóan definiálható a szorzás és az osztás is.

A 51. ábra a 2 körüli és a 5 körüli fuzzy szám összegét mutatja, melyet az egyes vágatokhoz tartozó intervallumok összegzésével szerkesztettünk.



51. ábra. Két fuzzy szám összege

Látszik, hogy az összeg tartója a $[5,9]$ zárt intervallum. Az is látszik, hogy a háromszög grafikonú tagsági függvények megőrződnek, azaz az eredmény is azzal ábrázolható. Sajnos azonban szorzásra és osztásra ez nem igaz.

Az aritmetikai műveletek ismeretében elvben bármilyen függvény értékét kiszámíthatjuk, ha definíciós halmazának elemeit „fuzzyfikáljuk”.

Pl. legyen a $x \in \mathbb{R}^+ \mapsto x^2 \in \mathbb{R}^+$ függvény, akkor ennek értéke a 2 körül helyen egy fuzzy szám, melynek α -vágata (194) szerint a

$$[c_1^{(\alpha)}, c_2^{(\alpha)}] = [x_1^{(\alpha)}, x_2^{(\alpha)}] \circ [x_1^{(\alpha)}, x_2^{(\alpha)}] \quad (198)$$

módon határozható meg, ahol $[x_1^{(\alpha)}, x_2^{(\alpha)}]$ a 2 körüli szám α -vágatához tartozó intervallum. A bonyolultabb függvényeket pl. szinusz, exponenciális stb. a sorával „fuzzyfikálhatjuk”.

8.4.2 Fuzzy relációk

A fuzzy relációk segítségével nem pontosan definiált függvénykapcsolatokat írhatunk le. Definálásához a függvény Dirichlet-féle meghatározásából célszerű kiindulni.

Legyen adott két nem szükségképpen különböző X és Y halmaz. A két halmaz $X \times Y$ direkt szorzatán az összes (x, y) , $x \in X$, $y \in Y$ rendezett párok halmazát értjük. Az $X \times Y$ f részhalmaza függvény, ha

$$(x, y_1) \in f \text{ és } (x, y_2) \in f \quad (199)$$

ből következik, hogy $y_1 = y_2$. Fuzzy relációknál ezt a kikötést nem tartjuk meg, azaz megengedjük, hogy egy független változó értékhez több függő változó legyen rendelve. Ezek után a kétváltozós Fuzzy reláció, akkor definiált, ha f minden eleméhez hozzá van rendelve a tagsági függvény egy értéke, azaz $(x, y) \in f \mapsto \mu(x, y) \in [0, 1]$.

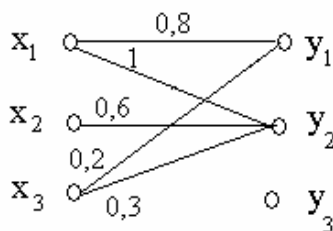
Ha a változók értékészlete diszkrét, akkor a Fuzzy relációt a tagsági függvénynek az érték-párokon felvett értékeiből alkotott mátrixszal célszerű megadni. Például legyen $X = \{x_1, x_2, x_3\}$, $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$, akkor a relációmátrix:

$$\mu_R(x, y) = \begin{bmatrix} \mu(x_1, y_1) & \mu(x_2, y_1) & \mu(x_3, y_1) \\ \mu(x_2, y_1) & \mu(x_2, y_2) & \mu(x_2, y_3) \\ \mu(x_3, y_1) & \mu(x_3, y_2) & \mu(x_3, y_3) \end{bmatrix} \quad (200)$$

Minden diszkrét reláció ábrázolható gráffal is, pl. a

$$\mu_R(x, y) = \begin{bmatrix} 0,8 & 0 & 0,2 \\ 1 & 0,6 & 0,3 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (201)$$

reláció gráfja az 52. ábra szerinti.



52. ábra. A (201) szerinti reláció gráfja

8.4.3 Fuzzy relációk kompozíciója, soros kapcsolása.

Legyen két $R_1 \subset X \times Y$ és $R_2 \subset Y \times Z$ reláció a $\mu_{R_1}(x,y)$ és $\mu_{R_2}(y,z)$ tagsági függvényeivel megadva. Akkor Zadech szerint az egyik lehetőség két reláció $R_1 \circ R_2 \subset X \times Z$ kompozíciójának tagsági függvénymátrixát a

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \text{Max}_y \{ \min [\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z)] \} \quad (202)$$

Példaként legyen adva két reláció

$$\mu_{R_1}(x, y) = \begin{bmatrix} 0,1 & 0 \\ 1 & 0,5 \end{bmatrix}, \quad \mu_{R_2}(y, z) = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,5 \\ 0,8 & 0,5 \end{bmatrix} \quad (203)$$

Akkor (202) alapján

$$\begin{aligned} \mu_{R_1 \circ R_2}(x_1, z_1) &= \text{Max}_y \{ \min [\mu_{R_1}(x_1, y), \mu_{R_2}(y, z_1)] \} = \\ &= \text{Max} \{ \min [\mu_{R_1}(x_1, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_1)], \min [\mu_{R_1}(x_1, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_1)] \} = \text{Max} \{ 0,1; 0,5 \} = 0,5 \\ \mu_{R_1 \circ R_2}(x_1, z_2) &= \text{Max}_y \{ \min [\mu_{R_1}(x_1, y), \mu_{R_2}(y, z_2)] \} = \\ &= \text{Max} \{ \min [\mu_{R_1}(x_1, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_2)], \min [\mu_{R_1}(x_1, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_2)] \} = \text{Max} \{ 0,1; 0,5 \} = 0,5 \\ \mu_{R_1 \circ R_2}(x_2, z_1) &= \text{Max}_y \{ \min [\mu_{R_1}(x_2, y), \mu_{R_2}(y, z_1)] \} = \\ &= \text{Max} \{ \min [\mu_{R_1}(x_2, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_1)], \min [\mu_{R_1}(x_2, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_1)] \} = \text{Max} \{ 0,3; 0,5 \} = 0,5 \\ \mu_{R_1 \circ R_2}(x_2, z_2) &= \text{Max}_y \{ \min [\mu_{R_1}(x_2, y), \mu_{R_2}(y, z_2)] \} = \\ &= \text{Max} \{ \min [\mu_{R_1}(x_2, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_2)], \min [\mu_{R_1}(x_2, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_2)] \} = \text{Max} \{ 0; 0,5 \} = 0,5 \end{aligned} \quad (204)$$

A második a maximum szorzat, melynek definíciója:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \text{Max} \{ \mu_{R_1}(x, y) \mu_{R_2}(y, z) \} \quad (205)$$

Ennek alapján a kompozíció mátrixa

$$\begin{aligned}
\mu_{R_1 \circ R_2}(x_1, z_1) &= \text{Max}\{\mu_{R_1}(x_1, y)\mu_{R_2}(y, z_1)\} = \\
&= \text{Max}\{\mu_{R_1}(x_1, y_1)\mu_{R_2}(y_1, z_1)\}, \{\mu_{R_1}(x_1, y_2)\mu_{R_2}(y_2, z_1)\} = \text{Max}\{0,03;0,0\} = 0,03 \\
\mu_{R_1 \circ R_2}(x_1, z_2) &= \text{Max}\{\mu_{R_1}(x_1, y)\mu_{R_2}(y, z_2)\} = \\
&= \text{Max}\{\mu_{R_1}(x_1, y_1)\mu_{R_2}(y_1, z_2)\}, \{\mu_{R_1}(x_1, y_2)\mu_{R_2}(y_2, z_2)\} = \text{Max}\{0,08;0,0\} = 0,08 \\
\mu_{R_1 \circ R_2}(x_2, z_1) &= \text{Max}\{\mu_{R_1}(x_2, y)\mu_{R_2}(y, z_1)\} = \\
&= \text{Max}\{\mu_{R_1}(x_2, y_1)\mu_{R_2}(y_1, z_1)\}, \{\mu_{R_1}(x_2, y_2)\mu_{R_2}(y_2, z_1)\} = \text{Max}\{0,0;0,25\} = 0,25 \\
\mu_{R_1 \circ R_2}(x_2, z_2) &= \text{Max}\{\mu_{R_1}(x_2, y)\mu_{R_2}(y, z_2)\} = \\
&= \text{Max}\{\mu_{R_1}(x_2, y_1)\mu_{R_2}(y_1, z_2)\}, \{\mu_{R_1}(x_2, y_2)\mu_{R_2}(y_2, z_2)\} = \text{Max}\{0;0,25\} = 0,25
\end{aligned} \tag{206}$$

Látszik, hogy igen különbözik egymástól a két mátrix!

Hogy az egyes fuzzy leírásokban melyiket használjuk az megegyezés kérdése, viszont a kiválasztott leírást egy adott feladaton belül következetesen kell alkalmazni, ekkor már a leírások nem cserélhetőek.

8.4.4 Fuzzy relációk párhuzamos kapcsolása.

Az irodalomban három-féle párhuzamos kapcsolat terjedt el. Ezek definíciója:

$$\begin{aligned}
\mu_{R_1 \wedge R_2}(x, y) &= \text{Min}\{\mu_{R_1}(x, y) \wedge \mu_{R_2}(x, y)\} & \text{a.)} \\
\mu_{R_1 \vee R_2}(x, y) &= \text{Max}\{\mu_{R_1}(x, y) \vee \mu_{R_2}(x, y)\} & \text{b.)} \\
\mu_{R_1 \oplus R_2}(x_i, y_j) &= \mu_{R_1}(x_i, y_j) + \mu_{R_2}(x_i, y_j) - \mu_{R_1}(x_i, y_j)\mu_{R_2}(x_i, y_j) & \text{c.)}
\end{aligned} \tag{207}$$

A (207/a.) első definíciójánál az eredmény reláció egyes elemei a megfelelő R_1 és R_2 elemekhez tartozó tagsági függvények legkisebbjével egyenlő. A (207/b.) másodiknál az eredmény reláció egyes elemei a megfelelő R_1 ill. R_2 elemekhez tartozó tagsági függvények közül a nagyobbal egyenlő. A (207/c.) harmadik pedig rögtön az eredő fuzzy reláció mátrixának elemeit állítja elő.

8.4.5 A fuzzy reláció inverze.

Legyen adott két nem szükségképpen különböző X és Y halmaz. A két halmaz $X \times Y$ direkt szorzatán az összes (x, y) , $x \in X$, $y \in Y$ rendezett párok halmazát értjük. Az $X \times Y$ R részhalmaza reláció, ha

$$(x, y_1) \in R \text{ és } (x, y_2) \in R \tag{208}$$

-ből következik, hogy $y_1 = y_2$. Tehát a definíciós halmaz egyetlen eleméhez sem tartozhat a képhalmaz egynél több eleme. Nem zárjuk ki viszont azt, hogy a képhalmaz egy eleméhez a definíciós halmaz több eleme tartozzon. Ha azt is megköveteljük, hogy egy képelemhez a definíciós halmaz egy és csakis egy eleme tartozzon és azt, hogy a függvény ráképzés legyen akkor a függvény invertálható. A klasszikus (hard defined) reláció inverzét úgy kapjuk, hogy a rendezett párok sorrendjét megcseréljük:

$$(x, y) \in R \Leftrightarrow (y, x) \in R^{-1} \tag{209}$$

Fuzzy reláció esetén nem követeljük a kölcsönös egyértelműséget, hanem az inverzét az elemek sorrendjének megcserélésével képezzük és ugyanazt a tagsági függvényértéket rendeljük hozzá, azaz

$$(x, y) \in R \Leftrightarrow (y, x) \in R^{-1}, \quad \mu_R(x, y) = \mu_{R^{-1}}(y, x) \tag{210}$$

Nézzünk egy példát!

Legyen adva

$$R(X, Y) = \begin{matrix} & y_1 & y_2 & y_3 \\ x_1 & \begin{bmatrix} 0.2 & 1.0 & 0.0 \end{bmatrix} \\ x_2 & \begin{bmatrix} 0.6 & 0.9 & 0.8 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (211)$$

a reláció. Ennek inverze:

$$R^{-1}(X, Y) = \begin{matrix} & x_1 & x_2 \\ y_1 & \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 \end{bmatrix} \\ y_2 & \begin{bmatrix} 1.0 & 0.9 \end{bmatrix} \\ y_3 & \begin{bmatrix} 0.0 & 0.8 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (212)$$

8.5 M4. A nagybiztonságú készülék kezelői felületei

A kialakított készülék rákos betegek kezelésére szolgál. [Szász és társai 2001a], [Szász és társai 2001b], [Szász és társai 2002a], [Szász és társai 2002b], [Szász 2004], [Szász 2005], [Szász és Vincze 2005], [Szász és társai 2005], [Szász 2000a], [Szász 2000b], [Szász 2000c], [Szász és társai 2001c], [Szász 2001a], [Szász és társai 2001d], [Szász 2001b], [Szász és társai 2002d], [Szász és társai 2002e], [Szász és társai 2002f], [Szász és társai 2002g], [Szász és társai 2002h], [Szász és társai 2002i], [Szász 2002], [Szász és társai 2003a], [Szász és társai 2003b], [Szász és társai 2003c], [Szász és társai 2003d], [Szász és társai 2003e], [Szász és társai 2003f], [Szász és társai 2003g], [Szász és társai 2003h], [Szász és társai 2003i], [Szász és társai 2004a], [Szász és társai 2004b], [Szász és társai 2004c], [Szász és Szász 2005a], [Szász és Szász 2005b], A beteg lényegében egy kondenzátor dielektrikuma, és a kezelés az elektromos erőterben folyik [Vincze és társai 2003a, Vincze és társai 2003b]. A kezelés lényege, hogy a tumoros szövetek szelektíven nyelik el a térből az energiát és egy termodinamikai folyamat ezt effektív sejtroncsolásra fordítja [Szász és társai 2003c],. A szelektív energiaelnyelés alapja, hogy a tumoros szövet elektromos vezetőképessége jelentősen különbözik az egészséges szövetekétől. A sejtroncsolás lehetősége pedig a sejt-hártya két oldalán kialakuló hőmérséklet-különbség által vezérelt dinamikai folyamatok (hőáram, ionáram, tömegáram) által adott.

A kezelő/felhasználó kétféle módon is szabályozhatja a rendszert: szoftveres (automata) és hardveres (kézi) vezérléssel dolgozhat. Ez a melléklet a kézi vezérlés felhasználói felületét mutatja be, a szoftveres vezérlés elemeit az M5. Melléklet tartalmazza.

8.5.1 Központi egység

A központi egység kezelő szervei nem csak a szoftveren keresztül, de közvetlen kijelzésekkel és beavatkozási lehetőségekkel is rendelkezik. Munkám jelentős része ennek a logikai kialakítása és szoftverkapcsolata volt. A központi egység homlokzati kijelzője azok funkcióival, valamint a kezelőgombok és funkcióik az alábbi ábrákon láthatóak.

ECM temperature:

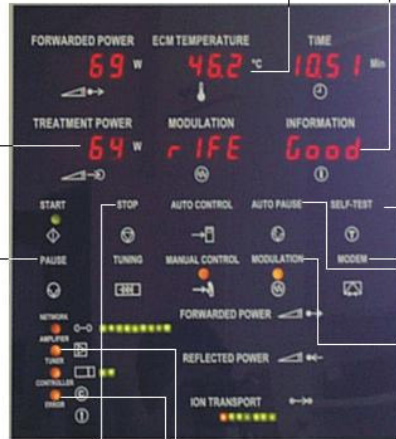
A daganat számított hőmérséklete

Treatment Power:

Aktuális hasznos teljesítmény

Information:

Információ az aktuális állapotról



Self-test:

Világít az önteszt alatt

Modem:

Világít, ha a gép csatlakoztatva van a számítógéphez

Auto pause:

Világít, ha a gép állítja le a folyamatot

Modulation:

Világít, ha a modulálás be van kapcsolva

Stop:

Világít, ha a gépen nincs kezelés

Pause:

Világít, ha nincs kimenő teljesítmény

Amplifier:

Világít, ha az erősítő működik

Error:

Világít, ha az utolsó kezelésnél hibajelenség volt

Forwarded power:

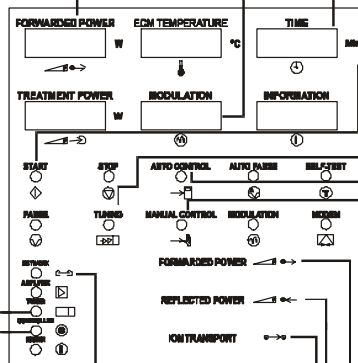
Aktuális kimenő teljesítmény (W)

Time:

Hátralevő kezelési idő

Modulation:

Moduláció ki-vagy bekapcsolással



Start:

A gép működése közben világít

Tuning:

A gép behangolásakor világít

Auto control:

Világít, ha a gép állítja le a folyamatot

Manual control:

Világít, ha a kezelő végzi a hangolást

Az önteszt eredményei:

Network:

Világít, ha minden egység hibamentesen működik

Controller:

A vezérlődoboz működésekor világít

Tuner:

A hangoló működésekor világít

Forwarded power:

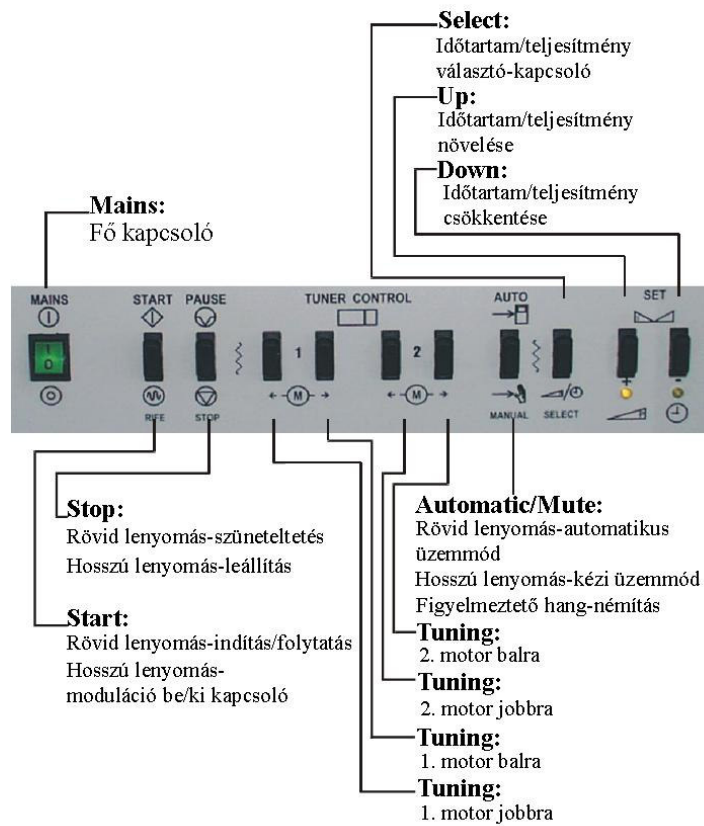
Kimenő teljesítmény (tartomány: 0-300W)

Reflected power:

Visszavert teljesítmény (tartomány: 0-100W)

Ion transport:

Az ionszállítás változását mutatja

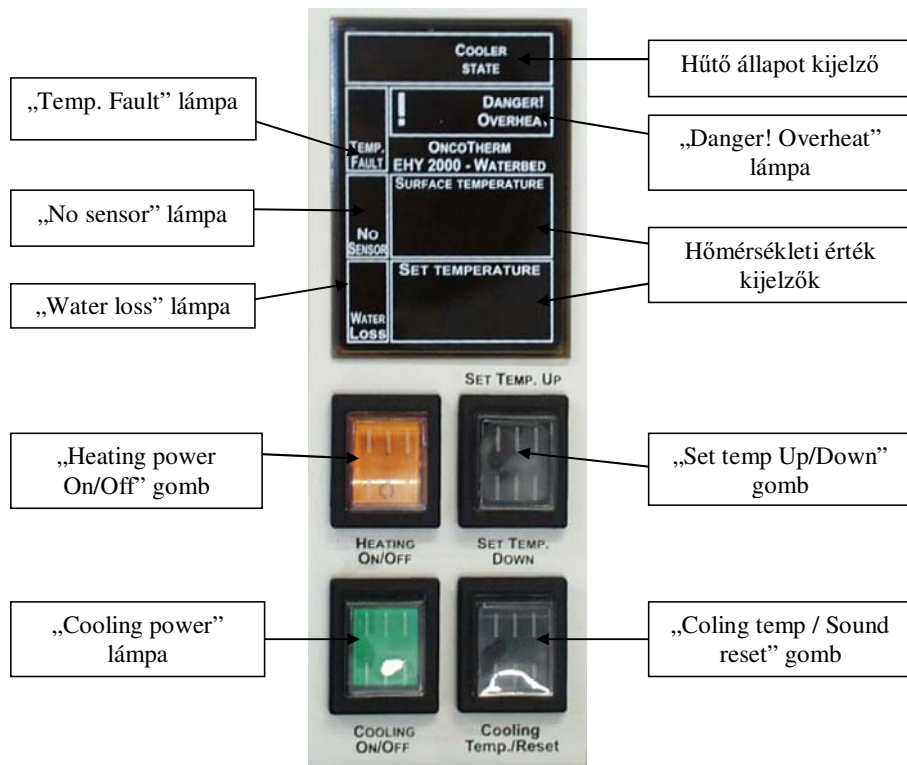


Mivel a készülékek külföldi felhasználók számára készültek, megadjuk a szimbólumok magyar fordításának jegyzékét is.

Forwarded Power		Kiadott teljesítmény	Manual Control		Kézi vezérlés
Reflected Power		Visszavert teljesítmény	Modem		Modem
Treatment Power		Kezelési teljesítmény	Network		Belső hálózat
ECM Temperature		ECM hőmérséklet	Amplifier		Erősítő
RIFE		RIFE	Controller		Vezérlő
Time		Idő	Error		Hiba
Information		Információ	Tuner		Kézi hangolás
Self-test		Belső teszt	Iontransport		Ion transzportáció
Stop		Leállítás	Tuner Motor		Hangoló motor
Pause		Szünet	Mains On		Hálózat be
Auto Pause		Automatikus szünet	Mains Off		Hálózat ki
Start		Indítás	Set		Beállítás
Tuning		Automatikus hangolás	Select Time/Power		Idő/tejesítmény választás
Automatic Control		Automatikus vezérlés	Power		Teljesítmény

Kezelő ágy

A kezelőágy kijelzőit és jelentésüket az alábbi ábra tartalmazza.



8.6 M5. Szoftver használata

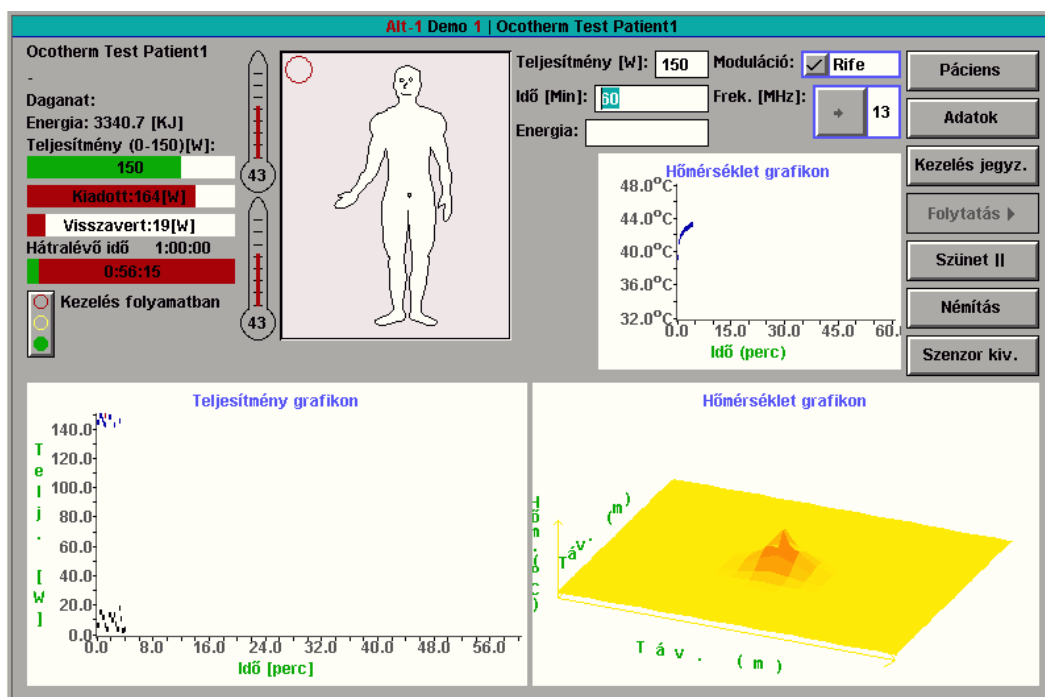
8.6.1 Áttekintés

A képernyő három részre osztható:

Felső állapotosor

Munkafelület

Alsó állapotosor



A felső állapotosorban a kezelő láthatja és vezérelheti a (max. 4) gép fő funkcióit.



Amint látható, 8 gomb található itt kettes csoportokban. A négy csoport a gépeket jelöli. Innen minden gép beindítható és leállítható a play (lejátszás) vagy pause (szünet) gombbal.

A gépek státusza a rendelkezésre álló gombról látható. Ha csak a play gombot lehet megnyomni, a gép stop (üzemszünet) üzemmódban van, ha pedig a pause gombot, akkor a gép működik.

Alsó állapotosor:





Innen vezérelhető néhány olyan funkció, amely nincs közvetlenül egy konkrét géphez kapcsolva, mint például a vészleállító, új betegek, alapértelmezett beállítások, stb.

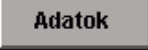

Minden gép saját, egytől négyig terjedő azonosító számmal rendelkezik. Az azonosító szám beállítását a gyártó végzi a telepítés alatt. A telepítés után a képernyőn négy szám jelenik meg (négy EHY2000 berendezés esetén). Amennyiben a kapcsolat megszakad a személyi számítógép és az EHY2000 berendezés között, akkor a berendezéshez tartozó ablak eltűnik a képernyőről.

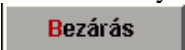
8.6.2 Alapelemek

Egy parancs megadásakor, rendszerint egy ablak tűnik fel, és közli, hogy Ön mit csinált, ill. hogy még mit állíthat be vagy csinálhat. Ezen kívül ezek az ablakok két fontos gombbal is rendelkeznek

(lásd köv. alfejezet), az egyik a , a másik pedig a  gomb. Az **RENDBEN** gomb segítségével közölheti a számítógéppel, hogy amit beírt az helyes és használható, ill. a **MÉGSEM** gombbal azt, hogy a kezelő nem ezt akarta csinálni!

Különböző kérdések is lehetnek az ablakokban, például egy érték bevitelére, listáról való kiválasztásra vagy néhány lehetőség közül való választásra.

A gombok a rájuk írt parancsot hajtják végre a számítógéppel. Kiválaszthatók az egérrel történő kattintással, illetve a nyilakkal kiválasztva az ENTER gomb megnyomásával. Lehetnek olyan gombok is, amelyek az adott pillanatban nem érhetők el (Elérhető: . Nem érhető el: .)

A billentyűzetről is kiválaszthatók a „gyorsválasztó billentyűkkel. „ Ez azt jelenti, hogy ha a gombon piros felirat van, mint fent az **F10** (funkcióbillentyűk a billentyűzet felső sorában), akkor a billentyű lenyomásával ugyanazt éri el, mintha ezt a gombot nyomta volna meg. Ha a piros szöveg csak egy karakter, akkor az **ALT** billentyűt kell először megnyomni és lenyomva tartani és utána pedig a karaktert. (Pl: a  (bezár) esetén az ALT-B-t kell megnyomni, hogy működésbe hozzuk a parancsot.)

3 ilyen speciális eset van:



Kiválasztható az **Alt-R**-rel



Kiválasztható az **Alt-M**-mel



Kiválasztható az **Alt-S**-sel

A beviteli sorok szöveg bevitelére (név, szám) szolgálnak.

A jobbra/balra mutató nyilakkal lehet jobbra ill. balra léptetni a szövegben. Szavak átugrásához a **CTRL←** ill. a **CTRL→** használhatók. A **HOME** és **END** billentyűvel a szöveg elejéhez ill. végéhez lehet ugrani. Az aktuális karaktert a **DELETE** vagy **DEL** billentyűvel, az előző karaktert pedig a visszatörölő (**←**) billentyűvel törölhetjük. Az **INSERT** vagy **INS** billentyűvel választani lehet a beszűrő vagy felülíró mód között.

Természetesen az egérrel is mehetünk a szöveg egy tetszőleges helyére ill. kiválaszthatjuk a szöveg törölni vagy felülírni kívánt részét.

A bejelölő dobozok és a rádiógombok az adatok/tételek kiválasztására szolgálnak. A különbség köztük az, hogy a rádiógombokkal egy időben egy és csak egy, míg a bejelölő dobozokkal tetszőleges mennyiség választható ki.

→	Aktuális
■	Összes
■	Elhalálozott

A listadobozt akkor kell használni, ha több adatot (pl: betegek nevei) kell felsorolnunk.

Oncotherm Test Patient 1

Test

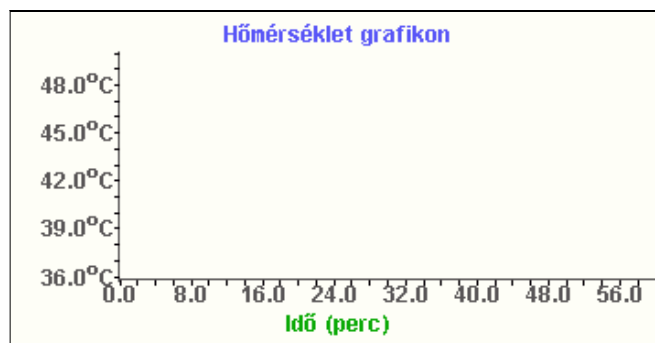
A tételek között a fel (↑) és le (↓) nyilakkal lépésenként lehet haladni, ill. a **PgUp** és **PgDn** gombokkal egész oldalt ugorhatunk felfelé vagy lefelé. Természetesen a **Home** billentyű a lista elejére, míg az **End** billentyű a lista végére visz. Ha ismert a tétel első betűje, nyomja meg a megfelelő billentyűt, és így a következő, az adott betűvel kezdődő tételhez lehet ugrani.

A görgetősávot akkor kell használni, ha egy hosszú lista van a képernyőn és nem minden tétel látható egy időben, ezért a listát fel-le ill. jobbra-balra kell görgetni, attól függően, hogy milyen irányban hosszabb a kép.



A grafikonok arra használhatók, hogy a képernyőn láthatóvá váljanak az eltelt idő alatt mért eredmények. Általában a vízszintes tengelyen az időtartam szerepel perc mértékegységben, míg a függőleges tengelyen láthatók a mérési eredmények.

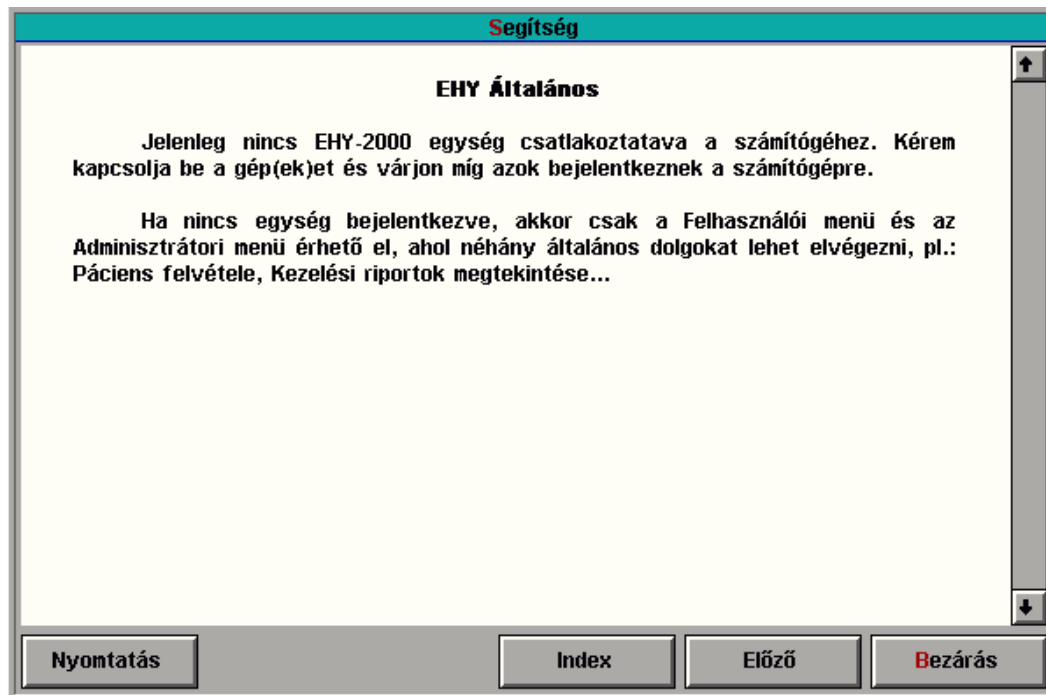
Minden grafikon rendelkezik egy nagyítási opcióval. Ez azt jelenti, hogy a diagram a jobboldali egérgombbal függőlegesen nagyítható vagy kicsinyíthető.



8.6.3 Parancslista

A parancsok itt abban a sorrendben találhatók, ahogy hozzáférhetők a képernyőn, nem pedig betűrendben.

A program rendelkezik egy beépített on-line sűgőprogrammal (Segítség). Az F1 gomb tetszőleges időpontban való megnyomásakor, a sűgőprogram megmutatja, hogy hol van a felhasználó, és mit csinálhat. Az olvasás befejezésekor csak meg kell nyomni az **ESC** billentyűt, vagy rá kell kattintani a Bezárás gombra és a sűgőprogram (Segítség) ablaka eltűnik.

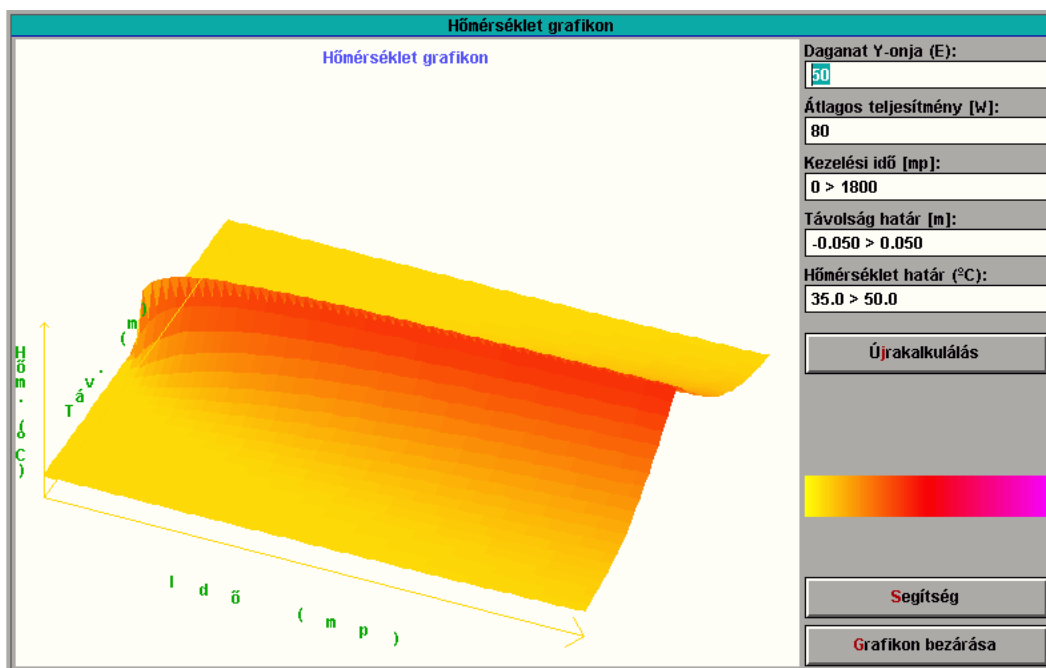


Az F3 paranccsal az összes gép-dialógus (párbeszéd) előhozható. Ez akkor hasznos, ha a felhasználó elveszett az ablakok között és azonnal látni szeretné a géppel kapcsolatos információkat.

Az F4 menűben található azok a parancsok, amelyek az adott pillanatban nem kapcsolódnak egy adott géphez vagy kezeléshez.

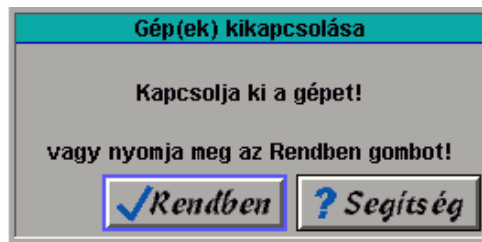


A hőmérséklet-grafikonon megtervezhetjük a kezelést. Itt olvasható le, hogy különböző beállítások esetén hogyan fut le a kezelés.



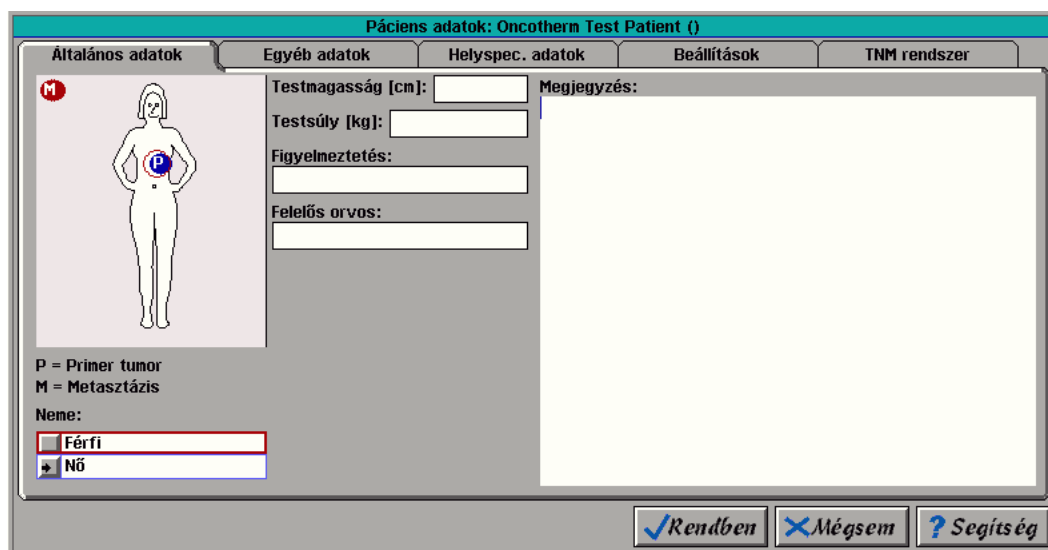
Megváltoztathatja a teljesítményt, időhatárokat, a daganat epszilon értékét és sok más paramétert. Ekkor a grafikon újraszámolás után megmutatja, hogyan változik a hőmérséklet térben és időben.

A gépet kikapcsoló menüpont arra szolgál, hogy a felhasználó biztos lehessen abban, hogy minden információt eltárolt a gép.



Amíg ez az ablak a képernyőn látható, a felhasználó biztos lehet abban, hogy minden napló zárva van, így nem történhet információvesztés.

Az információs ablakban rengeteg információ tárolható (és később szerkeszthető) a betegről. Ez az információs ablak 5 lapból áll.



Itt tölthető ki egy kérdőív a daganat elhelyezkedéséről, a beteg paramétereiről, a beteget kezelő személyről. Láthatóan elhelyezhetők egy emberalakon az elsődleges és az áttételes (4) daganatok és meghatározható az a központi hely, amelyre összpontosítani kell,.....

Páciens adatok: Oncotherm Test Patient ()				
Általános adatok	Egyéb adatok	Helyspec. adatok	Beállítások	TNM rendszer
Születési dátum: <input type="text"/>	Általános állapot: <input type="text"/>	Előző kezelések:		
Címek:	Labor eredmény:	Kemoterápia: <input type="text"/>		
<input type="text" value="Otthoni cím"/>	Vér: <input type="text"/>	Sugárterápia: <input type="text"/>		
Munkahely: <input type="text"/>	Vizelet: <input type="text"/>	Operáció: <input type="text"/>		
Beosztás: <input type="text"/>	Nyál: <input type="text"/>	Hiperthermia: <input type="text"/>		
<input type="text" value="Munkahely címe"/>	Nyirok: <input type="text"/>	Egyéb: <input type="text"/>		
<input type="checkbox"/> Elhalálozott				
<input type="checkbox"/> Teljes meggyógyulás				
<input type="checkbox"/> Listába elrejtés				
<input checked="" type="checkbox"/> Aktív				
<input type="button" value="✓ Rendben"/> <input type="button" value="✗ Mégsem"/> <input type="button" value="? Segítség"/>				

... felvihető még néhány kiegészítő adat a laboreredményekről és a korábbi kezelésekről,.....

Páciens adatok: Oncotherm Test Patient ()				
Általános adatok	Egyéb adatok	Helyspec. adatok	Beállítások	TNM rendszer
Az adminisztrátor nem adott meg kérdéseket!				
<input type="button" value="✓ Rendben"/> <input type="button" value="✗ Mégsem"/> <input type="button" value="? Segítség"/>				

.....és van egy egyénileg beállítható adatokat tartalmazó oldal, amely max. 20, az adminisztrátor által meghatározott (klinika-specifikus), mezővel rendelkezik. Ennek célja az információs bázis rugalmassá tétele a klinika számára. Az ilyen beállítások megváltoztatásához lásd a “Felügyeleti beállítások” részt.

Páciens adatok: Oncotherm Test Patient ()

Általános adatok Egyéb adatok Helyspec. adatok Beállítások TNM rendszer

Telj. [W]: Moduláció: Frekvencia [MHz]:

Idő [perc]:

Energia [J]:

Rendben Mégsem Segítség

A finomhangolás beállításai automatikusan töltődnek be a beteg kiválasztásakor. Az első alkalommal történő pontos beírás később sok időt megtakaríthat, mert nincs szükség ezen információk későbbi beírására ill. módosítására.

Hogy melyik mezőt kell kitölteni, az függ az adminisztrátor beállításoktól. Lásd a "Felügyeleti beállítások" részt.

Páciens adatok: Oncotherm Test Patient ()

Általános adatok Egyéb adatok Helyspec. adatok Beállítások TNM rendszer

TNM kód:

Hely

T	N	M
<p>Tis - In situ</p> <p>TX - Primary tumour cannot be assessed (e.g., previously removed)</p> <p>T0 - No evidence of primary tumour</p> <p>T1 - ≤ 2 cm</p> <p>T1mic - ≤ 0.1 cm</p> <p>T1A - > 0.1 to 0.5 cm</p> <p>T1B - > 0.5 to 1 cm</p> <p>T1C - > 1 to 2 cm</p> <p>T2 - > 2 to 5 cm</p>	<p>NX - Regional lymph nodes cannot be assessed (e.g., previously removed)</p> <p>N0 - No regional lymph nodes</p> <p>N1 - Movable axillary lymph nodes</p> <p>N2 - Fixed axillary lymph nodes</p> <p>N3 - Internal mammary lymph nodes</p>	<p>MX - Distant metastasis cannot be assessed (e.g., previously removed)</p> <p>M0 - No distant metastasis</p> <p>M1 - Distant metastasis</p>

Opció:

TNM	* - G - Histopathology	--- Nem definiált ---
T	* - R - Residual disease	G1 - Well differentiated
N	* - Stage - Staging	G2 - Moderately differentiated
M		G3 - Poorly differentiated
		G4 - Undifferentiated

Regional lymph nodes cannot be assessed (e.g., previously removed)

Distant metastasis cannot be assessed

Rendben Mégsem Segítség

Ebben az ablakban a páciens daganat TNM rendszer szerinti besorolását lehet elvégezni, kérjük, hogy ne próbálják meg kézzel beírni, mert ha esetleg nem jó, akkor azt a gép automatikusan kitölti.

A betegadatok megmutatása azonos az előző funkcióval (betegadatok szerkesztése), ebben az esetben azonban nem lehetséges az adatok módosítása. Ha csak az adatokat szeretné megnézni, úgy a szerkesztő funkció helyett inkább ezt a funkciót ajánlott használni, mivel így nem fordulhat elő, hogy véletlenül módosítja valamelyik tételt.

A betegnapló megmutatása funkciót kell kiválasztani a beteggel kapcsolatos kezelési információk megnézéséhez. Ezen a képernyőképen megnézhető a betegről készített jelentés, és a képernyőkép kinyomtatható, az egyes kezeléseket az alsó kis ablakban lehet kiválasztani.

Oncotherm Test Patient

Páciens neve (kódja): **Oncotherm Test Patient ()**

Munkahely címe: Otthoni cím:

Munkahely: Beosztás:

Telefon: Telefon:

Fax: Fax:

Előző kezelések: Labor eredmény:

Kemoterápia: Vér:

Sugárterápia: Vizelet:

Műtét: Nyál:

Hiperthermia: Nyirok:

Más:

Megjegyzés:

Felhasználói információk:

Kezelések összefoglalása:

Összes kezelések száma: **25**

... EHY : **25**

Kezelési információk:

23: EHY 2001 May 23. Wednesday	↑	Nyomat
24: EHY 2001 May 23. Wednesday	↓	
25: EHY 2001 May 25. Friday	↓	

Bezárás ? Segítség

Új beteg felvétele paranccsal akkor is megnyithatja egy új beteg lapját, ha éppen nem kívánja most kezelni.

Új páciens bejegyzése

Páciens neve:

Páciens kódja:

Státusz:

Magán

Biztosított

Ambuláns

Kórházi

Létrehozás

Mégsem

? Segítség

Ez akkor hasznos, ha tudja, hogy a következő beteg még nincs a rendszerben (soha nem kezelték még ezzel a géppel), viszont a gép működése közben beírhatja a paramétereit. Ezután az Új páciensbejegyzése ablak után ki kell tölteni a beteg információs adatlapját.

8.6.4 Karbantartási üzenet

A felhasználó karbantartási üzenetet hagyhat a karbantartó vagy fejlesztő csoportnak.

Üzenet a szerviznek

Üzenet:

Rendben
 Mégsem
 Segítség

Az itt beírt üzenetet a szerviz a következő alkalommal kapja majd meg.

Az ön által begépelte szöveget egy speciális naplóállomány tárolja, amelyhez csak a karbantartó csoport fér hozzá. Így ha bármilyen problémája vagy javaslata van a felhasználónak azt ide írja be ide.

Modemes kommunikáció összekapcsolhatja gépét a karbantartó csoport gépével, hogy programfrissítést, segítséget vagy bármilyen más támogatást kérjen. Ha a felhasználónak nincs modemje, a következő ablak tűnik fel:

Modem kommunikáció

Nincs modem installálva vagy konfigurálva.

Rendben
 Segítség

Ha van telepített modem, a következő kérdéseket teszi fel a gép:

Modem - Hívó

Hívás indoka:

Üzenet:

Hívandó szám:

Helység (város):

Hívó neve:

Hívó telefon száma:

 Mégsem
 Segítség

Modem státusz Alt-M

Hívás...
(00,36-23-555-519)

Ha a modemkapcsolat létrejött, megjelenik egy információs ablak a kapcsolatkiépítés közben történő legfontosabb eseményekkel, és ezt követően kiválasztható a **Üzenet** gomb és üzenet küldhető a vonal másik végén kapcsolódott számítógépre.

Kiválasztható a **Szakítás** parancs is a modemes csatlakozás bontásához.

A bejelentkezési jelszó is megváltoztatható. Ez az a jelszó, amelyet a beindításnál kell megadni, hogy a gépet használni lehessen.

A gép felszólítja a felhasználót, hogy adja meg a régi jelszót, azután pedig az újat biztonsági okokból kétszer kell megadni. (Ügyeljen a pontos begépelésre.)

Megjegyzések

Ha a jelszó helyét üresen hagyja, a gép nem fog jelszót kérni a bejelentkezéskor.

A régi jelszónál a felügyeleti („adminisztrátor”) jelszó is elfogadott.

A menü bezárásához a „Felhasználói ablak bezárása” gombbal történik. Mindig javasolt ezt az ablakot zárva tartani, ha nem használja. Így könnyebb lesz a képernyőt ellenőrizni és áttekinteni.

A “Felügyeleti parancsok” (F5) nem áll közvetlen kapcsolatban a kezelésekkel, és az OncoTherm Hungary a telepítés során állítja be.

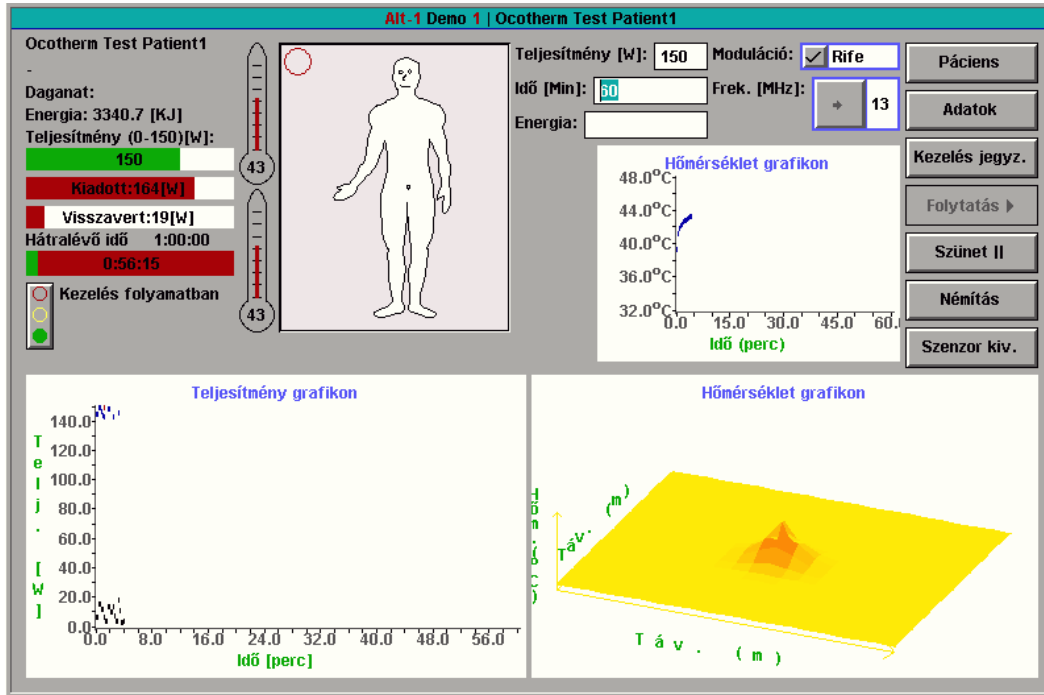
A vészleállító (Alt-E) az összes gép leállítására szolgál. Ez akkor hasznos, ha Ön problémát észlel és azonnal le kell állítania a gépeket.

A leállítás után a fenti ábra jelenik meg, azt kérdezve, hogy melyik gépet lehet újraindítani. Itt megjelenik még a beteg neve és kódja is a részletesebb információk megadásához.

8.6.5 Kezelő ablak

A címterületen látható a gép száma és az adott gép által kezelt beteg neve.

A felhasználó itt láthatja, mi történik, melyek a fő beállítások és kezelheti a fő információkat, például ilyenek a beteg neve és a gép státusza.



A teljesítmény- vagy időparaméter beírásához rá kell kattintani a megfelelő dobozra, be kell írni a kívánt értéket, és meg kell nyomni az **Enter** gombot. Az új értéket a rendszer egészen addig a régi értékkel helyettesíti, amíg a kezelőgép el nem fogadja az új értéket. Természetesen a kimenő teljesítményt, a kezelési időt, az energia-határértéket és a modulációt is be lehet állítani.

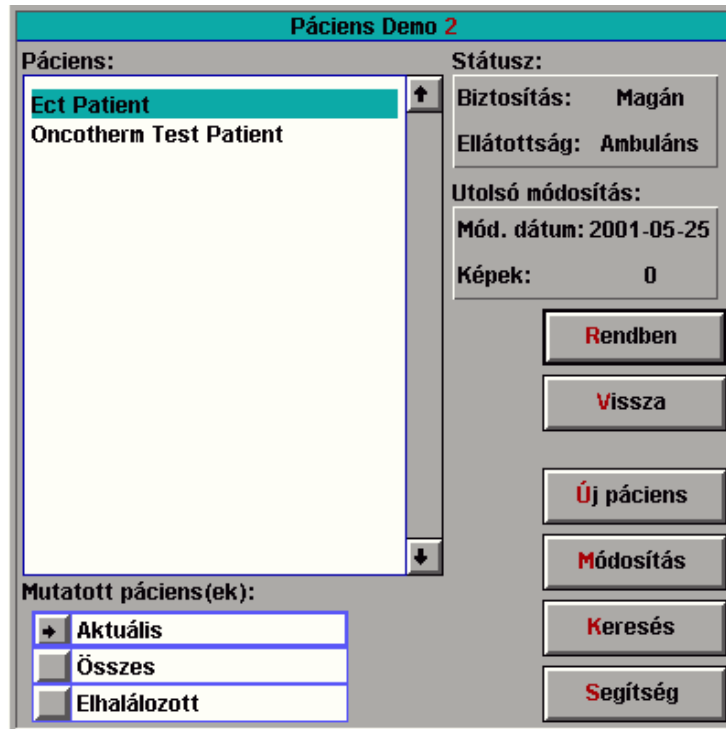
A kétdimenziós grafikai ablakban a hőmérséklet számított (!) időbeli változása látható. Nem szabad elfelejteni, hogy az értékek számítása a különböző adatok alapján történik, tehát nem mért értékről van szó. Ennek következtében az itt jelzett érték eltérhet a valóságtól. A daganat körüli megbecsült hőmérsékletet háromdimenziósan is láthatja a felhasználó. A grafikon csak az aktuális értéket mutatja.

Kétdimenziós teljesítménygrafikont is ábrázol a gép ahol megjeleníti a kiadott és visszavert teljesítményt, és a hasznos teljesítmény változását. Ez hasznos információt szolgáltat, ha a beteg múltbeli kezeléséről adatokat gyűjtünk.

Egy információs ablak is felkérhető (Alt-I), amennyiben a felhasználó "elfelejtette" volna, hogy milyen programot használ. Ennek a funkciónak nincs kezelési célja.



Különböző vezérlő gombokkal a páciens azonosítása és kezelésének beállítása is megtörténhet.



A listából kiválasztható a név, ha látható (**PgDn**, **PgUp**, **HOME**, **END**, **↑**, **↓**). Egy tetszőleges betű megnyomásával a következő ilyen betűvel kezdődő névhez ugorhat. Az alapértelmezett beállítások szerint csak azokat a betegeket mutatja a gép, akik nem gyógyultak meg, illetve nem halottak. Az összes név listájához a Mutatott páciensek címszónál az Aktuális, Összes vagy Elhalálozott válasz választható, hogy láthatóvá váljék az elhunyt betegek listája.

A Keresés gombbal is megkereshetők a listán szereplő betegek.

Keresés	
Páciens neve:	<input type="text"/>
Páciens kódja:	<input type="text"/>
Páciens típusa:	
<input type="checkbox"/> Magán	<input type="checkbox"/> <i>Rendben</i> <input checked="" type="checkbox"/> <i>Mégsem</i> <input type="checkbox"/> <i>Segítség</i>
<input type="checkbox"/> Ambuláns	
<input type="checkbox"/> Halott	
<input type="checkbox"/> Remisszió	
<input type="checkbox"/> Rejtett	
<input type="checkbox"/> Törölt	
<input checked="" type="checkbox"/> Hangzás után	

A felhasználó beírhatja mire emlékszik a beteggel kapcsolatban, és a program csak azokat a betegeket sorolja fel, akik megfelelnek a kritériumoknak.

Biztonsági indítás
A következő értékek lettek automatikusan beállítva: Teljesítmény [W]:60 Idő [perc]:60 Moduláció:Rife
Nyomja meg a Indítás gombot a folytatáshoz.
<input type="button" value="Indítás ▶"/> <input type="button" value="Vissza"/>

A kezelés alatt lehetséges a készülék újrahangolása abban az esetben, ha nem találtuk meg a legjobb hangolási értéket. Ez az indítás gomb megnyomásával történik.

A gép leállításához vagy szüneteltetéséhez a “Szünet/Leállítás” gombot kell megnyomni. A gomb megnyomásakor a gép megkérdezi, hogy szüneteltetni vagy teljesen leállítani kívánja-e a kezelést.

Ha megnyomja ezt a gombot, a gép megkérdezi, hogy valóban be kívánja-e fejezni a kezelést.

Csatorna 1
A(z) 1-es gép szünet üzemmódban van. Le akarja állítani?
<input type="button" value="Leállítás"/> <input type="button" value="Mégsem"/>

Ha befejezi a kezelést, nem lehetséges a kezelés alatt történt eseményekhez való hozzáadás és azok módosítása. Ha csak rövid időre kívánja megállítani (szüneteltetni) a kezelést, úgy a Szünet gombot használja a Leállítás helyett.

A leállítás után a felhasználó a kezelés jegyzőkönyvét láthatja a képernyőn, amit szükség esetén kinyomtathat.

8.6.6 Új beteg felvétele az adatbázisba

Ebben a részben megmutatjuk, hogyan lehet egy új beteget beírni, és az összes fontos adatot beállítani ehhez a beteghez.

A főmenüből válassza ki a Felhasználó/új beteg felvétele al-menüt, vagy választhatja a Páciens al-menüt a gép ablakaiból és ott az Új páciens gombot.

A felhasználó a főmenüből választja ki a Adatok al-menüt, ill. választhat a Páciens adatok/páciens neve címszó alatt is. Ezután egy betegkiválasztó párbeszéd következik. Itt kell kiválasztania a beteget, vagy pedig a kívánt személyt megkeresheti a Keresés gombbal is.

8.6.7 Figyelmeztető és hibaüzenetek

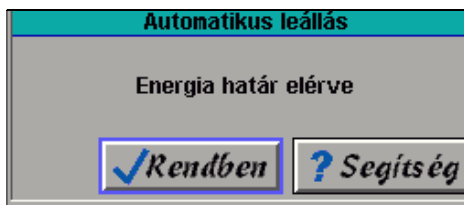
A program számos beépített biztonsági funkcióval rendelkezik, hogy megvédje a kezelőorvost és a beteget a félrekezeléstől. Az alábbiakban ismertetjük a legfontosabb figyelmeztető és jegyzőkönyvi üzeneteket.

Vannak olyan figyelmeztetések (ezek nem tartoznak a fontos figyelmeztetések csoportjába), amelyek esetleg automatikusan eltűnnek egy másik ablak kiválasztásakor.

Ha a gép leáll, mivel a kezelési időtartam lejárt, akkor a képernyőn megjelenik az alábbi, időkorlát elérése üzenet:

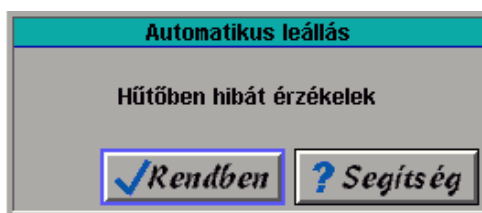
Ha a beteg kezelését ezután még folytatni kívánja, változtassa meg az időkorlátot, vagy pedig kezdjen el egy új kezelést.

Ha a gép azért állt le, mert elérte a megadott energiakorlátot, akkor megjelenik az energiakorlát elérése üzenet.



Növelje meg ekkor az energiakorlátot, vagy pedig tiltsa le törléssel.

Ha a hűtőegység problémát észlel, az alábbi üzenet fog megjelenni:



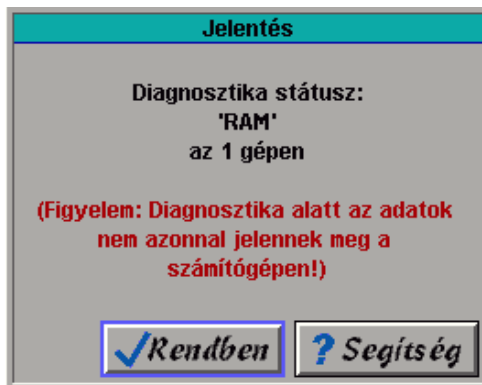
Ebben az esetben ellenőrizze, hogy a folyamákábel nem törött-e meg valahol, és ha igen, javítsa ki a hibát. Egyéb probléma esetén, lépjen kapcsolatba a karbantartó csoporttal.

Ez az üzenet akkor jelenik meg, ha a billentyűzetnél rövidzárlat jött létre, illetve a normál időtartamnál hosszabb ideig van lenyomva valamelyik billentyű.



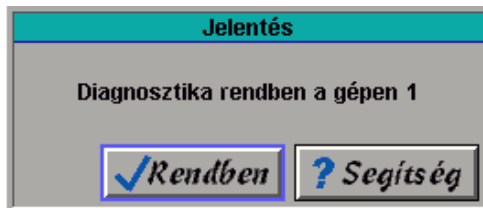
Engedje el a gombot és kezdje előlről a kezelést. Ha a probléma továbbra is fennáll, értesítse a karbantartó csoportot.

Az összes egység önellenőrzést hajt végre az egyes kezelések megkezdése előtt. Az önellenőrzés alatt a személyi számítógépen megjelenik minden egyes ellenőrzési eredmény:

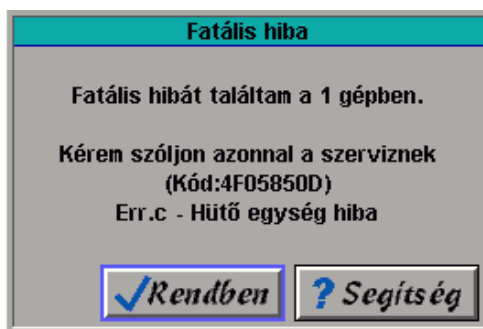


Itt az látható, hogy az 1. gépen a RAM teszt eredményesen befejeződött.

Ha minden vizsgálat befejeződött és sikeres volt, a következő információ jelenik meg a képernyőn (az önellenőrzés befejezve az 1. gépen):



Végzetes hiba esetén, a gépet nem lehet használni, és javításra van szükség. A személyi számítógép képernyőjén megjelenik egy hibajegyzék, a gép számának és a probléma kódjának feltüntetésével.

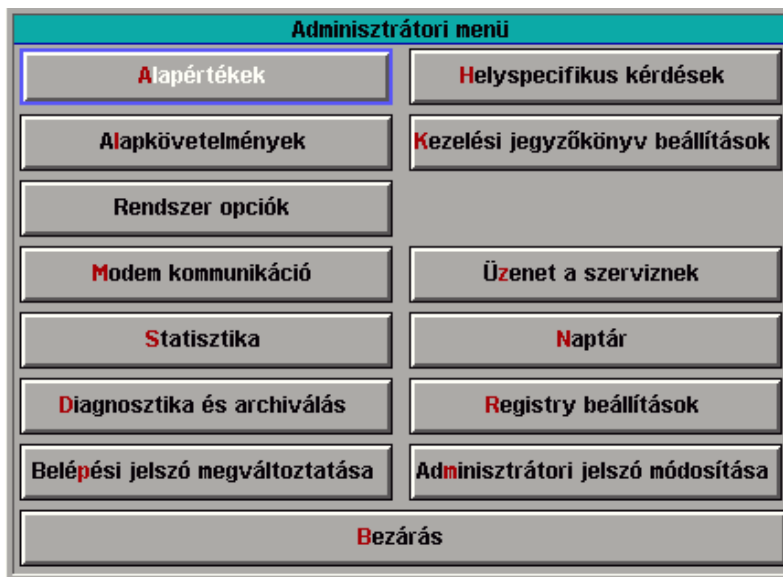


Ha ilyen eset fordul elő, a rendszergazda hívásakor ne felejtse el, hogy szükség van a hibakód közlésére.

8.6.8 Felügyeleti parancsok (adminisztráció)

A következő parancs csak abban az esetben érhető el, ha hozzáférési joga van a felügyeleti beállításokhoz.

Itt állíthatja be a program alapértelmezés szerinti viselkedését. Ne tegye, ha nem ismeri ezt, ne próbáljon az adatokon itt módosítani, mert a program nem kívánt viselkedését eredményezheti.



A Kezelési jegyzőkönyvben található információkat lehet megadni, hogy mi szerepeljen benne (minél több információ kerül a Kezelési jegyzőkönyvbe annál hosszabb ideig tart a nyomtatás).

Az információs ablakban alapértelmezéseket és egyéni paramétereket is be lehet állítani.

Helyspecifikus kérdések

1:

2:

3:

4:

5:

6:

7:

8:

9:

10:

11:

12:

13:

14:

15:

16:

17:

18:

19:

20:

A registry menüpontban egyes belső beállítások olvasása és/vagy módosítása lehetséges. Ennek a használatához a szervizmérnök szükséges.

Registry beállítások

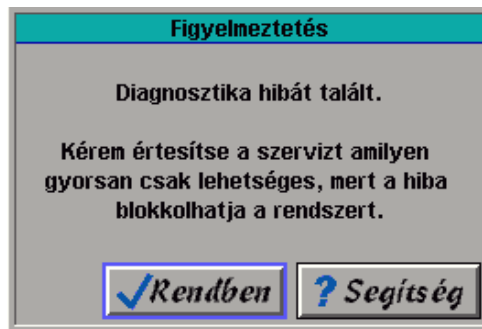
Csoport:

Elem:

Érték:

8.6.9 Diagnosztika és egyéb súgófunkciók

A gépre két program van telepítve, az egyik a kezelőprogram a másik az összes többi olyan funkció, amely nem tartozik a kezeléshez. Az elkülönítésnek biztonsági okai vannak. A diagnosztika arra szolgál, hogy ellenőrizze van-e probléma a beállításokkal vagy a géppel. A program információkat is kiír az aktuális beállításokról. Ha probléma merül fel a diagnosztika során, a gép jelzést ad.



Ha a felhasználó ezt a figyelmeztetést kapja, értesítenie kell a szervizt.

Ha nem merül fel hiba, a gép megkérdezi milyen nyelvet kíván használni a kezelés során.(ha egy meghatározott időtartamon belül nem választja ki a nyelvet, akkor az utolsó választás lesz automatikusan érvényes), és ezt követően a kezelőprogram automatikusan elindul.

A diagnosztikai program almenüjébe való belépéshez a **SCROLL LOCK** billentyűt kell megnyomni a diagnosztikai folyamat során (a Scroll Lock kijelző ekkor világítani kezd). Az ellenőrzés befejezésekor ebbe az almenübe lép be a rendszer.

Nyelv választás	Alt-L
Verzió választás	Alt-V
<hr/>	
Az összes páciens archiválása	
Régi páciens transferálása	
Páciensfájlok visszaállítása	
<hr/>	
Képek exportálása	
<hr/>	
Modem kapcsolat	
<hr/>	
Adminisztrátori menü	
Szervíz menü	
<hr/>	
DOS shell	
<hr/>	
Kilépés a diagnosztikából	Alt-X

A nyelv kiválasztásakor a program nyelvét változtathatja meg. A jelenleg rendelkezésre álló nyelvek a német és az angol. Ez a menü képernyőre kerül, mielőtt az igazi kezelés megkezdődik.

(Ha a felhasználó nem választ az adott idő alatt, a gép az utolsónak használt nyelvet használja tovább.)

8.6.10 Az összes páciensadat biztonsági másolata

Adatvédelmi okokból a biztonsági másolat funkció is telepítve van a szoftverbe, így biztonsági másolatok készíthetők a betegek információs fájljairól. Ennek előnye az, hogy az adattároló hely valamilyen okból való megsérülése esetén, az információkat újra össze lehet gyűjteni.

Ha a betegekről szóló információ csak a számítógépen van meg, úgy a fenti funkció használata nagyon ajánlott.

8.6.11 Felügyeleti menü

Ebben az almenüben néhány olyan fontos rutint találhat a felhasználó, amelyek nem a kezelésre vonatkoznak. Így statisztikai kiértékelésre, naplózásra és más fontos adatrögzítésre is van lehetőség.



Néha lehetséges, hogy a naplóállományba rossz beírás történik, amely lehetetlenné teszi a beteg adatainak visszakeresését. Ebben az esetben diagnosztikai program futtatható az összes fájl ellenőrzésére, és a hibajavításra.

Ezen kívül értesítse a problémáról a karbantartó csoportot, hogy megelőző lépéseket tehesse, nehogy ilyen hiba ismét előforduljon.

Előfordulhat, hogy a rendszer órája nem mutatja pontos időt. Ebben az esetben a felhasználó beállíthatja a számítógép óráját.



Itt írható be a pontos dátum és idő. Ha a dobozt üresen hagyja, az aktuális érték nem változik.

A karbantartó csoport számára is készült szervizes segítség. A felhasználó nem léphet be ebbe a menü pontba. Ezen menü alatt, a szervizes kollégák a rendszer belső kommunikációját tudják ellenőrizni, illetve finoman hangolni.

8.7 M6. Rózsaszín (1/f) zaj

Ha a (79) korreláció időállandója nem egységes és eloszlását az adott H -folyamatra $D_H(\tau)$ -val jelöljük, akkor:

$$S_H(\omega) = \operatorname{Re} \left\{ \int_0^{\infty} \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \exp(-i\omega\tau) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) D_H(\tau) d\tau dt \right\} = \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \frac{\tau}{1+(\omega\tau)^2} D_H(\tau) d\tau \quad (213)$$

ahol

$$\int_0^{\infty} D_H(\tau) d\tau = 1 \quad (214)$$

Ha a $D_H(\tau)$ függvény skálainvariáns, azaz, ha például:

$$D_H(\tau) d\tau = \frac{d\tau}{\tau} \quad (215)$$

alakú, akkor [van der Ziel 1950] az ún. rózsaszín zajt (Flicker-zaj, 1/f zaj, stb.) kapjuk.

$$S_H(f) = \frac{1}{f} \quad (216)$$

Az (215) összefüggés nem normalizálható, így a magas és alacsony frekvenciákon vágni kell (cutoff). Megmutatható, [Shlesinger 1987, Shlesinger és West 1988], hogy a $D_H(\tau)$ függvényre bevezetett

$$D_H(\tau) = \frac{1}{\pi\tau\sigma} \exp\left(\frac{-\left[\log\left(\frac{\tau}{\langle\tau\rangle}\right)\right]^2}{2\sigma^2}\right) \quad (217)$$

lognormál eloszlás is (216)-re vezet. Ekkor nincs normalizációs probléma és bizonytalan vágás. Az is megmutatható, [Schlesinger és West 1988], hogy véletlen eloszlású változók szorzata mindig lognormál eloszlású, és így mindig (216)-re vezet. Amennyiben azonban nincs domináns lognormál eloszlás, hanem az eloszlások széles skálájával írható csak le a rendszer, akkor

$$S_H(f) = \frac{1}{f^\alpha} \quad (218)$$

ahol α értékére lényegében megkötést nem lehet tenni, és az erősen függhet a rendszer általános paramétereitől (pl. hőmérséklet, nyomás, stb.) is [Schlesinger és West 1988]. A log-log skálán ábrázolt (218) összefüggés meredeksége így természetesen α , vagyis azonnal megadja a H folyamat zajának tulajdonságait:

$$\alpha = \frac{\log[S_H(f)]}{\log[f]} \quad (219)$$

8.7.1 Modell a rózsaszín-zaj magyarázatára

Induljunk ki a

$$\frac{\tau}{\sqrt{C}} \frac{dx(t, \tau)}{dt} = -\frac{1}{\sqrt{C}} x(t, \tau) + \Gamma_{\tau}(t) \quad (220)$$

Langevin egyenletből, melyben τ valós nem-negatív paraméter. Az ennek eleget tevő stohasztikus folyamat teljesítmény spektruma Cauchy-függvény:

$$S(f, \tau) = C \frac{1}{1 + (2\pi f \tau)^2}, \quad (221)$$

alakú, melyből az alábbi matematikai eljárással következik az $1/f$ zajspektrum

$$\begin{aligned} S(f) &= \frac{C}{4|f|} = \int_0^{\infty} C \frac{1}{1 + (2\pi f \tau)^2} d\tau \approx \int_0^T C \frac{1}{1 + (2\pi f \tau)^2} d\tau \approx \\ &\approx \sum_{i=0}^N C \frac{\Delta\tau}{1 + i^2 (2\pi f \Delta\tau)^2}, \end{aligned} \quad (222)$$

ahol $\Delta\tau = T/N$. Másrésztől a

$$C \frac{\Delta\tau}{1 + i^2 (2\pi f \Delta\tau)^2} \quad (223)$$

levezethető a

$$\frac{i\Delta\tau}{\sqrt{C\Delta\tau}} \frac{dx(t, i)}{dt} = -\frac{1}{\sqrt{C\Delta\tau}} x(t, i) + g_i \Gamma(t, i), \quad (i = 0, \dots, N) \quad (224)$$

egyenletből, ahol minden $\Gamma(t, i)$ egység fehérzaj, g_i -k pedig egységnyi komplex számok. A fenti egyenlet realizációjához tekintsük a Langevin egyenletet

$$\overline{C}_1(c_{10}, \dots, c_{1i}, \dots, c_{1n}) \frac{d\overline{x}(t)}{dt} = -\overline{x}(t) + \overline{\Gamma}(t) \quad (225)$$

melyben $\overline{x}(t, \tau) = x(t, \tau)(C\Delta\tau)^{-1/2}$ és $\overline{C}_1(c_{10}, \dots, c_{1i}, \dots, c_{1n})$ n -dimenziós szimmetrikus ciklikus mátrix. A fenti egyenlet hermitikus mátrix segítségével diagonális alakra transzformálható. A sajátvektorok pedig eleget tesznek a

$$\lambda_i \frac{dx_{si}}{dt} = -x_{si} + \Gamma_{si}(t) \quad (i = 0, \dots, n-1) \quad (226)$$

egyenletnek, melyben a $\lambda_i = \lambda_{n-i}$, ($i = 1, \dots, n-1$) sajátértékek valósak. Legyen

$$\begin{aligned} N &= \frac{n-1}{2}, x_{s0} = 0, \quad \lambda_i = \lambda_{n-i} = \frac{i}{2}, \\ \Gamma_{si} &= \frac{1}{2} a^{ki} \Gamma(t), \quad (i = 1, \dots, n-1) \end{aligned} \quad (227)$$

ahol

$$k \in \{1, \dots, n-1\} \quad a^{ki} = \left(e^{j\frac{2\pi}{n}} \right)^{ki} \quad (228)$$

Mivel a főténgely transzformáció hermitikus mátrix segítségével történt, így $\overline{x}(t)$ átlagának effektív teljesítménye

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \overline{x}(t) \overline{x}^{*}(t) dt = \sum_{i=0}^N \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x_{si}(t) x_{si}^*(t) dt \quad (229)$$

melyből a Parseval-tétel alkalmazásával

$$\begin{aligned} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \overline{x'(t)} \overline{x^{*'}(t)} dt &= \int_0^{\infty} S'(f) df = \sum_{i=0}^N \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x_{si}(t) x_{si}^*(t) dt = \\ &= \int_0^{\infty} \sum_{i=0}^N S_{si}(f) df \end{aligned} \quad (230)$$

Itt $S'(f)$ és $S_{si}(f)$ a $\overline{x(t)}$ ill. a $x_{si}(t)$ koordináta folyamat teljesítmény spektrumai. Mivel a (227) feltételek mellett a (226) egyenlethez a (223) spektrum tartozik a (222) és (230) egyenletből tehát következik, hogy a folyamat $1/f$ zaj.

A leírt modell könnyen realizálható pl. ciklikus elrendezésű azonos paraméterű R-L-hálózat segítségével, melyet termikusan gerjesztünk. Ebben az esetben a rendparaméter a hálózat induktivitásainak egymáshoz képesti szöge, ha ezt úgy választjuk meg, hogy teljesüljön a ciklikus szimmetria, akkor megjelenik a kollektív módus és az $1/f$ zaj. Létezik tehát a másodfajú fázisátalakulás modelljétől eltérő szinergia is. Itt jegyezzük meg, hogy létezik a statisztikus kollektívizálódás is. Ez úgy valósul meg, hogy a statisztikusan független rendszerek véletlen szinkronizációval közös eloszlás függvényvel fognak rendelkezni. Ezáltal korreláltak lesznek. Minden bizonnyal az élő szervezet sejtjei így szinkronizálják működésüket.