

Megbízhatóság és biztonságelmélet

Alapfogalmak

Megbízhatóság fogalma (1)

- *Köznapi értelmezésben* hibamentességet, egy jó értelemben vett jellemzőt jelent
- *Műszaki értelmezésben* valószínűségi jellegű számszerű jellemző
- Szűkebb értelemben a hibamentességet jelenti

Megbízhatóság fogalma (2)

- A megbízhatóság összetevői:
 - hibamentesség,
 - javíthatóság,
 - tartósság,
 - tárolhatóság
- Fenti összetevők különböző számjellemezőkkel írhatók le

Megbízhatóság szemléleti módjai

- Mérnöki szemlélet szerinti alapfeladat:
 - adott termék, rendszer megbízhatóságának meghatározása,
 - a megbízhatóság lehetőség szerinti számszerű jellemzése.
- Menedzser szemlélet szerinti alapfeladat:
az előírt megbízhatósági követelmények gazdaságos teljesítése az élelciklus (19. dia) különböző fázisaiban

Megbízhatóság-management területei

Megbízhatóság tervezése,

~ elemzése,

A megbízhatóság optimalizálása, előre jelzése

A nagy biztonságot igénylő, kritikus alkalmazásokhoz feltétlenül szükséges, mint pl. nukleáris erőmű, űrkísérlet, energiaellátás, információs hálózat, nagy számítógépes rendszer, orvosi berendezés, közlekedés irányítás stb.)

A háztartási készülékek esetén is nagy a megbízhatóság gazdasági jelentősége az élettartam, a szerviz, alkatrész tartalékolás, stb. miatt.

Biztonság, mint pszichológiai igény (Maslow)



Biztonság fogalma (1)

- *Köznapi értelmezésben* veszélymentességet jelent, a biztonság az ember fontos pszichológiai igénye
- *Műszaki értelmezésben* ez is valószínűségi jellegű számszerű jellemző
- Biztonság különböző értelmezési módjai
 - „safety” értelmében véve,
 - „security” értelmében véve

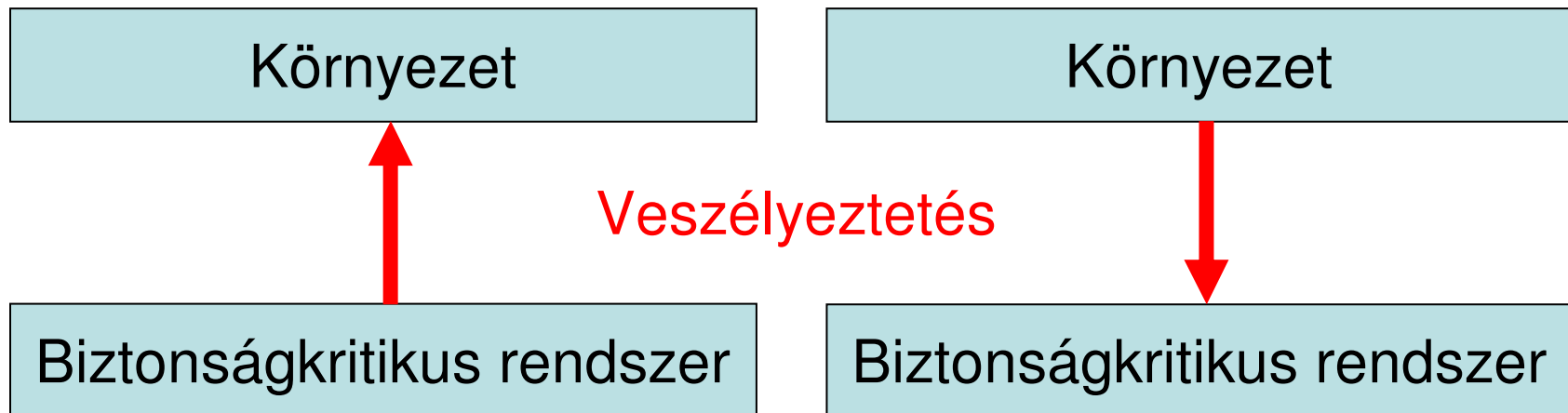
Biztonság fogalma (2)

- „safety” értelmében vett biztonság: a műszaki rendszerből származóan ne érje veszélyeztetés a környezetet, és az ott lévő embereket
- „security” értelmében vett biztonság: a műszaki rendszert ne érje veszélyeztetés a környezet ill. az ott lévő emberek felől

Biztonság fogalma (3)

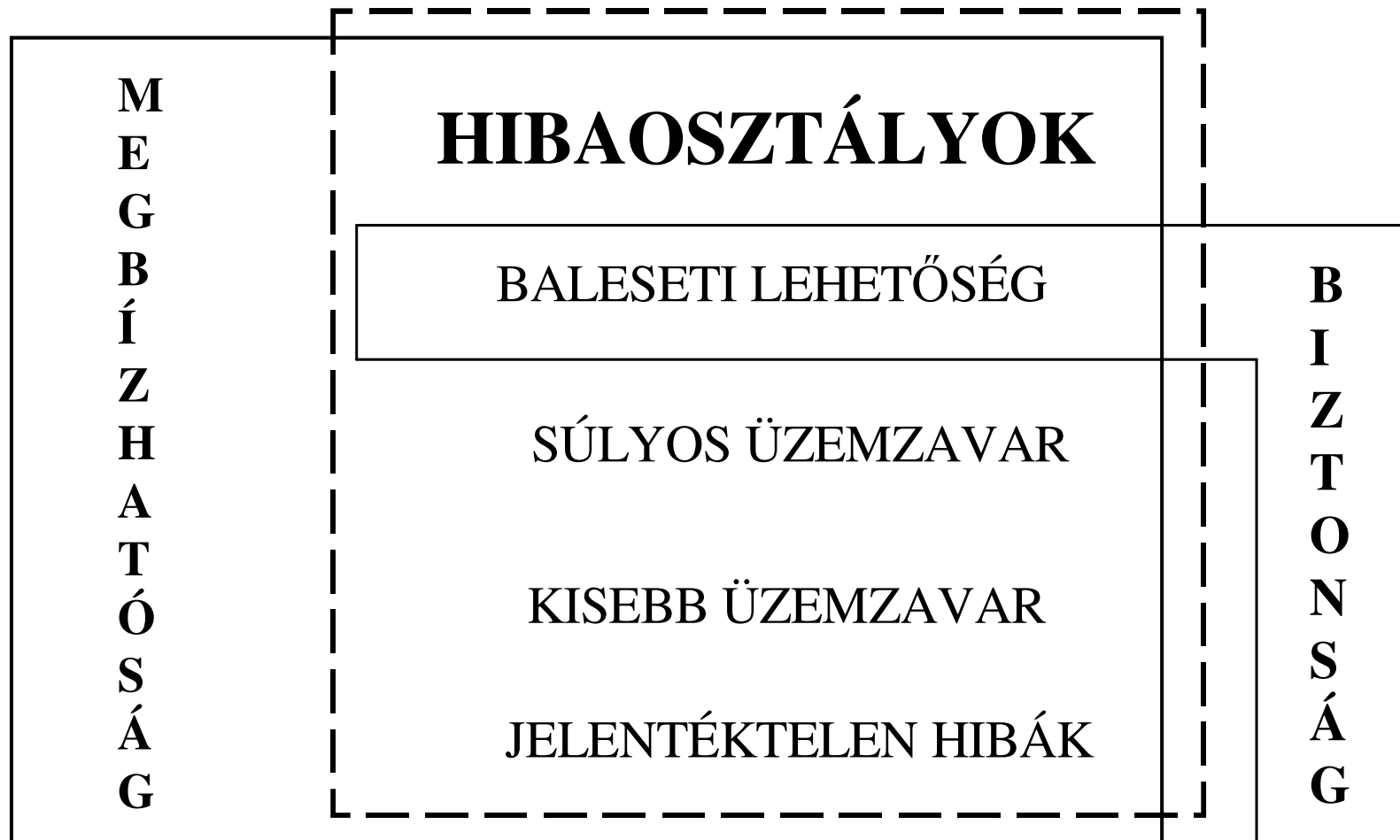
- Biztonság

safety ill. security
értelmében



A biztonság és a megbízhatóság fogalmának	
Hasonlósága:	Különbözése:
Mindkét fogalom hibákkal, meghibásodásokkal kapcsolatos	Megbízhatóság vizsgálatánál valamennyi hibát (akadályozó/veszélyes) figyelembe kell venni
Mindkét fogalom az adott időpontbeli hibátlan állapot valószínűségét jelenti	Biztonság vizsgálatnál csak a veszélyes hibát kell figyelembe venni

Megbízhatóság és biztonság kapcsolata



Minőség fogalma

- Minőség alapvető meghatározója a paraméterek és a specifikáció viszonya
- Megfelelő a minőség, ha a termék paraméterei a specifikációban meghatározott tűréstartományon belül vannak

NB.: a tűréstartományból való kilépés a kedvezőbb és kedvezőtlenebb irányban egyaránt hiba!

A helytelen rendszerparaméterekkel kapcsolatos fogalmak

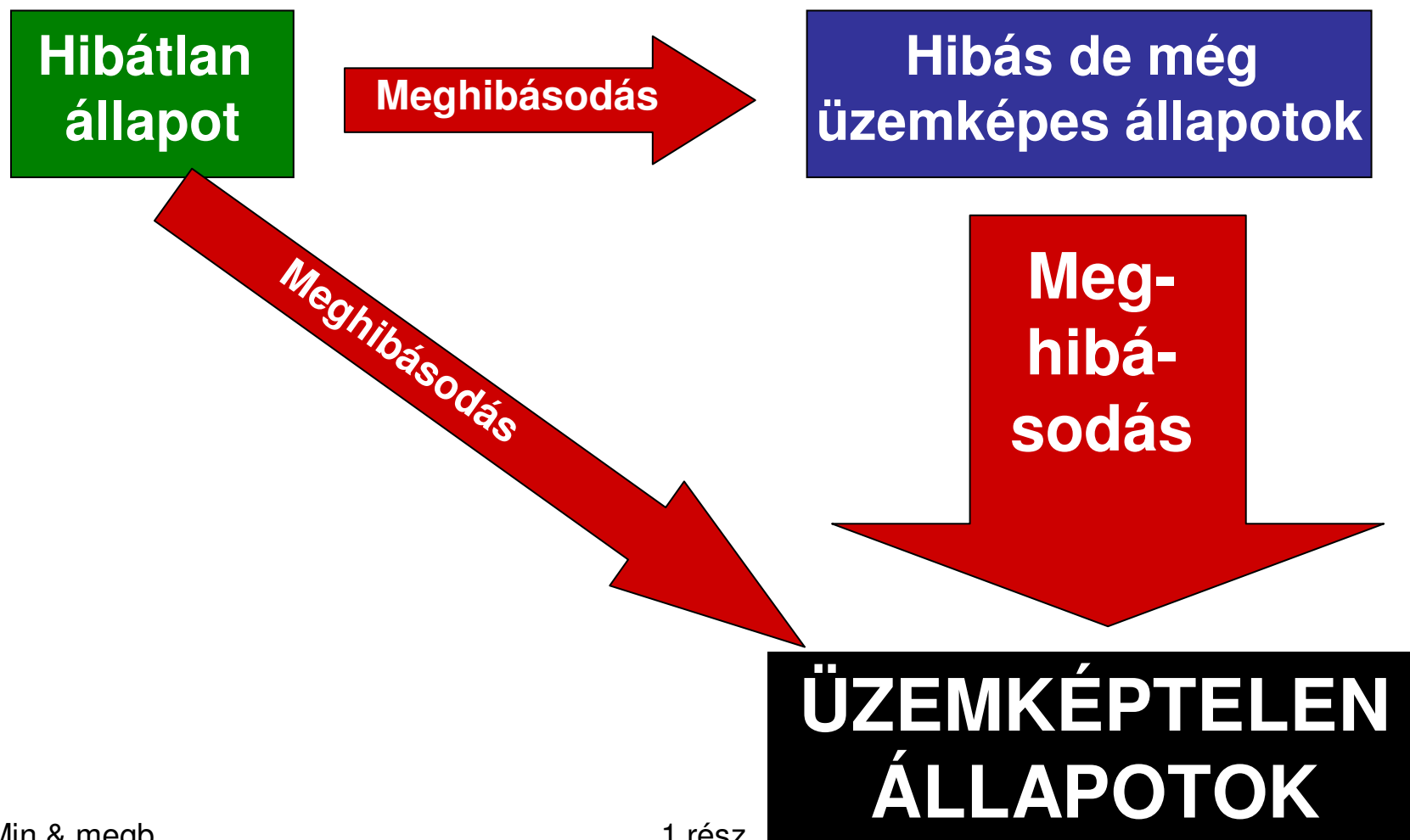
- Hiba - egy elvárt feladat nem teljesítése - **állapotot** jelent
- Meghibásodás - egy elvárás teljesítésének megszűnése: tehát a hibátlanból hibás állapotba való átmenet - **eseményt** jelent
- Zavar - külső hatásra bekövetkező meg nem engedett paraméter-eltérés

HIBA alatt értjük az előírt követelmények nem-teljesülését, tehát a hiba egy **állapot**

A MEGHIBÁSODÁS

egy meghatározott feladat ellátásának megszűnése, egy átmenet a hibátlan állapotból a hibásba, ez tehát egy **esemény**.

HIBA $\Leftrightarrow$ MEGHIBÁSODÁS



Hiba/meghibásodás értelmezése (1)

- A vizsgált egység meghatározott jellemző-jének (paraméterének) tényleges ("ist") értéke meg nem engedett mértékben eltér a szükségestől ("soll")
- Matematikailag: hibáról beszélünk, ha

$$\Delta(x_{tény}, x_{szüks}) = |x_{tény} - x_{szüks}| \geq \varepsilon$$

ahol ε a jellemző eltérésének megengedett értéke.

Hiba/meghibásodás értelmezése (2)

- Az $x_{\text{szüks}}$ érték a rendszer feladatából vezethető le
- A szükséges és tényleges (soll-ist) érték eltérése akkor meg nem engedett, ha a rendszer-cél nem teljesíthető
- Ez az eltérés önmagában még nem jelent hibát

Hiba/meghibásodás értelmezése (3)

- *Példa a szükséges és tényleges (soll-ist) értékek eltérésének különböző megítélésére:*

A felesleges túlméretezés kérdése:

ha a rendszercél a **biztonság**

⇒ a túlméretezés megengedhető

ha viszont a rendszercél a **gazdaságosság**

⇒ nem megengedhető

Hiba jelentkezése

Lehetséges az életciklus bármely fázisában:

- specifikáció (követelmények és feltételek),
 - koncepció kialakítás - rendszerterv,
 - konstrukciós tervezés,
 - gyártás,
 - szerelés,
 - vizsgálat (tesztelés),
 - üzembe helyezés,
-
- üzemeltetés (fenntartás).

Emberi tevékenységre visszavezethető hibák

- A feltétlfüzet hibája
 - Szoftverhiba a rendszertervben
 - A programírásakor elkövetett hiba
 - Tervezési hiba a hardverben
 - Kivitelezési hiba a hardverben
 - Hiba a dokumentációban
-
- Kezelési, adatbeviteli hiba
 - Fenntartási hiba
 - Szándékosan okozott hiba (vandalizmus)

A hiba jelentkezésének ideje

- A hibák bekövetkezésének időpontja általában az üzembehelyezés előtt
- A hibákat lehetőleg az üzembe helyezés előtt fel kell ismerni - tesztelés jelentősége!
- Szokásos feltételezés, hogy a műszaki rendszerek üzembe helyezésükkor hibátlan állapotban vannak
- A fenti életciklus fázisokban láthatóan az ember okozhatja a hibát

A hibák okai (1)

- Hibás állapot bekövetkezésének oka lehet:
 - emberi hiba, vagy
 - fizikai, kémiai meghibásodási mechanizmus
- Az emberi hiba lehet
 - inherens - az üzembehelyezés előtt a rendszerben már meglévő hiba,
 - nem inherens - az üzembehelyezés után elkövetett hiba

A hibák okai (2)

- A hiba közvetlen oka a rendszer kialakítása során az ember nem megfelelő tevékenysége - ennek fajtái
 - hibás cselekvés
 - mulasztás
- A hiba közvetett oka a gépi berendezések ember által meghatározott esetleg helytelen működési módja

A hibás cselekvés mélyebb okai

- Tudatlanság, ami lehet
 - tartós, vagy
 - ideiglenes
- Tévedés, félreértés, ami szintén lehet
 - tartós, vagy
 - ideiglenes
- Elkerülése szempontjából nagyon fontos az oktatás

A hibák hatásai (1)

- a nem teljesülő rendszercélok köre szerint
 - csupán egyetlen cél nem teljesül
 - a célok egy csoportja nem teljesül
 - egyetlen cél sem teljesül
- *Megjegyzés:*
a biztonsági vizsgálatnál csak a biztonságot mint rendszercélt érintő hibákat vizsgáljuk

A hibák hatásai (2)

- a rendszercél nem-teljesülésének mértéke szerint
 - a rendszercél egyáltalán nem érhető el, vagy csak
 - korlátozottan érhető el, itt a *korlátozás jelentkezhethet*
 - =időben
 - =teljesítményben
 - =vegyesen

Meghibásodások fajtái

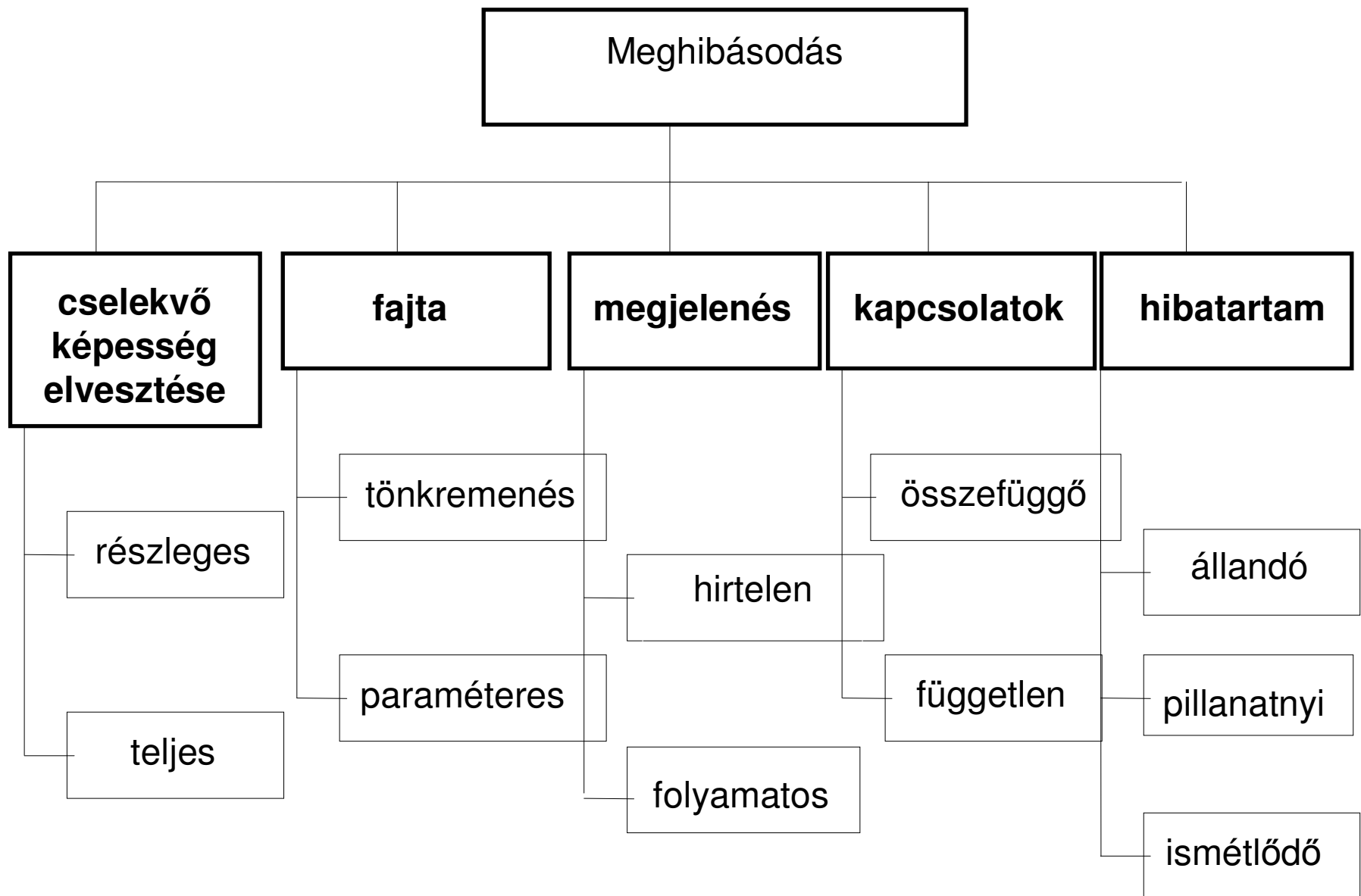
- Alkatrész meghibásodások
- Konstruktív hibából adódó
- Gyártástechnikai hiányosságból adódó
- Előírást meghaladó terhelés (túlterhelés)
 - Környezeti
 - Funkcionális
- Előírástos használat melletti öregedés
- Véletlen hardver-meghibásodások

Meghibásodások befolyásoló tényezői

- Gyártási mód, gyártási tűrések nagysága
- Környezeti feltételek (speciális klimatikus viszonyok, agresszív atmoszféra, stb.)
- Terhelés nagysága (adott esetben öregedéshez vezet)

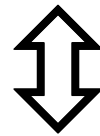
Jellegzetes meghibásodási módok

- Váratlan: diszkrét,
- Fokozatos: drift jellegű,
- Dinamikus: nem végleges, váltakozó, átmeneti jellegű,
- Katasztrofális: hirtelen bekövetkező, végleges és teljes (nem átmeneti jellegű).



A megbízhatóság jellemzői

Determinisztikus jellemzők



Sztokasztikus jellemzők

- **Determinisztikus:**
robosztusság, javíthatóság, sebezhetőség
- **Sztokasztikus:**
várható paraméterérték (pl. időtartam)
valószínűségi függvények (pl. eloszlás)

A leggyakoribb determinisztikus jellemzők

- Robusztusság: bolond-biztos (foolproof, idiotenfest),
- Javíthatóság, cserélhetőség, bonthatóság,
- Sebezhetőség (vulnerability).

Robusztusság

- Az objektum eredeti működési tartományának túllépéséből származó emberi hibák elviselését jelenti, mint pl.
 - hibás beállítás,
 - helytelen kezelés.
- Robusztusság növelési lehetőségei (ideális felhasználó esetén nem hoz nagy előnyt)
 - Műszerek túlterhelés elleni védelme,
 - Mechanikus beállító szerkezet nyomatékhatárolása
 - Szoftver hibajelzés rossz adat esetén
 - Művelet felhasználói megerősítése

Javíthatóság

- Feltételei:
 - megfelelő villamos, mechanikai bonthatóság,
 - alkatrészek, egységek cserélhetősége,
 - megfelelő képzettségű karbantartó személyzet,
 - megfelelő tartalékalkatrész-készlet
- Figyelembe veendő fontos szempont – a gazdaságosság
- Értékében bizonytalan, nehezen számszerűsíthető tulajdonság

Sebezhetőség

- A szándékos hiba okozással kapcsolatos
- Megadható
 - azzal a minimális szándékos hiba okozással, ami a rendszert üzemképtelenné teszi, vagy
 - azzal a maximális károkozással, ami még nem okoz üzemképtelenséget
- Pl. kétirányú forgalmat lebonyolító hálózat egy vonalas felépítés esetén sebezhetőbb, mint gyűrűs struktúra esetén

A gyakoribb sztochasztikus jellemzők

- Vonatkozhatnak: a hibamentességre, javíthatóságra, tartósságra, tárolhatóságra
- Lehetnek:
 - a minőséggel kapcsolatos **valószínűségek (idő)függvényei**
 - A meghibásodási folyamatra vonatkozó **sebesség jellemzők**,
 - egyes jellemzőkhöz tartozó **várható (idő)tartamok** (élettartam jellemzők)
 - Hatásfok jellegű jellemzők (javítható rendszerekre)

Hibamentességi számjellemezők (1)

- Meghibásodási folyamat számjellemezői (állapot jellemezők)
 - hibamentes működés valószínűsége - az ún. megbízhatósági függvény $R(t)$ [1],
 - meghibásodási valószínűség - az ún. meghibásodási függvény $F(t)$ [1],
- Sebesség jellegű számjellemezők
 - meghibásodási tényező (ráta) $\lambda(t)$ [1/ó],
 - meghibásodások sűrűségfüggvénye $f(t)$ [1/ó]

Hibamentességi számjellemezők (2)

- Élettartam jellemzők
 - átlagos működési idő (értelmezésük később),
= MUT,
= T_U , $\bar{T}$
= további jelölés:
 - meghibásodások közti átlagos működési idő
MTBF (elnevezés megtévesztő jellege)

Javíthatósági számjellemzők

- Javítási folyamat számjellemzője
 - helyreállítási valószínűség,
- Sebesség jellegű számjellemző
 - helyreállítási intenzitás,
- Javítási időkre vonatkozó jellemzők
 - átlagos javítási idő,
 - átlagos állásidő,
 - javítás előtti átlagos várakozási idő

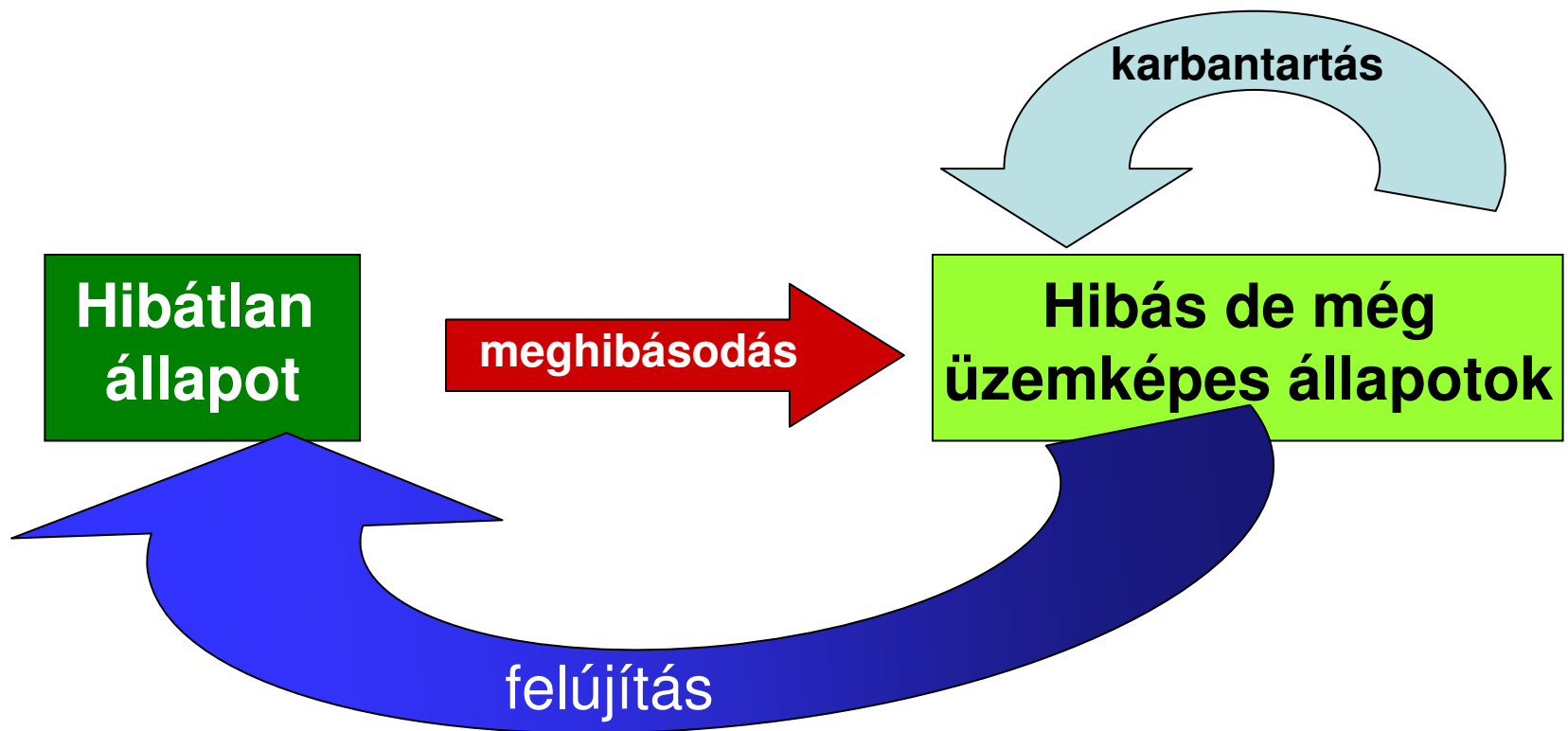
Tartósságra és tárolhatóságra vonatkozó számjellemezők

- Tartósság
 - átlagos üzemi működés,
 - átlagos élettartam,
 - üzemi működés q -kvantilisei stb.
- Tárolhatóság
 - átlagos tárolhatósági időtartam,
 - tárolási idő q -kvantilisei stb.

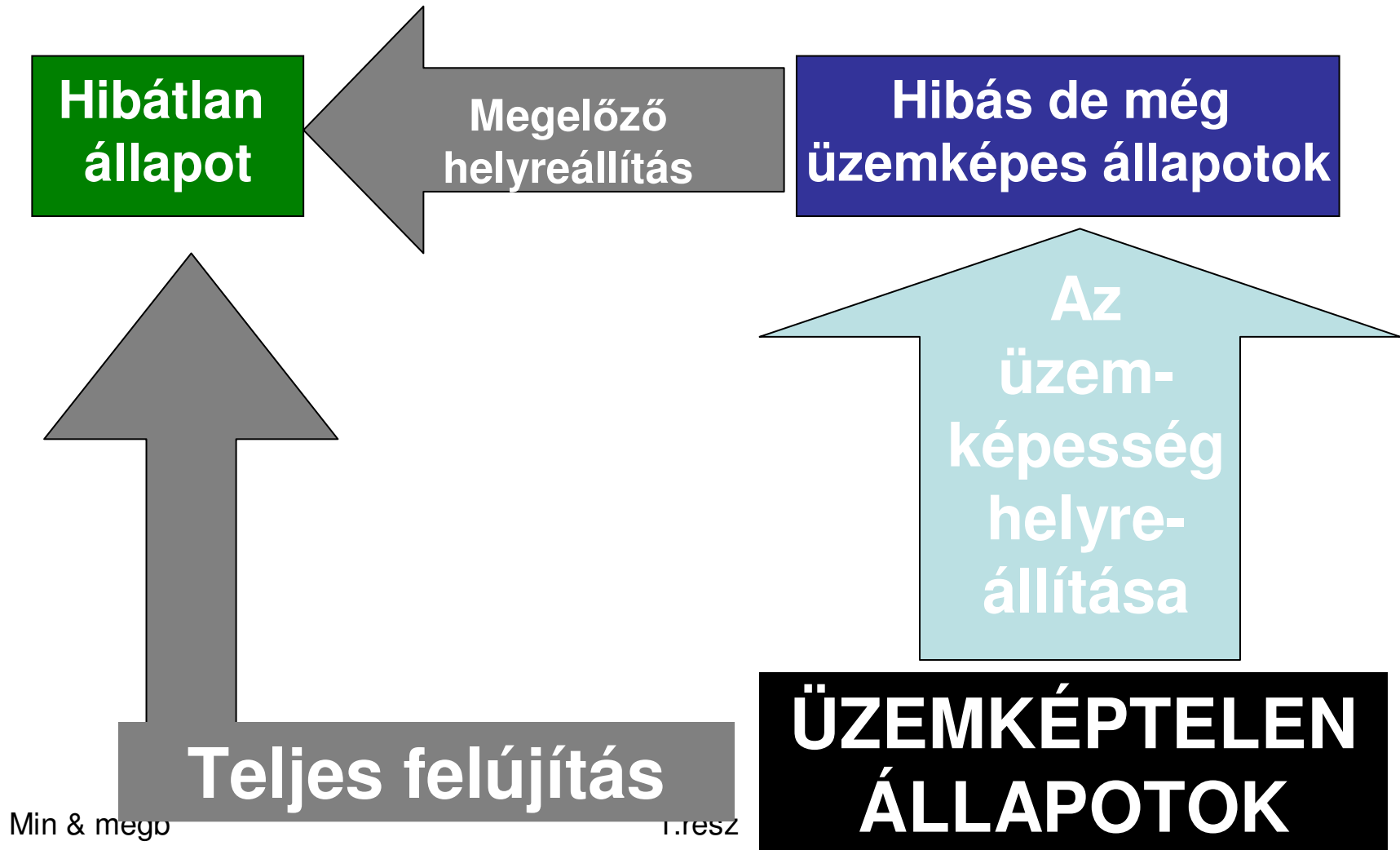
Javítható rendszerek jellemzői

- Javítási folyamat számjellemezője
 - helyreállítási valószínűség,
- Sebesség jellegű számjellemező
 - helyreállítási intenzitás (μ),
- Javítási időkre vonatkozó jellemzők
 - átlagos javítási idő,
 - átlagos állásidő,
 - javítás előtti átlagos várakozási idő
- Hatásfok jellegű jellemző – tartós üzemképesség

Javítható rendszerekkel kapcsolatos állapotok és események (1)



Javítható rendszerekkel kapcsolatos állapotok és események (2)



Megbízhatósági jellemzők empirikus meghatározása (1)

- Gondolat kísérlet alapján:
- N_0 alkatrész vizsgálatát kezdjük el a $t=0$ időpontban
- Egyes Δt időszakokban meghibásodott alkatrészek száma mh_i
- $N(t)$ - a t időpontban még jó alkatrészek mennyisége
- A t időpontig meghibásodott alkatrészek össz mennyisége

$$F(t) = \sum_t mh_i$$

Megbízhatósági jellemzők empirikus meghatározása (2)

$$F(t) = \frac{N_0 - N(t)}{N_0} \qquad R(t) = \frac{N(t)}{N_0}$$

$$F(t) + R(t) = \frac{N_0 - N(t)}{N_0} + \frac{N(t)}{N_0} = \frac{N_0}{N_0} = 1$$

Megbízhatósági jellemzők empirikus meghatározása (3)

$$f(t) = \frac{n_i}{N_0 \cdot \Delta t}$$

$$n_i = N(t) - N(t + \Delta t)$$

$$f(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}$$

Megbízhatósági jellemzők empirikus meghatározása (4)

$$f(t) = \frac{N_0 - N(t + \Delta t) - [N_0 - N(t)]}{N_0 \cdot \Delta t}$$
$$= \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \frac{\Delta F}{\Delta t}$$

Megbízhatósági jellemzők empirikus meghatározása (5)

$$\lambda(t) = \frac{n_i}{N(t) \cdot \Delta t} = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) \cdot \Delta t} =$$

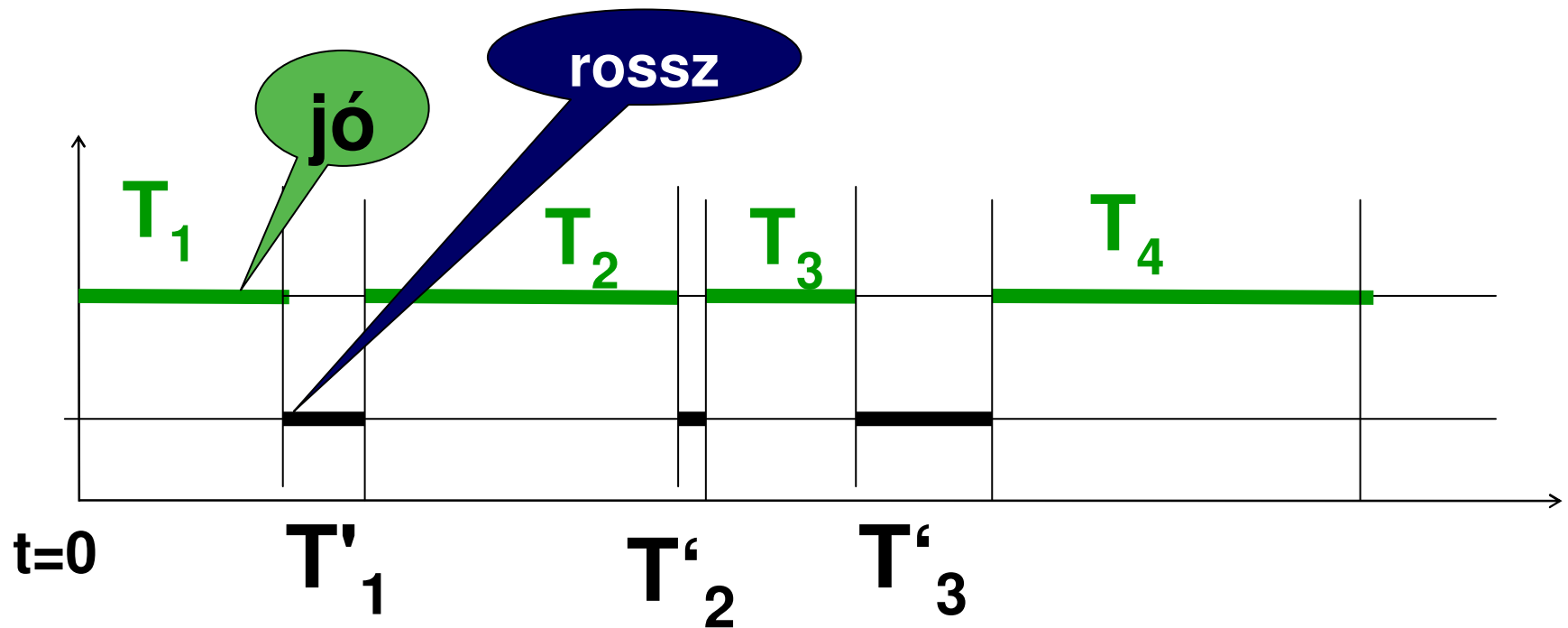
Megbízhatósági jellemzők empirikus meghatározása (6)

$$\begin{aligned}\lambda(t) &= \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) \cdot \Delta t} = \frac{\frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}}{\frac{N(t)}{N_0}} = \\ &= \frac{\frac{\Delta F}{\Delta t}}{R(t)} = \frac{F'(t)}{R(t)} = -\frac{R'(t)}{R(t)}\end{aligned}$$

Alapvető kapcsolatok a paraméterek között

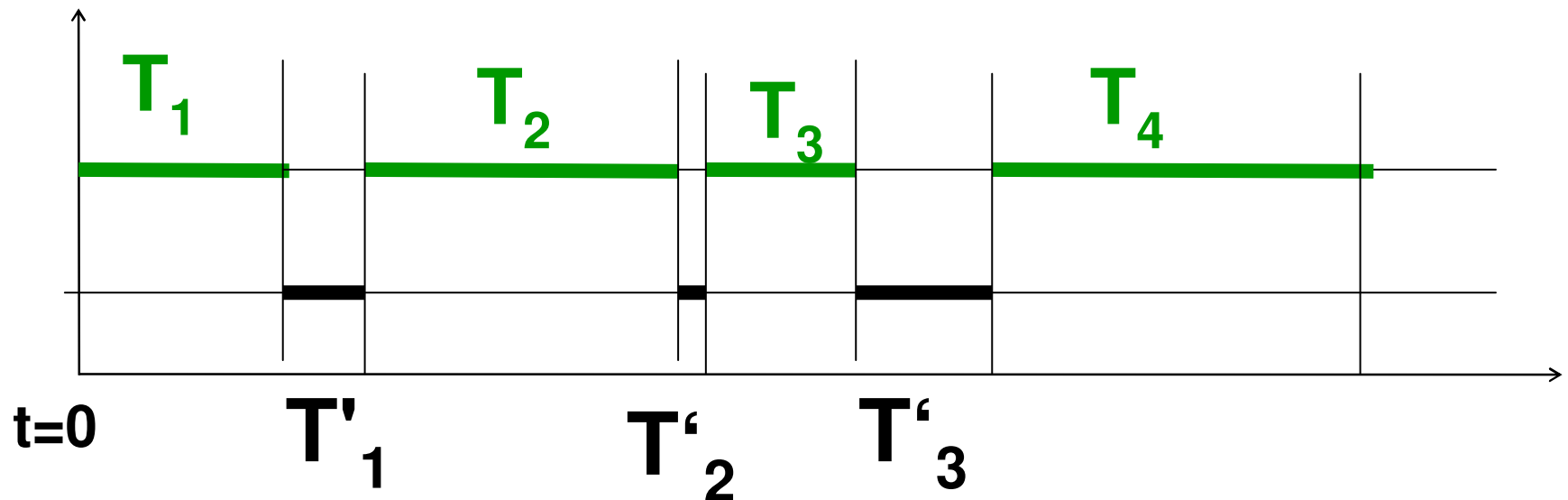
Ismert függvény	A további függvények számítási módja			
	$R(t)$	$F(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$R(t)$	$R(t)$	$1 - R(t)$	$-\frac{d}{dt}R(t)$	$-\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{d}{dt}R(t)$
$F(t)$	$1 - F(t)$	$F(t)$	$\frac{d}{dt}F(t)$	$\frac{1}{1 - F(t)} \cdot \frac{d}{dt}F(t)$
$f(t)$	$\int_t^{\infty} f(\tau) d\tau *$	$\int_0^t f(\tau) d\tau$	$f(t)$	$\frac{f(t)}{\int_t^{\infty} f(\tau) d\tau}$
$\lambda(t)$	$e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}$	$1 - e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}$	$\lambda(t) \cdot e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}$	$\lambda(t)$

Élettartam jellemzők értelmezése (1)



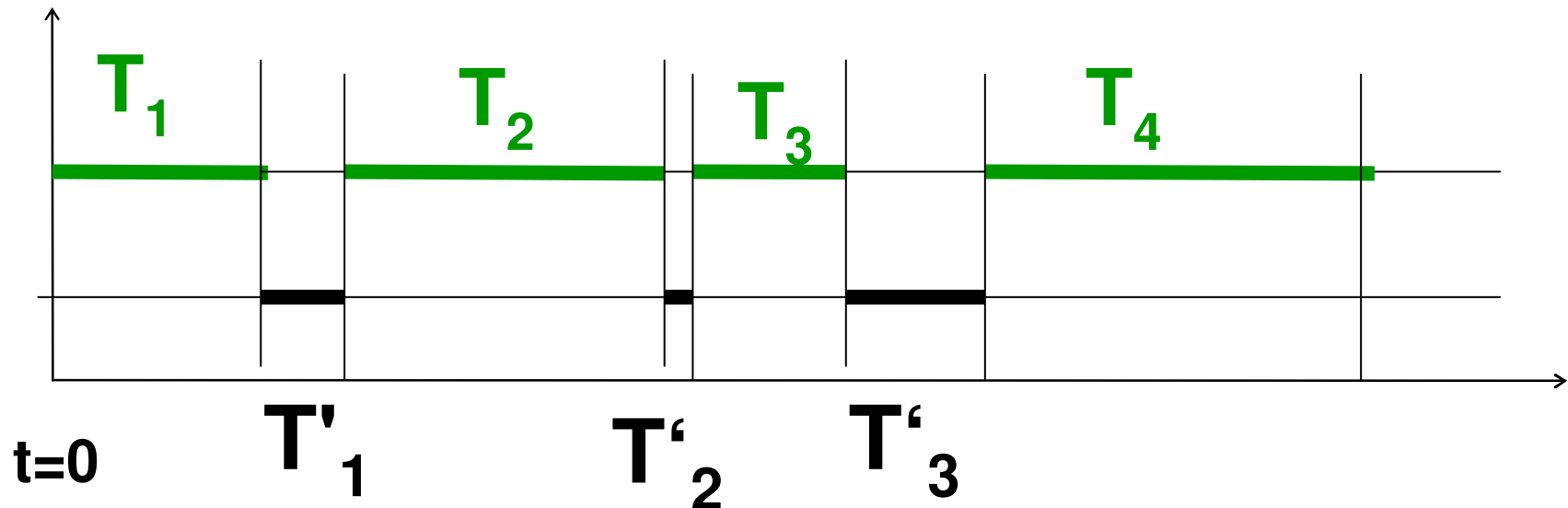
$$T_F = M\{T_1\} \quad (= MTTF)$$

Élettartam jellemzők értelmezése (2)



$$T_U = M\{T_i\} \quad (= MUT)$$

Élettartam jellemzők értelmezése (3)



$$T_D = M\{T'_i\} \quad (= MDT)$$

**Készenléti tényező
(availability,
Dauerverfügbarkeit, gatovnoszty):**

$$K = \frac{T_U}{T_U + T_D}$$

DTR = Down Time Ratio

$$K_D = \frac{T_D}{T_U + T_D} = 1 - K$$

A minőség és a megbízhatóság kapcsolata

Az objektum minőségi jellemzői végeesszámú (n) paraméterrel leírhatók:

$$q_1(t), q_2(t), q_3(t), \dots, q_i(t), \dots, q_n(t).$$

Ezek a paraméterek általában időben változók.

Vektorba rendezve:

$$\underline{Q}^T(t) = [q_1(t), q_2(t), q_3(t), \dots, q_i(t), \dots, q_n(t)].$$

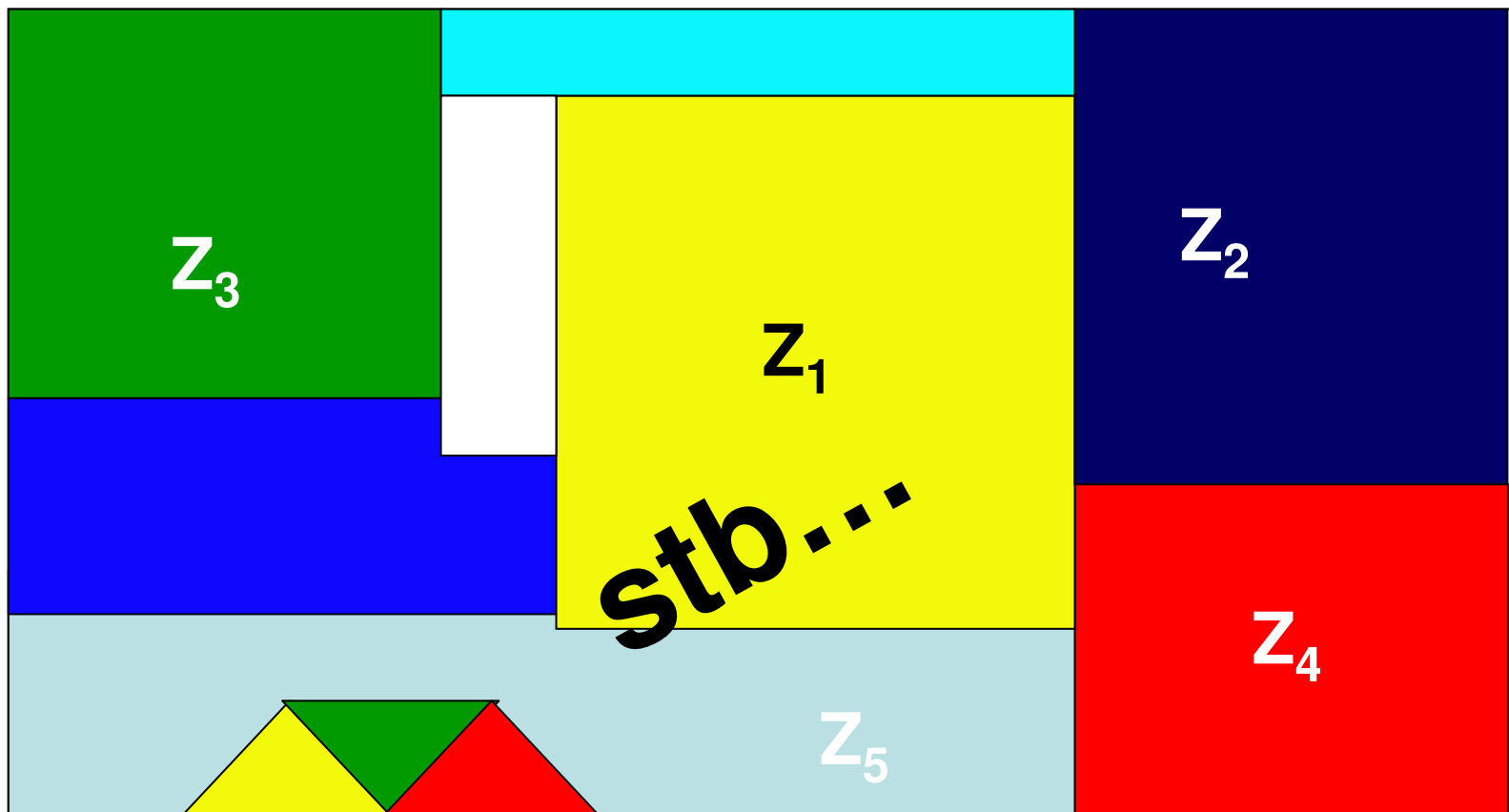
Az állapottér

$$\underline{Q}^T(t) \in \Omega$$

Az állapottér



Az állapottér részei diszjunkt tartományok (Markov modell)



**Ω - t véges számú (m) diszjunkt
(egymást kölcsönösen kizáró)
résztartományra osztjuk:**

$$\mathbf{Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_m,}$$

$$Z_i \cap Z_j = \Phi$$

$$\bigcup_{i=1}^m Z_i = \Omega$$

Az $x(t)$ állapotindex bevezetése

$$x(t) = i, \text{ ha } \underline{Q}(t) \in Z_i$$

A rendszer az i -edik állapotban van.

Állapotok sorrendje

- Önkényes alapon
 - Első állapot (0, vagy 1): jelenti a teljesen hibátlan állapotot: ez a $t=0$ időpontban feltételezett állapot
 - A $0 \text{ (vagy } 1) < i < h$ állapotjellemző esetén a rendszer már tartalmaz hibát, de még üzemképes
 - A $h < i$ állapotok esetén a rendszer üzemképtelen

Üzemképes (*up*):

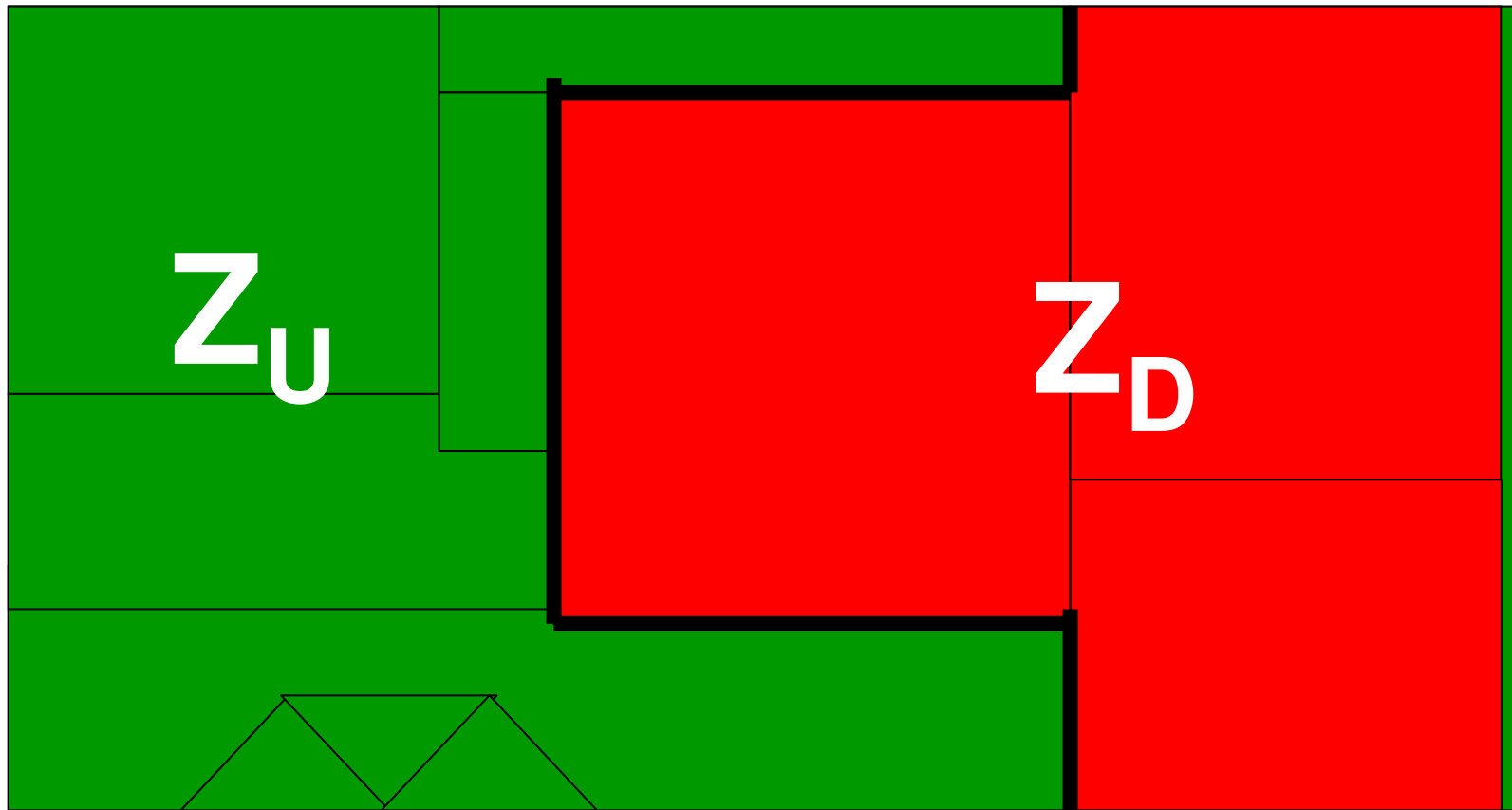
$$Z_U = \bigcup_{i=1}^h Z_i \quad \text{azaz} \quad x(t) \leq h$$

és üzemképtelen (*down*):

$$Z_D = \bigcup_{i=h+1}^m Z_i \quad \text{azaz} \quad x(t) > h$$

$$Z_U \cup Z_D = \Omega \quad \text{és} \quad Z_U \cap Z_D = \Phi$$

Az állapottér két diszjunkt résztartománya (Boole modell)



A megbízhatóság *valószínűség*-jellemzői (1)

Üzemképesség (=üzemkészség)

dependability, Verfügbarkeit

$$d(t) = P_r \{Q(t) \in Z_U\}$$

Fontos összefüggés a készenléti
tényezővel

$$d(t) \mapsto K, \quad \text{ha} \quad t \mapsto \infty.$$

A megbízhatóság *valószínűség-jellemzői* (2)

Megebízhatóság

hibamentes működés valószínűsége

Reliability, Ausfallfreiheit

$$R(t) = P_r \{Q(t') \in Z_U\} \quad \forall t' \leq t$$

A megbízhatóság *valószínűség*-jellemzői (3)

Meghibásodási függvény:

$F(t) = 1 - R(t)$ *eloszlásfüggvény*,

aminek létezik a deriváltja :

$d[R(t)]/dt = R'(t)$ jelöléssel:

$$F'(t) = - R'(t) = f(t) \geq 0$$

Ez az $f(t)$ *sűrűségfüggvény*.

KONVENCIÓK

(feltételek, megállapodások)

- $R(t = 0) = 1$
- $R(t < 0) \equiv 0$
- $d(t = 0) = 1$
- $d(t < 0) \equiv 0$
- $R(t \rightarrow \infty) = 0$
- $d(t \rightarrow \infty) = K > 0$

Meghibásodási tényező

ha van (lehet) javítás

Failure data, FR , Ausfallrate általában:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr [Q(t+\Delta t) \in Z_D \mid Q(t) \in Z_U]}{\Delta t}$$

Meghibásodási tényező

Failure data, ha nincs javítás:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_r\{t < \tau_1 \leq (t + \Delta t)\} \mid P_r\{\tau_1 > t\}}{\Delta t}$$

Meghibásodási tényező matematikai meghatározása (1)

- Túlélés valószínűségének meghatározása:
 - egy alkatrész t ideig már hibátlanul működött (A esemény)
 - keresett annak a valószínűsége, hogy ezután még Δt ideig működni fog (B esemény), ez a következő feltételes valószínűség

$$P(t, \Delta t) = P\{B | A\} = \frac{P\{A \cdot B\}}{P\{A\}}$$

Meghibásodási tényező matematikai meghatározása (2)

- A és B esemény együttes eseménye a teljes $t_1=t+\Delta t$ időtartam túlélését jelenti:
- A $t...t_1$ időszakban való meghibásodás valószínűsége a fenti érték 1-es komplementeként valóban az empirikus meghatározás során kapott eredményt adja

$$P(t, \Delta t) = \frac{R(t_1)}{R(t)} \quad \text{és} \quad F(t, \Delta t) = 1 - \frac{R(t_1)}{R(t)} = - \frac{R(t_1) - R(t)}{R(t)}$$

Meghibásodási tényező matematikai meghatározása (3)

- A meghibásodás sebességére vonatkozó összefüggést képezve az előzőeknek megfelelően:

$$\frac{F(t, \Delta t)}{\Delta t} = - \frac{R(t_1) - R(t)}{\Delta t \cdot R(t)} = - \frac{R'(t)}{R(t)} = \lambda(t)$$

Meghibásodási tényező

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)}$$

Fontos!
A meghibásodási tényező
gyakran jó közelítéssel
állandó az időben!

A meghibásodási tényezőre vonatkozó matematikai összefüggések

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)}$$

amiből

$$\int_0^t \lambda(t) \cdot dt = -\int_0^t \frac{dR(t)}{R(t)} = -\ln R(t)$$

és

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) \cdot d\tau}$$

A meghibásodási tényezőre vonatkozó matematikai összefüggések (2)

$$R(t) \Big|_{\lambda=\text{áll.}} = e^{-\int_0^t \lambda \cdot d\tau} = e^{-\lambda \cdot \int_0^t d\tau} = e^{-\lambda \cdot [\tau]_0^t}$$

vagyis

$$R(t) \Big|_{\lambda=\text{áll.}} = e^{-\lambda \cdot t}$$

Példa (a)

Egy termék meghibásodási tényezője: $\lambda=10^{-6}$ /óra (MTBF= 114,15 év). Egy évig üzemeltetve mennyire csökken a megbízhatósága?

Megoldás:

$$t = 1 \text{ év} = 8760 \text{ óra } (\approx 0,01 \cdot \text{MTBF})$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} = \exp(-8,76 \cdot 10^{-3}) = 0,99128$$

$$\approx 1 - \lambda t \approx 0,99124 \%$$

Ugyanis

$$e^x = 1 + x / 1! + x^2 / 2! + \dots \approx 1 + x, \text{ ha } |x| \ll 1$$

Példa (b)

Egy termék meghibásodási tényezője: $\lambda=10^{-4}$ /óra (MTBF=1,14 év). Egy évig üzemeltetve mennyire csökken a megbízhatósága?

Megoldás:

$$t = 1 \text{ év} = 8760 \text{ óra} (\approx 1,14 \cdot \text{MTBF})$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} = \exp(-8,76 \cdot 10^{-3}) = 0,876$$

$$\approx 1 - \lambda t \approx 0,124 \%$$

(Ebben az esetben már nem alkalmazható a közelítés!!!)

Alkatrészek élettartamának meghatározása (1)

- Diszkrét valószínűségi változók esetén különböző t_i élettartamok különböző n_i gyakorisággal fordulnak elő, ezekből az átlag élettartam:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^m n_i} = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{\sum_{i=1}^m n_i} \cdot t_i = \sum_{i=1}^m \hat{p}_i \cdot t_i$$

Alkatrészek élettartamának meghatározása (2)

- Folyamatos valószínűségi változók esetén különböző t_i élettartamok különböző n_i gyakorisággal fordulnak elő, ezekből az átlag élettartam igazolható módon:

$$\bar{T} = \int_{-\infty}^{+\infty} t \cdot f(t) \cdot dt = \int_0^{+\infty} R(t) \cdot dt$$

Alkatrészek élettartamának meghatározása (3)

A szorzatfüggvény integrálási szabálya alapján

$$\int_0^{\infty} u \cdot v' \cdot dt = [u \cdot v]_0^{\infty} - \int_0^{\infty} u' \cdot v \cdot dt \quad \text{alapján}$$

$$u = t \quad \text{és} \quad v' = f(t) = \frac{dF}{dt} = -\frac{dR}{dt} \quad \text{feltételezéssel}$$

$$u' = 1 \quad \text{és} \quad v = -R(t) \quad \text{adódik.}$$

Alkatrészek élettartamának meghatározása (4)

Fentiek alapján

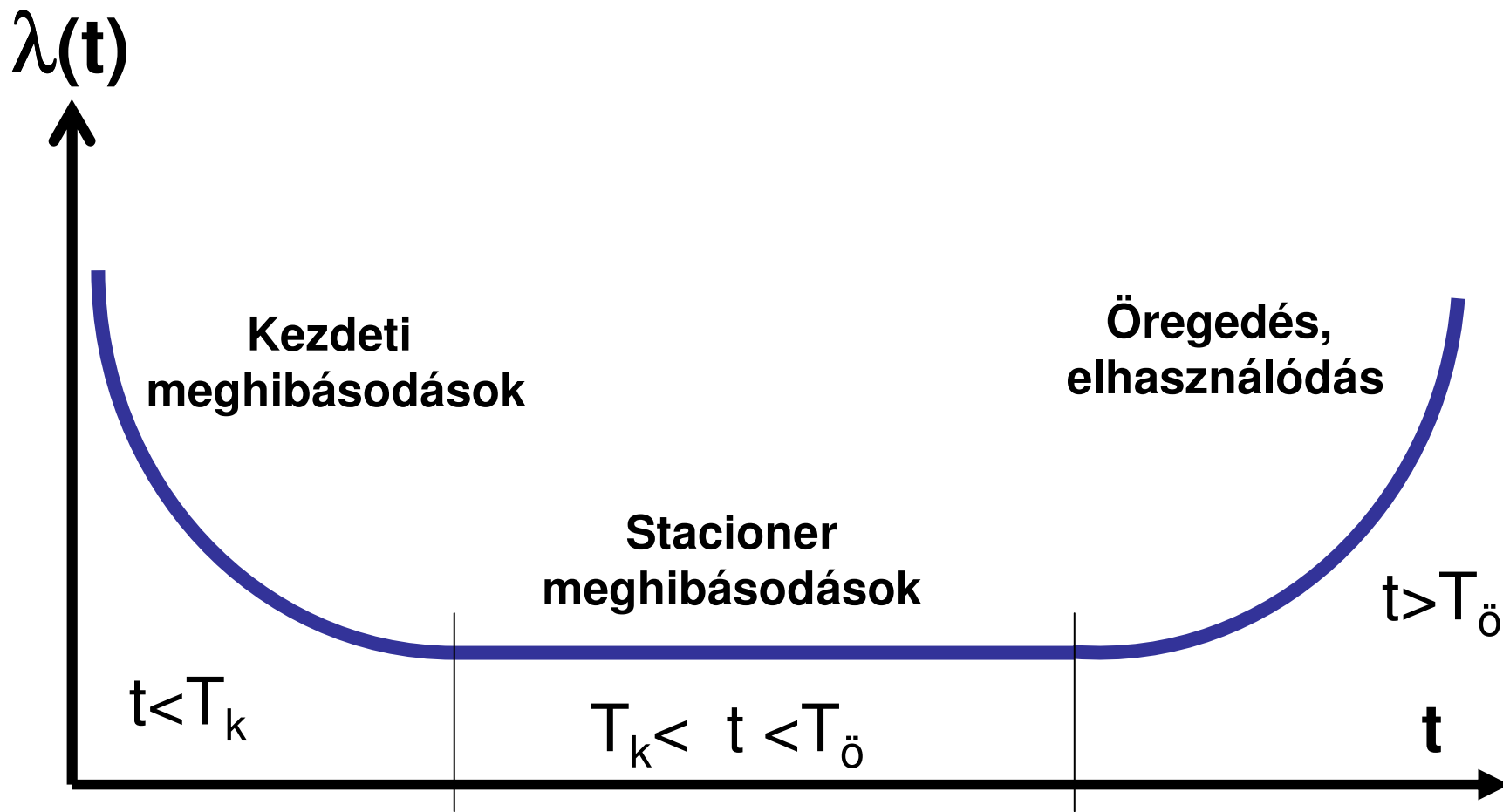
$$\bar{T} = \left[-t \cdot R(t) \right]_0^{\infty} - \int_0^{\infty} [-R(t)] \cdot 1 \cdot dt = (0 - 0) + \int_0^{\infty} R(t) \cdot dt$$

vagyis valóban
$$\bar{T} = \int_0^{\infty} R(t) \cdot dt$$

$$\lambda=\text{áll. esetben} \quad \bar{T} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda \cdot t} \cdot dt = \frac{\left[e^{-\lambda \cdot t} \right]_0^{\infty}}{-\lambda} = \frac{0 - 1}{-\lambda} = \frac{1}{\lambda}$$

Ebben az esetben a szokásos megjelölés: MTBF

Élettartam fázisok



(Ez az ú.n. „*fürdőkádgörbe*”)

Meghibásodási tényező mértékegységei

- mérnöki gyakorlatban célszerű egység választása

$$\left[\frac{1}{\circ} \right] \rightarrow \text{túl nagy mértékegység lenne}$$

$$\left[\frac{1}{1000 \circ} \right] = 10^{-3} \left[\frac{1}{\circ} \right]$$

$$\left[\frac{\text{ezrelék}}{1000 \circ} \right] = 10^{-6} \left[\frac{1}{\circ} \right]$$

$$1 \text{ FIT} = 10^{-9} \left[\frac{1}{\circ} \right]_{1.\text{rész}}$$

Min & megb

Meghibásodási tényező szokásos értékei

- alkatrészekre
 - jelfogó (típustól, mérettől függően) 1000 [FIT]
 - IC (típustól, mérettől függően) 1 - 100 [FIT]
 - Kondenzátor, ellenállás 1 - 10 [FIT]
 - Áramköri kötés 0,1 - 1 [FIT]
- ember-gép rendszerben
tevékenykedő emberre közelítően
$$10^6 \text{ [FIT]} = 10^{-3} \text{ [1/ó]}$$

Meghibásodási tényező alakulása

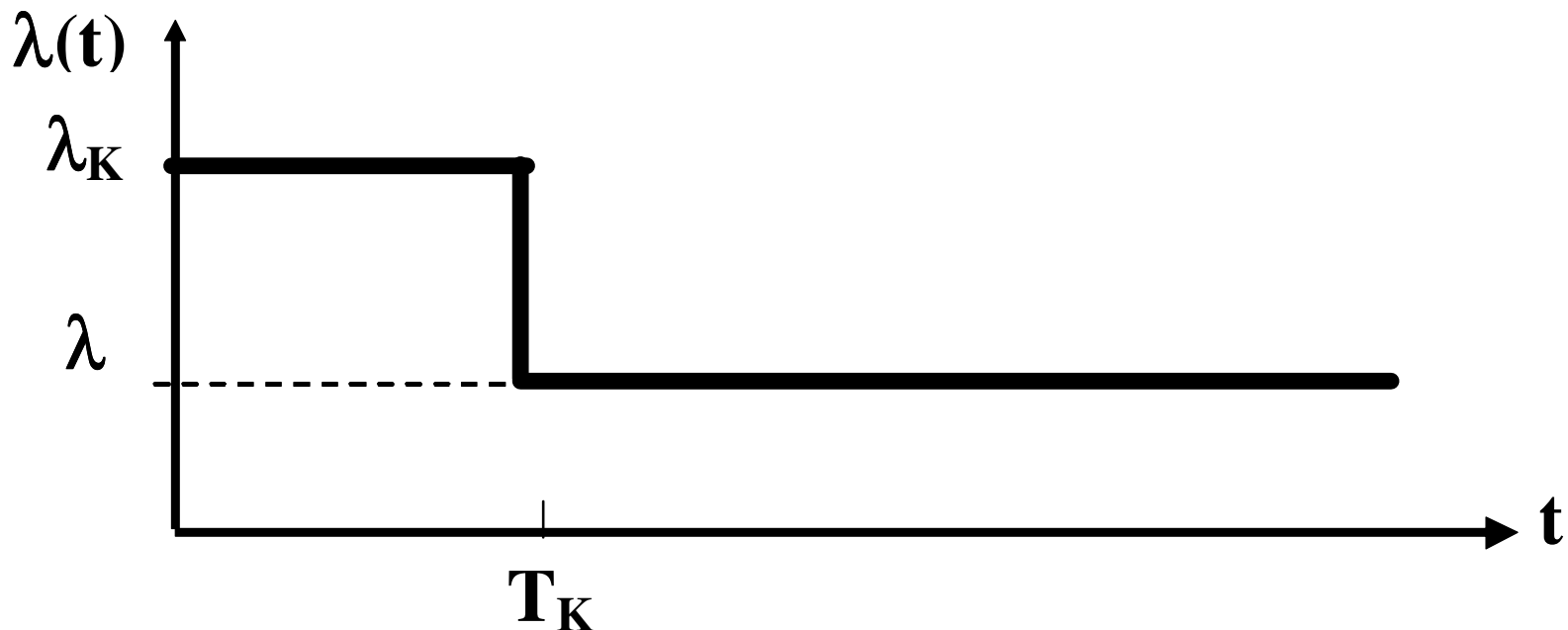
- A fürdőkád görbe három szakasza
 - bejáratási időszak,
 - hasznos élettartam,
 - öregedési szakasz
- Az egyes szakaszok matematikai leírási lehetőségei
 - normál eloszlás - az öregedési szakaszra
 - exponenciális eloszlás a hasznos élettartamra,
 - a teljes görbére - a Weibull eloszlás

Kezdeti meghibásodások szakasza (1)

- általában nem hagyható figyelmen kívül
 - gyártástechnológia nem azonnal jelentkező hibái
 - gyártásközi ellenőrzés hiányosságai
- rejtett anyaghibák
- bonyolultabb alkatrészek nem tesztelhetők 100 %-osan
- szoftverek ún. béta verziói

Kezdeti meghibásodások szakasza (2)

- Kezdeti szakasz egyszerűbb figyelembe vételére a függvényt lépcsős görbével közelítik



Kezdeti meghibásodások szakasza (3)

- Az integrálás a lépcsős függvényre egyszerűen végezhető (görbe alatti terület!)

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) \cdot d\tau} = e^{\left\{-\left[\lambda_K \cdot T_K + \lambda \cdot (t - T_K)\right]\right\}}$$

- Az integrálást elvégezve

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t^*}$$

ahol

$$t^* = t + \left(\frac{\lambda_K}{\lambda} - 1\right) \cdot T_K \quad \text{NB.: } t^* > t$$

Normális (Gauss) eloszlás (öregedési szakaszra közelítés)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t - T_F)^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

σ - szórás,

T_F - a meghibásodási idők várható értékét jelenti

Csak közelítően alkalmazható (elvi probléma, hogy $t < 0$ értékekre is pozitív eredményt ad (0 helyett) és nem teljesíti az $R(0)=1$ feltételt

Közelítés jó, ha szórás sokkal kisebb a várható értéknél!

Teljes görbére: Weibull eloszlás

$$R(t) = \exp(-\beta \cdot t^\alpha) = e^{-\beta \cdot t^\alpha}$$

$$\int_0^t \lambda(\tau) \cdot d\tau = \beta \cdot t^\alpha$$

$$\lambda(t) = \alpha \cdot \beta \cdot t^{\alpha-1}$$

$$\lambda(t) \Big|_{\alpha=1} = \beta = \text{állandó} = \lambda$$

Weibull eloszlás alkalmazása

- Az Weibull eloszlás az α paraméter megfelelő megválasztásával a teljes „fürdőkád-görbét” leírja
 - kezdeti meghibásodási szakasz $\alpha < 1$,
 - stacioner meghibásodások szakasza $\alpha = 1$,
 - öregedési szakasz $\alpha > 2$,
 - speciális redundáns rendszerek modellezésére alkalmas, ha $1 < \alpha < 2$
- Hátrány a paraméterek meghatározásának nehézsége

λ meghatározása laboratóriumban

- Előny
 - a mérési körülmények ismertek,
 - a meghibásodás oka felderíthető
- Hátrány
 - költségigénye nagy,
 - = anyag,
 - = személyzet,
 - = beruházás
 - fokozott igénybevételből kell a normálra következtetni

λ meghatározása üzemben

- Üzemeltetési hibastatisztikák alapján
- Előny
 - a kombinált, valóságos igénybevételnek megfelelő üzemi érték adódik,
 - a hibastatisztika olcsó!
- Hátrány
 - időigénye nagy,
 - körülmények nehezen reprodukálhatók,
 - a meghibásodás oka nehezen állapítható meg

A λ befolyásoló tényezői

- Objektumok igénybevételi módjai
 - funkcionális terhelés a használat következtében
 - környezeti terhelés - az üzemi viszonyokkal összefüggésben
- Stresszor
 - adott határérték felett azonnali tönkremenetelt okoz,
 - határérték alatt is befolyásolja a meghibásodás folyamatát

Stressz modell célja

- tervező, felhasználó, üzemeltető ez alapján tudja meghatározni az aktuális üzemi viszonyok mellett érvényes λ értéket
- gyártó a λ specifikálásához szükséges vizsgálati idő csökkentésére gyorsított eljárásokat használható

Stressz - gyorsítási tényező

$$\lambda_{\ddot{u}} / \lambda_n = \alpha(\underline{S})$$

$\lambda_{\ddot{u}}$ az üzemi meghibásodási tényező

λ_n a névleges meghibásodási tényező

$\alpha(\)$ a gyorsítást az adott alkatrészre megadó függvény

$\underline{S}$ a relatív stresszorokból álló vektor.

Hőmérséklet stresszor: $S_{\vartheta} = \Delta\vartheta = \vartheta_{\ddot{u}} - \vartheta_n$,

Feszültség stresszor: $S_U = U_{\ddot{u}} / U_n$

Teljesítmény stresszor: $S_P = P_{\ddot{u}} / P_n$

ahol az $\ddot{u}$ az üzemi, n a névleges érték indexe.

A gyorsítási tényező

- A gyorsítási tényező általában a stresszor vektor bonyolult függvénye
- Egyszerűsített számításnál az egyes stresszorok hatását külön határozzák meg, ekkor

$$\alpha = \alpha_1(\mathbf{S}_u) \cdot \alpha_2(\mathbf{S}_p) \cdot \alpha_3(\mathbf{S}_v)$$

vagyis

$$\alpha = \prod_i \alpha_i(S_i)$$

Stresszorok (2)

A félvezetőkre vonatkozó:

$$\lambda = \lambda_b \Pi_E \Pi_A \Pi_Q \Pi_R \Pi_S \Pi_C$$

ahol

$$\lambda_b = A \exp[N_T / (T_J + 273)] \cdot \exp [T_i + 273 / T_M]^P$$

Az ellenállásokra vonatkozó:

$$\lambda = \lambda_b \Pi_E \Pi_Q \Pi_R$$

ahol

$$\lambda_b = A \exp\{B [(T+273)/N_T]^G + [(S/N_S) \cdot [(T+273) / 273]^\vartheta]^H\}$$

Stresszorok (3)

Π_Q a gyártás minőségétől függ. Például

$\Pi_Q = 1$ professzionális termék

$\Pi_Q < 1$ speciális gyártmány, külön megállapodások szerinti

$\Pi_Q > 1$ a szórakoztató elektronika elemei

$\Pi_Q = 10 \dots 20$ minősítés nélküli gyártók

Π_L az alkalmazott technológia konszolidációjától függ. Például

$\Pi_L = 1$ valamennyi stabil technológiára

$\Pi_Q = 1 \dots 10$ újabb technológiákkal készült termékekre.

Stresszorok (4)

A kondenzátorokra vonatkozó stressz

A feszültségre vonatkozó összefüggés:

$$\alpha_U = (S_U)^n$$

ahol **n** a kondenzátor típusától függő konstans.

Az összefüggés tapasztalati jellegű, és az

$$S_u = U_{\ddot{u}} / U_n$$

adott szűkebb értéktartományára használható.

(Igen kis és igen nagy stressz esetén nem érvényes.)

Hőmérsékletfüggés

Az alkatrészek meghibásodási tényezőjének hőmérsékletfüggését leggyakrabban az **Arrhenius törvény** alapján számítják.

$$\frac{\lambda_{\ddot{u}}}{\lambda_n} = \exp \left[\left(\frac{E_A}{k \cdot \Theta_n} \right) - \left(\frac{E_A}{k \cdot \Theta_{\ddot{u}}} \right) \right]$$

Arrhenius törvény

E_A látszólagos aktivációs energia [eV]

k Boltzmannn állandó $=8,6 \cdot 10^{-5}$ [eV/K]

θ_n a névleges hőmérséklet [K]

$\theta_{\ddot{u}}$ az aktuális üzemi hőmérséklet [K]

A számítás egyszerűsítésére $1\text{eV}/k=1,16 \cdot 10^4$ K

$$\frac{\lambda_{\ddot{u}}}{\lambda_n} = \exp \left\{ 1,16 \cdot 10^4 \cdot E_A \left[\left(\frac{1}{\Theta_n} \right) - \left(\frac{1}{\Theta_{\ddot{u}}} \right) \right] \right\}$$

Min & megb

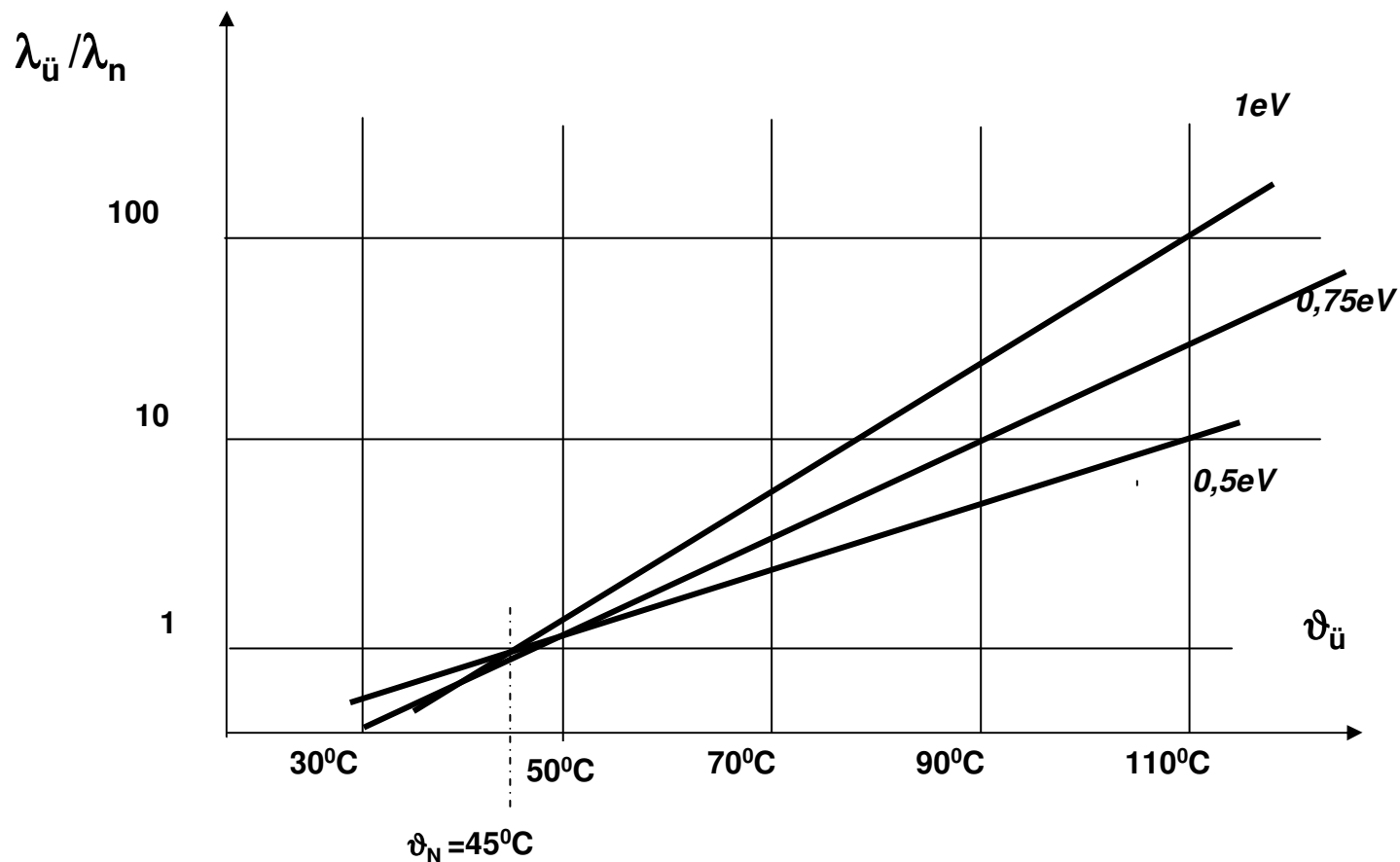
1.rész

103

Az E_A értékére néhány adat:

TTL SSI	0,2 eV
PROM	0,4 eV
MOS	0,5 eV
LED	0,6 eV
lineáris IC.	0,7 eV
planáris elem	1,0 eV
bondolás (Au/Al)	1,05 eV
oxidáció	0,3-0,6 eV
migráció	0,5-1,6 eV

Gyorsítási tényező az Arrhenius törvény szerint



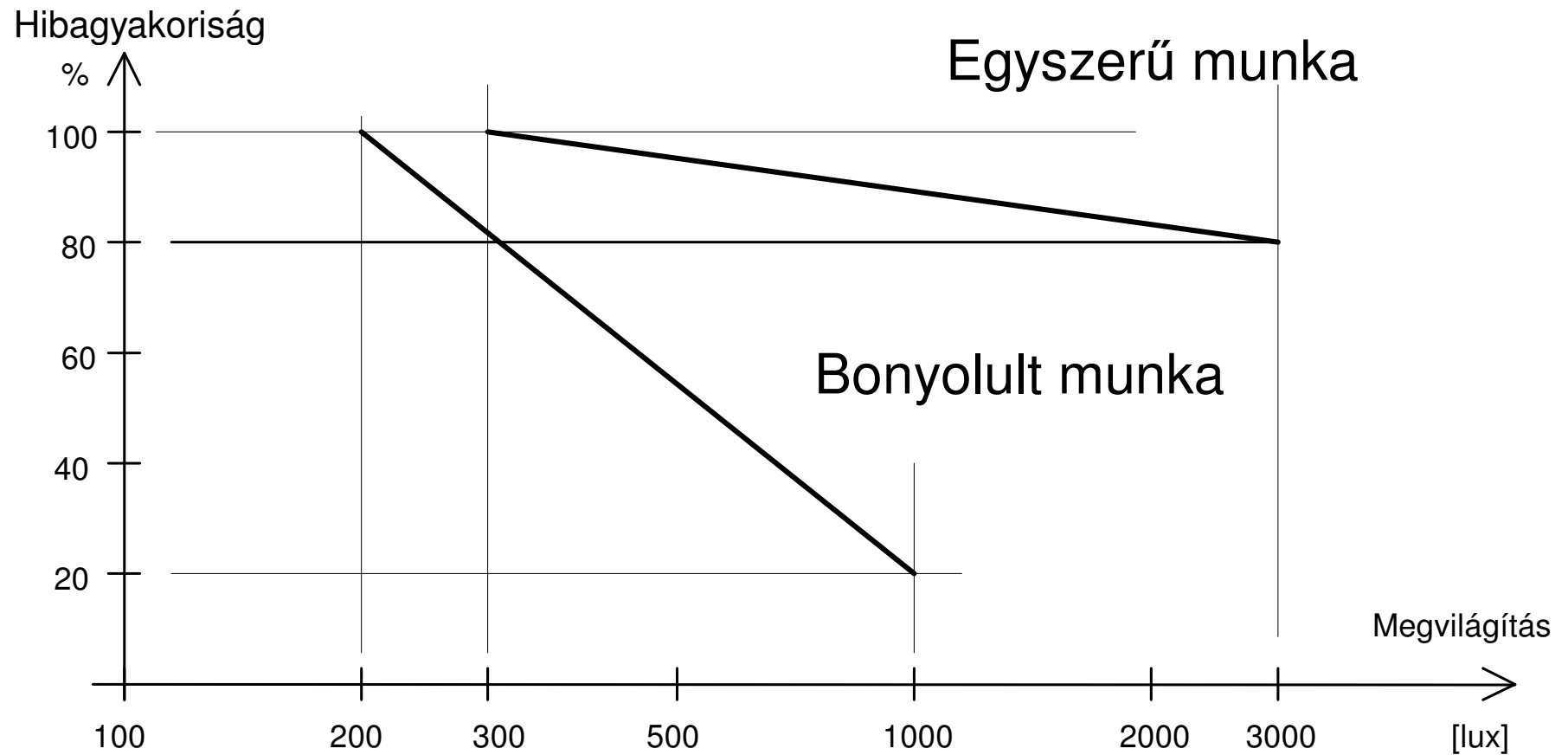
Arrhenius egyenlet gyakorlati alakja

- Az alkatrészekhez az exponenciális összefüggésnek megfelelő hőmérséklet küszöb határozható meg (Δt) úgy, hogy
 - a környezeti hőmérsékletet Δt -vel növelve az élettartam feleződik
 - a környezeti hőmérsékletet Δt -vel csökkentve az élettartam duplázódik
- (pl. kondenzátorokra vonatkozó ún. 20°-os szabály
vö. a felezési idő más területeken alkalmazott
formáival)

Az ember-gép rendszerben az embert érő környezeti hatások

- Világítás
- Zaj
- Vibráció
- Klíma
- Kémiai anyagok
- Pszicho-szociális tényezők

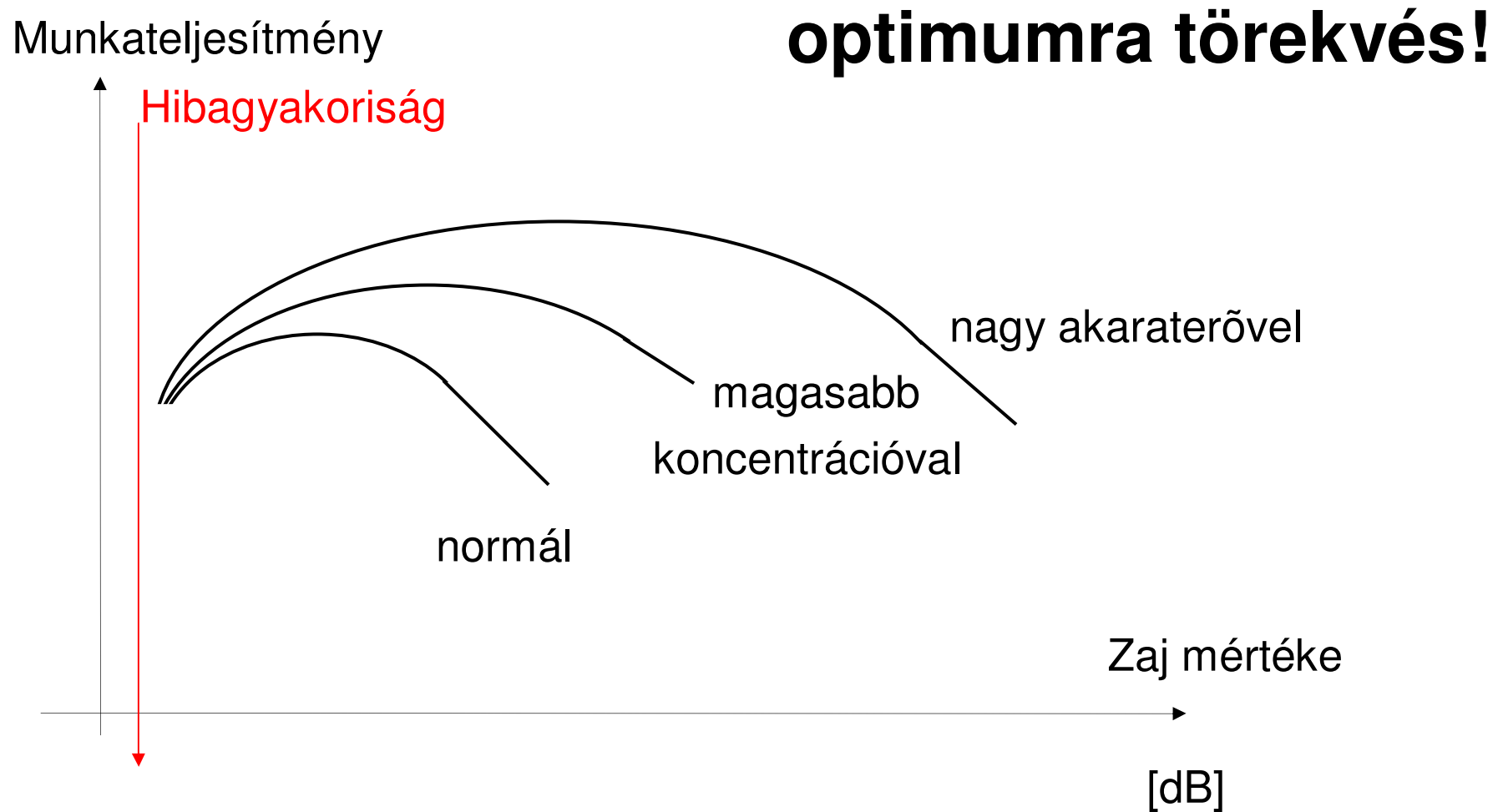
Világítás (1)



Világítás (2)

- Megvilágítás befolyásolja az ember
 - hangulatát,
 - teljesítmény-készségét.
- Növekvő megvilágítással nő az ember
 - Aktivitása,
 - Ébersége,
 - Koncentrálóképesége
- Hibagyakoriság csökkenése függ a munka bonyolultságától (egyszerű munkánál kevésbé, bonyolultnál erősebben)

Zaj hatása



Vibráció

- érzékelésére nincs külön érzékszerv,
- ember belső szerveinek rezonancia-frekvenciája $f < 100 \text{ Hz}$! kellemetlen hatású az ilyen rezgés,
- zavaró hatás elkerülésére alacsony frekvenciájú rezgés
 - rövid ideig
 - kis gyorsulással
- Sztochasztikus rezgés fárasztóbb a szabályosnál

Klíma (1)

- Az emberi szervezet és környezete közötti hőcserét befolyásoló tényezők összessége:
 - száraz levegő hőmérséklete,
 - légnedvesség (páratartalom),
 - mozgó levegő sebessége,
 - hőszugárzás.
- Klíma és emberi teljesítmény kapcsolata:
 - $t > 27\text{ C}^\circ$ esetén λ növekszik,
 - $t > 30\text{ C}^\circ$ esetén pedig a teljesítmény jelentősen csökken

Klíma (2)

- A teljesítmény csökkenés mértéke függ a motivációtól
erősebb motiváció esetén csökkenés
kisebb - a teljesítménytartalékok rovására!

KIMERÜLÉS VESZÉLYE

- erős klímaterhelés különösen kötött,
szoros időrendben végzendő tevékenység
esetén kedvezőtlen.

Kémiai anyagok (1)

- **Csak speciális esetben jelent stressztényezőt - ha az ember különböző vegyi-anyagokkal kerül kapcsolatba**
 - gázok,
 - gőzök,
 - por és
 - folyadék.

Kémiai anyagok (2)

- **A stressz-hatást befolyásoló tényezők:**
 - az anyag fajtája,
 - az emberrel kialakult kapcsolat mértéke,
 - az anyag koncentrációja,
 - hőmérséklet,
 - hatás időtartama,
 - ember egyéni érzékenysége.

A stressz kiváltó tényezői (1)

- **Fizikai stresszorok**
 - érzékszervek túlzott igénybevétele,
 - kedvezőtlen visszacsatolás az emberi szervezetből
- **Pszichológiai stresszorok**
 - foglalkozási nehézségek
 - üzemi légkör,
 - konfliktus munkatársakkal, főnökkel,
 - megfelelő bérezés, megbecsültség hiánya,
 - karrier törekvések, presztizs problémák

A stressz kiváltó tényezői (2)

- **Mentális stresszorok**

Túlzott követelmények a

- felfogó- ill.
- döntési képességgel vagy a
- tapasztalatok felhasználásával szemben

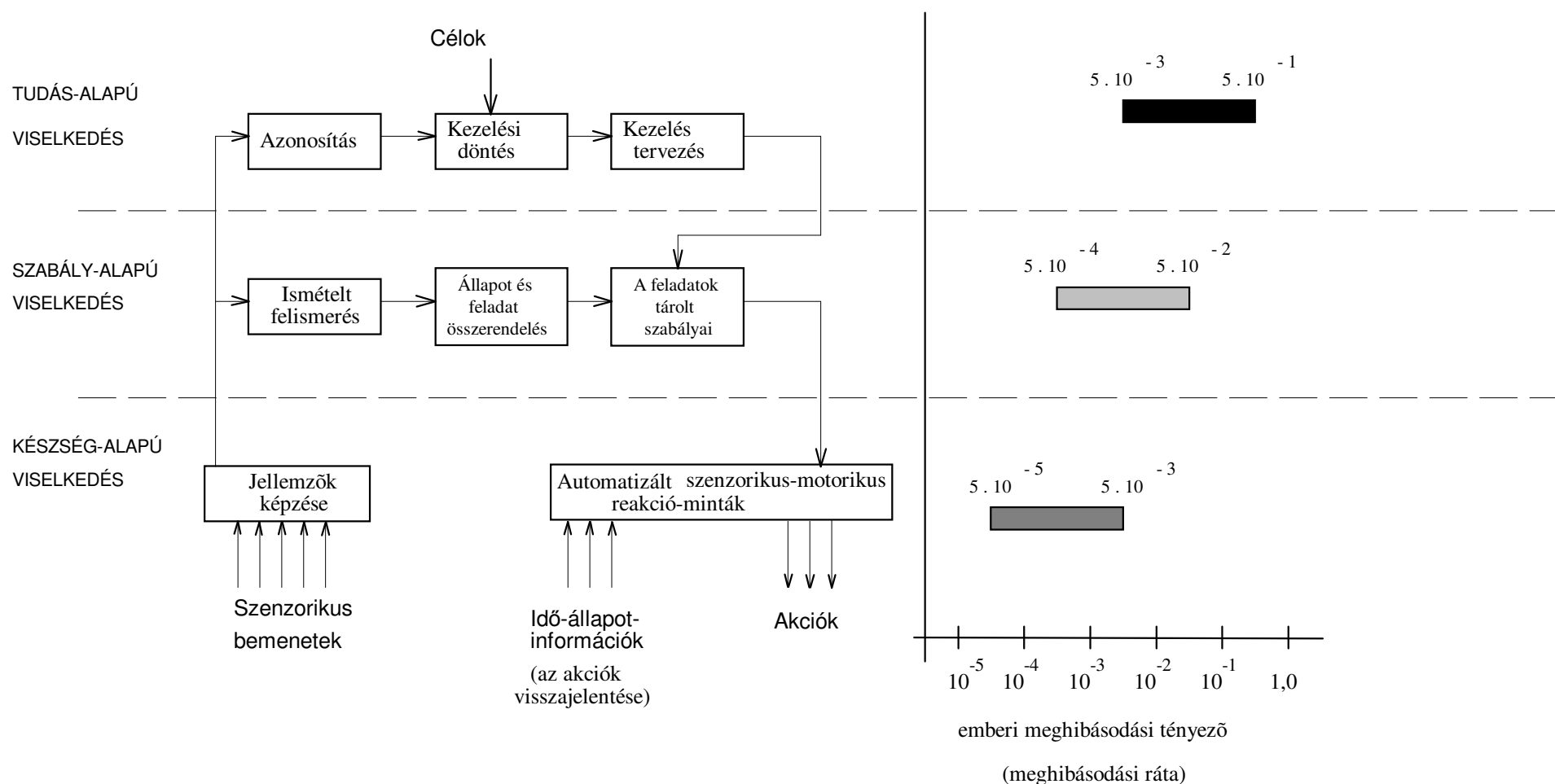
- **Szociális stresszorok**

- a magán élet hatása,
- az ember helyzetéből adódó hatások.

Az ember megbízhatóságát befolyásoló további tényezők

- Fontos tényező a végzett munka jellege (Rasmussen modell)
- Az emberi tevékenység fő formái
 - Rutin tevékenységek (legnagyobb megbízhatóság)
 - Szabály alapú tevékenységek
 - Tudás alapú tevékenységek (legkisebb megbízhatóság)

Emberi megbízhatóság függése a tevékenység jellegétől



Az ember meghibásodási tényezője (1)

- A biztonságelméleti szakirodalom számos különböző értéket ad meg.
- Az adatok forrása:
 - munkahelyi mérések,
 - tesztek és szimulációs vizsgálatok (laboratórium!),
 - baleseti- és zavar-statisztikák,
 - szakértői becslések a nem mért közbenső értékekre vonatkozóan.

Az ember meghibásodási tényezője (2)

- Az adatállományok a tevékenységeket különböző mélységben osztják fel elemeikre (esetenként „molekuláris” tevékenységelemekre)
- Adott esetben ezekből az elemekből kell a teljes tevékenységre vonatkozó meghibásodási rátát meghatározni

Az ember meghibásodási tényezője

(3)

- A tevékenységelemekre bontásból adódó problémák:
 - az adatok csak akkor érvényesek, ha ugyanolyan körülmények között végzik a tevékenységet,
 - a meghibásodási ráta meghatározása óta változott a technológia, a berendezés - adatokat illeszteni kell az új körülményekhez,

Az ember meghibásodási tényezője (4)

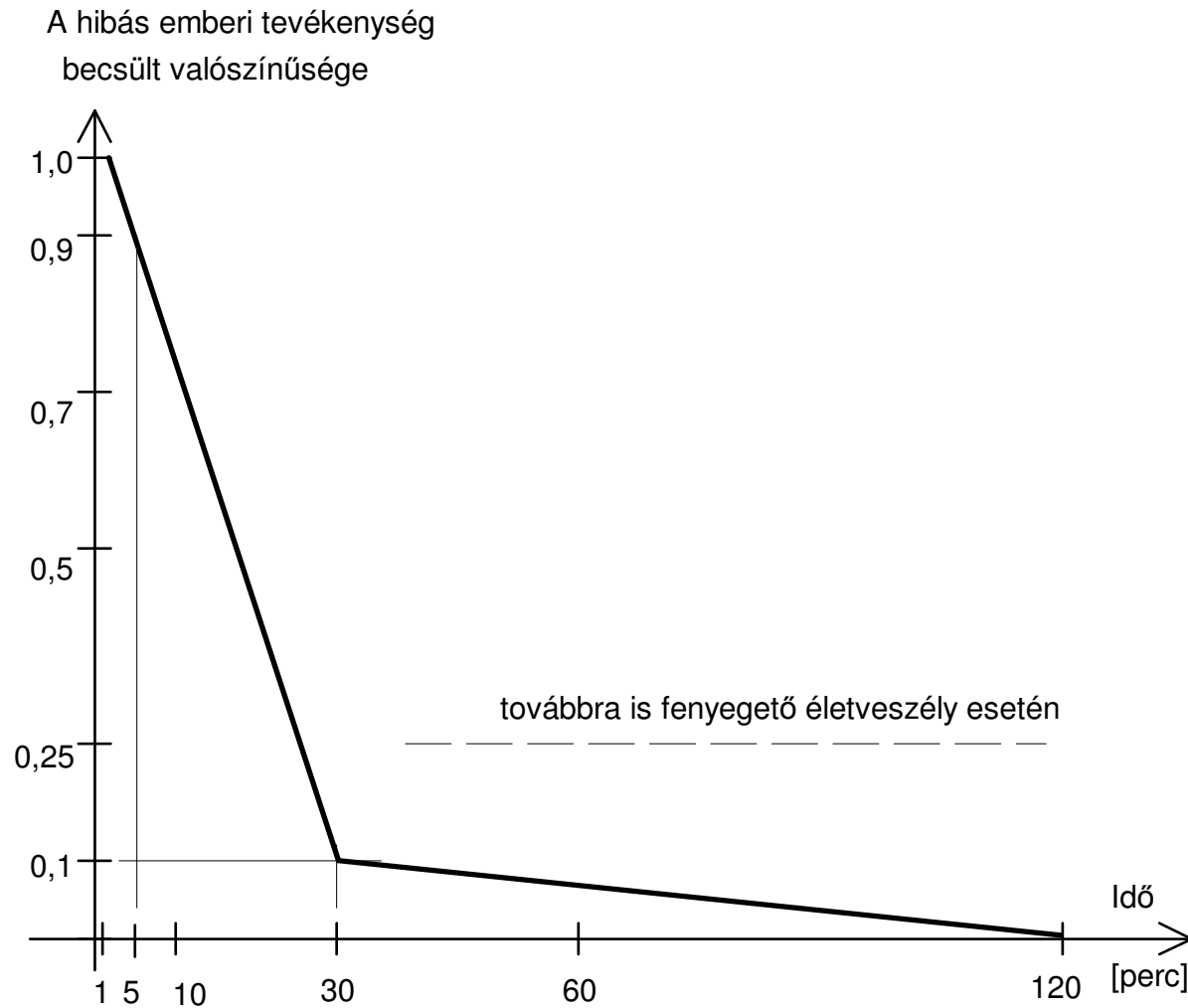
- A tevékenységelemekre bontásból adódó problémák (folytatás):
 - a meghibásodási rátát meghatározó tényezők erősen összetettek,
 - az ember nem funkcionálisan, hanem célirányosan cselekszik - egyes lépések hibás volta esetén is lehet hibátlan a teljes tevékenység

Az ember meghibásodási tényezője

(5)

- A munka során fellépő hibavalószínűség nagy mértékben függ a stressztől és időfel-tételektől (pl. atomerőművi katasztrofális meghibásodás esetén a hiba valószínűsége ~1 is lehet!)
- A hibavalószínűség alakulását az életet fenyegető veszélyeztetés esetén a következő ábra mutatja
- Eszerint kb. 30 percen belül semmi kezelési tevékenységet nem szabad az ember-re bízni - automatizálás szükséges!

Az ember meghibásodási tényezője (6)



Az ember hibarátája (1)

- Ember hibatényezőjének javasolt értékei

Viselkedési sík:	Környezeti feltételek:	
	kedvező	kedvezőtlen
készség	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
szabály	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
tudás	$1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$

Az ember hibarátája (2)

- Szorótényezők stressz-szint alapján

Viselkedési sík	Szoró tényező	
	alulterhelt	túlterhelt
készség	2	2
szabály	2	2
tudás	2	5

Az ember hibarátája (3)

- Hibaráta kedvező feltételek mellett

Viselkedési sík	Alulterhelt	Optimális	Túlerhelt
készség	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
szabály	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
tudás	$2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$

Az ember hibarátája (4)

- Hibaráta kedvezőtlen feltételek mellett

Viselkedési sík	Alulterhelt	Optimális	Túlerhelt
készség	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
szabály	$1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$
tudás	1	$5 \cdot 10^{-1}$	1

Megbízhatósági jellemzők becslésének pontossága (1)

- A meghibásodási tényező empirikus meghatározásának nagy jelentősége van, csak ezzel lehet versenyképes terméket előállítani
- A gyártónak előre specifikálnia kell a várható legrosszabb megbízhatósági jellemzőt
 - a meghibásodásig várható működési időre T_{spec}
 - a meghibásodási tényezőre vonatkozóan λ_{spec}

Megbízhatósági jellemzők becslésének pontossága (2)

- A specifikáció során meg kell adni, hogy az előírt értékeket a termékek milyen hányadára szavatolja a gyár
ez az ún. **konfidencia szint (C)**
- A becslés jósága, megbízhatósága (konfidencia szintje) a konfidencia intervallum nagyságától függően határozható meg (matematikai statisztika)

Statisztikai becslési feladatok

- pont becslés - egy valószínűségi változó várható értékének becslése
- intervallum becslés - a becslés pontosságának vizsgálatára nem egyetlen értéket keresünk, hanem két érték által határolt intervallumot
- A konfidencia szint ekkor annak a valószínűségét adja, hogy a paraméter ezen intervallumon belül van

Konfidencia szint meghatározása (1)

Normál eloszlás esetén

$$T_{\text{spec}} = T_F - k \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N_0}}$$

N_0 - a vizsgált elemek száma

σ - a szórás; a k konstans pedig a C konfidencia szinttől függ, Például:

$C = 60\%$ esetén $k = 0,25$,

$C = 90\%$ esetén $k = 1,28$.

Konfidencia szint meghatározása (2)

Exponenciális eloszlás esetén

$$\lambda_{spec} = \frac{k}{N_0 \cdot T}$$

	N =	0	1	2	3,
ha C = 60%, k =		0,92	2,02	2,67,	3,10,
ha C = 90%, k =		2,30	3,89	5,32	6,69.

Konfidencia szint meghatározása (3)

Példa:

Egy alkatrészből $N_0 = 1000$ darabot $T = 500$ órás vizsgálatnak vetnek alá. Ez idő alatt $N = 1$ db hibásodik meg. A meghibásodási tényezőre határértéket kívánnak specifikálni 60% konfidenciával. Így $k = 2,02$.

Ezért

$$\lambda_{\text{spec}} = 2,02 / 1000 \cdot 500 = 4,04 \cdot 10^{-6} \text{ [1/óra]}$$

Specifikáció gyorsított vizsgálat alapján

- Specifikáció névleges körülményekre kell!
- A forszírozott körülmények között végzett T idejű mérést néveleges körülményekre kell átszámítani

$$\overline{T} = a \cdot T$$

ahol a – a gyorsítási tényező

Példa

- $N_0=100$ db alkatrészt vizsgálunk
- $T=500$ óra alatt,
- $a = 40$ -szeres gyorsítási tényezővel
- Meghibásodások száma $N=1$
- $C=60$ % konfidencia szinten specifikálunk

$$\lambda_{spec} = \frac{k}{N \cdot T \cdot a} = \frac{2,02}{1000 \cdot 500 \cdot 40} \approx 10^{-7} \left[\frac{1}{\text{ó}} \right]$$