MEGBÍZHATÓSÁGI PARAMÉTEREK

MEGBÍZHATÓSÁGI PARAMÉTEREK

	Jelölés	Dimenzió
• Működőképesség valószínűsége	$R(t)$	-
• Meghibásodás valószínűsége	$F(t)$	-
• Meghibásodási sűrűség	$f(t)$	$[1/t]$
• Meghibásodási ráta	$\lambda(t)$	$[1/t]$
• Várható/közepes élettartam	m, T	$[t]$

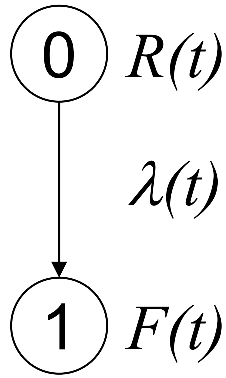
- Működőképesség
  - annak valószínűsége, hogy az adott rendszer, adott idő után, adott időintervallumban, a meghatározott körülmények között a feladatát kifogástalanul ellátja.
- Meghibásodás
  - olyan esemény, amelynek során legalább egy meghibásodási kritérium sérül.
- Meghibásodási kritériumok
  - jelzik a határt egy egység működőképes és nem működőképes állapota között.
- Működőképes/meghibásodott állapot
- Meghibásodások fajtái
  - Teljes vagy részleges
  - Váratlan vagy fokozatos (drift) jellegű

A meghibásodás fellépése véletlen esemény

Ha feltételezzük, hogy a rendszer várható élettartama T, akkor

$R(t)=P(t<T)$ és $F(t)=P(t\geq T)$.

$$R(t)+F(t)=1$$



$$R(0)=1 \qquad F(0)=0$$

$$R(\infty)=0 \qquad F(\infty)=1$$

R(t) monoton csökkenő,

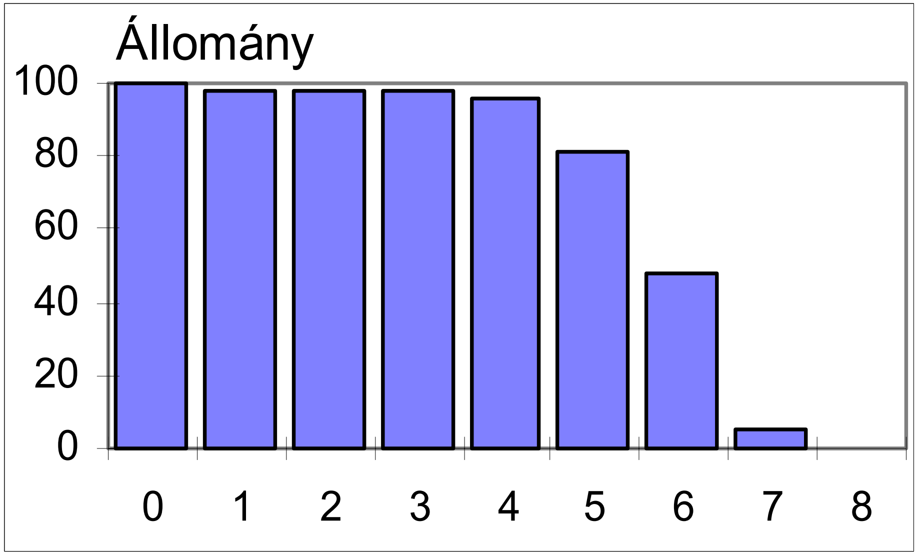
F(t) monoton növekvő.

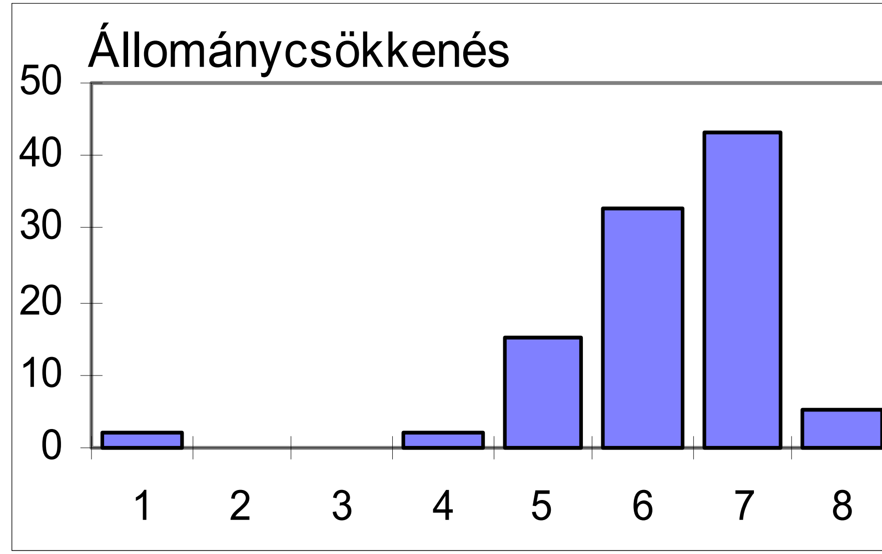
Gyakorlati meghatározás

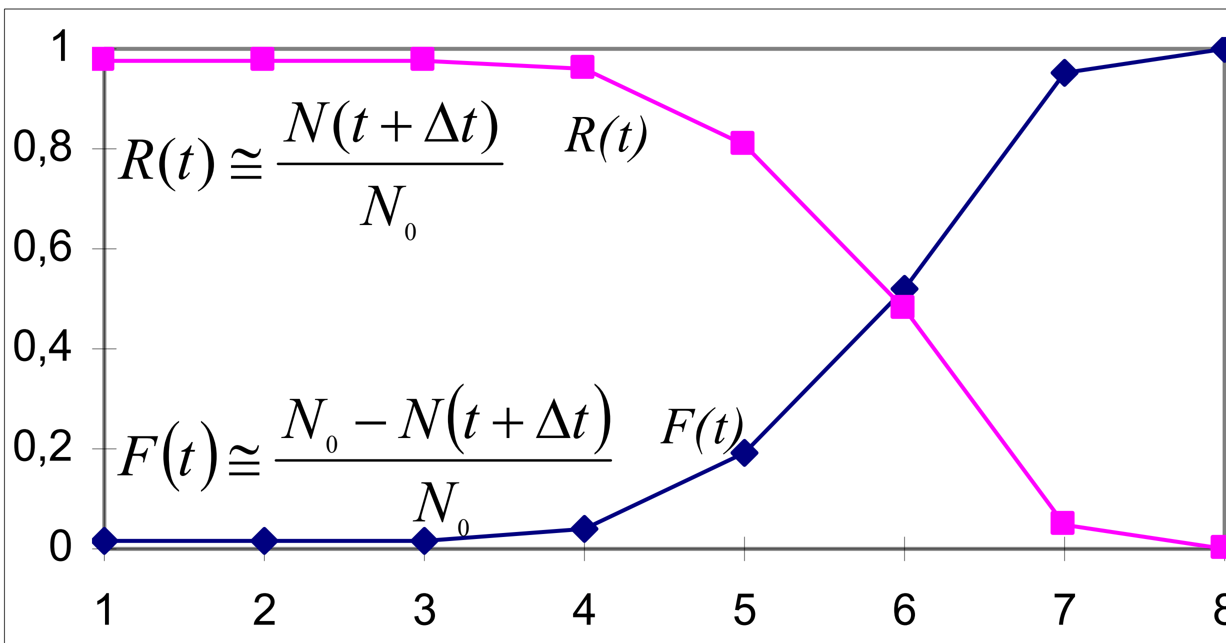
$$F(t)\cong\frac{N_0-N(t+\Delta t)}{N_0} \qquad R(t)\cong\frac{N(t+\Delta t)}{N_0}$$

$$F(t)=\lim_{\substack{N_0\to\infty\\ \Delta t\to 0}}\frac{N_0-N(t+\Delta t)}{N_0} \qquad R(t)=\lim_{\substack{N_0\to\infty\\ \Delta t\to 0}}\frac{N(t+\Delta t)}{N_0}$$

MEGBÍZHATÓSÁGI PARAMÉTEREK - PÉLDA







Meghibásodási sűrűség f(t): a $f(t)\Delta t$ érték annak valószínűsége, hogy a meghibásodás a $(t,t+\Delta t)$ intervallumban következik be.

$$f(t)\cdot\Delta t = P(t < T \le t+\Delta t)$$

Kísérleti meghatározása: a megfigyelési intervallumban meghibásodott elemek számának, illetve az induló darabszámnak és az időintervallumnak a hányadosa.

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

$$f(t) = \lim_{\substack{\Delta t\to 0\\ N_0\to\infty}} \frac{N(t)-N(t+\Delta t)}{N_0\cdot\Delta t}$$

$$\frac{dF(t)}{dt} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{F(t+\Delta t)-F(t)}{\Delta t} = \lim_{\substack{\Delta t\to 0\\ N_0\to\infty}} \frac{\dfrac{N_0-N(t+\Delta t)}{N_0}-\dfrac{N_0-N(t)}{N_0}}{\Delta t} =$$

$$= \lim_{\substack{\Delta t\to 0\\ N_0\to\infty}} \frac{N(t)-N(t+\Delta t)}{N_0\cdot\Delta t} = f(t)$$

<u>Meghibásodási ráta λ(t):</u> a $\lambda(t)\Delta t$ érték annak **feltételes valószínűsége**, hogy egy t időpontban még nem meghibásodott egység a $[t,\ t+\Delta t]$ időintervallumban meghibásodik.

$$\lambda(t)\cdot\Delta t = P\left(t < T \le t+\Delta t \mid t < T\right)$$

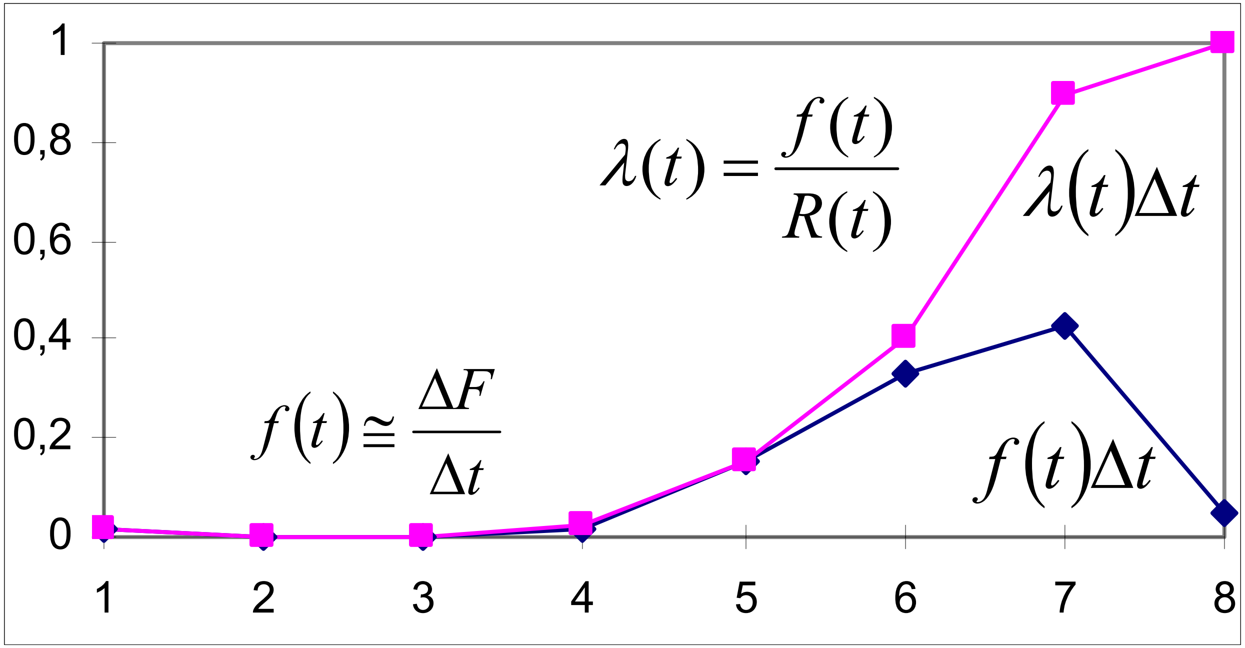
Kísérleti meghatározása: a megfigyelési intervallumban meghibásodott elemek számának, illetve a megfigyelési intervallum kezdetén működő egységek darabszámának és az időintervallumnak a hányadosa.

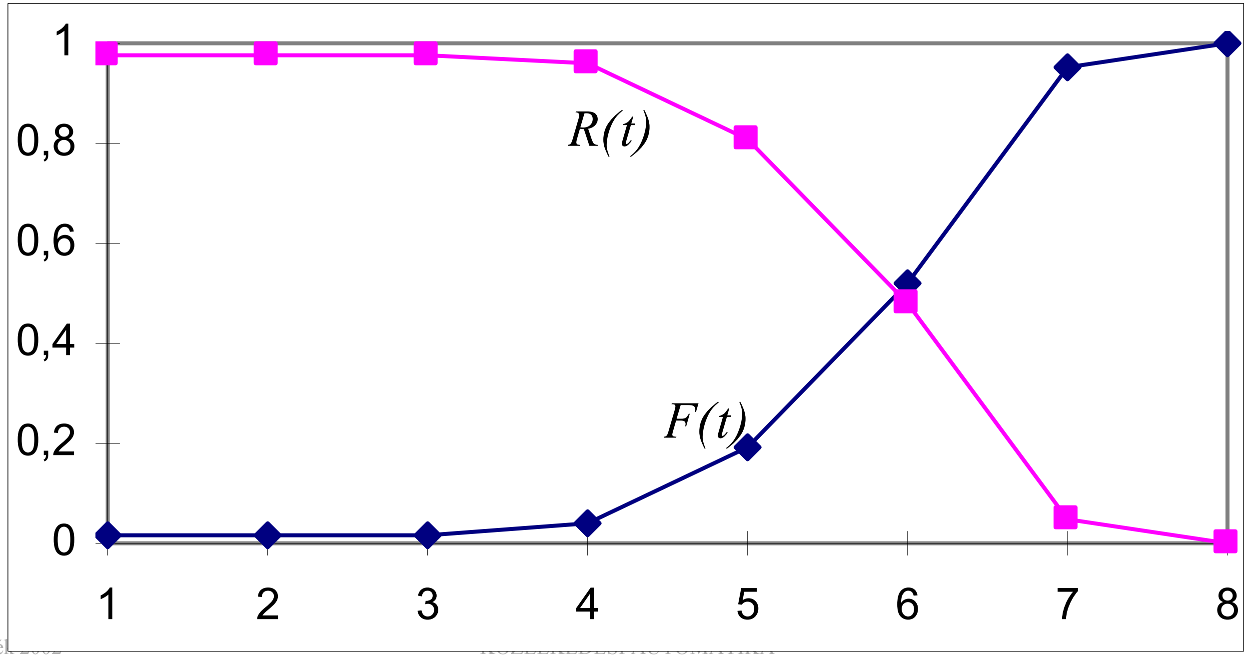
$$\lambda(t) \cong \frac{N(t) - N(t+\Delta t)}{N(t)\cdot\Delta t}$$

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

$$\lambda(t) = \lim_{\substack{\Delta t\to 0\\ N_0\to\infty}} \frac{N(t) - N(t+\Delta t)}{N(t)\cdot\Delta t}$$

MEGBÍZHATÓSÁGI PARAMÉTEREK - PÉLDA





Várható élettartam T (az első meghibásodásig eltelő átlagos időtartam): a t valószínűségi változó várható értéke.

$$m = \int_0^\infty t \cdot f(t) dt$$

$$\int_0^\infty uv' dt = uv - \int_0^\infty vu' dt$$

$$u = t; \qquad u' = 1$$

$$v' = f(t); \quad v = -R(t)$$

$$m = \left[-tR(t)\right]_0^\infty + \int_0^\infty R(t) dt$$

$$m = \int_0^\infty R(t) dt = T$$

MTBF - Mean Time Between Failures - Meghibásodások közötti átlagos időköz

Több javítható egység két meghibásodása között eltelt idő

MTTFF- Mean Time To First Failure - Az első hibáig eltelő átlagos időtartam

Több objektum vizsgálata esetén az első meghibásodásig eltelő átlagos időtartam

MTTF - Mean Time To Failure - A meghibásodásig eltelő átlagos időtartam

Egy objektum meghibásodásig eltelő átlagos időtartam

$$Ha\, \lambda = állandó,$$

$$T = \frac{1}{\lambda} = MTBF = MTTFF = MTTF$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{R^{'}(t)}{R(t)}$$

$$-\int_0^t \lambda(t) = \left[\ln R(t)\right]_0^t = \ln R(t) - \ln R(0) = \ln R(t) - \ln 1 = \ln R(t)$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$$

Egy $t_2 > t_1$ időpontban a rendszer akkor működőképes,

ha mind a t_1 időpontban, mind a (t_1, t_2) időintervallumban működőképes volt:

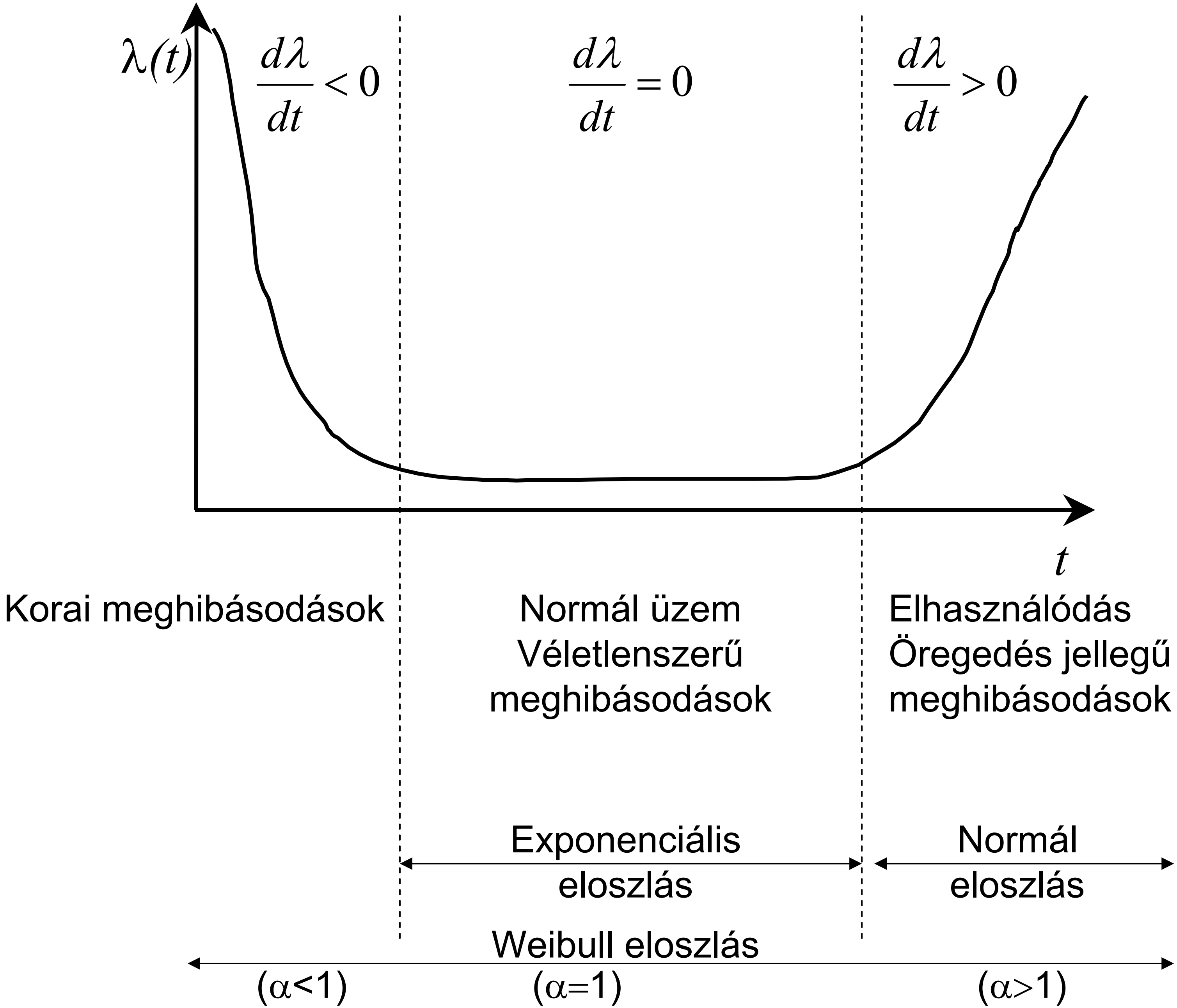
$$R(t_2) = R(t_1) \cdot R(t_1, t_2)$$

$$R(t_1, t_2) = \frac{R(t_2)}{R(t_1)}$$

$$F(t_1, t_2) = 1 - \frac{R(t_2)}{R(t_1)} = \frac{F(t_2) - F(t_1)}{1 - F(t_1)}$$

ELEMEK MEGBÍZHATÓSÁGA

FÜRDŐKÁD-GÖRBE



A meghibásodás valószínűsége a véletlen változók növekvő értékével monoton módon, az „e” függvénynek megfelelően tart az „1” határértékhez.

A túlélési valószínűség függvény az „e” függvénynek megfelelően csökken, és tart a „0” határértékhez.

Az üzemidő során időegységenként azonos számú egység hibásodik meg, vagyis a meghibásodási gyakoriság a használati időtől független.

A meghibásodás-mentes működés valószínűsége egy $(t,\ t+\Delta t)$ időintervallumban független a korábban eltelt időtől, és csak a Δt időintervallum nagyságától függ, azaz

> *a jövőbeni meghibásodási viselkedés teljes mértékben független a rendszer előéletétől*.

Az exponenciális eloszlás a fürdőkádgörbe középső, vízszintes szakaszára alkalmazható.

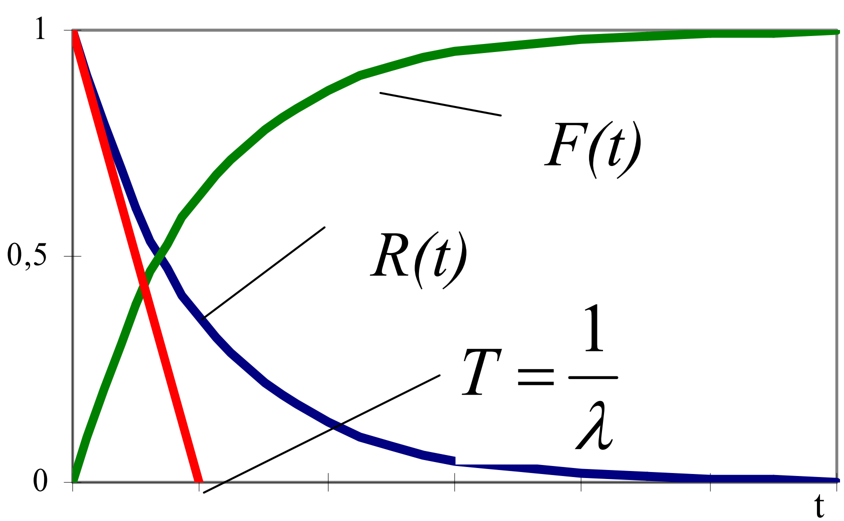
λ = állandó!

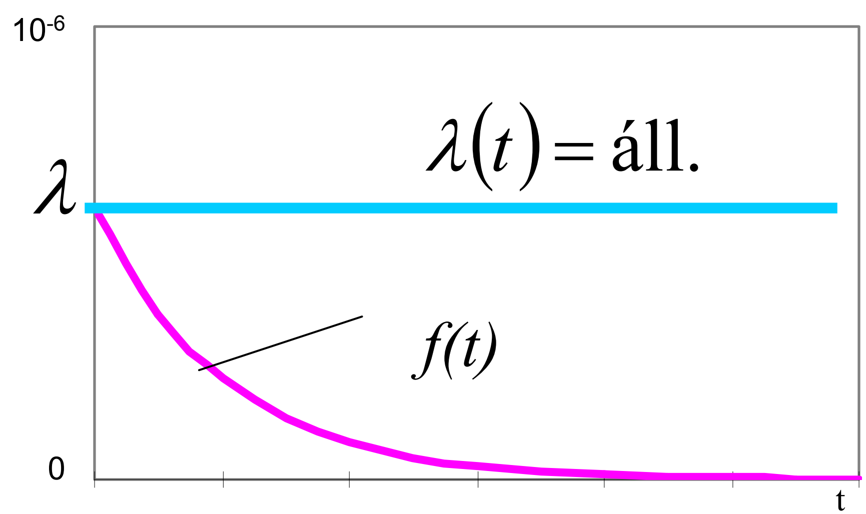
Ha több, egymástól független meghibásodási mechanizmussal kell számolni, akkor ezek szuperpozíciója szintén exponenciális eloszlást eredményez.

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} - \ldots$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \approx \lambda t - \frac{(\lambda t)^2}{2!} + \ldots$$

$$T = \int_0^t e^{-\lambda t} dt = \left[-\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} \right]_0^\infty = -\frac{1}{\lambda}\left(e^{-\infty} - e^{-0}\right) = -\frac{1}{\lambda}(0-1) = \frac{1}{\lambda}$$





$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}$$

WEIBULL ELOSZLÁS

Az időfüggő meghibásodások hatványfüggvénnyel való megközelítésére szolgál. Így a megbízhatósági vizsgálatokban univerzálisan használható, mert vele a “fürdőkád-görbe” korai és elhasználódással kapcsolatos szakaszai, illetve az ezekkel kapcsolatos meghibásodások is jól közelíthetők és számszerűsíthetők.

Az eloszlás paraméterei:

- α - **alakparaméter** vagy Weibull kitevő, amely a Weibull eloszlás görbéjének alakját határozza meg:
  - $\alpha<1$: a korai meghibásodások szakasza, a meghibásodási ráta értéke az idő függvényében monoton csökken;
  - $\alpha=1$: a véletlen meghibásodások, a használati idő szakasza, a meghibásodási ráta értéke az idő függvényében állandó;
  - $\alpha>1$: az elhasználódással összefüggő meghibásodások szakasza, a meghibásodási ráta értéke az idő függvényében monoton nő;
- β - az ún. **karakterisztikus élettartam**;
- γ - a **helyzetparaméter**, amely a meghibásodások megkezdődésének időpontját határozza meg:
  - $\gamma>0$: olyan üzemállapot, amelyben a meghibásodások csak egy t= γ idő után kezdődnek meg (pl. korrózió, dugaszcsatlakozók felületén bevonat képződése),
  - $\gamma=0$: olyan üzemállapot, amelyben a meghibásodások már az igénybevétel kezdetén fellépnek.

WEIBULL ELOSZLÁS

Weibull szerint a túlélési valószínűség definíciója:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}}, \;\; ha \;\; t > \gamma$$

A Weibull függvény tartalmazza az *"e"* eloszlást is:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)} = e^{-\left(\frac{t}{m}\right)} = e^{-\left(\frac{t}{T}\right)} = e^{-\lambda t}, \;\; ha \;\; \alpha = 1 \; és \, \gamma = 0$$

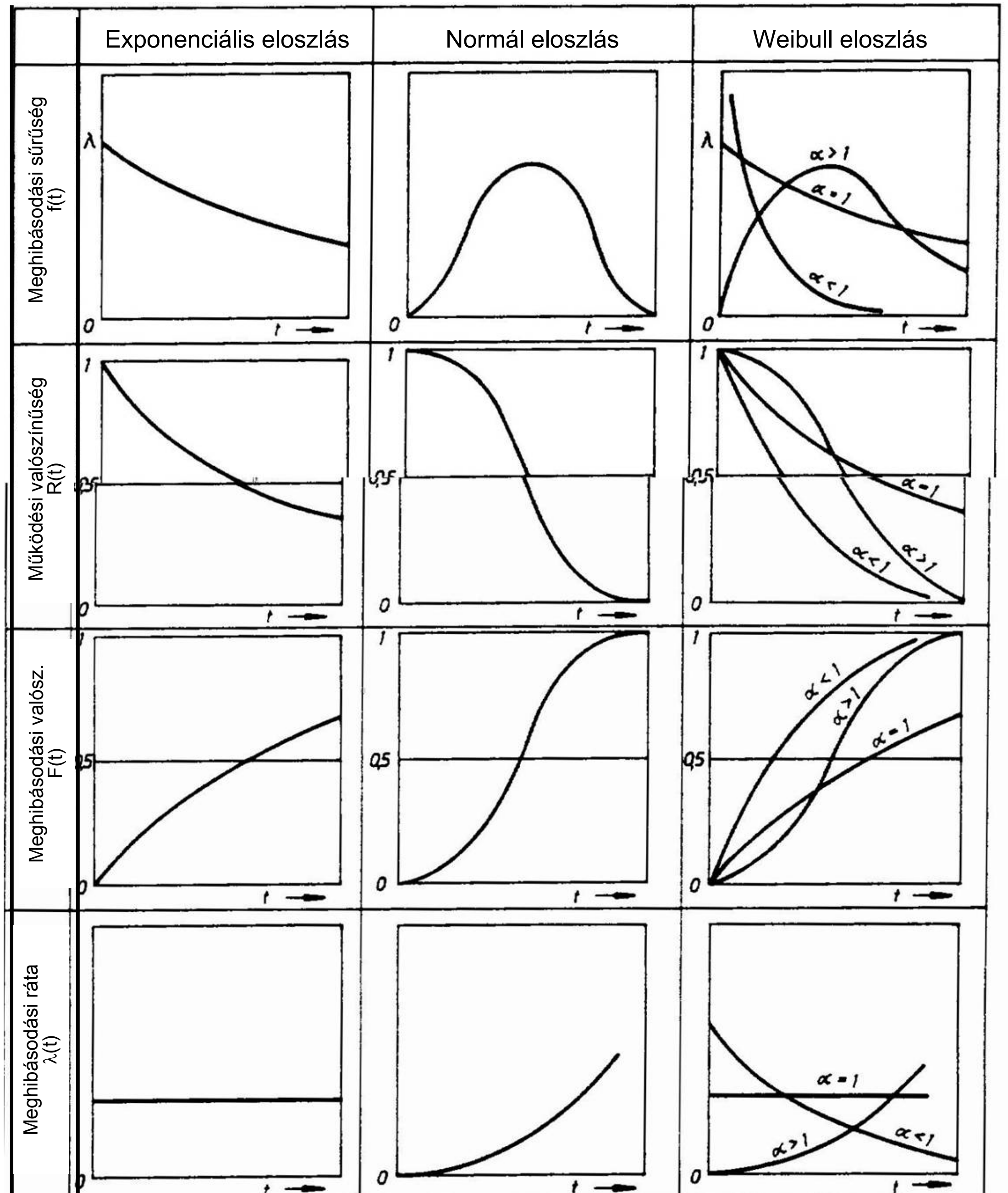
A meghibásodás valószínűsége, és ebből diferenciálással a meghibásodássűrüség:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}}, \;\; ha \;\; t > \gamma \qquad f(t) = \frac{\alpha}{\beta}\left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}}$$

A meghibásodási gyakoriság:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\alpha}{\beta}\left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1}$$

MEGBÍZHATÓSÁGI PARAMÉTEREK KÜLÖNBÖZŐ ELOSZLÁSI FÜGGVÉNYEKNÉL



A meghibásodási gyakoriságot befolyásoló tényezők

A **mechanikai** környezet hatása: $\lambda' = K_e \lambda$

Környezeti körülmények	K_e
Telepített üzem szárazföldön	1,0
Hajók	1,2
vonatok	2,4
Dugattyús motoros repülőgépek	5,0
Reaktív hajtóműves repülőgépek	6,0
Rakéták a rakétatöltet égése közben	100
Űrjárművek a rakétatöltet égése közben	100

A **hőmérséklet** hatása az élettartamra: $$m = Ae^{+\frac{E_a}{kT}}$$

E_a - aktivációs energia (lezárt pn átmenet vezető állapotba kapcsolásához, elektronvoltban)
k - $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ joule/kelvin (Boltzmann-állandó)
T - abszolut hőmérséklet
A - az alkatrészre jellemző állandó

10°C szabály (kondenzátorok gyorsított vizsgálata alapján):
ha a hőmérséklet a megengedett határhőmérséklethez képest 10°C-kal emelkedik vagy csökken, az élettartam a felére csökken, illetve a kétszeresére növekedik.

A csökkentett terhelés (derating) modell

Az alkatrészek üzemi terhelése gyakran nem éri el a gyártók által megengedett határokat, aminek következtében a meghibásodási gyakoriság csökkenhet:

$$\lambda = \lambda_B k_1 k_2 \ldots k_n$$

λ_B - a meghibásodási gyakoriság alapértéke

k_i - terhelési tényező az i-edik terhelési mód esetén

A meghibásodási gyakoriságok meghatározása

	Laboratóriumi mérés	Üzem közbeni mérés
Vizsgálati idő	Rövid: órák/hetek	Hosszú: hónapok/évek
Hibaanalízisek	Laboratóriumban jól lehetséges	A meghibásodott minták nehezen beszerezhetők
Meghibásodási körülmények	Pontosan reprodukálhatók	Utólag nehezen meghatározhatók
Szúrópróba mennyisége	Kicsi: N = 10 … 10^2	Nagy: 10^2 … 10^5
Vizsgálati eredmény	Terhelés csak szimulálva	Az üzemi viszonyoknak megfelelő
Költségek	Drága: Vizsgáló személyzet és berendezések	Olcsó: Hibastatisztika készítése
Hibaforrás	Gyorsított vizsgálatok, nincsenek kombinált vizsgálatok	A hibák meghatározása és regisztrálása téves lehet

RENDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁGA

RENDSZERTULAJDONSÁGOK

Egy rendszer megbízhatósága függ:

- elemeinek megbízhatóságától és
- az elemek egymással való kapcsolatától.

A megbízhatóságot befolyásoló rendszerjellemzők:

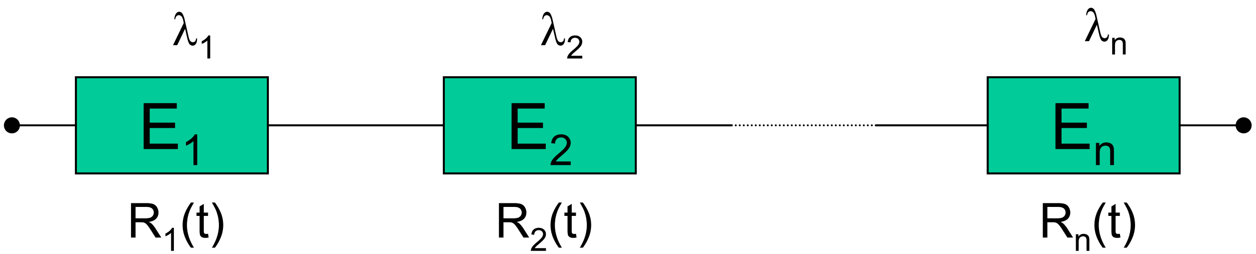
- a rendszer struktúrája (nem tévesztendő össze a villamos kapcsolásokkal!!!)
  - soros rendszerek (strukturális redundancia nélküli rendszerek)
    egyetlen elem meghibásodása esetén a teljes rendszer meghibásodik;
  - párhuzamos rendszerek
    mindaddig működőképes, amíg legalább egy eleme működőképes;
  - egyéb redundáns struktúrájú rendszerek;
- a rendszer üzemmódja
  - folyamatos;
  - időszakos;
  - alkalmanként működő;
- a rendszer javíthatósága
  - nem javítható (a terméktől és/vagy annak alkalmazási körülményeitől függően)
    a javítás műszakilag lehetetlen, igen nehéz vagy nem gazdaságos;
  - javítható
    a javítás történhet a meghibásodott elem helyreállításával vagy cseréjével.

Egy rendszer fizikai struktúrája és megbízhatósági szempontból vett struktúrája lehet azonos, de eltérő is.

Például a soros és a párhuzamos rezgőkör villamosan eltérő struktúrája ellenére megbízhatósági szempontból azonos struktúrájú: mindkettő soros rendszer.

Az előbbiekből adódik az a követelmény, hogy a megbízhatósági elemzéseket mindig a rendszer **megbízhatósági helyettesítő képének** vagy más alkalmas modelljének, pl. a hibafának a megalkotásával kezdjük.

SOROS RENDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁGA



Soros rendszer definíciója:

- a rendszer véges számú elemből áll,
- egyetlen elem meghibásodása a teljes rendszer meghibásodásához vezet,
- csak teljes meghibásodásokat vesznek figyelembe, fokozatos meghibásodásokat nem,
- a meghibásodások egymástól függetlenek,
- az elemek meghibásodási gyakorisága időinvariáns (véletlen meghibásodások, az "e" eloszlás érvényes),
- a túlélés és a meghibásodás valószínűsége egymás komplementere,
- javítást nem terveznek,
- az anyag, konstrukció, gyártás szempontjából különböző elemeknek lehet azonos λ értékük.

SOROS RENDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁGA

Soros rendszer működőképességének valószínűsége

(minden elem egyidejűleg működőképes):

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \ldots \cdot R_n(t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t) \qquad R_i(t) < 1$$

A soros rendszer eredő túlélési valószínűsége kisebb,
mint a legkisebb elemi túlélési valószínűség.

Soros rendszer meghibásodásának valószínűsége:

$$F_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} \left(1 - F_i(t)\right)$$

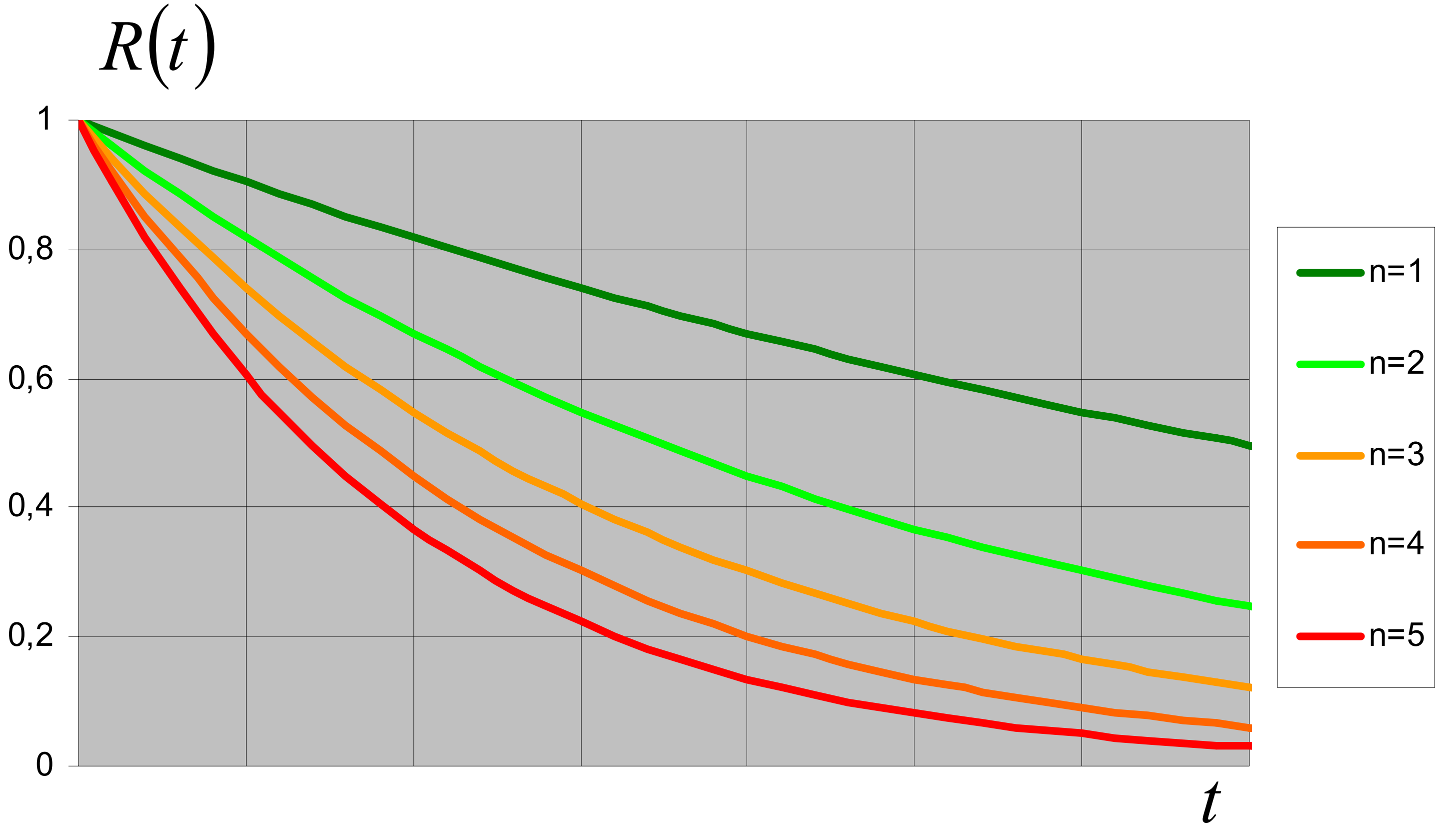
A rendszer meghibásodási rátájának számítása:

$$R_s(t) = e^{-\lambda_1 \cdot t} \cdot e^{-\lambda_2 \cdot t} \cdot \ldots \cdot e^{-\lambda_n \cdot t} = e^{-\sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot t} = e^{-\lambda_s \cdot t}$$

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_n = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$$

A rendszer várható élettartama: $T_s = \dfrac{1}{\lambda_s} = \dfrac{1}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i}$

SOROS RENDSZEREK - PÉLDA



P

$$\forall i : R_i(t_1) = 0{,}9$$

$$n = 10: \qquad R_S(t_1) = R_i(t_1)^{10} = 0{,}9^{10} = 0{,}348678$$

$$n = 100: \qquad R_S(t_1) = R_i(t_1)^{100} = 0{,}9^{100} = 2{,}66 \cdot 10^{-5}$$

1. példa

$n=2 \quad R_1=0{,}1 \quad R_2=0{,}9$ $\qquad R_s=R_1R_2=0{,}1\ 0{,}9=0{,}09$

$n=2 \quad R_1=0{,}5 \quad R_2=0{,}5$ $\qquad R_s=R_1\ R_2=0{,}5\ 0{,}5=0{,}25$

2. példa

$n=2 \quad R_1=0{,}6 \quad R_2=0{,}8$ $\qquad R_s=R_1\ R_2=0{,}6\ 0{,}8=0{,}48$

$n=2 \quad R_1=0{,}7 \quad R_2=0{,}7$ $\qquad R_s=R_1\ R_2=0{,}7\ 0{,}7=0{,}49$

3. példa

$$R_0 = \frac{R_1 + R_2}{2}; \qquad R_1 = R_0(1-x); \qquad R_2 = R_0(1+x)$$

$$R_s = R_1 R_2 = R_0(1-x)R_0(1+x) = R_0^{\ 2}\left(1-x^2\right)$$

$$\frac{dR_s}{dx} = \frac{d\left(1-x^2\right)}{dx} R_0^{\ 2} = -2xR_0^{\ 2}; \qquad \frac{d^2 R_s}{dx^2} = -2R_0^{\ 2}$$

A MEGBÍZHATÓSÁG NÖVELÉSÉNEK MÓDSZEREI

- Egyszerű rendszerkialakítás, kevés alkatrész (v.ö. bonyolult rendszerek)
- Kis meghibásodási gyakoriságú alkatrészek (magas előállítási költség)
- Azonos meghibásodási gyakoriságok
- Redundáns felépítés (gyenge elemekből jó rendszer)
- Előöregítés
- Tűréselemzés (Worst-Case, Monte Carlo)
- Hibafa elemzés (Fault Tree Analysis)
- Rövid üzemidő / Kis működésszám
- Csökkentett terhelés (derating)
- Túlterhelés elleni védelem
- A kockázatok elkerülése
- Karbantartási stratégiák, megelőző karbantartás
- Automatikus hibadiagnózis