

# 1. gyakorlat

MEGBÍZHATÓSÁGI PARAMÉTEREK, ELEMENK MEGBÍZHATÓSÁGA

Összeállította: Farkas Balázs

# BEVEZETÉS – MEGBÍZHATÓSÁG

- Biztonság: előadás
- Megbízhatóság: gyakorlat (de elméleti jellegű részek is lesznek!)
- Mi a megbízhatóság?
  - Egy rendszer a felhasználás, üzemeltetés meghatározott feltételei mellett megőrzi a minőségét.
  - A minőség időbeli alakulása.
  - Hibamentesség, javíthatóság, tartósság és tárolhatóság.
  - A rendszer meghatározott funkciót meghatározott idő (pl. ciklusszám) és körülmények között teljesíti.
  - A rendszer az előírt funkciót teljesíti, meghatározott mutatók megtartása mellett.
  - Szándékolt működés adott időben és környezetben.
  - A rendszer azon tulajdonsága, mely lehetővé teszi a rendszer szolgáltatása iránti bizalmat.
  - Számítani lehet arra, hogy a rendszer, vagy a rendszert alkotó alrendszerek, illetve alkatelemek ellátják specifikált funkciójukat, ugyanakkor valamennyiük üzemkészsége és biztonsága megfelel a specifikációnak.

# RAMS-S

## Dependability (Megbízhatóság)

Safety  
(Biztonság)

Availability  
(Rendelkezésreállítás, üzemkésztség)

Security  
(Védettség)

Reliability  
(Működőképesség)

Maintainability  
(Karbantarthatóság)

# FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK (PÉLDA)

## MSZ EN 50126-1: 2011 SZERINT\*

Betűkód	Név	Definíció
R	Működőképesség (megbízhatóság)	Annak valószínűsége, hogy egy termék előírt funkcióját adott feltételek között, adott $(t_1, t_2)$ időszakban ellátja.
A	Rendelkezésreállítás (üzemkészség)	Egy termék (gyártmány) azon tulajdonsága, hogy adott körülmények között, adott időpillanatban vagy adott időszakon belül olyan állapotban van, hogy meghatározott feladatát teljesíti, feltételezve, hogy a megkövetelt külső források rendelkezésre állnak.
M	Karbantarthatóság	Annak a valószínűsége, hogy egy megadott alkalmazási feltételekkel üzemelő egységen lebonyolított aktív karbantartási művelet meghatározott időszakon belül elvégezhető, ha a karbantartási művelet megadott feltételek mellett zajlik le, illetve meghatározott eljárásokat alkalmaz, és meghatározott erőforrásokat használ fel.
S	Biztonság	Az elfogadhatatlan károsodási kockázatoktól való mentesség.

\*: A fogalom meghatározások iparáganként, közlekedési alágazatonként eltérők lehetnek.

# VIZSGÁLANDÓ ELEM/RENDSZER

- A vizsgálat tárgyát képző elem/rendszer lehet:
  - Alkatrész vagy elem
  - Eszköz
  - Berendezés
  - Egy adott feladatot végrehajtó alrendszer vagy rendszerrész
  - A teljes fizikai rendszer

# MŰKÖDŐKÉPESSÉG -MEGHIBÁSODÁS

- Működőképesség
  - Annak valószínűsége, hogy az adott rendszer, adott idő után, adott időintervallumban, a meghatározott körülmények között a feladatát kifogástalanul ellátja.
- Meghibásodás
  - A működőképesség elvesztése.
  - 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 (pl.: izzó kiégés) vagy részleges (pl.: gumiabroncs profilmélysége eléri az előírt értéket)
  - Váratlan (pl.: izzó kiégés, gumibelső kilyukadása) vagy fokozatos (drift) jellegű (pl.: gumiabroncs elkopása)
- A meghibásodás fellépése véletlen esemény → valószínűségszámítás

# MEGBÍZHATÓSÁGI PARAMÉTEREK

Név	Jelölés	Dimenzió
Működőképesség valószínűsége	$R(t)$	[1]
Meghibásodás valószínűsége	$F(t)$	[1]
Meghibásodási sűrűség	$f(t)$	[1/h]
Meghibásodási ráta	$\lambda(t)$	[1/h]
Várható/közepes élettartam	$T, m$	[h]
Elemek száma	$N(t)$	[1]

# MŰKÖDŐKÉPESSÉG (TÚLÉLÉS) VALÓSZÍNŰSÉGE

- Annak valószínűsége, hogy az adott rendszer, **adott idő után, adott időintervallumban**, a meghatározott körülmények között a feladatát kifogástalanul ellátja.

- A meghibásodásmentes működés valószínűsége.

$$R(t) = P(t < T)$$

- A működőképesség valószínűségének kísérleti meghatározása:

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

- Adott időpontra vonatkoztatva:

$$R(t) = \lim_{\substack{N_0 \rightarrow \infty \\ \Delta t \rightarrow 0}} \frac{N(t + \Delta t)}{N_0}$$



# MEGHIBÁSODÁS VALÓSZÍNŰSÉGE

- Annak a valószínűsége, hogy a meghibásodás a vizsgált időintervallumon belül következik be:

$$F(t) = P(t \geq T)$$

- A meghibásodás valószínűségének kísérleti meghatározása:

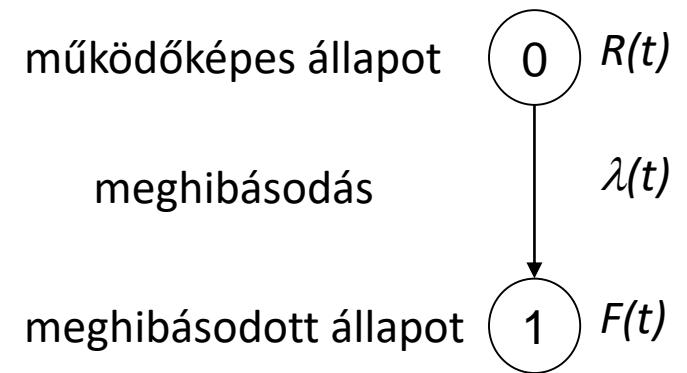
$$F(t) \cong \frac{N_0 - N(t + \Delta t)}{N_0}$$

- Adott időpontra vonatkoztatva:

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

# MEGBÍZHATÓSÁGI PARAMÉTEREK - ÖSSZEFÜGGÉSEK

- $R(0) = 1$ ,  $R(\infty) = 0$ , monoton csökken
- $F(0) = 0$ ,  $F(\infty) = 1$ , monoton nő
- Összefüggés  $R(t)$  és  $F(t)$  között:  
$$R(t) + F(t) = 1$$



# MEGHIBÁSODÁSI SŰRŰSÉG

- Az  $f(t) * \Delta t$  érték annak valószínűsége, hogy a meghibásodás a  $(t, t + \Delta t)$  intervallumban következik be.

$$f(t) * \Delta t = P(t < T \leq t + \Delta t)$$

- A meghibásodási sűrűség kísérleti meghatározása:

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

- Adott időpontra vonatkoztatva:

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

- A meghibásodás valószínűsége – meghibásodási sűrűség összefüggés:

$$f(t) \cong \frac{\Delta F}{\Delta t}$$

# MEGHIBÁSODÁSI RÁTA

- Az  $\lambda(t) * \Delta t$  érték annak feltételes valószínűsége, hogy egy  $t$  időpontban még nem meghibásodott egység a  $(t, t + \Delta t)$  intervallumban meghibásodik.

$$\lambda(t) * \Delta t = P(t < T \leq t + \Delta t | t < T)$$

- A meghibásodási ráta kísérleti meghatározása:

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

- Adott időpontra vonatkoztatva :

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

- Egy további összefüggés:

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

# VÁRHATÓ ÉLETTARTAM

- Az első meghibásodásig eltelő átlagos időtartam
- Az üzembe helyezés és a meghibásodás között eltelő átlagos időtartam
- A  $t$  valószínűségi változó várható értéke

$$T = \int_0^{\infty} t * f(t) dt$$

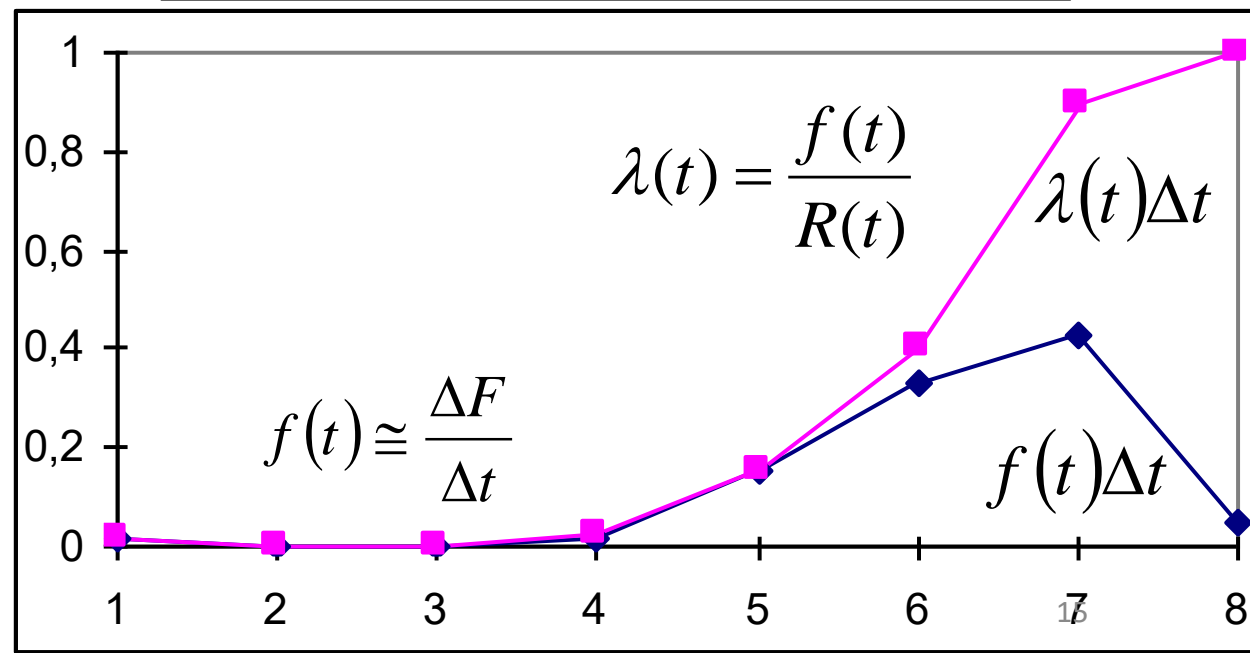
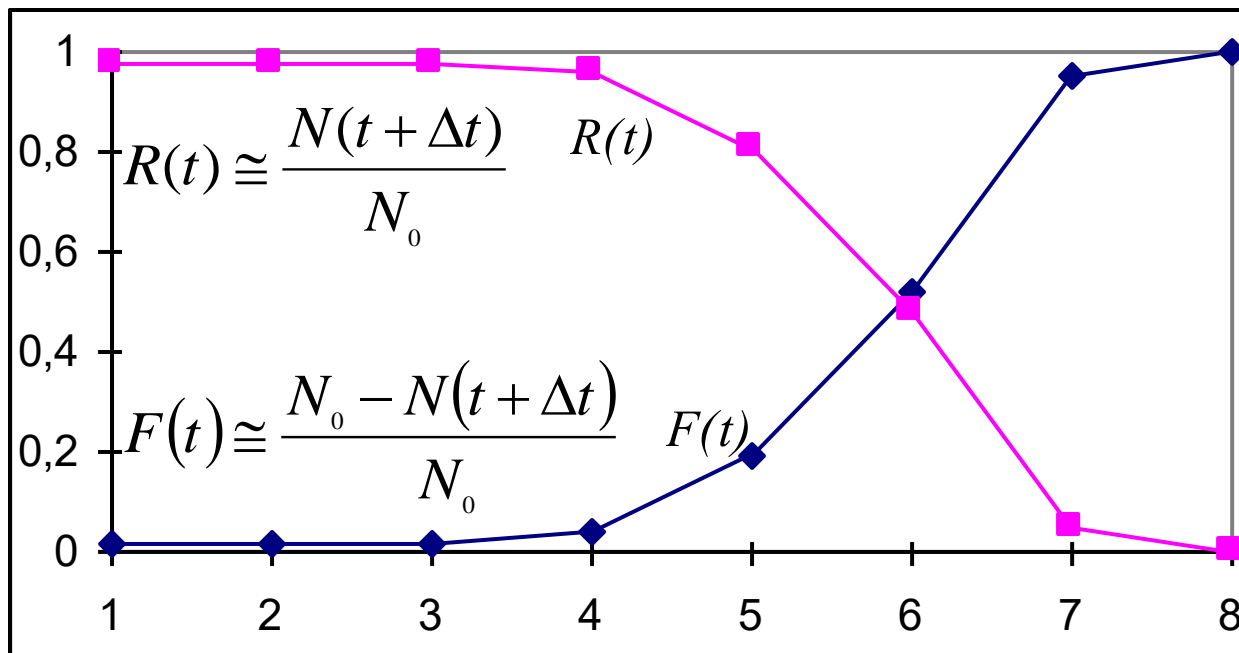
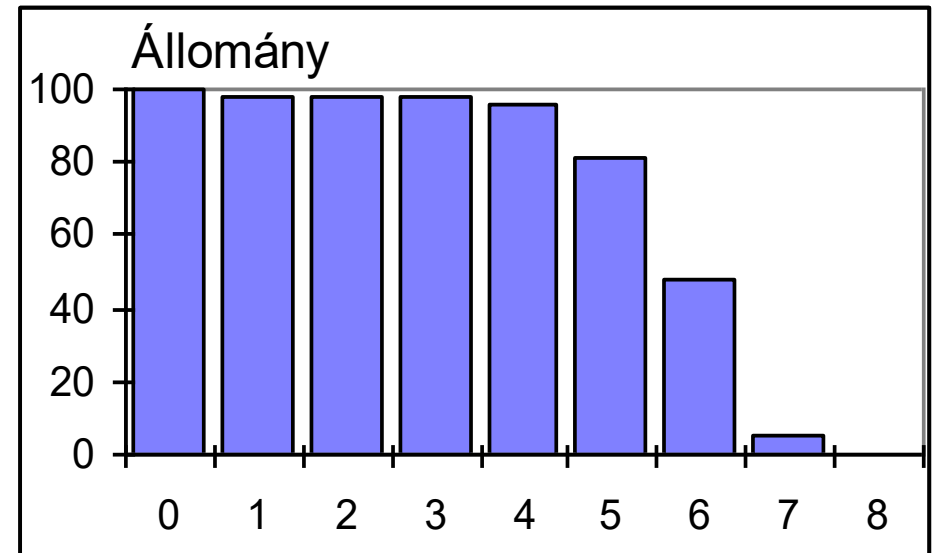
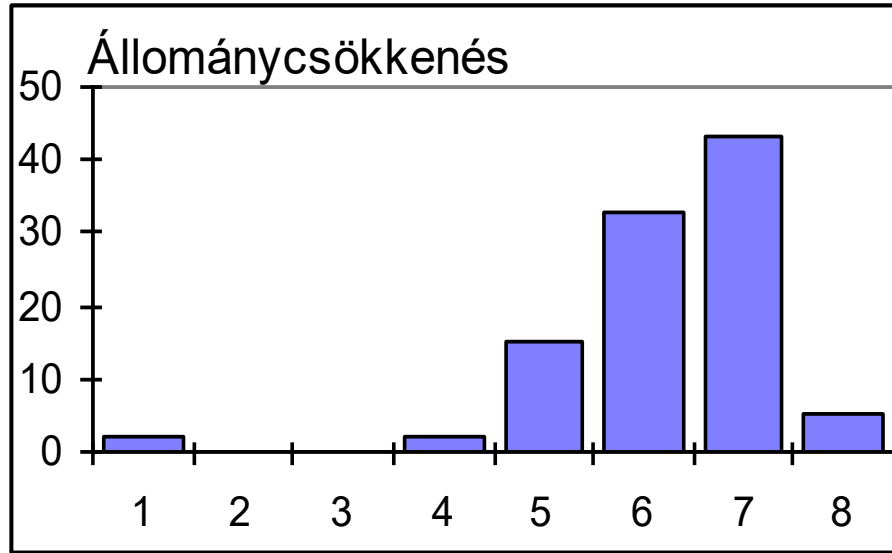
$$T = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

# MEGBÍZHATÓSÁGI PARAMÉTEREK - PÉLDA

Száz egyforma elemet vizsgáltak, és adott (egységnyi) időközönként (táblázat első sora) megnézték, hány hibásodott meg közülük az adott intervallumban. Az értékek az alábbi táblázat második sorában találhatóak. Számítsuk ki a táblázat többi sorát, majd ábrázoljuk a kapott értékeket az idő függvényében!

$t$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta N$	0	2	0	0	2	16	32	43	5
$N(t)$	100	98	98	98	96	80	48	5	0
$R(t)$	1	0,98	0,98	0,98	0,96	0,8	0,48	0,05	0
$F(t)$	0	0,02	0,02	0,02	0,04	0,2	0,52	0,95	1
$\Delta F$	0	0,02	0	0	0,02	0,16	0,32	0,43	0,05
$f(t)$	0	0,02	0	0	0,02	0,16	0,32	0,43	0,05
$\lambda(t)$	0	0,02	0	0	0,0204	0,167	0,4	0,896	1

# MEGBÍZHATÓSÁGI PARAMÉTEREK - PÉLDA

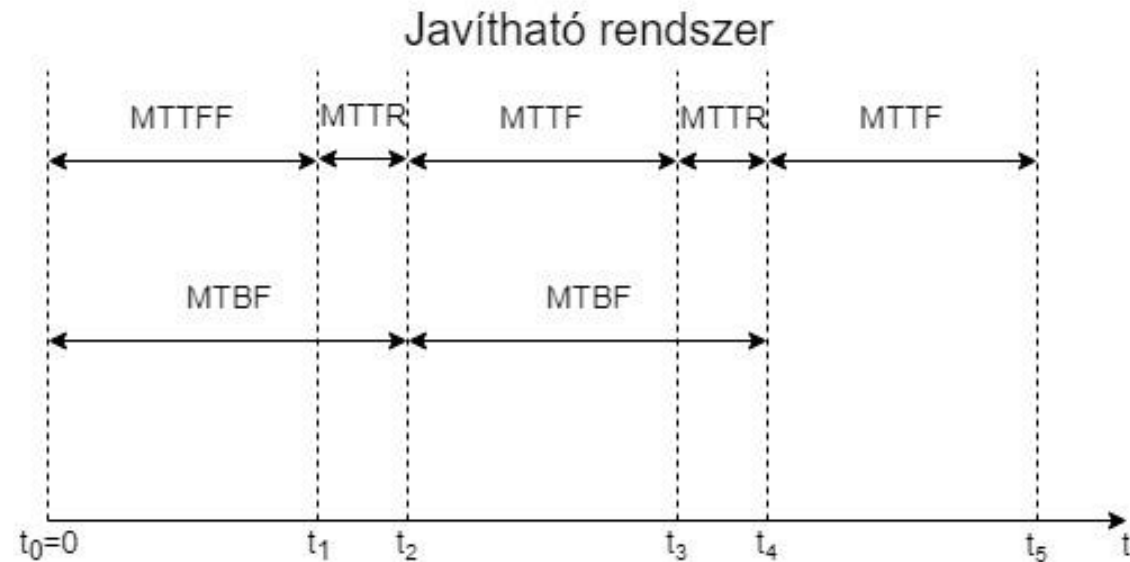


# ÁTLAGOS ÉLETTARTAM ÉS MEGHIBÁSODÁSI TÁVOLSÁG

- **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
- Nem javítható rendszerek esetén, ha  $\lambda =$  állandó, akkor:
$$T = \frac{1}{\lambda} = MTBF = MTTFF = MTTF$$
- **MTTR: Mean Time To Repair**
  - Átlagos javítási időtartam
  - Egy objektum megjavításig eltelő átlagos idő

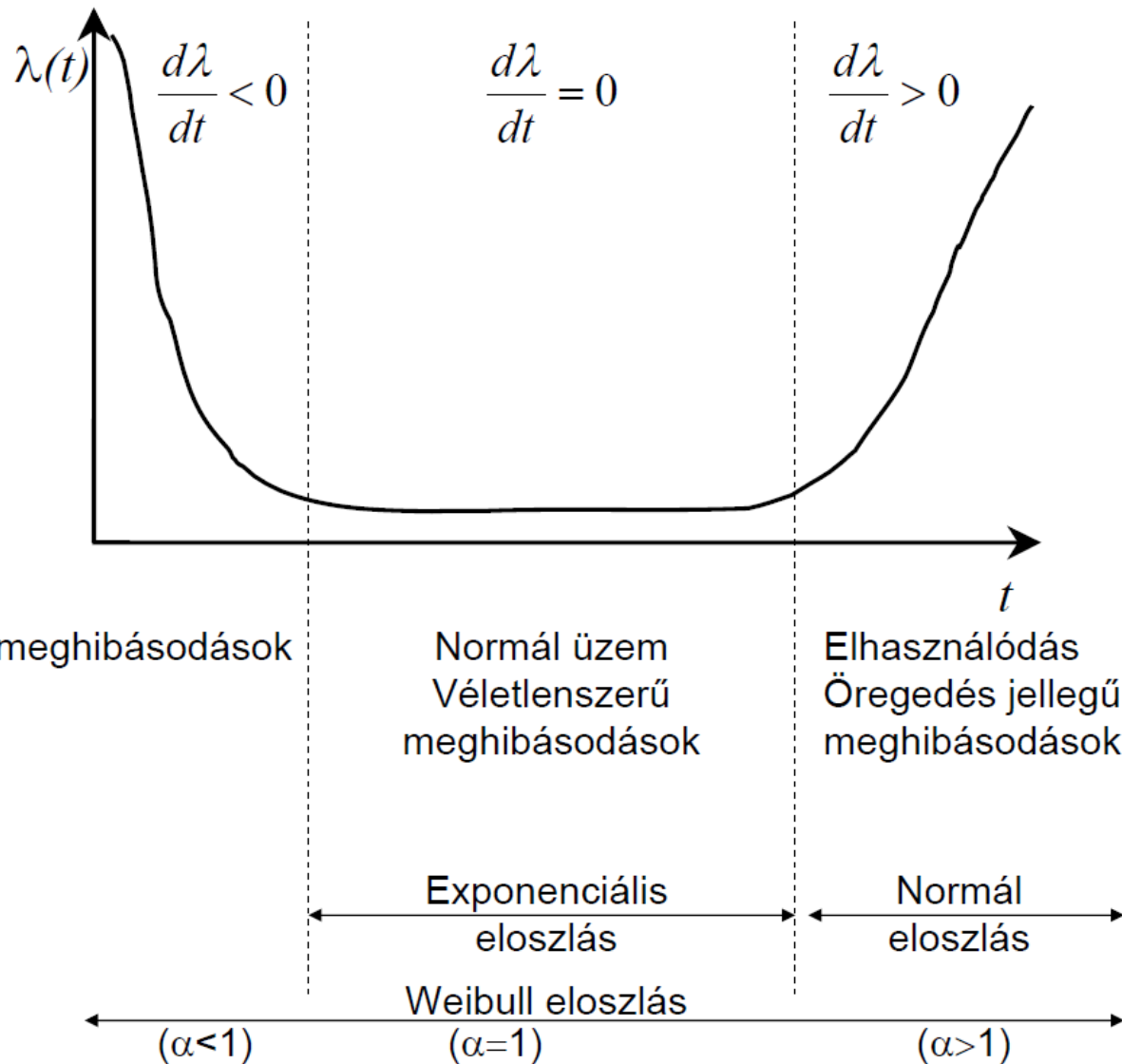


# ÁTLAGOS ÉLETTARTAM ÉS MEGHIBÁSODÁSI TÁVOLSÁG



Elemek megbízhatósága

# FÜRDŐKÁD GÖRBE



Korai meghibásodások	Véletlenszerű meghibásodások	Elhasználódás
<ul style="list-style-type: none"> <li>Gyártási hiányosságok</li> <li>Szállítási sérülések</li> <li>Tapasztalat hiánya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Különböző független hatások statisztikai együttthatása</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elhasználódás</li> <li>Elöregedés</li> <li>Kopás</li> <li>Bizonyos igénybevétel követően</li> </ul>
→ Próbaüzem, előöregítés	→ Lehetőleg ebben a szakaszban üzemeltetni	→ Lehetőleg itt nem üzemeltetni (felújítás, csere)

# WEIBULL ELOSZLÁS

- Az időfüggő meghibásodások hatványfüggvénnyel való megközelítésére szolgál.
- A megbízhatósági vizsgálatokban univerzálisan használható, mert vele a „fürdőkádgörbe” korai és elhasználódással kapcsolatos szakaszai, illetve az ezekkel kapcsolatos meghibásodások is jól közelíthetők és számszerűsíthetők.
- Az eloszlás paramétereit:
  - $\alpha$ -alakparaméter vagy Weibull kitevő, amely a Weibull eloszlás görbájének alakját határozza meg:
    - $\alpha < 1$ : a korai meghibásodások szakasza, a meghibásodási ráta értéke az idő függvényében monoton csökken;
    - $\alpha = 1$ : a véletlen meghibásodások, a használat időszakasza, a meghibásodási ráta értéke az idő függvényében állandó;
    - $\alpha > 1$ : az elhasználódással összefüggő meghibásodások szakasza, a meghibásodási ráta értéke az idő függvényében monoton nő;
  - $\beta$ -az ún. karakterisztikus élettartam;
  - $\gamma$ -a helyzetparaméter, amely a meghibásodások megkezdődésének időpontját határozza meg:
    - $\gamma > 0$ : olyan üzemállapot, amelyben a meghibásodások csak egy  $t = \gamma$  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:

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

- A Weibull függvény tartalmazza az „e” eloszlást is:

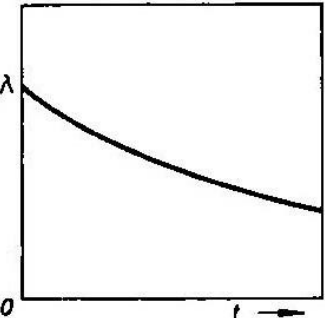
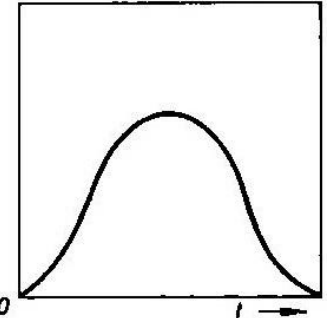
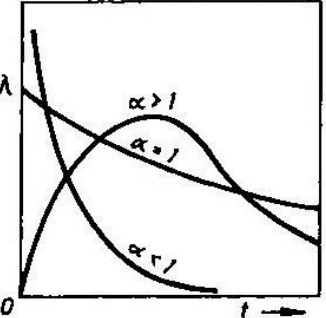
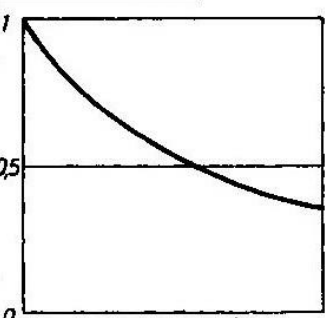
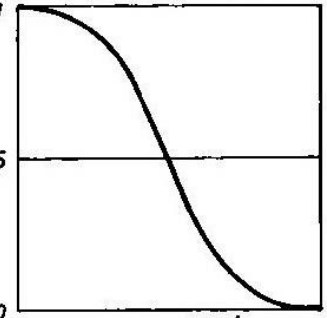
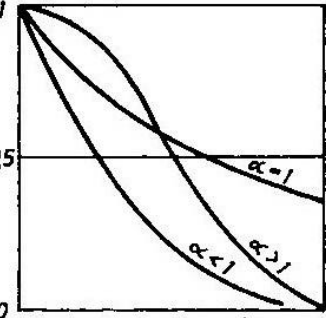
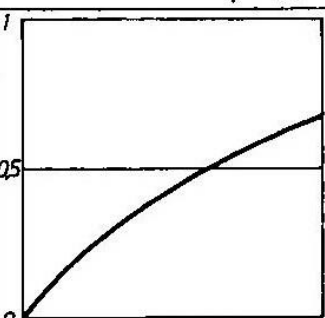
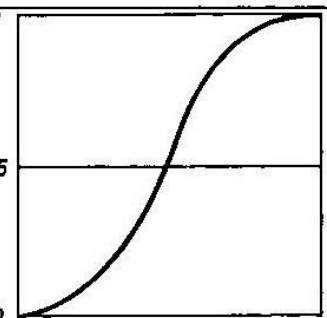
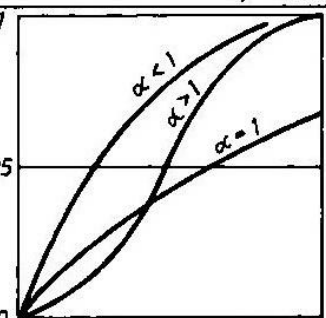
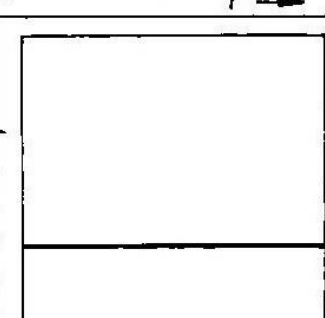
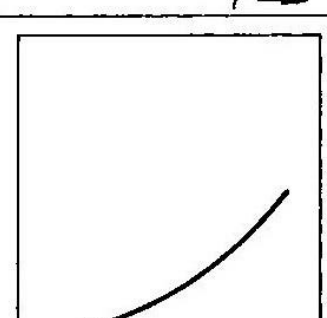
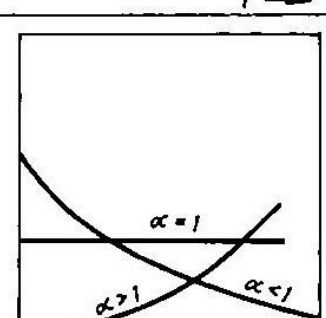
$$\alpha = 1, \beta = T, \gamma = 0$$

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

- A meghibásodás valószínűsége:

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

# WEIBULL ELOSZLÁS

	Exponenciális eloszlás	Normál eloszlás	Weibull eloszlás
f(t) Meghibásodási sűrűség			
R(t) Működési valószínűség			
F(t) Meghibásodási valószínűség			
lambda(t) meghibásodási ráta			

# EXPONENCIÁLIS ELOSZLÁS

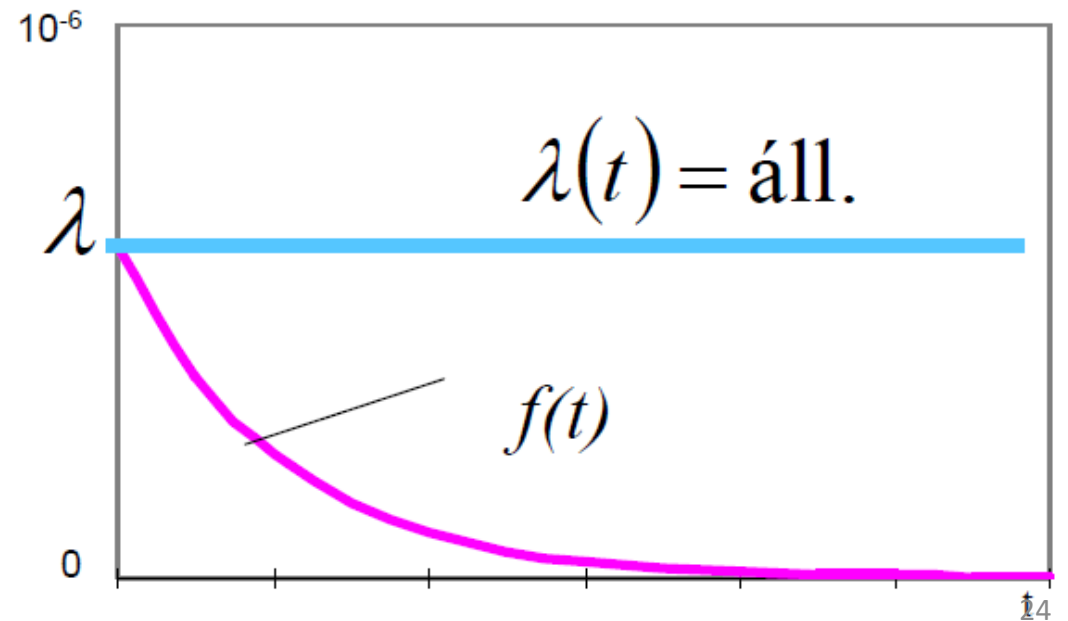
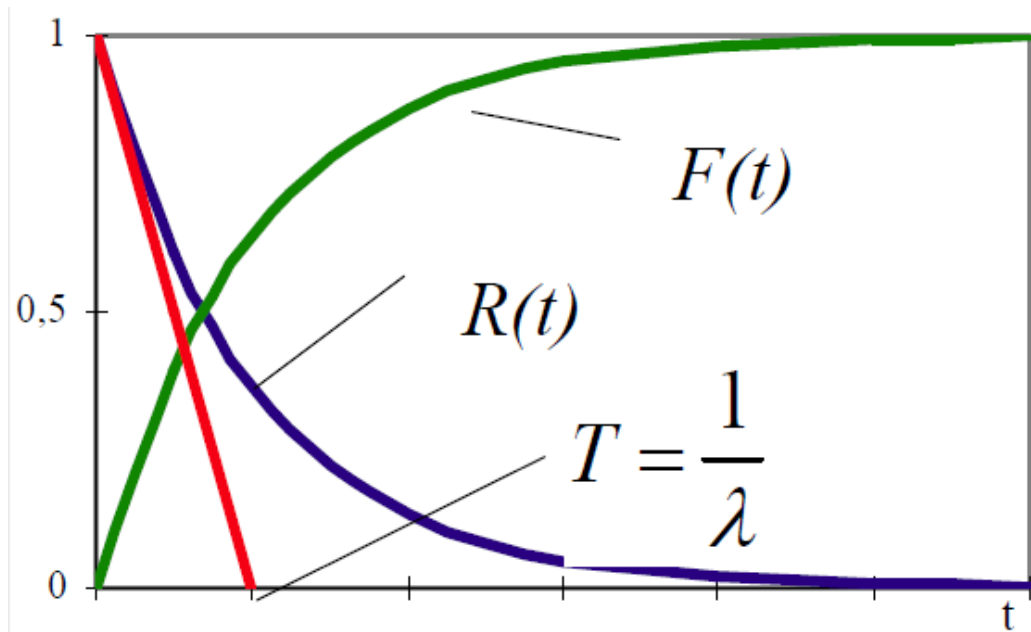
- A túlélési valószínűség függvény az „ $e$ ” függvénynek megfelelően csökken, és tart a „0” határértékhez.
- A meghibásodás valószínűsége a véletlen változók növekvő értékével monoton módon, az „ $e$ ” függvénynek megfelelően tart az „1” határértékhez.
- Az üzemidő során időegységenként arányosan azonos számú egység hibásodik meg, vagyis a meghibásodási gyakoriság a használati időtől független.
- A meghibásodásmentes működés valószínűsége egy  $(t, t+\Delta t)$  időintervallumban független a korábban eltelt időtől, és csak a  $\Delta t$  időintervallum nagyságától függ, azaz a jövőbeni meghibásodási viselkedés teljes mértékben független a rendszer előéletétől.
- Az exponenciális eloszlás a fürdőkádgörbe középső, vízszintes szakaszára alkalmazható. ( $\lambda$  = állandó)
- Ha több, egymástól független meghibásodási mechanizmussal kell számolni, akkor ezek szuperpozíciója szintén exponenciális eloszlást eredményez.

# EXPONENCIÁLIS ELOSZLÁS

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

$R(t)$  meredeksége a  $t = 0$  pontban:

$$(R(t))' = (e^{-\lambda t})' = -\lambda * e^{-\lambda t} \Big|_{t=0} = -\lambda$$





# A MEGHIBÁSODÁSI GYAKORISÁGOT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

- „Működőképesség: annak valószínűsége, hogy az adott rendszer, adott idő után, adott időintervallumban, a **meghatározott körülmények között** a feladatát kifogástalanul ellátja.”
- Az alkatrészek üzemi terhelése gyakran nem éri el a gyártók által megengedett határokat, aminek következtében a meghibásodási gyakoriság csökkenhet:

$$\lambda = \lambda_B * k_1 * k_2 * \dots * k_n$$

- $\lambda_B$  a meghibásodási gyakoriság alapértéke
- $k_i$  terhelési tényező az i-edik terhelési mód esetén

# 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:  $m = A e^{+\frac{E_a}{kT}}$

m - várható élettartam

$E_a$  - aktivációs energia (lezárt pn átmenet vezető állapotba kapcsolásához, elektronvoltban)

k -  $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K (Boltzmann-állandó)

T - abszolút 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 VÁRHATÓ ÉLETTARTAM MEGADÁSA

- Várható élettartam:  $[T] = h$ , általában idő dimenzióban.
- A gyakorlatban más dimenziójú mennyiségekkel is meg lehet határozni egy rendszer élettartamát, pl.:
  - Közúti járműveknél az üzembe helyezést követően eltelt idő mellett a megtett kilométerek száma.
  - Csapágyaknál (millió) körülfordulás.
  - Akkumulátorok estén merülési/töltési ciklus.
  - Különböző műszaki eszközöknél jellemző technológiai folyamat (pl.: fényképezőgépeknél expozíciók száma, nyomtatóknál nyomtatott oldalak száma, stb.).
- A meghibásodási ráta dimenziója a várható értékének reciproka.
- A számításokhoz érdemes idő dimenzióra áttérni, amit számos esetben könnyű megtenni (pl. csapágyaknál a fordulatszám ismeretében). Rendelkezésreállítás számításánál elengedhetetlen, mivel a javítási idő csak idő dimenzióban kezelhető.

# A MEGHIBÁSODÁSI GYAKORISÁGOK MEGHATÁROZÁSA

	Laboratóriumi mérés	Üzem közbeni mérés
Vizsgálati idő	Rövid: órák/hetek	Hosszú: hónapok/évek
Hibaanalízis	Laboratóriumban jól lehetségesek	A meghibásodott minták nehezen beszerezhetők
Meghibásodási körülmények	Pontosan reprodukálhatók	Utólag nehezen meghatározhatók
Szűrőpróba mennyisége	Kicsi: $N = 10 \dots 10^2$	Nagy: $N = 10^2 \dots 10^5$
Vizsgálati eredmény érvényessége	Terhelés csak szimulálva	Az üzemi viszonyoknak megfelelő körülmények
Költségek	Drága: vizsgáló személyzet és berendezések	Olcsó: hibastatisztika készítése (akár automatikusan)
Lehetséges hibaforrás	Gyorsított vizsgálatok, nincsenek kombinált vizsgálatok	A hibák meghatározása és regisztrálása téves lehet

# HÁZI FELADAT – 1

- Példatár: 2., 3. fejezet átolvasása
- Töltse ki az alábbi táblázatot a tanultak függvényében!

Jelölés	Név	Dimenzió	Szöveges leírás	Val.	Kísérleti meghat.	Adott időpontra (határérték)	Képlet szöveges leírása	Egyéb összefüggés
$R(t)$			Annak a val-e, hogy...					-
$F(t)$			-	$P(t \geq T)$				$1 - F(t)$
$f(t)$		[1/h]			$\frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N_0 * \Delta t}$			$\frac{\Delta F}{\Delta t}$
$\lambda(t)$	Meghib-i ráta					$\lim_{\substack{N_0 \rightarrow \infty \\ \Delta t \rightarrow 0}} \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) * \Delta t}$	Az intervallum elején működőképes...	$\frac{f(t)}{R(t)}$
$T$				-	-	-	-	$\frac{1}{\lambda}$

# HÁZI FELADAT – 2

- 3.0.1. Egy egyetlen elemből álló rendszer  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  1/h meghibásodási rátával rendelkezik. Számítsa ki, hogyan változik a működőképességének valószínűsége az idő múlásával (a vizsgált intervallum hosszának növekedésével)
  - $t = 1$  s
  - $t = 1$  min
  - $t = 1$  h
  - $t = 1$  nap
  - $t = 1$  hét
  - $t = 1$  hónap
  - $t = 1$  év
  - $t = 1$  évtized
  - $t = 1$  évszázad!
- 3.0.2. Egy gépkocsi tényleges működését a gépkocsi által megtett út hosszával mérjük. A gépkocsi tényleges működése exponenciális eloszlású  $\lambda = 10^{-5}$  1/km meghibásodási rátával rendelkezik. Mekkora annak a valószínűsége, hogy a gépkocsi az üzembe helyezéstől számított 15000 km megtétele alatt meghibásodik?
- 3.0.3. Egy izzót egy lámpában munkanapokon 7 órán keresztül használnak. Mekkora érték adódik az izzó meghibásodási rátájára, ha megkövetelik, hogy két évente (évi 250 munkanap) csak egyszer hibásodjon meg?