Spolehlivost a diagnostika

- Složité systémy a jejich spolehlivost:
    - Co je spolehlivost?
    - Vliv spolehlivosti komponentů systému…
    - Návrh systému z hlediska spolehlivosti…

- Aplikace - životně důležité systémy…
  - vojenské aplikace…

$\Downarrow$

Teorie spolehlivosti

<u>analýza</u> spolehlivosti (jednodušší)

<u>syntéza</u> systému s požadovanou spolehlivostí

změna parametrů při výrobě následovaná analýzou spolehlivosti (testy)

<u>Pozn.1:</u> obecně nejsou známy parametry nových (nebo všech) komponentů užitých při výrobě systému $\Rightarrow$ exaktní návrh NELZE učinit předem.

<u>Pozn.2:</u> zjišťování SUVISLOSTÍ poruch součástí systému není obvykle uskutečnitelné $\Rightarrow$ nutnost určovat spolehlivost větších celků.

- Praktické zkoušky systémů $\rightarrow$ určení spolehlivosti

  ! NÁKLADNÉ $\rightarrow$ <u>nahrazení zrychlenými zkouškami:</u>
  1. Zvětšené namáhání systému
  2. Rozbor možných druhů poruch + ověření jejich výskytu zrychlenými zkouškami

- Stanovení spolehlivosti parametrů systému z údajů o provozu zařízení:
    - Často jediná metoda
    - Dlouhodobý sběr dat, statistické zpracování

- Návrh zařízení (syntéza) s požadovanými parametry spolehlivosti:
    - Požadovaná míra spolehlivosti po určitou dobu životnosti systému (automobil)
    - Optimalizace spolehlivosti x nákladů na její dosažení (výrobní linka)
    - Vyloučení poruchy (!!!) (raketa)

- Stanovení potřebné míry spolehlivosti systému:
    - Opravitelný systém (kompromis cena x spolehlivost)
    - Neopravitelný systém (kompromis cena x následky)
      NELZE DOSÁHNOUT ABSOLUTNÍ SPOLEHLIVOSTI SYSTÉMU

- Způsob dosažení potřebné spolehlivosti:
    - Volba struktury systému (užití komponent s danou spolehlivostí)
    - Zlepšení spolehlivosti součástí systému

Pojem SPOLEHLIVOT:

zahrnuje

- bezporuchovost
- životnost
- udržovatelnost

- Závislost sledovaného znaku na provozních podmínkách a v definovaném časovém intervalu.

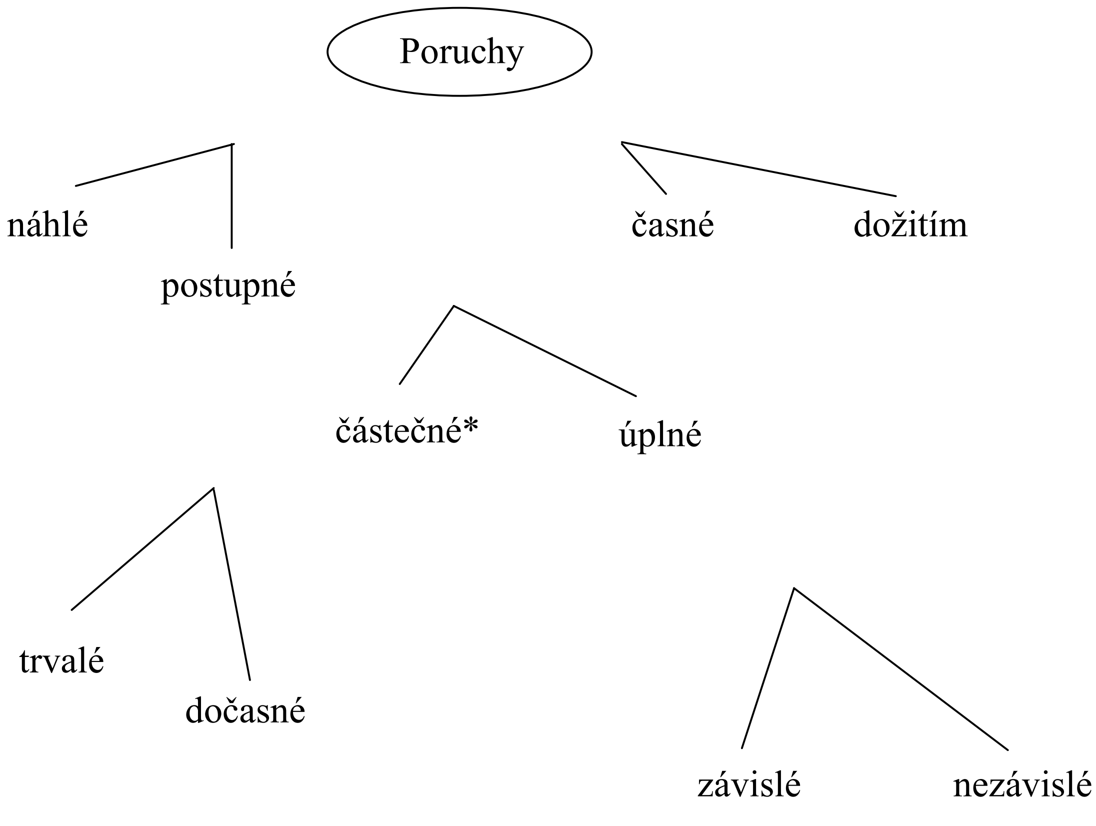
míra bezporuchovosti ≡ pravděpodobnost bezporuchového provozu po časový úsek

míra spolehlivosti ≡ dtto

Druhy poruch

- Úplná nebo částečná ztráta schopnosti soustavy vykonávat očekávanou činnost.

  Rozhodnutí, zda-li je provozní stav poruchou se provádí na základě stanovených podmínek provozu.



* Zhoršení, jež není klasifikováno jako porucha je ZÁVADOU.

- V teorii spolehlivosti se uvažují poruchy NÁHODNÉ. (Vyloučení poruch popsatelných jinými závislostmi $\rightarrow$ nejsou-li tyto závislosti známy, jsou zpracovány jako NÁHODNÉ poruchy).

Pozn. V dalším uvažujeme pouze poruchy TRVALÉ.

Charakteristiky spolehlivosti

neopravovaný systém – charakteristiky bezporuchového provozu:

- hustota poruch
- intenzita poruch
- střední doba bezporuchového provozu

Pozn.: Obvyklá závislost na čase, méně často na jiném provozním parametru (např. ujeté km, přečerpaný objem m^3, apod.)

- spojitá nezávisle proměnná (čas)
- nespojitá nezávisle proměnná (diskrétní časové okamžiky)
- závisle proměnná : 2 stavy – poruchový stav
  – provozní stav

Provoz zařízení v čase $t \geq 0$, nechť spojitá náhodná veličina ξ (porucha) nastane v $t=\xi$, potom:

Def.: Pravděpodobnost bezporuchového provozu R(t)

$$R(t)=P(\xi>t)$$

Def.: Pravděpodobnost poruchy, že pro $t \in \langle 0,t\rangle$ nastane porucha Q(t) je shodná s distribuční funkcí ξ, tj.:

$$Q(t)=F(t)=P(\xi \leq t)$$

porucha a bezporuchový provoz se vylučují, tedy:

$$R(t)=1-Q(t)$$

předpokládejme, že existuje hustota poruch:

$$\frac{dF(t)}{dt}=f(t)$$

odvozená veličina: intenzita poruch $\lambda(t)$ (hazard)

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

$\lambda(t)$ [1/čas] nejčastěji [1/hod]

- veličiny R(t), Q(t), f(t), $\lambda(t)$ popisují úplně bezporuchovost systému.
- vzájemné transformace:

$$\lambda = -\frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} \qquad \text{intenzita poruch}$$

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

$$-\int_0^t \lambda(t)dt = \ln R(t) - \ln R(0)\text{; R(0)=1}$$

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] \qquad \text{pravd. bezpor. prov.}$$

$$f(t) = \frac{d(1-Q(t))}{dt} = \lambda(t)\exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right]$$

Def.: Střední doba bezporuchového provozu T_S :

$$T_S = E(\xi) = \int_0^\infty t \cdot f(t)dt$$

nahrazení f(t)$\leftarrow$R(t):

$$\int_0^\infty tf(t)dt = -\int_0^\infty tdR(t) = [-tR(t)]_0^\infty + \int_0^\infty R(t)dt\text{ ; } R(0)=1,\ R(\infty)=0$$

tedy:

$$T_S = E(\xi) = \int_0^\infty R(t)dt \text{ …vztah užitečnější při výpočtech}$$

Def.: Rozptyl D náhodné doby poruchy ξ :

$$D(\xi) = E\left((\xi - E(\xi))^2\right) = \int_0^\infty (t - T_S)^2 f(t)dt$$

platí také:

$$D(\xi) = E(\xi^2) - E^2(\xi) = \int_0^\infty t^2 \cdot f(t)dt - T_S^2$$

Zavedením pravděp. bezporuchového provozu R(t):

$$D(\xi) = 2\int_0^{\infty} tR(t)dt - T_S^{\ 2}$$

kde:

$$\sigma(\xi) = \sqrt{D(\xi)}$$ –směrodatná odchylka

Def.: Zaručená doba bezporuchového provozu T_β

Je taková doba, kdy:

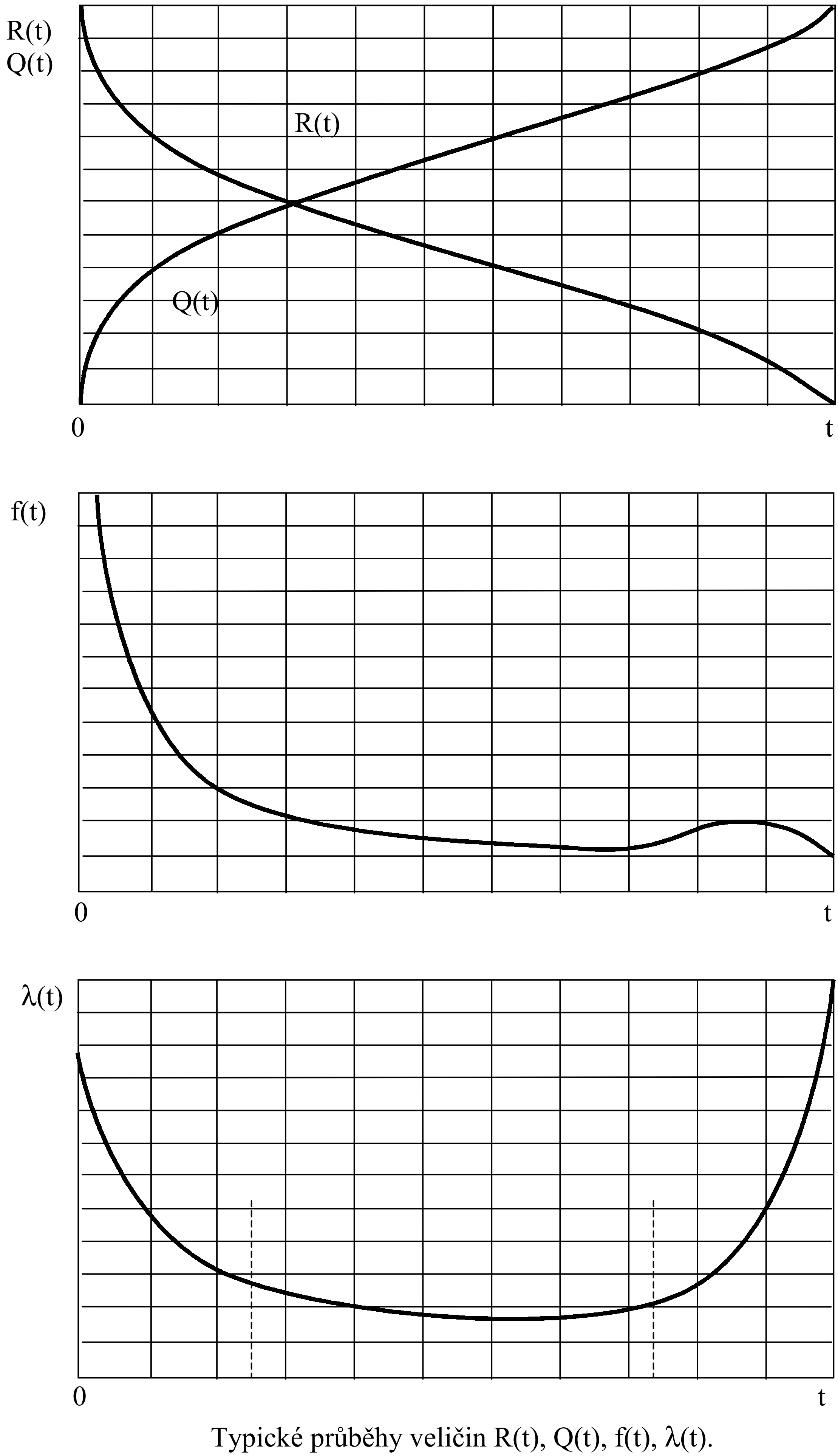
$$R(T_\beta)=\beta$$

pravděp. bezporuchového provozu bude mít hodnotu β.

Typické průběhy veličin

- nejnázornější časový průběh intenzity potuch λ(t):

  tři úseky (časové intervaly):
    - období časových poruch
      (způsobeno chybami při návrhu a výrobě – zahořování)
    - období normálního provozu
      (~ konstantní intenzita poruch)
    - období dožití systému
      (intenzita poruch stoupá – opotřebení, únava materiálu)



Typické průběhy veličin R(t), Q(t), f(t), λ(t).

- Bezporuchovost systémů s nespojitou činností je vhodné zajišťovat v závislosti na <u>POČTU VYKONANÝCH OPERACÍ</u>

    - porucha se projeví pouze v okamžicích činnosti $\Rightarrow$ diskrétní veličiny

<u>diskrétní hustota pravděp.</u>:

$$f(x_i)=P(x_i)=P(X=x_i)$$

$i=1,2,\dots,n$ pravděp. jevu

<u>diskrétní hustota poruch</u>:

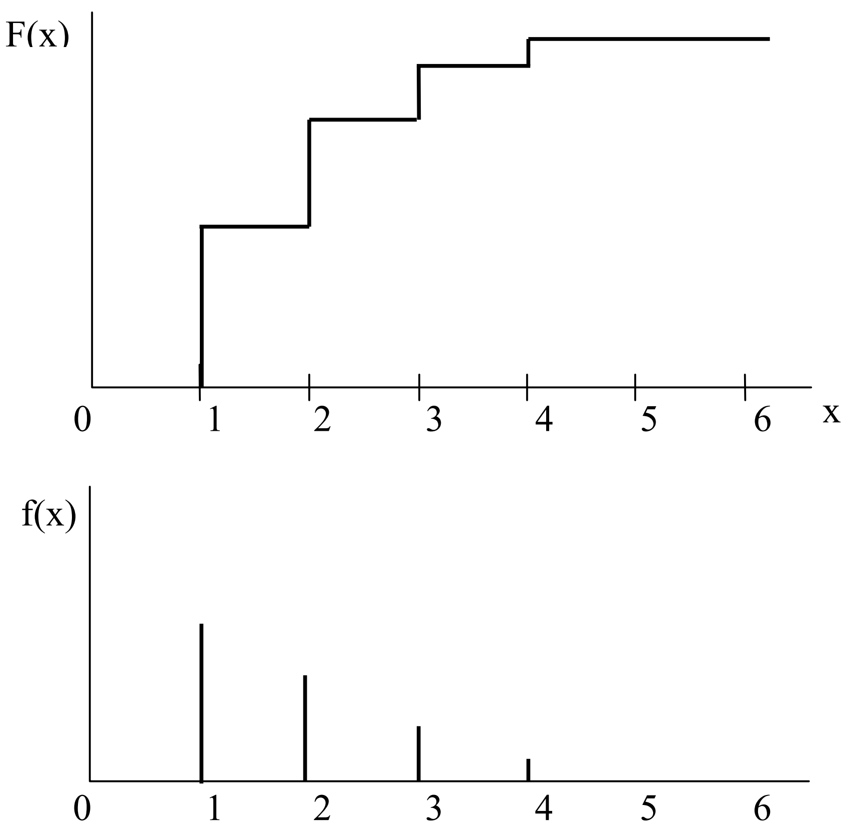
$$P(S)=\sum^{n} f(x_i) =1$$

<u>pravděp. poruchy</u>:

$$Q(x)=F(x)=P(X\leq x_i)= \sum_{x_i \leq x} f(x_i)$$

inverzní vztah pro hustotu pravděp. :

$$f(x)=F(x+)-F(x-) \qquad \text{viz obr.}$$



Příklady průběhu diskrétní distribuční funkce F(x) a odpovídající diskrétní hustoty pravděp. f(x)

- Střední délka bezporuchového provozu X_S:

$$X_S = E(x) = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot f(x_i)$$

- Rozptyl D(x):

$$D(x) = E(X - X_S)^2 = \sum_{i=1}^{n} (x_i - X_S)^2 \cdot f(x_i)$$

nebo také:

$$D(x) = EX^2 - X_S^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \cdot f(x_i) - X_S^2$$

Další užitečné vztahy pro výpočet E a D:

Mějme: n nezávislých náhodných veličin

$X_1, X_2, X_3, \ldots, X_n$, se shodným rozdělením pravděp.

aritmetický průměr:

$$\overline{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} X_i$$

střední hodnota součtu:

$$E\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right) = \sum_{i=1}^{n} E(X_i)$$

z toho plyne:

$$E(\overline{X}) = \frac{1}{n} n \cdot E(X) = E(X)$$

pro rozptyl platí (nezávislé proměnné X_i):

$$D\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right) = \sum_{i=1}^{n} D(X_i)$$

z toho:

$$D(\overline{X}) = \frac{1}{n^2} n \cdot D(X) = \frac{1}{n} D(X)$$

směrodatná odchylka:

$$\sigma(\overline{X}) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sigma(X)$$

Význam charakteristik spolehlivosti

- Předpokládáme skupinu N_0 shodných testovaných systémů
- Zaznamenávají se okamžiky poruch jednotlivých systémů (systémy se neopravují ani nevyměňují)

Nechť $N_{(t)}$ je počet správně pracujících systémů v čase t, dle definice pravděp. bezporuchového provozu je:

$$N_{(t)} = N_0 . R(t)$$

$$R(t) = \frac{N_{(t)}}{N_0}$$

tj. značí střední počet systémů pracujících do doby t vztažený na počáteční počet systémů

pravděpodobnost poruchy:

$$Q(t) = \frac{N_0 - N(t)}{N_0}$$

nechť ΔN je počet porouchaných systémů v době $\langle t, t+\Delta t \rangle$, kde $\Delta t \to 0$ tedy:

$$\Delta Q(t) = f(t) . \Delta t = \frac{\Delta N}{N_0}$$

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

- Za jednotku času nastane porucha v průměru pro:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = N_0 \cdot f(t) \text{ systémů}$$

tj. hustota poruch je rovna střednímu počtu poruch v jednotkovém časovém intervalu v době t vztaženém k počátečnímu počtu systémů N_0 (na začátku zkoušky, tedy v čase t=0)
obdobně pro intenzitu poruch platí (dosazením za f(t) z předchozího):

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot N_0}$$

tj. intenzita poruch je rovna střednímu počtu poruch v jednotkovém časovém intervalu v době t vztaženému k počtu systémů bez poruch v době t.

- Podmíněná pravděp. v def. intenzity poruch

  nechť $\Delta Q'$ je podmíněná pravděp., že se systém porouchá v čase <t, t+Δt>, kde $\Delta t \to 0$ za podmínky, že do doby t pracoval bez poruchy platí:

$$\Delta Q = R(t) \cdot \Delta Q'$$

  $\Delta Q \to$ nepodmíněná pravděp. poruchy během <t, t+Δt>.
  Protože:

$$\Delta Q = f(t) \cdot \Delta t$$

  plat:

$$\Delta Q' = \frac{\Delta Q}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \cdot \Delta t = \lambda(t) \cdot \Delta t$$