
Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení



Spolehlivost tekutinových systémů The Reliability of Fluid Systems

prof. Ing. Jaroslav Kopáček, CSc.

Proč se spolehlivostí musíme zabývat

- narůstající složitost technologických zařízení s aplikací tekutinových systémů,
- závislost vysoké produktivity těchto zařízení i na jednotlivých prvcích,
- snižování provozních nákladů na údržbu.

Teorie spolehlivosti se zabývá třemi základními úlohami

- předpovídání (predikce) spolehlivosti,
- zjišťování spolehlivosti vyhodnocením experimentu,
- řízení spolehlivosti diagnostikováním.



Názvosloví spolehlivosti

Odpovídá názvoslovným normám ČSN a IEC

Definice spolehlivosti

Způsobilst výrobu plnit požadované funkce v daných podmínkách v průběhu daného časového období.

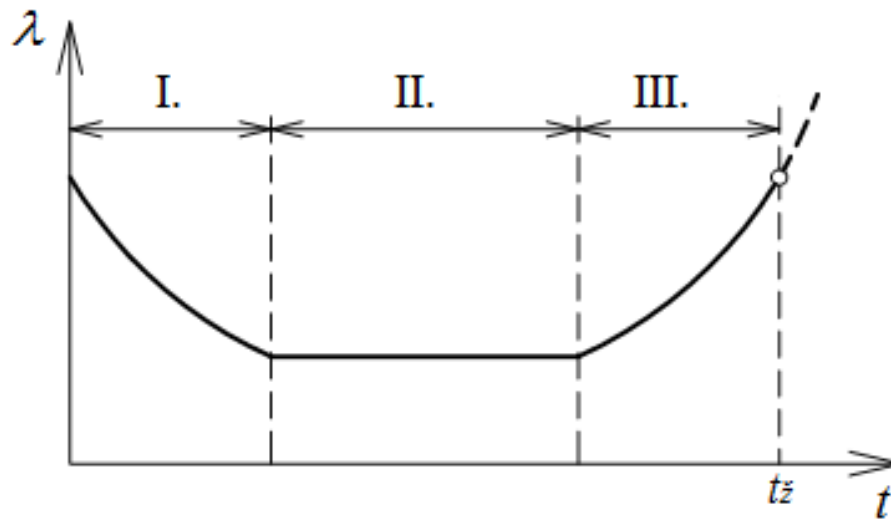
Doplnit můžeme zdůrazněním, že spolehlivost je chápána jako komplexní a obecná vlastnost objektu a jejím kritériem je porucha.

Definice poruchy

- jev, spočívající v ukončení schopnosti výrobku plnit požadovanou funkci z kterékoliv příčiny,
- porucha vzniká náhodným jevem,
- je základním jevem a kritériem posuzování spolehlivosti objektu.



Časový průběh poruchy – vanová křivka



- I. záběh, převážný výskyt častých poruch
- II. technický život, výskyt náhodných poruch
- III. stárnutí, opotřebení, dožívání výrobku

Základy teorie spolehlivosti

Pravděpodobnostní definice a statistický význam ukazatelů bezporuchovosti

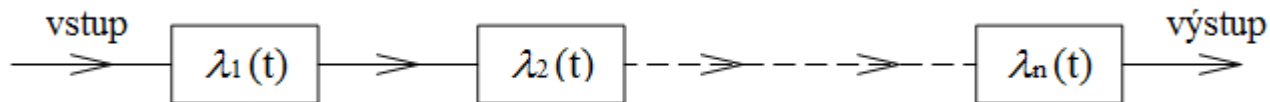
Název ukazatele bezporuchovosti	Značení	Pravděpodobnostní určení	Statistický odhad (empirické určení)
Pravděpodobnost bezporuchového provozu	$R(t)$	$R(t) = P(\tau > t)$	$R(t) = \frac{n(t)}{n}$
Pravděpodobnost poruchy	$F(t)$	$F(t) = P(\tau \leq t)$	$F(t) = \frac{r(t)}{n} = \frac{n - n(t)}{n}$
Hustota pravděpodobnosti poruch	$f(t)$	$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$	$f(t) = \frac{r(t)}{n \cdot \Delta t} = \frac{n - n(t)}{n \cdot \Delta t}$
Intenzita poruch	$\lambda(t)$	$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$	$\lambda(t) = \frac{r(t)}{n(t) \cdot \Delta t}$

Uvedené vztahy platí pro tzv. neobnovované objekty a pro intenzitu poruch $\lambda(t) = konst.$

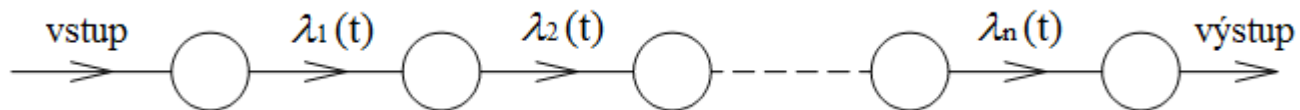


Spolehlivostní modely systému

- znázornění pomocí blokového schématu



- znázornění pomocí orientovaných grafů



Typ poruchových modelů

- sériový poruchový model
- paralelní poruchový model
- sérioparalelní poruchový model

Např. pro sériový poruchový model, jak bude uvedeno v příkladu, je intenzita poruch systému daná součtem intenzity poruch jednotlivých prvků

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$



Intenzity poruch $\lambda(t)$ hydraulických a pneumatických prvků

Prvek	Intenzita poruch $\lambda(t)10^{-6}, h^{-1}$		
	max.	střed.	min.
Zubové hydrogenerátory	-	13	-
Axiální pístové hydrogenerátory	13	9	6
Hydromotory rotační	7,15	4,3	1,45
Hydromotory přímočaré	0,12	0,08	0,005
Pojistné ventily	14,1	5,7	0,224
Přepouštěcí ventily	0,24	0,5	0,26
Servoventily elektrohydraulické	56	30	16,8
Jednosměrné ventily	14,1	5,7	3,27
Rozváděče šoupátkové	0,112	0,054	0,041
Rozváděče ventilové	-	1,12	-
Akumulátory hydraulické, pneumatické	7,5	6,8	0,35
Vedení – spojky, přípojky	2,01	0,03	0,012
Pryžové vysokotlaké hadice	3,27	2	0,05
Filtry	1,69	0,79	0,01
Nádrže	2,52	1,5	0,48
Těsnění statické	7,6	4,9	2,2
Těsnění dynamické	1,12	0,7	0,25
Pneumatické regulátory	-	2,4	-
Pneumatické válce	0,013	0,004	0,002



Intenzity poruch $\lambda(t)$ mechanických a elektrických prvků

Prvek	Intenzita poruch $\lambda(t)10^{-6}, h^{-1}$		
	max.	střed.	min.
Elektromotor	7,15	1,3	1,45
Snímač tlaku	6,6	3,5	1,7
Snímač teploty	6,4	3,3	1,5
Termostat	0,14	0,06	0,02
Pružiny	0,221	0,112	0,001
Převod s ozubenými koly	0,2	0,12	0,0118
Ložiska valivá	1	0,5	0,02
Ložiska kluzná	0,12	0,21	0,008
Otočné čepy	-	0,01	-
Spojky mechanické	-	0,05	-
Spojky třecí	-	0,03	-
Spojky magnetické	-	0,06	-
Vypínače mechanické	2	-	5
Konektory zásuvné	0,2	-	0,5
Spojovací kabely	-	0,6	-
Klínové řemeny	-	0,1	-
Transformační přístroje	-	0,3	-
Měřicí přístroje	-	1,5	-



Příklady výpočtu ukazatelů spolehlivosti

Hydraulický válec

z tabulky zvolena hodnota $\lambda(t) = 0,12 \cdot 10^{-6} h^{-1}$
provozní režim mechanismu jeden rok = 6000 hod.

Pravděpodobnost bezporuchového provozu

$$R(t) = e^{-2,7 \cdot \lambda \cdot h} = e^{-2,7 \cdot 0,12 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 0,998$$

což se blíží 100% spolehlivosti.

Při poruše těsnění (viz tabulka) vychází pravděpodobnost provozu 0,92 (92%).



Elektrohydraulický servoventil

z tabulky zvolena hodnota $\lambda(t) = 56 \cdot 10^{-6} h^{-1}$
provozní režim mechanismu jeden rok = 6000 hod.

Pravděpodobnost bezporuchového provozu

$$R(t) = e^{-2,7 \cdot \lambda \cdot h} = e^{-2,7 \cdot 56 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 0,403$$

což je asi 40%. Pro zálohovaný servoventil (s redundancí) vychází pravděpodobnost bezporuchového provozu 0,643 (asi 64%).

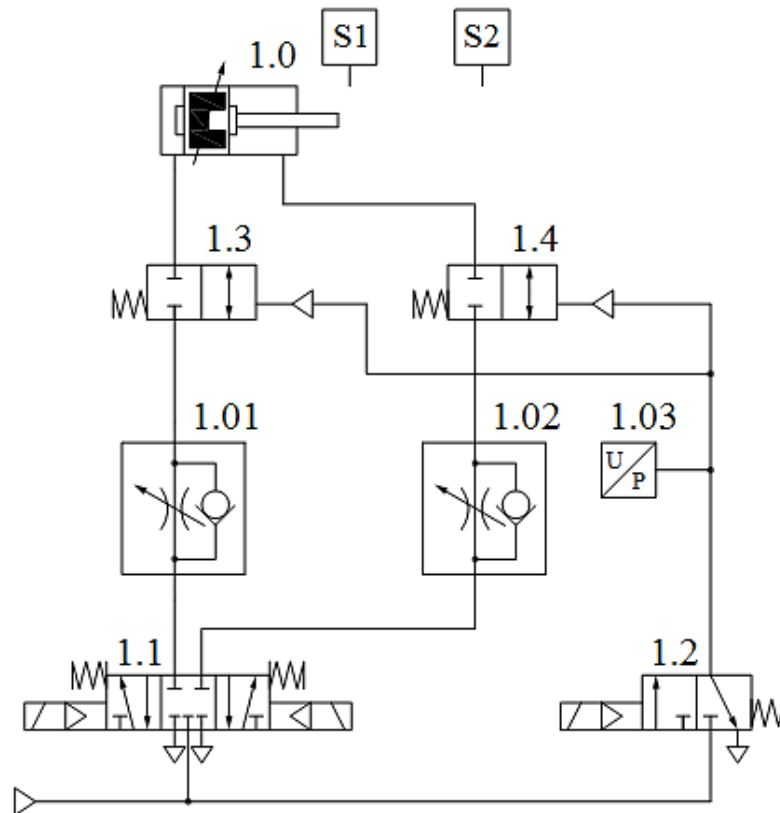
Hydrostatický převodník

Z empirického určení pravděpodobnosti bezporuchového provozu ze sledovaných 55 773 ks s výskytem poruchy u 223 ks za jeden rok provozu (viz tabulka výpočetních vzorců) $R(t) = 0,996$ odkud intenzita poruch $\lambda(t) = 2,474 \cdot 10^{-6} h^{-1}$ což je podstatně nižší hodnota než uvádí tabulka $6 \div 13 \cdot 10^{-6} h^{-1}$.



Pneumatický obvod

Výpočet pro vstupní kanál, sériové zapojení prvků a vybrané hodnoty $\lambda(t)$ z publikované tabulky.



Označení	Prvek	Hodnota $\lambda(t) \cdot 10^{-6} h^{-1}$
$\lambda_1(t)$	pryžová hadice	3,27
$\lambda_2(t)$	rozdávěč	0,112
$\lambda_3(t)$	pryžová hadice	3,27
$\lambda_4(t)$	jednosměrný ventil	14,1
$\lambda_5(t)$	pryžová hadice	3,27
$\lambda_6(t)$	rozdávěč	0,112
$\lambda_7(t)$	pryžová hadice	3,27
$\lambda_8(t)$	pneumatický válec	0,013
$\sum_1^8 \lambda(t) = \lambda_c$		$27,417 \cdot 10^{-6} h^{-1}$

Vypočtená pravděpodobnost bezporuchového provozu bude při 6000 h provozu $R(t) = 0,641$ a střední doba do poruchy $T_s = 34\,474 h$.
Předpoklad pro navržený pneumatický obvod tedy vychází, že bude pracovat bez poruchy více jak 6 let s pravděpodobností přes 60%.



Závěr

Posláním příspěvku bylo upozornit výrobce prvků, projektanty i uživatele hydraulických a pneumatických mechanismů na dosud zanedbávanou problematiku spolehlivosti těchto mechanismů, zejména ve srovnání s prvky mechanickými a elektrickými.

Literatura

Kopáček, J.: Technická diagnostika hydraulických mechanismů., SNTL Praha 1990.

Mykiska, A.: Spolehlivost automatizačních prostředků a systémů. Skripta ČVUT Praha 2004.

Calabro, S.R.: Základy spolehlivosti a její využití v praxi. SNTL Praha 1965.

Malikov, I.M. a kol.: Základy teorie a výpočtu spolehlivosti. SNTL Praha 1963.

Syricyn, T.A.: Надежность гидро - и пневмопривода. Машиностроение Москва 1981.

