ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

ZABEZPEČOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI

Materiály ze semináře konaného

dne 25. dubna 2001

Praha, duben 2001

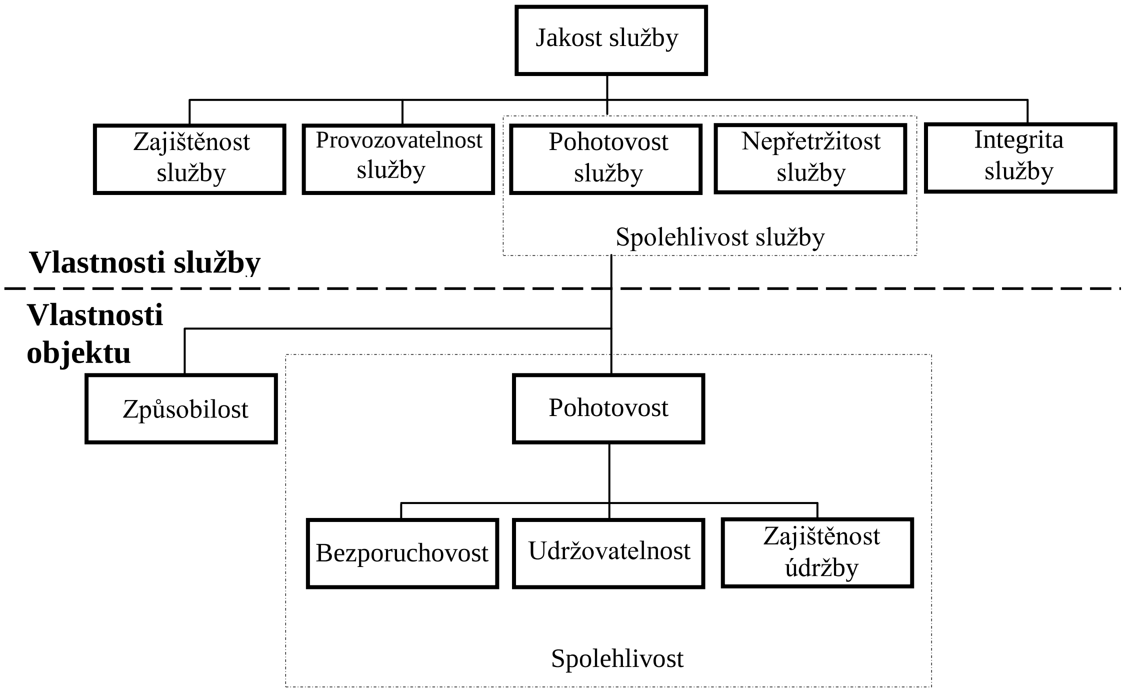
OBSAH

SPOLEČNÉ ASPEKTY SPOLEHLIVOSTI SLUŽEB

Ing. Jiří Chodounský, CSc.

1 Základní pojmy spolehlivosti služby

Spolehlivost služby je podle ČSN IEC 50(191) charakterizována kombinovanými aspekty jejích dílčích vlastností se vzájemnými vazbami patrnými z obrázku (viz obr.1).



Obr. 1: Koncepce jakosti služby

Jednotlivé dílčí vlastnosti pak, podle uvedené normy, můžeme definovat takto:

Spolehlivostí služby nazýváme schopnost poskytnutí služby na požádání uživatele a její trvalé zabezpečení po požadovanou dobu ve specifikovaných tolerancích a jiných daných podmínkách.

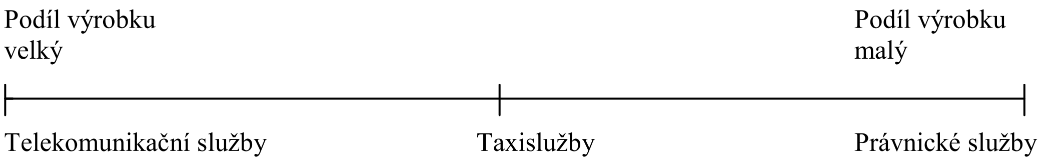
Spolehlivost služby lze dále rozdělit na pohotovost služby a nepřetržitost služby.

Pohotovost služby představuje schopnost poskytnutí služby ve specifických tolerancích a jiných daných podmínkách, je-li vyžádána uživatelem. Tato vlastnost je závislá na vlastnostech objektu, jehož prostřednictvím se služba poskytuje.

Nepřetržitost služby představuje schopnost již získanou službu poskytovat v daných podmínkách po požadovanou dobu.

Integrita služby vyjadřuje schopnost poskytnout již získanou službu bez mimořádných zhoršení tj. ve stálé jakosti.

K zabezpečení spolehlivosti služby přispívají zejména vlastnosti objektů, jejichž prostřednictvím se služba poskytuje, tj. jakýchkoliv částí, součástí, zařízení, částí systémů, funkčních jednotek, přístrojů nebo systémů, s kterými je možné se individuálně zabývat. Objekt se může skládat z hardwaru, ze softwaru nebo z obojího současně a mohou do něho být zahrnuti i lidé. Lidé pak hrají svou roli v každém druhu služby a jejich činnost může být spojena přímo s určitým výrobkem nebo jen částečně. Podíl výrobku na spolehlivosti služby může být v některých případech převažující, v jiných pak může být jen malý (viz obr. 2).



Obr. 2 – Podíl výrobku na kontinuu služeb

Vlastnosti objektu, které přispívají k zabezpečení spolehlivosti služby a její integrity. Jsou zejména jeho způsobilost a spolehlivost.

Způsobilost představuje schopnost objektu plnit požadavky na služby s danými kvantitativními charakteristikami při daných vnitřních podmínkách.

Spolehlivost je souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují; bezporuchovosti, udržovatelnosti a zajištění údržby.

Pohotovost je definována schopností objektu být ve stavu schopném plnit požadovanou funkci v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu, za předpokladu, že jsou zajištěny požadované vnější prostředky.

Bezporuchovost je schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu.

Udržovatelnost je schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo vrátit se do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy a prostředky.

Zajištěnost údržby závisí na schopnosti organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu podle dané koncepce údržby.

V dalších kapitolách se budeme jednotlivými dílčími vlastnostmi blíže zabývat. Je třeba připomenout, že spolehlivost služby lze často považovat za rozhodující vlastnost pro splnění požadavků na celkovou úroveň jakosti služby.

Poznámka:

Při definování poruchových stavů objektů a volbě přípustného rizika jejich výskytu je nutno zvážit i kritičnost těchto stavů, tj. míru, s jakou může dojít k úrazu osob, značné materiální škodě, nebo jiným nepřijatelným následkům.

Je nutno také uvážit možnost výskytu lidských chyb při obsluze objektů, které mohou být příčinou jejich poruch.

2 Způsobilost objektu k poskytnutí služby

Objekt, jako součást obslužného systému, budeme považovat tehdy za způsobilý, pokud umožní bezprostřední realizaci projeveného zájmu o poskytnutí služby (systémy se ztrátami), nebo pokud zájemci je poskytnuta požadovaná služba nejpozději do uplynutí předem stanoveného časového limitu (systémy s čekáním).

Splnění těchto požadavků bude závislé na vleklosti zájmu o poskytnutí služby (tzv. provozním zatížení) a na počtu obslužných kanálů, které jsou pro poskytnutí služby k dispozici.

Mírou provozního zájmu je tzv. provozní nabídka, kterou lze vyjádřit jednoduchým vztahem

$$A = \frac{c_a}{c_b} = \frac{t_m}{a} \text{ [erlangů]} \tag{2.1}$$

kde c_a je intenzita požadavků na poskytnutí služby,
c_b je intenzita odbavení,
$\underline{a}$ je střední doba odstupu dvou po sobě jdoucích požadavků na poskytnutí služby,
t_m je střední doba obsazení prvků obslužného systému.

Způsobilost objektu k poskytnutí služby hodnotíme zpravidla pravděpodobností její ztráty, nebo pravděpodobností nesplnění vyřízení požadavku v předepsané době.

U systémů se ztrátami můžeme pak vyjádřit pravděpodobnost ztráty způsobilosti k poskytnutí služby (též pravděpodobností provozní ztráty) vztahem

$$B_p(N,A) = \frac{\frac{1}{N!}A^N}{\sum_{j=0}^{N}\frac{1}{j!}A^j} \tag{2.2}$$

a u systémů s čekáním můžeme s použitím vztahu (2.2) psát pro pravděpodobnost překročení přípustné čekací dobu $t_č$ vztah (při střední době trvání poskytované služby t_m)

$$P(\rangle t_č) = \frac{B_p(N,A)}{1-\frac{A}{N}\left[1-B_p(N,A)\right]} e^{-\frac{t_č}{t_m}(N-A)} \tag{2.3}$$

V obou vztazích pak:
A je provozní zatížení viz (23.1),
N je počet obslužných kanálů.

Pravděpodobnost způsobilosti objektu k poskytnutí služby v systému se ztrátami pak bude

$$Z_p(N,A) = 1 - B_p(N,A) \tag{2.4}$$

a v systému s čekáním

$$Z_č(\le t_č) = 1 - P(\rangle t_č) \tag{2.5}$$.

3 Pohotovost objektů a systémů

Při stanovení způsobilosti objektů, z nichž se skládají obslužné systémy, jsme vždy předpokládali, že jsou v provozuschopném stavu. Ve skutečnosti je však nutno počítat s tím, že některý objekt selže a přejde do poruchového stavu, v němž není dále schopen plnit požadovanou funkci.

Pro vyhodnocení vlivu poruchovosti na pohotovost služby (viz kap. 4) je třeba znát především limitní (stacionární) hodnotu pohotovosti objektu, která představuje pravděpodobnost, s jakou je objekt v libovolném okamžiku v provozuschopném stavu (tzv. součinitel pohotovosti - R), nebo v poruchovém stavu (tzv. součinitel nepohotovosti - Q).

Obě pravděpodobnosti lze vyjádřit vztahem

$$R = \frac{\mu}{\lambda + \mu}, \quad Q = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \tag{3.1}$$

kde parametr

λ je intenzita poruch (1/hod.), hodnotící bezporuchovost
μ je intenzita obnovení provozuschopnosti (1/hod.), hodnotící udržovatelnost.

Obslužné systémy se zpravidla skládají z většího počtu objektů, které mohou být řazeny v zásadě dvěma způsoby - sériovým a paralelním.

Sériový systém představuje takové uspořádání *n* objektů systému, kdy porucha jediného objektu vyvolá poruchu celého systému. Spolehlivostní schéma takového systému je na obrázku (viz obr. 3).

Obr. 3 Sériové uspořádání prvků

Pro výslednou hodnotu součinitele pohotovosti vyplývá z této definice vztah

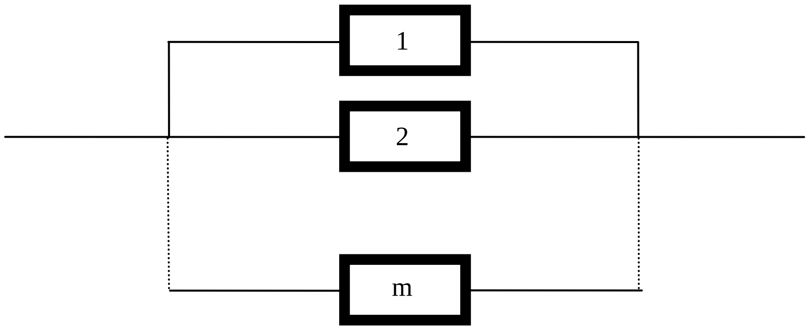
$$R = \prod_{i=1}^{n} R_i = \prod_{i=1}^{n} (1 - Q_i) \tag{3.2}$$

a pro výslednou hodnotu součinitele nepohotovosti

$$Q = 1 - \prod_{i=1}^{n} R_i = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - Q_i) \tag{3.3}$$

Výsledný součinitel pohotovosti sériového systému nemůže tedy být vyšší, než je nejnižší součinitel pohotovosti objektů, ze kterých je složen.

Druhým základním typem systému je systém, který má takové uspořádání, že porucha systému nastává teprve tehdy, když se porouchá všech jeho *m* objektů. Takový systém nazýváme paralelní. Spolehlivostní schéma tohoto systému znázorňuje obrázek (viz obr.4).



Obr. 4 - Paralelní uspořádání prvků

Pro výslednou hodnotu součinitele nepohotovosti z této definice plyne

$$Q = \prod_{i=1}^{m} Q_i = \prod_{i=1}^{m} (1 - R_i) \tag{3.4}$$

a tedy pro výslednou hodnotu součinitele pohotovosti

$$R = 1 - \prod_{i=1}^{m} Q_i = 1 - \prod_{i=1}^{m} (1 - R_i) \tag{3.5}$$

Výsledný součinitel pohotovosti paralelního systému je vždy vyšší, než nejvyšší hodnota součinitele pohotovosti objektů, z nichž je složen.

Pro zajištění spolehlivosti systému je možno použít i metody podílového zálohování. V tomto případě se systém složí z 2 základních (provozních) prvků a M záložních prvků, nacházejících se v zatíženém nebo nezatíženém režimu. Předpokládá se, že všechny prvky (základní i záložné jsou shodné se součinitelem pohotovosti R nebo součinitelem nepohotovosti Q.

Pro součinitel pohotovosti systému se zatíženými záložními prvky, příp. jeho nepohotovosti lze psát vztah

$$Rs = 1 - \frac{(L+M)!}{(M+1)!(L-1)!} Q^{M+1} \;;\; Qs = 1 - Rs \qquad (3.4)$$

a pro systém s nezatíženými záložními prvky vztah

$$Rs = 1 - \frac{(LQ)^{M+1}}{(M+1)!} \;;\; Qs = 1 - Rs \qquad (3.5)$$

4 Pohotovost služby

Až dosud jsme uvažovali obslužný systém s odděleným působením proudu požadavků na poskytnutí služby s proudem jejich odbavení ovlivňujícím způsobilost daného objektu a proudu poruch s proudem obnovy provozuschopnosti, které ovlivňují pohotovost těchto objektů. Ve skutečnosti však všechny tyto čtyři proudy působí současně a je proto třeba zkoumat, jak za těchto podmínek bude ovlivněna pohotovost objektu k poskytnutí služby v okamžiku, kdy bude zájemcem vyžádána.

Souhrnná ztráta, jako měřítko neúspěšného pokusu o poskytnutí služby, bude mít tedy dvě příčiny:

- obsazení všech obslužných kanálů systému v důsledku nahromadění požadavků na obsluhu, kdy vzniká ztráta způsobilosti systému, jejímž měřítkem je pravděpodobnost provozní ztráty $B_p(N,A)$ - viz (2.2)-, nebo pravděpodobnost překročení přípustné čekací doby $P(>t_č)$ - viz (2.3);
- poruchy kanálů obslužného systému, kdy vzniká technická ztráta způsobilosti systému, jejímž měřítkem jsou pravděpodobnost technické ztráty, případně pravděpodobnost překročení přípustné čekací doby z technických příčin, které stanovíme opět podle vztahů (2.2) a (2.3), do nichž však dosadíme poruchou snížený počet obslužných kanálů N-i (kde i je počet obslužných kanálů, vyřazených poruchou z provozu).

Pravděpodobnost souhrnné ztráty B_s je tedy náhodnou proměnnou, která je závislá na okamžitém stavu systému. Proto pro hodnocení úrovně poskytované služby je třeba určit průměrnou hodnotu pravděpodobnosti souhrnné ztráty. K jejímu výpočtu použijeme vztah

$$\overline{B_s} = \sum p_i B_p(N-i, A);\ \mathrm{p} = \binom{\mathrm{N}}{\mathrm{i}} Q^i R^{N-i} \tag{4.1}$$

kde $B_p(N$-$i,A)$ je pravděpodobnost provozní ztráty při N-i kanálech a provozní nabídce A (erlangů), vypočtená ze vztahu (2.2),

p_i je pravděpodobnost, že systém má právě i vadných kanálů.

Obdobně bychom postupovali při stanovení průměrné hodnoty souhrnné pravděpodobnosti překročení čekací doby $\overline{P}_s(\rangle t_č)$.

5 Nepřetržitost služby a její integrita

Nepřetržitost služby bude v prvé řadě závislá na bezporuchovosti objektů, jejichž prostřednictvím se služba poskytuje. Avšak objektivně vzato, nemusí všechna krátkodobá přerušení provozuschopnosti na objektech zapojených do obslužného systému vést nutně k předčasnému ukončení poskytované služby.

Bude-li tedy možno obnovit provoz objektu v předem určené přípustné limitní době (nebo nebude-li jeho krátkodobé přerušení provozuschopnosti trvat déle, než je určitá přípustná doba), lze i v tomto případě hovořit o nepřetržitém poskytování služby.

Pojem nepřetržitosti služby bude proto kombinací bezporuchovosti a opravitelnosti posuzovaného objektu.

Bezporuchovost hodnotíme pravděpodobností bezporuchového provozu, kterou vyjádříme vztahem

$$P(t) = \exp(-\lambda\, t) \qquad (5.1)$$

kde λ je průměrný počet poruch na 1 hodinu,
t je doba provozu objektu v hodinách.

K číselnému vyjádření opravitelnosti lze používat hodnotu pravděpodobnosti, s jakou můžeme zaručit, že doba odstranění následků poruchy nepřekročí předem stanovenou mezní dobu τ. Tuto pravděpodobnost nazveme pravděpodobností obnovení provozuschopnosti objektu (nebo systému), pro kterou platí

$$M = 1 - \exp\left(-\tau / T_{ps}\right) \qquad (5.2),$$

kde T_{ps} je střední doba poruchového stavu.

Pro pravděpodobnost poskytnutí nepřetržité služby po dobu $\underline{t}$ lze tedy psát

$$P(t,\tau) = \exp\left[-\lambda\, t (1 - M)\right] = \exp\left(-\lambda\, t\, e^{-\tau/T_{ps}}\right) \qquad (5.3)$$

6 Zajištěnost obnovy provozuschopnosti zařízení (objektů)

Úspěšnost zajišťování obnovy provozuschopnosti zařízení můžeme charakterizovat délkou střední doby jejich poruchového prostoje, kterou lze rozdělit na dvě hlavní složky - na dobu opravy a dobu organizačního prostoje.

Doba opravy je závislá na zvoleném systému opravářské činnosti, na zkušenostech a úrovni znalostí pracovníků údržby (opravářů), jejich vybavení vhodnými měřicími přístroji a nářadím a na vhodné konstrukci udržovaného zařízení. Ve stádiu plánování ji lze proto ovlivnit především volbou vhodného systému opravářské činnosti (jedno-, dvou- či třísměnné činnosti, systém opravy podle technického stavu zařízení apod.).

Dobu organizačního prostoje ovlivňuje především správné dimenzování počtu opravářů, které odpovídá zvolenému systému opravářské činnosti, poruchovosti udržovaného zařízení a potřebné době aktivní opravy a správné dimenzování zásob náhradních dílů.

Opravárenskou činnost můžeme v rámci údržby zařízení vykonávat v podstatě dvojím způsobem:

- Při individuální údržbě přidělujeme každému pracovníkovi jen určitou část z celkového počtu všech zařízení udržovaného celku, přičemž počet přidělených zařízení smí být jenom tak velký, aby bylo možno všechny poruchy odstranit v předepsaném časovém limitu.
- při hromadné údržbě pověřujeme skupinu pracovníků společnou údržbou všech zařízení udržovaného celku, přičemž vzniklou poruchu na zařízení odstraňuje vždy ten pracovník, který je právě volný.

V obou případech budeme při dimenzování potřebného počtu opravářů vycházet z určeného pracovního zatížení opraváře jedním udržovaným zařízením

$$\rho = c\frac{T_a}{T_b} = c\frac{Z T_a}{K} \qquad (6.1)$$

kde T_a je střední doba aktivní opravy (v hodinách),
T_b je střední doba bezporuchového provozu (v hodinách),

Z je intenzita poruch za 1 rok,
K = 8760 hodin/rok je převodní konstanta.

Konstanta c vyjadřuje poměr mezi roční kapacitou provozní doby udržovaného zařízení a roční kapacitu hodin, po kterou se provádí opravářská činnost. V závislosti na směnnosti údržby a při nepřetržitém provozu zařízení můžeme počítat s hodnotami

c = 4,56 při jednosměnné údržbě,
c = 2,28 při dvousměnné údržbě,
c = 1,52 při třísměnné (nepřetržité) údržbě.

Při individuální údržbě si určíme nejdříve max. přípustnou hodnotu pravděpodobnosti α_1, s jakou bude pracovník zaneprázdněn opravou a nebude k dispozici při poruše dalšího zařízení, přičemž musí platit $\alpha_1 \leq 0{,}5$. Jednomu pracovníkovi mohou pak dát do údržby nejvýše

$$m = \frac{\alpha_1}{\rho(1-\alpha_1)} \qquad (6.2),$$

kde m je počet zařízení udržovaných jedním pracovníkem,
ρ je měrné pracovní zatížení opraváře podle (7.1).

Tomu pak bude odpovídat střední doba, po kterou zařízení musí čekat na opravu (T_1)

$$T_1 = \frac{m\rho}{1-m\rho} \times T_a \quad \text{(hodin)}, \qquad (6.3)$$

kde T_a je střední doba aktivní opravy v hodinách.

Při hromadné údržbě opravuje z opravářů společně všech N zařízení celého udržovaného objektu. Počet zařízení N je zpravidla vysoký a intenzita jejich poruchovosti malá.

Za tohoto předpokladu lze pro vyjádření pravděpodobnosti, že vzniklá porucha nemůže být ihned odstraněna, protože všech z pracovníků je již zaměstnáno odstraňováním poruch, psát vztah

$$\alpha_1 = \frac{\beta}{1-\frac{N\rho}{z}(1-\beta)}; \qquad \beta = \frac{\frac{1}{z!}(N\rho)^z}{\sum_{j=0}^{z}\frac{1}{j!}(N\rho)^j} \qquad (6.4)$$

kde ρ je měrné pracovní zatížení opraváře - viz (7.1). Tato hodnota určuje rovněž stupeň využití pracovní doby údržbáře opravárenskou činností.

Pro střední dobu, po kterou zařízení musí čekat na opravu T_1, můžeme psát

$$T_1 = \frac{T_a}{z-N\rho} \times \alpha_1 \quad \text{(hodin)}, \qquad (6.5)$$

kde T_a je střední doba aktivní opravy v hodinách a význam ostatních symbolů viz výše.

Také při určování požadavků na náhradní díly je z ekonomických důvodů nutno připustit určité riziko, že v některých případech nebude v případě potřeby náhradní díl, resp. výměnný modul na skladě. Tím vzniká organizační prostoj, jehož střední hodnotu T_2 určíme ze vztahu

$$T_2 = \alpha_2 \times T_{OND} \quad \text{(hodin),} \tag{6.6}$$

kde T_{OND} je střední doba obstarání náhradního dílu v hodinách, pokud tento díl (výměnný modul) není v příručním skladu k dispozici.

Volbu rizika α_2 konáme v souladu s volbou rizika α_1. Pro optimální rozdělení obou rizik musíme brát v úvahu i ekonomická hlediska.

Pro stanovení minimálního potřebného počtu náhradních dílů je možné psát přibližný vztah

$$n = \frac{N \times D}{T_b} - 0{,}5 + u_{1-\alpha_2} \sqrt{\frac{N \times D}{T_b}}, \tag{6.7}$$

kde T_b je střední doba bezporuchového provozu příslušného dílu v hodinách,
N je počet příslušných dílů v provozu,
D je perioda doplňování skladu v hodinách,
$u_{1-\alpha_2}$ je příslušný kvantil normálního rozdělení ($u_{0,90}$ = 1,28; $u_{0,95}$ = 1,64, $u_{0,99}$ = 2,32, $u_{0,999}$ = 3,09).

Při stanovení rozsahu provozní rezervy předpokládejme, že v provozu je celkem N dílů (modulů) se střední dobou bezporuchového provozu T_b (hodin) a ve skladu n dílů náhradních. Při poruše některého dílu v provozovaných zařízeních se vadný díl vyjme a nahradí se rezervním ze skladu. Vadný díl se odešle do dílny k opravě, která v průměru trvá T_D (hodin). Opravený díl se vrací zpět do skladu.

Aby s pravděpodobností $1-\alpha_2$ nedošlo k vyčerpání skladu, musí být ve skladu takový počet náhradních dílů n, aby platil vztah

$$\alpha_2 \le \frac{\frac{1}{n!} A^n}{\sum_{i=0}^{n} \frac{1}{i!} A^i}; \qquad A = \frac{N T_D}{T_b}. \tag{6.8}$$

Seznam literatury

[1] Chodounský, J.: Základy řízení spolehlivosti telekomunikačního provozu. NADAS, Praha 1980.

[2] Chodounský, J.: Projektování spolehlivosti telefonního přenosu. NADAS, Praha 1983.

[3] Schneeweiss, W.: Zuverlässigkeitstheorie. Berlin-Heidelberg-New York, 1973

[4] Störmer, H.": Verkehrstheorie. München - Wien, 1966.

[5] Šor, J.B.: Statistické metody analýzy a kontroly jakosti a spolehlivosti. Praha 1965.

[6] Tabellenbuch. Fernschprechverkehrstheorie. Siemens, 1970.

[7] Ušakov, I.A. a kol.: Příručka spolehlivosti v radiotechnice a automatizační technice. SNTL, Praha 1989.

UKAZATELE SPOLEHLIVOSTI PRO VÍCESTAVOVÉ SYSTÉMY

Ing. Jaroslav Hrabák, CSc.

1. Úvod

Problematika ukazatelů spolehlivosti složitých systémů byla projednávána na řadě konferencí o spolehlivosti pořádaných v sedmdesátých a osmdesátých letech v naší republice a koncem osmdesátých let i na konferencích EOQC.

Účelem tohoto příspěvku je připomenout aktuálnost těchto ukazatelů při hodnocení spolehlivosti v tržním hospodářství, kdy mohou být vodítkem jak pro stanovení jakosti, tak i pro stanovení ceny za dodanou službu.

2. Jak sledovat a měřit jakost složitých systémů

Je zřejmé, že mírou schopnosti plnit funkci v určitém časovém okamžiku nebo během stanovené doby jsou ukazatele spolehlivosti. To platí v případě jednotlivých zařízení (prvků) i v případě velkých systémů. Na 34. konferenci EOQC v Dublinu /1/ se jednalo o účelnosti těchto ukazatelů a na zasedání IIASA /2/, v sekci pro spolehlivost, o jejich použitelnosti pro energetické systémy. Této sekci předsedal *Prof. M. L. Shooman* z USA a zúčastnili se jí mj. zástupci kanadské společnosti Ontario Hydro, která svým úspěšně využívaným systémem spolehlivosti je dobře známa, a zástupci Irkutského energetického ústavu, s nímž spolupracuje i přední světový odborník na spolehlivost *Prof. I. A. Ušakov*. Spolehlivost složitých systémů není vyjádřena jedinou hodnotou, ale řadou ukazatelů, jejichž počet je závislý na počtu možných kombinací prvků. Výjimkou je samozřejmě systém sériový, pro který existuje jen jedna hodnota. Vstupními údaji pro výpočet ukazatelů systému jsou ukazatele spolehlivosti prvků uplatňujících se na fungování systému. Velmi vhodnými ukazateli, např. pro energetické, ale i dopravní systémy, jsou mj. ukazatele pohotovosti. Podrobněji jsou popsány v /3/.

3. Odvození ukazatelů spolehlivosti pro složité systémy

V publikacích o spolehlivosti jsou uváděny ukazatele pro řadu dílčích spolehlivostních vlastností a též pro komplexní vlastnost - pohotovost; jsou uvedeny veličiny, pomocí kterých můžeme tyto vlastnosti sledovat, a výsledné ukazatele, pomocí nichž je popisujeme a měříme. Pro složité systémy je základní vlastností provozuschopnost, tedy vlastnost charakterizující schopnost objektu plnit stanovené funkce za dodržení hodnoty hlavních parametrů v mezích stanovených technickou dokumentací. Tato definice nevylučuje výskyt i jiných než úplných poruch na objektu. Je tedy zřejmé, že provozuschopnost souvisí se soustavou, jejíž schopnost plnit funkci můžeme posuzovat na více úrovních hlavního parametru, zatímco jednotlivé prvky soustavy posuzujeme jen ve dvou stavech: buď je prvek ve stavu bezporuchovém, nebo v poruchovém.

Jako míru pro posouzení úplné provozuschopnosti používáme podíl součtu všech dob provozu t_i k celkové době pozorování T

$$p(1) = \frac{\sum_k t_{1k}}{T} \qquad (1)$$

Argument 1 se vztahuje ke 100% dodržení hlavního parametru, odpovídá jmenovité (maximální) hodnotě hlavního parametru N,
tudíž

$p(1) = p(N_{max})$.

Obdobně

$$p(0) = p(N_0) = \frac{\sum_k t_{0k}}{T} \quad , \qquad (2)$$

kde

$$T = \sum_k (t_{1k} + t_{0k})$$

je míra pro posouzení nulové provozuschopnosti. (Předpokládáme, že jiné stavy než 1 a 0 nejsou.)

Pokud se vlastnosti objektu během doby pozorování nemění, můžeme použít míry (1) a (2) jako pravděpodobnostní odhady výskytu těchto stavů v době následující.

Míra (1) je známa jako součinitel pohotovosti. Rozdělení dob t_1 s hustotou pravděpodobnosti $f_1(t)$ popisuje bezporuchovost objektu a rozdělení dob t_0 s hustotou $f_0(t)$ popisuje jeho opravitelnost. Přechod ze stavu 1 do stavu 0 je způsobován náhodně se vyskytujícími úplnými poruchami, k přechodu ze stavu 0 do stavu 1 dochází po obnově ukončené za náhodnou dobu jejího trvání.

Objekt, u něhož dochází ke snížení provozuschopnosti vlivem částečné poruchy, je systémem, ve kterém se porušil některý prvek, jehož funkce ovlivňuje úroveň hlavního parametru. Příkladem může být elektrárenský blok, jehož hlavním parametrem je pohotový výkon. Po poruše např. kouřového ventilátoru se pohotový výkon bloku snižuje, avšak blok je nadále provozuschopný.

Takový objekt může pracovat ve více úrovních provozuschopnosti (charakterizovaných pohotovým výkonem), označme míru výskytu ve stavu i

$p(N_i)$; $i = 0, 1, 2, \ldots, n$; $N_n = N_{max}$.

Míru $p(N_i)$ můžeme interpretovat obdobně jako (1) a (2).

Odpovídající rozdělení dob nepřetržitého provozu na úrovni i s hustotami $f_{Ni}(t)$ je matematickým modelem popisujícím pravděpodobnostním způsobem setrvání objektu po dobu t na úrovni provozuschopnosti N_i. Posloupnost pravděpodobností $p(N_i)$ a příslušný soubor hustot $f_{Ni}(t)$ lze znázornit jako rozdělení dvou proměnných s nespojitě rozděleným hlavním parametrem N (obr. 1). Takové rozdělení lze experimentálně získat např. pomocí údajů z informačního spolehlivostního systému obsahujícím údaje o stavech pozorovaného objektu. (Takový systém byl zaveden v našich elektrárnách v roce 1973.) Pro teoretický případ, kdy počet úrovní n se blíží nekonečnu a časová jednotka t se blíží nule, je

$$f(N,t) \tag{3}$$

spojitá hustota pravěpodobnosti pro rozdělení dvou proměnných. Hustota (3) je úplnou charakteristikou vícestavové pohotovosti.

Jako ukazetele spolehlivosti provozu vícestavového systému v praxi použijeme:

- posloupnost pravděpodobností $p(N_i)$ výskytu hlavního parametru na úrovni i, tato posloupnost je odhadem hustoty pravděpodobnosti hlavního parametru f(N),
- experimentální rozdělení četností dob setrvání pohotového výkonu na úrovni i nebo aproximovaná rozdělení pravděpodobnosti těchto dob s hustotami $f_{Ni}(t)$,
- součtové pravděpodobnosti výskytu hlavního parametru na úrovni i , jež jsou odhadem distribuční funkce F(N), resp. spolehlivostní funkce R(N),
- spolehlivostní funkci $R_{Ni}(t)$ jako charakteristiku provozuschopnosti po dobu t na úrovni i hlavního parametru,
- Soubor rozdělení $p(N_i)$, $f_{Ni}(t)$, resp. f(N, t), případně F(N, t) nebo R(N, t).

4. Praktické aplikace ukazatelů

Dále uvádíme grafické znázornění ukazatelů provozuschopnosti soustavy elektrárenských bloků o instalovaném výkonu 4 900 MW. Na (obr. 2) je znázorněna spolehlivostní funkce pohotovosti R(N) - pohotový elektrický výkon na určité výkonové úrovni je vyjádřen v MW. Na (obr. 3) jsou funkce bezporuchovosti $R(N_i\ ,\ t_x)$ charakterizující pravděpodobnost bezporuchového provozu na určité výkonové úrovni po určitou dobu. Vstupní údaje pocházejí z výstupů Informačního spolehlivostního systému z let 1972 až 1976.

Další popisy ukazatelů složitých soustav jsou v uváděné literatuře.

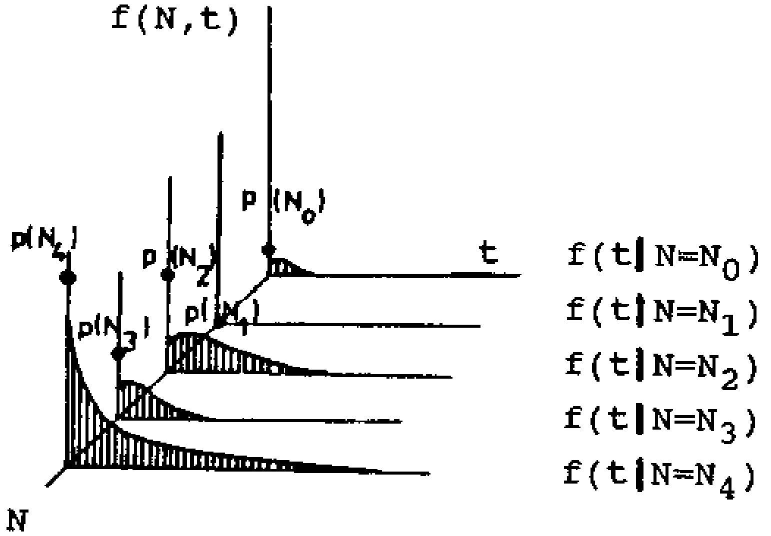
Literatura:

/1/ Hrabák J., Žaludová A.: Terminology of Complex Systems Effectiveness.
In: Proceedings of the 34th Annual EOQ Conference. Dublin, Ireland 1990, s. 232-238

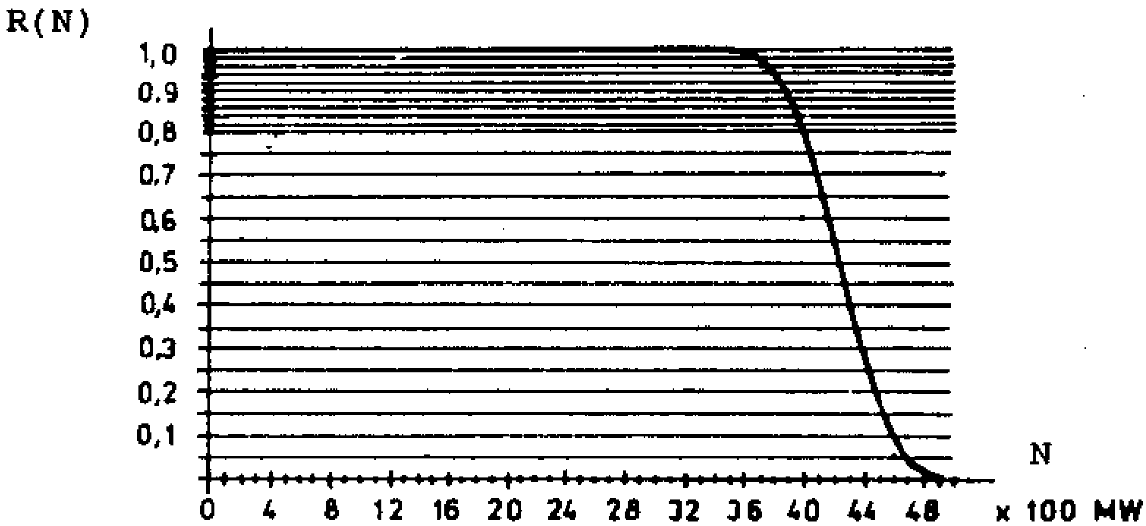
/2/ Hrabák J.: Availability of Electric Power Systems.
International Meeting on The Safety and Reliability of Energy Systems, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), July 2-4, 1990, Sopron, Hungary

/3/ Hrabák J.: Spolehlivost energetických zařízení. Publikace ČEZ, 1981

Ing. Jaroslav Hrabák, CSc., je poradcem pro jakost a spolehlivost.

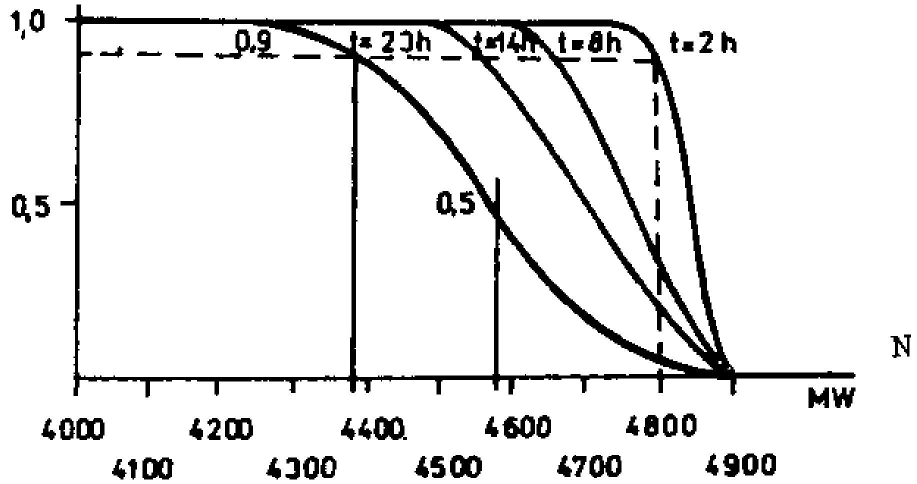


Obr.1 Znázornění odhadu rozdělení f(N,t) pro blok o jmenovitém výkonu 200 MW, s technickým minimem 50% jmenovitého výkonu. Pohotový výkon je sledován na úrovních odstupňovaných po 50 MW.



Obr.2 Spolehlivostní funkce pohotovosti systému o celkovém jmenovitém výkonu 4 900 MW. Popisuje pravděpodobnost, že systém bude v kterémkoli časovém okamžiku během dlouhé doby pozorování na zadané úrovni pohotového výkonu.

$$R(N_i, t_x) = R(N_i) \cdot R(t_x | N = N_i) \quad x = 2,\ 8,\ 14,\ 23\ h$$



Obr.3 Pravděpodobnost bezporuchového provozu systému o celkovém jmenovitém výkonu 4 900 MW na určité úrovni pohotového výkonu. Ukazatel popisuje pravděpodobnost, že po dobu t (t = 2 h; 8 h; 14 h; 23 h) bude pohotový výkon systému na zadané úrovni. Z obrázku lze např. odvodit, že při vyznačené hodnotě pravděpodobnosti 0,9 dochází s pravděpodobností 0,1 k výpadkům výkonu až 100 MW, nebo že během 23 hodin dochází s pravděpodobností 0,1 k výpadkům výkonu až 500 MW a dále, že v průměru dochází během 23 hodin ke snížení výkonu až o cca 300 MW.

Spolehlivost zařízení zabezpečovací techniky

Jaroslav Šafář

Příspěvek se v databázi OSS neuchoval.