

# POČTY NÁHRADNÍCH DÍLŮ S OHLEDEM NA JEJICH KRITičNOST A DOBU DODÁNÍ

## NUMBER OF SPARE PARTS DEPENDING ON THEIR CRITICALITY AND DELIVERY TIME

Jan Kamenický, Pavel Ságl a Jaroslav Zajíček

Technická univerzita v Liberci

### Abstrakt

JE Dukovany řeší v oblasti systémů SKŘ ukončení výroby některých náhradních dílů. S ohledem na další provoz elektrárny je tedy nutné se předzásobit na dobu očekávaného provozování, případně na dobu do plánované obnovy. Příspěvek se zabývá problematikou počtu potřebných náhradních dílů s ohledem na spolehlivost, kritičnost a požadovanou dobu provozování zařízení.

NPP Dukovany solves the termination of some spare parts production. With regard to the further operation it is necessary to frontload for the period of the expected operation or for the period before the planned renewal. The paper deals with the number of spare parts according to dependability, criticality and the required operating time.

### Úvod

Pro úspěšnost procesu plánování náhradních dílů (dále jen ND), je třeba disponovat takovými daty a informacemi, které mohou popsat spolehlivost komponent, jejich kritičnost z hlediska bezpečnosti, kontinuity a ekonomičnosti provozu a možnosti dodání ND. Potřeba řešení problematiky ND se v oblasti SKŘ (Systém kontroly a řízení), konkrétně systém PAMS (Post-Accident Monitoring System) stala o to víc aktuální díky ukončení výroby některých použitých zařízení ze strany výrobce.

Taková situace má teoreticky několik možných způsobů řešení, a to:

- předzásobit se vhodným počtem ND na požadovanou dobu provozování JE,
- najít vhodnou alternativu pro daná zařízení, případně nechat zařízení vyrobit individuálně na zakázku,
- realizace obnovy systému.

### Posouzení jednotlivých variant

Výše uvedené 3 způsoby možného řešení situace souvisí s následujícími problémy, které je třeba při rozhodování o vhodné variantě zohlednit / vyřešit.

Předzásobení na celou dobu očekávaného provozování JE:

- doba provozování JE není předem jistá,
- velká investice do ND v současné době,
- stárnutí a nutná údržba ND ve skladech.

Alternativní zařízení (tzv. ekvivalent):

- problémy s kompatibilitou s ostatními zařízeními,
- vhodná alternativa nemusí být vůbec nalezena.

Realizace obnovy systému:

- vysoké náklady obnovy (jsou nahrazeny i zařízení, pro které jsou ND stále dostupné),
- předzásobení ND na dobu do obnovy.

Pro navazující výpočet potřebného počtu ND byla předpokládána varianta obnovy systému. Obnova má být realizována v časovém horizontu 5 let, potřebný počet ND bude tedy odpovídat tomuto období.

### Výpočetní model

Pro optimální nastavení úrovně ND použitých zařízení (výrobních typů) je nutné vyjít z údajů, které ovlivňují jejich cirkulaci v provozním prostředí. Je evidentní, že zásadními parametry tohoto procesu bude:

- rozsah populace výrobních typů komponent,
- provozní hodiny výrobních typů komponent,
- poruchovost výrobních typů komponent,
- dostupnost příslušných ND,
- úroveň kritičnosti komponenty s ohledem na bezpečnost, kontinuitu a ekonomičnost technologického procesu.

V případě ekonomických podkladů o ceně náhradních dílů, ceně skladování a nákladech souvisejících s nedostatkem náhradních dílů je dále možné najít nákladově nejvýhodnější počty náhradních dílů.

Stanovení hladin ND pro daný systém by logicky mělo vyjít z poruchovosti použitých výrobních typů. Nedostatek ND bude potom nutně souviset s pravděpodobností, že vznikne určitý počet poruch na zařízení daného typu, a to konkrétně  $n+1$  poruch, pokud předpokládáme, že počáteční skladové množství ND je  $n$ . Toto tvrzení platí pro zařízení, u kterých se neaplikuje žádná z variant preventivní údržby, která by dále odčerpávala skladové zásoby ND. Pro zjištění potřebného počtu náhradních dílů je tedy nutno zjistit, s jakou pravděpodobností vznikne během daného období nejvýše  $n$  poruch na sledovaných zařízeních.

Tuto pravděpodobnost lze matematicky stanovit pomocí distribuční funkce Poissonova rozdělení, do které jako parametr vstupuje podíl doby dodání ND ku hodnotě střední doby mezi poruchami (dále jen MTBF). Vzhledem k tomu, že již dostupnost ND dále nebudeme předpokládat, lze dobu dodání ND považovat za dobu odpovídající době požadovaného provozování, tzn. celých 5 let.

Běžně se u plánování ND pro provoz významné důležitosti používají konfidenční meze v úrovni nejméně 99 %. Zjednodušeně to znamená, že ze 100 druhů náhradních dílů bude v průměru jeden díl chybět.

Kromě popsaného postupu pomocí Poissonova rozdělení lze efektivně využít zjednodušený vztah podle [3], který přináší dostatečně přesné výsledky:

$$A(n) = \lambda \cdot n \cdot t + Z\sqrt{\lambda \cdot n \cdot t} \quad (1)$$

kde  $A(n)$  je přípustný počet poruch,

$\lambda$  je intenzita poruch zařízení daného výrobního typu, pro který se nastavuje úroveň ND [h<sup>-1</sup>],

$n$  je počet kusů provozovaných zařízení daného výrobního typu

$t$  je dodací doba ND [h],

$Z$  je konfidenční mez z normovaného normálního rozdělení

První sčítanec je prostý odhad středního počtu ND. Druhý sčítanec je navýšení počtu ND na základě kritičnosti komponenty, která vychází zejména z významnosti

zajištění bezpečnosti a disponibility provozu zařízení. Pro bezpečnostně významné provozy je vhodné volit vysoké úrovně konfidence (např. 99,95-99,99). Tím je dle zvolené pravděpodobnosti minimalizováno riziko vyčerpání skladu s ND, na druhou stranu vzrostou ekonomické dopady z nákupu takového počtu ND a jejich skladování.

Opačná situace, kdy je znám počet ND a je třeba zjistit, s jakou pravděpodobností bude počet ND dostačující, je v podstatě inverzní úloha k výpočtu potřebného počtu ND.

Z výše uvedeného vzorce bude vyjádřena hodnota Z. Výslednou pravděpodobnost lze z hodnoty Z získat buď pomocí převodních tabulek normovaného normálního rozdělení, nebo například pomocí funkce v MS Excel. Výsledný vztah pomocí funkcí v prostředí MS Excel vypadá následovně:

$$P = NORM.S.DIST(Z; kumulativní) = NORM.S.DIST\left(\frac{\lambda \cdot n \cdot t}{\sqrt{\lambda \cdot n \cdot t}}; kumulativní\right) \quad (2)$$

## Výsledky a závěr

Věrohodnost výsledků závisí na kvalitě a věrohodnosti vstupních dat, kdy přesnější výstupy budou pro situace dlouhodobějšího sledování a současně v případě vyšší poruchovosti. Pro výpočty byly využity MTBF provozní, které jsou výsledkem monitoringu spolehlivosti. Vlastní výpočet byl proveden v prostředí MS Excel.

V případech, kdy na výrobním typu dosud nevznikla porucha, se pravděpodobnost výdrže ND konzervativně počítá z 50% konfidenční meze hodnoty MTBF.

Vstupní data o jednotlivých výrobních typech a zjištěné hodnoty pravděpodobností jsou tabelárně zaznamenány v tabulce 1.

Výsledná pravděpodobnost, že po dobu pěti let budou ND postačující pro všechny provozované pozice uvedených výrobních typů, vychází pouze necelých 13 %. Na takto nízké pravděpodobnosti se nejvíce podílejí 2 výrobní typy, a to LK 4003-6ERTB1 a VME16AN50. U těchto výrobních typů je vhodné situaci řešit zajištěním vyššího počtu ND nebo nalezením vhodné náhrady. Další výrobní typy, u kterých by případné navýšení bylo vhodné, jsou VME16AN10 a VME16AN30.

Poslední sloupec tabulky obsahuje pravděpodobnosti s doporučeným navýšením skladových zásob. Díky novému počtu ND by bylo u každého výrobního typu dosaženo pravděpodobnosti vyšší než 99 % a pravděpodobnost výdrže všech uvedených výrobních typů by současně vzrostla na více než 97 %.

V rámci konferenčního příspěvku nebylo cílem seznámit s jednotlivými výrobními typy, jejich funkcionalitami v rámci systému a výpočtem spolehlivostních ukazatelů, ale ukázat pomocí reálných dat způsob vyčíslení počtu náhradních dílů, respektive pravděpodobnosti, že jejich počet je v rámci požadovaného období postačující.

## Literatura

- [1] ČSN IEC 60605-4:2002 *Zkoušení bezporuchovosti zařízení - Část 4: Statistické postupy pro exponenciální rozdělení - Bodové odhady, konfidenční intervaly, předpovědní intervaly a toleranční intervaly.*
- [2] ČSN IEC 605-4: 1992-2002 *Zkoušky bezporuchovosti zařízení, Část 4: Postupy pro stanovení bodových odhadů a konfidenčních mezí z určovacích zkoušek bezporuchovosti zařízení.*
- [3] CALABRO S. R. (1965): *Základy spolehlivosti a jejich využití v praxi. Praha: SNTL.*

Tabulka 1: Vstupní data a výsledky

Výrobní typ	Stávající počet ND + návrh na navýšení	MTBF provozní [h]	Počet komponent	Počet poruch	Pravděpodobnost výdrže stávajícího počtu ND po dobu 5 let	Pravděpodobnost výdrže navýšeného počtu ND po dobu 5 let
5520UX	11	1,8E+04	8	0	0,999998869	0,999998869
G185	26	1,2E+06	32	1	1	1
IRTS 5115XG	16	5,6E+04	24	0	0,999999986	0,999999986
LDU (MT-80)	5	6,1E+05	16	0	1	1
LK 4003-6ERTB1	1+4	4,1E+05	16	2	0,293734608	0,994082462
LK 4301-7ERTB1	4	8,2E+05	32	0	0,999999994	0,999999994
LK 4601-7ERT	4	4,1E+05	16	0	0,999999995	0,999999995
LS 4601-7ERTB1	4	4,1E+05	16	0	0,999999995	0,999999995
S711D-EST	3	9,1E+05	24	0	0,999999939	0,999999939
VME08DL	4	6,1E+05	16	1	0,996093388	0,996093388
VME16AN10	4+1	3,1E+05	12	3	0,961622732	0,994422754
VME16AN20	4	4,1E+05	12	0	1	1
VME16AN30	8+1	3,9E+05	36	6	0,975459857	0,993153596
VME16AN40	3	1,0E+05	4	0	0,999981319	0,999981319
VME16AN50	8+7	2,2E+05	40	10	0,505140551	0,993673751
VME32DI	9	9,2E+05	48	3	0,999995541	0,999995541
VSBC6862	35	3,1E+05	16	3	1	1
Systém složený z uvedených zařízení					0,138634383	0,971724561