

ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST
Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

**SPOLEHLIVOST
A PREVENTIVNÍ ÚDRŽBA**



**MATERIÁLY Z XXIV. SETKÁNÍ
ODBORNÉ SKUPINY PRO SPOLEHLIVOST**

Praha, prosinec 2006

OBSAH

VYUŽITÍ UKAZATELŮ SPOLEHLIVOSTI K MINIMALIZACI NÁKLADŮ NA ÚDRŽBU <i>prof. Ing. Václav Legát, DrSc., Ing. Přemysl Cindr</i>	3
ZKUŠENOSTI S APLIKACÍ METODY RCM PŘI OPTIMALIZACI ÚDRŽBY MODERNÍ TECHNOLOGIE <i>Ing. František Štván</i>	14
ZKUŠENOSTI S PREVENTIVNÍ A PREDIKTIVNÍ ÚDRŽBOU MONTÁŽNÍ LINKY AUTOMOBILŮ <i>Jiří Čapek</i>	22

VYUŽITÍ UKAZATELŮ SPOLEHLIVOSTI K MINIMALIZACI NÁKLADŮ NA ÚDRŽBU

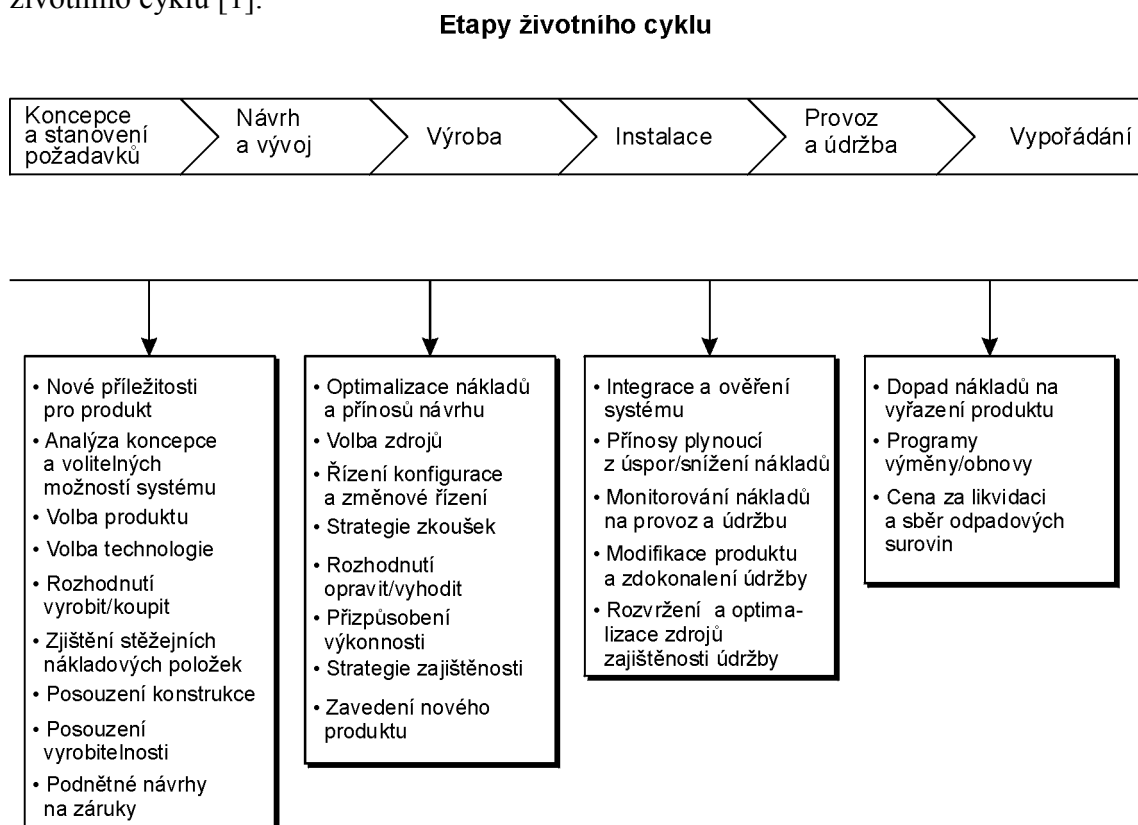
Václav Legát, Technická fakulta ČZU v Praze, legat@tf.czu.cz

Přemysl Cindr

Jednoznačně je prokázáno, že úroveň inherentní spolehlivosti technických zařízení spolu s provozními podmínkami a uplatňovanými systémy údržby určují náklady životního cyklu obecně a náklady na provoz a údržbu zvláště. **Cílem** tohoto příspěvku je upozornit na zákonitosti těchto vztahů a naznačit metody řešení těchto problémů.

1. Životní cyklus technického zařízení - vztah spolehlivosti a nákladů

Na obr. 1 jsou znázorněny etapy životního cyklu technického zařízení společně s některými hlavními tématy, na které je třeba se zaměřit při studiu problematiky analýzy nákladů životního cyklu [1].



Obr. 1 Etapy životního cyklu technického zařízení a hlavní oblasti vznikajících nákladů

Spolehlivost technického zařízení je souhrnný termín, který se používá k popisu **pohotovosti** tohoto technického zařízení a faktorů, které ji ovlivňují, jako je **bezporuchovost**, **udržovatelnost** a **zajištění údržby**. Schopnosti ve všech uvedených oblastech mohou mít významný dopad na náklady životního cyklu. Vyšší počáteční náklady mohou vést ke zlepšení bezporuchovosti a/nebo udržovatelnosti a tudíž mohou zlepšit pohotovost s následným snížením provozních nákladů a nákladů na údržbu.

Hlediska spolehlivosti mají být nedílnou součástí procesu návrhu a vyhodnocení nákladů životního cyklu. Tato hlediska mají být kriticky přezkoumána při přípravě specifikací

technického zařízení a mají se nepřetržitě vyhodnocovat v průběhu celé etapy návrhu, aby se optimalizoval návrh technického zařízení a náklady životního cyklu.

Náklady spojené s jednotlivými prvky spolehlivosti mohou (podle možnosti) zahrnovat:

- náklady na obnovu systému včetně nákladů na údržbu po poruše;
- náklady na preventivní údržbu;
- vyvolané náklady.

Na obr. 2 jsou zvýrazněny prvky spolehlivosti převedené na náklady na provoz a údržbu [1]. Význam použitých zkratk na obr. 2 je následující:

U – nepohotovost

A – pohotovost

$MTTF$ – střední doba do poruchy (h)

$MTTR$ – střední doba do obnovy (h)

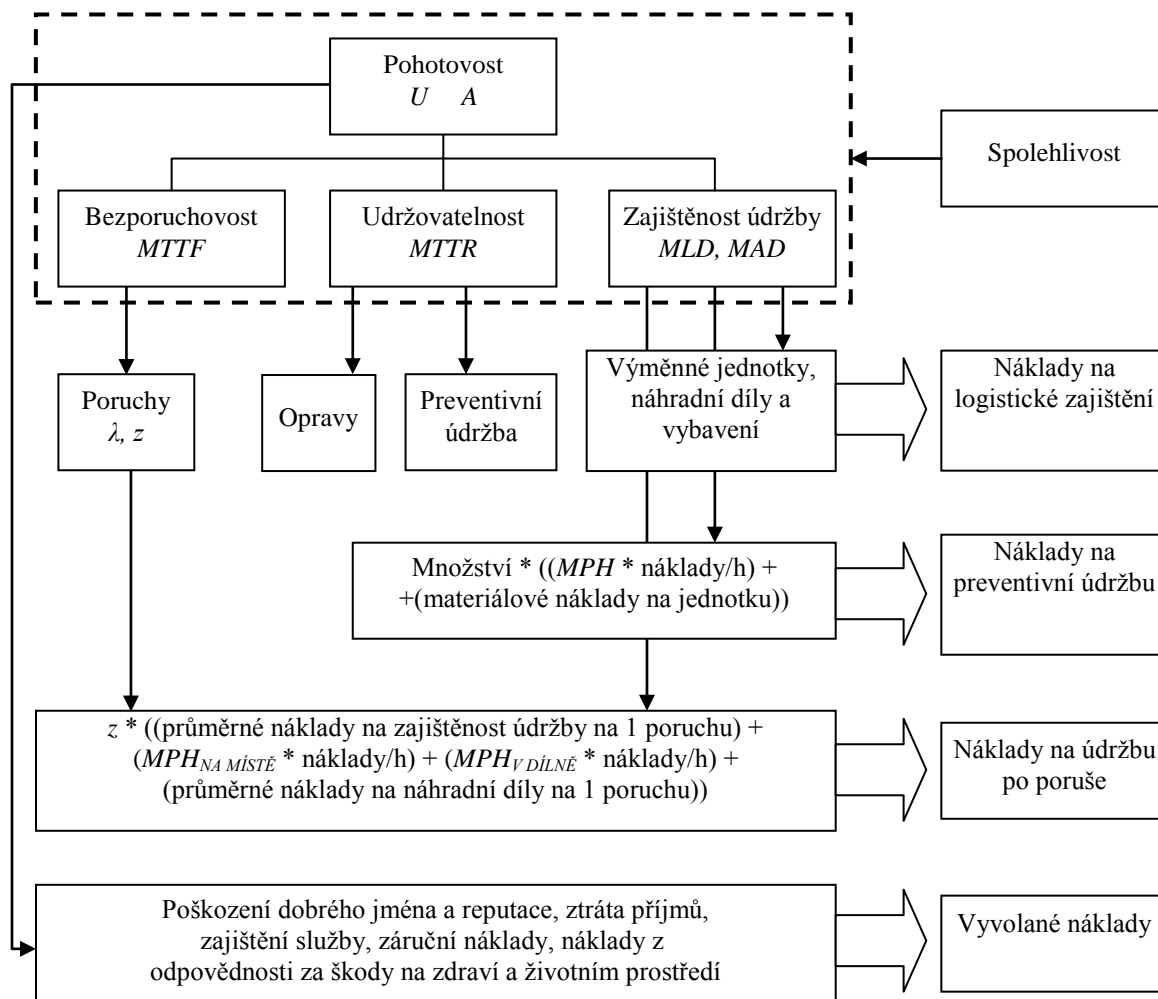
MLD – střední logistické zpoždění (h)

MAD – střední administrativní zpoždění (h)

λ – intenzita poruch (h^{-1})

z – parametr proudu poruch (h^{-1})

MPH – pracnost preventivní údržby nebo údržby po poruše (h_{norm})



Obr. 2 Typický vztah mezi spolehlivostí a náklady v etapě provozu a údržby

Vyvolané náklady

Když se technické zařízení nebo služba stanou nepohotovými, může to přivodit vyvolané náklady. Do těchto nákladů je možné zahrnout:

- záruční náklady (náklady vyvolané záručními opravami);
- náklady z odpovědnosti za škody způsobené technické zařízením (zdraví, úraz, smrt, životní prostředí apod.);
- náklady způsobené ztrátou příjmů;
- náklady na zajištění alternativní služby.

Kromě toho mají být pomocí technik analýzy rizika zjištěny další vyvolané náklady, aby se stanovily náklady mající nepříznivé dopady na společnost:

- na její image (dobré jméno),
- na reputaci a
- na prestiž,

což posléze může vést ke ztrátě zákazníků.

Náklady na odstranění těchto rizik nebo na jejich zmírnění mají být zahrnuty do vyvolaných nákladů.

Ve většině případů lze tyto náklady obtížně posoudit, ale někdy je možné je kvantifikovat. Tyto náklady mohou být například odhadnuty na základě nákladů na propagaci a nákladů na marketingové úsilí či na kompenzace, aby se udrželi zákazníci. S těmito náklady se má pokud možno počítat.

Nepohotovost technického zařízení může významně ovlivnit jeho náklady na provoz. Pohotovost technické zařízení a s tím sdružené náklady životního cyklu je tedy nutné **optimalizovat**. Se zvýšením bezporuchovosti (při zachování ostatních faktorů konstantních) pořizovací náklady obecně vzrostou, ale náklady na údržbu a její zajištění poklesnou. Náklady životního cyklu jsou optimalizovány, když se přírůstkové zvýšení pořizovacích nákladů vlivem zlepšení bezporuchovosti rovná přírůstkovým úsporám nákladů na údržbu a její zajištění a vyvolaných nákladů. V určitém bodě se dosáhne optimální bezporuchovosti technického zařízení, která odpovídá nejmenším nákladům životního cyklu.

Je třeba poznamenat, že výsledky výpočtů nákladů životního cyklu nemusejí odpovídat skutečným/pozorovaným nákladům. Je to tím, že existuje mnoho náhodných ovlivňujících faktorů, jako jsou podmínky okolního prostředí a lidské chyby během provozu, které nelze v těchto výpočtech přesně modelovat.

Při výpočtech nákladů životního cyklu je nutné uvážit jak vlivy prostředí, tak i tradiční faktory, jako je cena a čas. K vyhodnocení rozsahu následků rozmanitých činností na životní prostředí je tudíž nutné použít příslušné metody. Tato vyhodnocení mohou poskytnout základ pro environmentální plánování a začlenění environmentálních problémů do rozhodování.

2. Vstupní data pro optimalizaci nákladů na provoz a údržbu

V další části příspěvku zůžeme sledování vlivu spolehlivosti pouze na etapu provozu a údržby se zvláštním zaměřením na náklady na údržbu a jejich optimalizaci. Úkolem analýzy spolehlivosti, sběru dat o spolehlivosti a jejich zpracování je poskytnout podklady pro další optimalizaci nákladů na provoz a údržbu – viz obr. 3.

K dalším vstupním datům patří data pro výpočet optimálního intervalu preventivní údržby (obnovy, seřízení, opravy, výměny, renovace apod.):

- a) náklady na preventivní údržbu N_o ,
- b) ztráty způsobené havarijní poruchou (rozdíl nákladů na údržbu po poruše N_h a na preventivní údržbu N_o téhož strojního prvku) $Z_h = N_h - N_o$,

- c) pravděpodobnost výskytu havarijní poruchy v závislosti na intervalu preventivní údržby $F(t_p)$ resp. na diagnostickém signálu $F(S_p)$,
- d) funkční závislost středního intervalu preventivní údržby na prostém intervalu preventivní údržby $\bar{t}(t_p)$ resp. na diagnostickém signálu $\bar{t}(S_p)$,
- e) funkční závislost středních kumulativních nákladů na provoz objektu vyvolaných narůstajícím opotřebením sledovaných funkčních ploch součástí a skupin v závislosti na intervalu preventivní údržby $NP_e(t_p)$ resp. na diagnostickém signálu $NP_e(S_p)$,
- f) d) funkční závislost středních kumulativních nákladů na provoz objektu vyvolaných jeho diagnostikou (monitorováním technického stavu) v závislosti na intervalu preventivní údržby $NP_d(t_p)$ resp. na diagnostickém signálu $NP_d(S_p)$.

Doba použitelného stavu τ_u ; ; <i>MUT</i>					Doba nepoužitelného stavu <i>MDT</i> ; <i>MADT</i>			
Doba využitého (obsazeného) stavu t_{vs}	Doba nevyužitého stavu; nevyužitá doba t_{nvs}	Doba pohotovostního stavu t_{psr}	Doba nepožadované funkce t_{nf}	Doba provozuneschopného stavu z vnějších příčin t_{pnsvep}	Doba provozuneschopného stavu z vnitřních příčin t_{pnsvip}			
					Doba poruchového stavu t_{prs} Doba do obnovy <i>MTRR</i>			Doba preventivní údržby t_{pu}
Doba provozu <i>MTTF</i> <i>MTBF</i>					Doba nezjištěného poruchového stavu <i>MUFT</i>	Doba administrativního zpoždění <i>MAD</i>	Doba údržby po poruše <i>MCMT</i>	
							Doba údržby t_u	
Doba provozuschopného stavu t_{pss}				Doba provozuneschopného stavu t_{pns}				

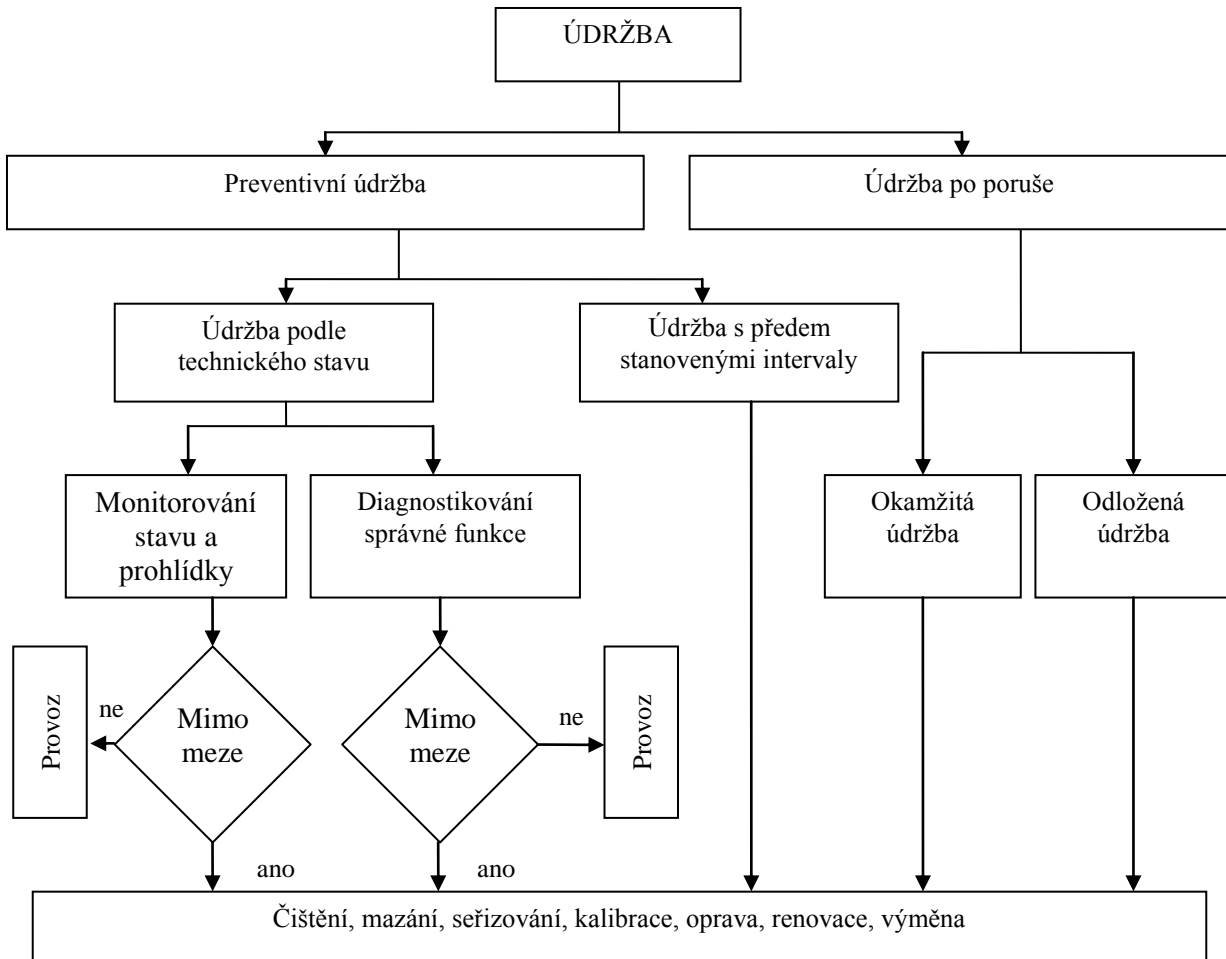
Pokračování detailního rozkladu doby údržby:

Doba údržby t_u							
Doba preventivní údržby t_{pu}		Doba údržby po poruše ξ_r ; <i>MCMT</i>					
Doba logistického zpoždění <i>MLD</i>	Doba aktivní údržby <i>MAMT</i>						Doba logistického zpoždění <i>MLD</i>
	Doba aktivní preventivní údržby t_{apu}	Doba aktivní údržby po poruše <i>MACMT</i>					
		Doba technického zpoždění <i>MTD</i>	Doba lokalizace porouchané části t_{lprc}	Doba aktivní opravy t_{aopr}	Doba kontroly t_{kontr}		
		Doba opravy <i>MRT</i>					

Obr. 3 Struktura časových údajů pro kvantitativní analýzu spolehlivosti objektů [2]; symboly psané velkými písmeny vyjadřují střední hodnoty uvedených veličin

3. Optimalizace údržby s cílem minimalizovat náklady na údržbu

Z hlediska volby časového okamžiku vykonávání údržby lze rozlišit různé systémy (koncepty) údržby [3] – viz obr. 4. Předpokládejme, že lze získat pro jednotlivé prvky technických zařízení (z analýzy a sběru dat o spolehlivosti) příslušné hodnoty jejich fyzického života t [4]. Předpokládejme dále, že u uvedených prvků lze průběžně sledovat a zjišťovat



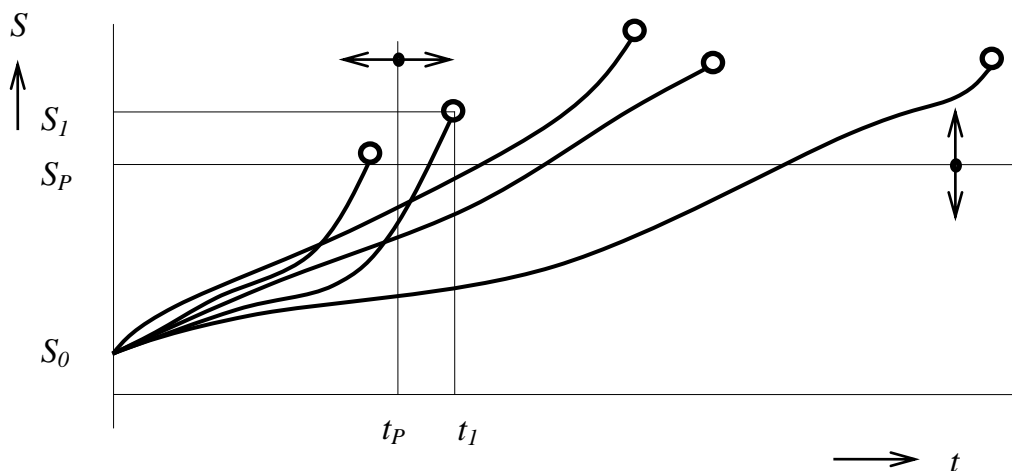
Obr. 4 Systémy (koncepty, typy) údržby – upraveno podle [3]

změny jejich technického stavu S různými diagnostickými signály (dobou používání, dobou provozu, diagnostickými a strukturními parametry), pomocí různých diagnostických metod, přístrojů a registračních zařízení - viz obr. 5. Kroužky na tomto obrázku představují fyzické mezní stavy (poruchy), přičemž jejich souřadnice jsou dány příslušným diagnostickým signálem a fyzickým životem, např. S_1 a t_1

Je logické, že jak fyzický život, tak i diagnostický signál jsou náhodné veličiny s hustotou pravděpodobnosti doby do poruchy $f_1(t)$, $f_2(S)$, resp. distribuční funkcí $F_1(t)$, $F_2(S)$, resp. pravděpodobností bezporuchového provozu $R_1(t)$, $R_2(S)$ a intenzitou poruch $\lambda_1(t)$, $\lambda_2(S)$.

Preventivní údržba (obnova) bude vykonána buď v okamžiku vzniku poruchy nebo po pevně stanovené době provozu t_p , resp. při hodnotě diagnostického signálu S_p , podle toho, který jev nastane dříve; t_p značí interval pro obnovu a S_p diagnostický signál pro obnovu pro strategii věkové resp. diagnostické obnovy. Hodnoty optimalizovaných veličin t_p resp. S_p závisí na

ekonomických a provozních podmínkách používání daného strojního prvku a mohou se tedy měnit - viz obr. 5.



Obr. 5 Závislost diagnostického signálu S na době provozu t , fyzický život t_l a principy systémů údržby

Z rozboru uvedených podkladů je zřejmé, že údržba prvku, vykonaná při různé hodnotě intervalu pro údržbu t_p , resp. při různé hodnotě diagnostického signálu S_p , má tyto ekonomické dopady:

- je-li údržba vykonána při malé hodnotě t_p , resp. S_p dojde na jedné straně k nízkému relativnímu počtu poruch a tím i k vynaložení malých provozních nákladů ve formě poruchových ztrát $Z_h \cdot F(t_p)$, resp. $Z_h \cdot F(S_p)$ a na druhé straně při odpovídající nízké hodnotě střední doby mezi obnovovacími zásahy (preventivními i vynucenými) $\bar{t}(t_p)$, resp. $\bar{t}(S_p)$ náklady na preventivní údržbu N_O více zatěžují jednotku střední doby provozu mezi údržbami;
- je-li údržba vykonána při vysoké hodnotě t_p , resp. S_p , dojde sice k lepšímu využití nákladů na preventivní údržbu N_O (jednotkové náklady na údržbu klesají), ale rostou náklady z rizika poruchy $Z_h \cdot F(t_p)$, resp. $Z_h \cdot F(S_p)$.

Na základě těchto protichůdných nákladových trendů v jejich jednotkovém vyjádření lze stanovit hledanou optimální hodnotu intervalu preventivní údržby t_{pO} , resp. optimální hodnotu diagnostického signálu pro údržbu S_{pO} ze vztahů pro průměrné jednotkové náklady

$$u(t_p) = \frac{N_O + Z_h \cdot F(t_p) + N_{Pe}(t_p) + N_{Pd}(t_p)}{\bar{t}(t_p)} \quad (1)$$

resp.

$$u(S_p) = \frac{N_O + Z_h \cdot F(S_p) + N_{Pe}(S_p) + N_{Pd}(S_p)}{\bar{t}(S_p)} \quad (2)$$

Funkční závislost středního intervalu (střední doby provozu) do preventivní údržby na prostém intervalu preventivní údržby $\bar{t}(t_p)$ resp. na diagnostickém signálu $\bar{t}(S_p)$ můžeme stanovit z experimentálně zjištěných údajů ze vztahu

$$\bar{t}(t_p) = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{m(t_p)} t_i(t_p) + \sum_{j=1}^{n-m(t_p)} t_j(t_p) \right] \quad (3)$$

resp.

$$\bar{t}(S_p) = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{m(S_p)} t_i(S_p) + \sum_{j=1}^{n-m(S_p)} t_j(S_p) \right] \quad (4)$$

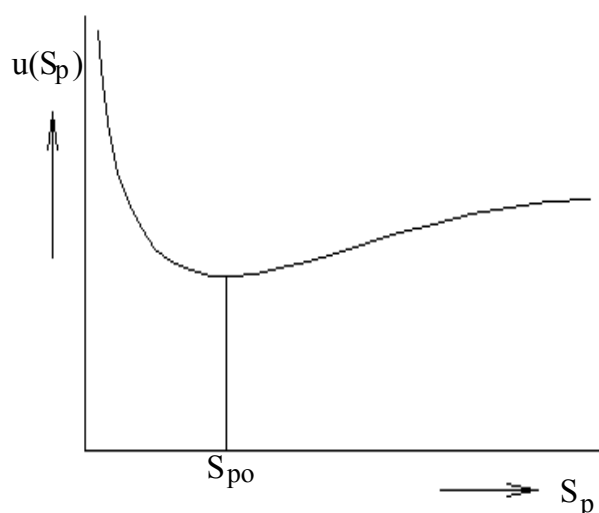
kde $t_i(t_p)$ resp. $t_j(S_p)$ je doba provozu i -tého strojního prvku, žijícího při stavu t_p resp. S_p ; $t_j(t_p)$ resp. $t_j(S_p)$ je doba provozu (fyzický život) j -tého strojního prvku, který při stavu t_p resp. S_p již nežije; $m(t_p)$ resp. $m(S_p)$ je počet prvků žijících při stavu t_p resp. S_p a n je počet všech sledovaných strojních prvků daného typu.

Známe-li funkční závislost pravděpodobnosti poruchy $F(t_p)$ resp. pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t_p)$ na prostém intervalu preventivní údržby t_p v analytickém vyjádření, můžeme střední dobu provozu do preventivní údržby vyjádřit vztahem

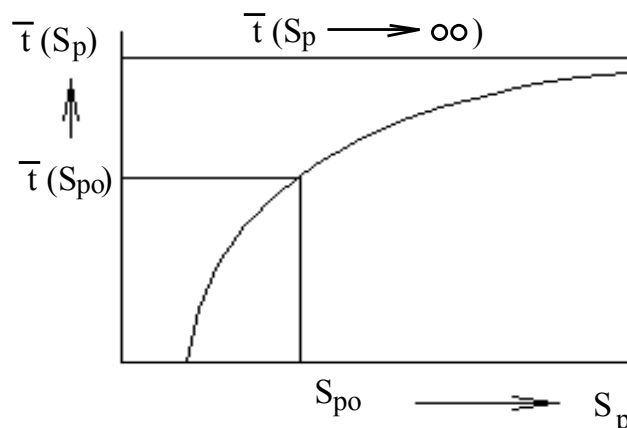
$$\bar{t}(t_p) = \int_0^{t_p} R(t) dt \quad (5)$$

Pro dvoustavové prvky se zpravidla čítelek v obou rovnicích (1) a (2) redukuje na první dva sčítance a pro vícestavové prvky bývá druhý sčítanec v čitateli zpravidla nulový. Hledaným hodnotám optimálních intervalů preventivních údržeb přísluší vždy minimální hodnota průměrných nákladů na provoz a údržbu sledovaných prvků. Tuto hodnotu vyšetříme pomocí první derivace podle t_p resp. S_p a jejím položením rovno nule.

Optimální hodnotu diagnostického signálu S_{po} pro obnovu můžeme nejnázorněji stanovit graficky nebo pomocí výpočetní techniky, přičemž grafické řešení je zřejmé z obr. 6 a stanovení optimální střední doby provozu $\bar{t}(S_{po})$ je zřejmé z obr. 7. Možnost analytického řešení je závislá na konkrétním typu funkcí $F(S_p)$ a $\bar{t}(S_p)$.



Obr. 6 Princip stanovení optimální hodnoty diagnostického signálu (S_{po}) pro preventivní diagnostickou údržbu



Obr. 7 Princip stanovení optimální střední hodnoty intervalu doby provozu (S_p) do preventivní diagnostické údržby

Řešení pro nekonečný časový horizont, dané rovnicí (1) a (2), je poměrně jednoduché, ale při aplikaci na konečný časový horizont, zejména do trojnásobku t_{po} , resp. $\bar{t}(S_{po})$ získáváme méně přesné výsledky, které v některých případech zvyšují náklady a přinášejí ztráty.

Předcházející řešení poskytuje minimální náklady na preventivní údržbu pouze za předpokladu nekonečného počtu údržeb, což v praxi neodpovídá skutečnosti. Časový horizont je běžně dán životem celého stroje nebo zařízení, který je zpravidla obecným konečným násobkem dosud stanoveného intervalu preventivní údržby t_{po} pro $t \rightarrow \infty$, resp. $\bar{t}(S_{po})$. Zvýšení nákladů vzniká zejména v případech, kdy preventivní údržba je vykonána těsně před vyřazením stroje z provozu (ukončením jeho života) jako celku, čímž dochází k nevyužití vložených prostředků do preventivní údržby. Řešením je určitá korekce optimálních intervalů t_{po} , resp. $\bar{t}(S_{po})$ pro nekonečný časový horizont s ohledem na očekávaný konečný časový horizont, resp. život stroje t .

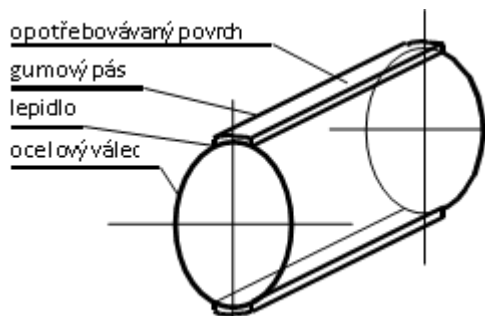
Znalost této problematiky je nezbytná nejenom pro stanovení optimálních intervalů preventivní údržby, ale také i pro jejich ověřování v etapě provozu výrobku.

4. Příklad optimalizace údržby

Byl sledován život dvou gumových pásů válcového podavače ze stroje na výrobu papírových pytlů [4] – obr. 8. Během činnosti se gumové pásy opotřebovávají, což způsobuje poruchu stroje a zastavení celé výrobní linky.

Úkolem pracovníka zodpovědného za údržbu je navrhnout a uplatnit optimální interval preventivní údržby, stanovit střední dobu a funkci pravděpodobnosti bezporuchového provozu podávacího válce, jehož gumové pásy jsou preventivně vyměňovány a porovnat výsledky preventivní údržby s výsledky údržby po poruše pro tutéž součást.

Zjištěná a v příkladu použítá vstupní data pro výpočet spolehlivosti (životnosti) jsou uvedena v tabulce 1 a náklady na údržbu jsou v další tabulce 2.



Obr. 8 Schéma válcového podavače

Tab. 1 Četnost poruch pásu v jednotlivých pracovních intervalech

Sřed intervalu t_i (h)	120	360	600	840	1080
Interval (h)	0 - 239	240 - 479	480 - 719	720 - 959	960 - 1199
Četnost poruch	1	2	4	6	1

Tab. 2 Náklady spojené s údržbou

Náklady/ztráty	Výpočet	Výsledek (Kč)
Náklady preventivní údržby C_{pr} (Kč)	Mzdové náklady (mzdy + režie) + materiálové náklady = $=0,3*(90+270)+500 =$ mzdy + režie	608
Náklady na údržbu po poruše C_{cm} (Kč)	(Mzdové náklady + prostoj) * (mzdy + režie) + materiálové náklady + (prostoj * hodnová ztráta) = $(0,3+0,5)*(90+270) + 500 + (0,3+0,5) * 60000 =$	48788
Výrobní ztráty v důsl. poruchy a násled. prostoje L_f (Kč)	Náklady na údržbu po poruše - Náklady preventivní údržby = $48788 - 608 =$	48180

Řešení:

Jako vstupní data pro STATGRAPHICS byla použita data z tabulky a výsledkem byla střední doba do poruchy $MTTF$, směrodatná odchylka s a parametry α a β distribuční funkce Weibullova rozdělení – viz tabulka 3.

Tab. 3 Parametry distribuční funkce Weibullova rozdělení, $MTTF$ a SD

$MTTF$ (h)	Směrodatná odchylka s (h)	Parametr tvaru α	Parametr měřítka β
668,57	256,571	3,03205	745,252

Dosazením obdržných dat do rovnice (1) a použitím EXCELu můžeme vypočítat interval pro optimální věkovou údržbu t_{po} – viz tabulka 4.

Pro lepší ilustraci je závislost $u(t_p)$ a $c_{in}(t_p)$ zobrazena v grafu na obr. 9.

Tab. 4 Závislost jednotkových nákladů a okamžitých jednotkových nákladů na intervalu výměny

t_p	25	50	75	100	125	139,5	150	175	200	225	250	275	300	325	350	1400
$u(t_p)$	24,4	12,4	8,7	7,2	6,6	6,5	6,5	6,9	7,5	8,4	9,4	10,7	12,1	13,6	15,3	73,2
$c_{in}(t_p)$	0,2	0,8	1,8	3,3	5,2	6,5	7,5	10,3	13,5	17,2	21,3	25,9	30,9	36,3	42,2	705,9

Dále s použitím EXCELu vypočteme střední dobu života $ET(MTTRT)$ součástí, u kterých byla provedena preventivní údržba v optimálním intervalu $t_{po} = 139,5$ h podle rovnice s využitím numerické integrace funkce $R(t)$.

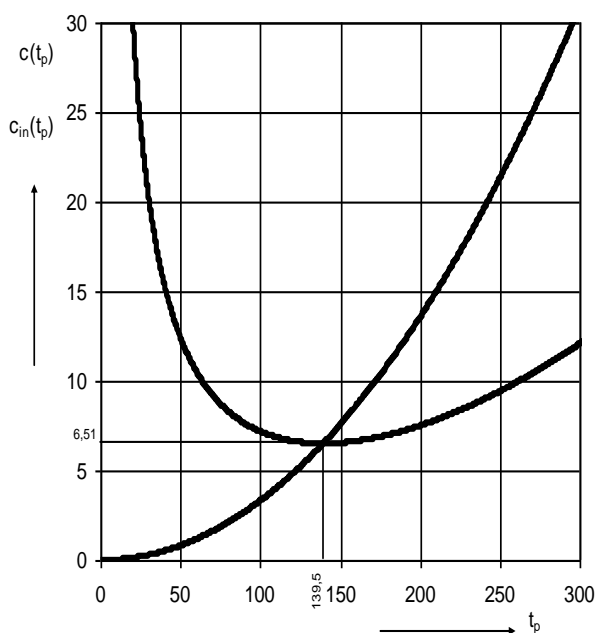
$$ET = \frac{\int_0^{t_{po}} R(t) dt}{1 - R(t_{po})} = \frac{139,2853}{1 - 0,993804} = 22478 \text{ h} \quad (6)$$

Dále vypočítáme pravděpodobnost poruchy $F_T(t)$ a funkci pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R_T(t)$ součástí, na kterých byla provedena věková preventivní údržba

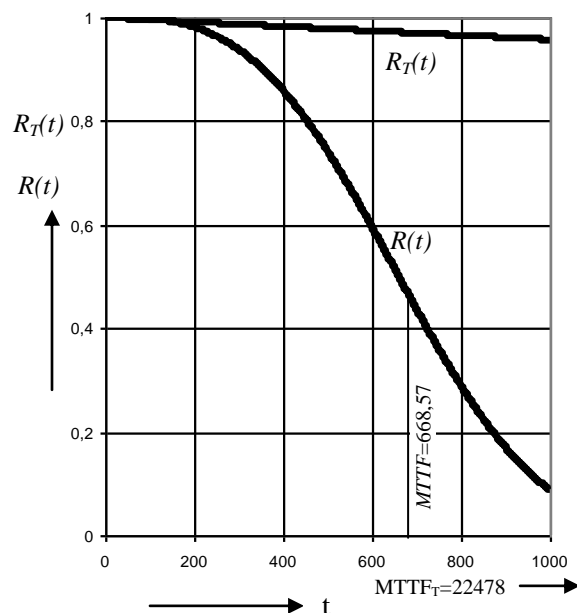
$$F_T(t) = 1 - [R(t_{po})]^n \cdot R(t - nt_{po}) \text{ pro } (nt_{po}; (n+1)t_{po}) \quad (7)$$

a

$$R_T(t) = [R(t_{po})]^n \cdot R(t - nt_{po}) \text{ pro } (nt_{po}; (n+1)t_{po}) \quad (8)$$



Obr. 9 Závislost $c_{in}(t_p)$ a $u(t_p)$ na t_p



Obr. 10 Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ a $R_T(t)$ v závislosti na době provozu t

Numerické řešení a výsledky $F(t)$ a $R(t)$ (pro distribuční funkci Weibullova rozdělení s parametry $\alpha=3,03205$ a $\beta=745,252$ a pro $t_{po}=139,5$ hod) jsou patrné z tabulky 5.

Tab. 5 Funkce pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$ pro strojní prvek s údržbou prováděnou po poruše a $R_T(t)$ pro strojní prvek věkově preventivně vyměňovaný

t	0	200	400	600	800	1000	1200	10000	20000	30000	40000	50000
$R_T(t)$	1,000	0,991	0,983	0,974	0,966	0,957	0,949	0,642	0,410	0,262	0,167	0,106
$R(t)$	1,000	0,982	0,859	0,596	0,289	0,087	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Pro lepší ilustraci efektivity věkové preventivní údržby jsou funkce $R(t)$ a $R_T(t)$ vyneseny do grafu v obr. 10.

Shrnutí k příkladu z praxe:

Řešený příklad představuje obecnou metodu výpočtu optimálního intervalu pro preventivní údržbu/opravu, který je určen buď věkovou nebo diagnostickou strategií obnovy pro nekonečný časový horizont. V případě, že vyměňujeme gumové pásy tohoto podavače po poruše $MTTF = 668,57$ h a výrobní ztráty způsobené poruchou $L_f=48180$ Kč a jednotkové náklady na provoz a obnovu jsou $u(t_p=1400)=73,2$ Kč/h – viz tab. 4. Jestliže uplatníme věkovou preventivní údržbu těchto prvků, $MTTF$ vzroste na $MTTF_T=22478$ h při provádění preventivní výměny v optimálním intervalu $t_{po}=139,5$ h. Jednotkové náklady na provoz a obnovu v tomto intervalu $u(t_{po}=139,5)$ poklesnou na 6,51 Kč/h – viz graf na obr. 9.

Pravděpodobnost bezporuchového provozu preventivně vyměňovaného prvku, např. v čase $t = 600$ h vzroste z hodnoty $R(600) = 0,596$ (výměna po poruše) na hodnotu $R_T(600) = 0,974$ (věková preventivní údržba) – viz uvedená tabulka a graf. Přínos předloženého řešení spočívá nejenom v možnosti vypočítat optimální interval věkové preventivní údržby, ale poskytuje i možnost kvantitativního ověření účinku preventivní údržby na zvýšení provozní spolehlivosti strojního prvku.

5. Závěr

1. Zaveďte a **sbírejte data o spolehlivosti** (doby do první poruchy, doby do poruchy) a o technickém stavu (uplatněním diagnostiky) vytípaných **významných prvků technických zařízení**.
2. Z těchto dat vypracujte základní **charakteristiky spolehlivosti** (funkci rozdělení hustoty pravděpodobnosti poruchy, distribuční funkci pravděpodobnosti poruchy, pravděpodobnost bezporuchového provozu a intenzitu poruch).
3. Sbírejte **data o ekonomice údržby a prostojů** (náklady na preventivní údržbu a náklady na údržbu po poruše včetně nákladů na prostoje).
4. Použijte **účelové funkce pro optimalizaci preventivní údržby** k výpočtu optimálního intervalu preventivní údržby resp. diagnostického signálu, tzv. normativů pro údržbu.
5. Pro každý významný prvek na základě výpočtu a minimalizace průměrných jednotkových nákladů na provoz a obnovu **vyberte nejvýhodnější systém údržby** (údržba po poruše, preventivní periodická údržba, diagnostická údržba); nejvýhodnější systém je ten, který vykazuje nejnižší jednotkové náklady.
6. Vedle nezbytné prevence analyzujte příčiny a důsledky poruch (FMEA, FMECA) nejenom z výše uvedeného časového a ekonomického pohledu, ale i z hlediska kvalitativní analýzy poruch, přijímejte **opatření k nápravě** (odstraňování příčin poruch) formou **proaktivní údržby**.
7. Aktualizujte analýzou a sběrem dat charakteristiky spolehlivosti a opakovanými výpočty **aktualizujte dynamický program (systém) údržby** pro dané technické zařízení.
8. Z uvedeného příspěvku dále vyplývá, že **minimalizovat náklady** na provoz a údržbu **nelze bez znalosti základních charakteristik a ukazatelů spolehlivosti** a bez znalosti nákladů, které jsou vztaženy k provozu a údržbě technických zařízení.

Lze tedy jednoznačně shrnout, že současný **integrováný management** (QMS, EMS a BOZP) je třeba rozšířit o další významný pilíř, a to **management spolehlivosti**. Toto je **aktuální úkol manažerů jakosti** ve výrobních organizacích.

Použitá literatura:

- [1] IEC 60300-3-3:2004 Dependability management – Part 3-3: Application guide – Life cycle costing
- [2] ČSN IEC 50(191): 1993 Medzinárodný elektrotechnický slovník, Kapitola 191: Spôľahlivosť a akosť služieb
- [3] ČSN EN 60300-3-14 Management spolehlivosti – Část 3-14: Pokyn k použití - Údržba a zajištění údržby
- [4] LEGÁT, V., 2003: Optimalizace preventivní údržby. In: Management jakosti s podporou norem ISO 9000:2000, ISSN 80-86229-19-X, s. 32.

ZKUŠENOSTI S APLIKACÍ METODY RCM PŘI OPTIMALIZACI ÚDRŽBY MODERNÍ TECHNOLOGIE

Ing. František Štván, Ústav jaderného výzkumu, Řež a.s.



Ústav jaderného výzkumu Řež a.s.



Zkušenosti s aplikací metody RCM při
optimalizaci údržby moderní technologie

František Štván

Seminář Odborné skupiny pro spolehlivost, Novotného lávka, Praha, 4.12.2006



Ústav jaderného výzkumu Řež a.s.

RCM - definice

RCM analýza je systematický hodnotící proces sloužící k vývoji a optimalizaci programu údržby daného provozního celku v souladu s bezpečnostními a provozními následky selhání zařízení.

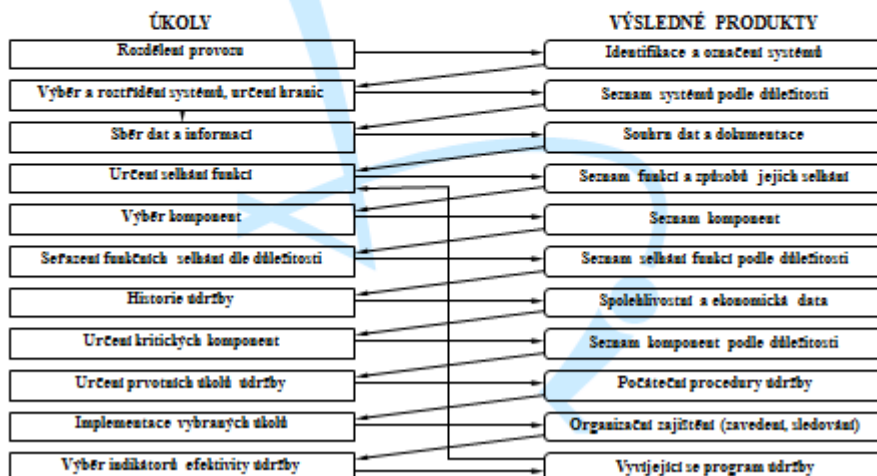
RCM – možné přínosy

- nasměrování preventivní údržby na nejdůležitější zařízení (z hlediska bezpečnosti, provozu i nákladů na údržbu)
- odstranění zbytečných zásahů do provozu zařízení v rámci preventivní údržby
- možná úspora nákladů
- systematická dokumentace poruch
- pokles počtu poruch
- dokumentace procesu výběru strategií údržby

RCM – omezení

- neřeší problémy související s:
 - nedokonalostí lidí
 - nedokonalým projektem (pouze identifikace potřeby změny)
- přínos hlavně v problémech souvisejících s neefektivními, nepřiměřenými, chybnými, nebo nadbytečnými úkoly údržby
- složitá implementace závěrů na zařízení sledovaném dozorným orgánem

RCM – kroky metodiky



RCM – úkoly preventivní údržby

- Mazání a servis (doplnění či přemístění běžného spotřebního materiálu nebo maziv, aby byl zajištěn normální provoz).
- Úkol prováděný za účelem zjištění aktuálního stavu zařízení (ÚZS); anglicky „on condition task“ - části zařízení zůstávají v provozu „pod podmínkou“, že bude uspokojen předem stanovený standard.
- Úkol s pevnou periodou provádění (ÚPP); buď obnova nebo vyřazení.
- Kombinace předchozích dvou typů úkolů (ÚK).
- Úkol hledání poruch (ÚHP); používá se pro skryté funkce.

RCM - dokumentace

- Výsledky analýz preventivní údržby lze zaznamenávat na formuláře, s jejichž pomocí se dokumentuje:
 - 1) výběr významné části zařízení
 - 2) RCM analýza
 - 3) zonální analýza, tj. analýza provádění vizuálních prohlídek specifického prostoru nebo části provozu
- pracovní formuláře by se měly udržovat jako „živé“ záznamy, aby poskytovaly úplnou historii vývoje požadavků preventivní údržby o všech částech zařízení a o všech jejich poruchách
- Počítačové programy
- Zaznamenávání výsledků studie RCM pomocí základních softwarových prostředků, tj. Word, Access, Excel, atd.

RCM - Programové prostředky

V ÚJV Řež jsou dostupné následující programy pro zpracování analýzy RCM

- RCMCost V3.0
- RCM Workstation 2.5

RCMCost V3.0 - souhrn

- Sestavení blokového diagramu technologického celku
- FMEA/FMECA - určení kritických způsobů poruch a jejich efektů (následků)
- Optimalizaci procesu údržby pro kritické způsoby poruch
- Vytvoření výsledné dokumentace včetně příslušných přehledných pracovních archů

RCM Workstation 2.5 - souhrn

- Rozdělení na systémy a podsystémy
- Funkční analýza poruch
- FMEA/FMECA
- Přiřazení vhodných úkolů údržby
- Zdokumentovaný rozhodovací proces údržby

Porovnání programů

- RCMCost
 - Kvantitativní i kvalitativní spolehlivostní i cenová optimalizace údržby
 - Přehledné uživatelské prostředí
 - Stručné výstupy pro rozhodovací proces údržby
- RCM Workstation
 - Kvalitativní optimalizace údržby
 - Rozsáhlá dokumentace pro rozhodovací proces údržby
 - Obtížný a méně přehledný způsob práce s programem

RCM – organizace projektu

- Neexistuje pevné pravidlo pro organizaci projektu
- Obecně je však nutné ustanovit / provádět
 - koordinátora projektu
 - poradu vedení
 - skupinu pro analýzu
 - skupinu pro implementaci
 - revizní skupina/externí audit
- Vytvoření vhodných podmínek !!!!

RCM – obecný postup projektu

- Pilotní studie
 - Neměla by být příliš ambiciózní
 - Jednoduchý systém
- Rozhodnutí o pokračování projektu
- Postupné provádění RCM analýzy
- Implementace/stanovení ukazatelů
- Living program

Aktivity ÚJV v oblasti RCM

- Pilotní projekt na JE Dukovany (2000)
 - Proveditelnost analýz RCM/RBM
 - Dostupnost a kvalita dat
- PHARE projekt (2001)
 - JE Dukovany – napájecí stanice (ENČ + HNČ)
 - JE Bohunice – systém zajištěného napájení, DGS

Aktivity ÚJV v oblasti RCM

- JE Dukovany
 - Kompletní analýza napájecí stanice (2002)
 - Analýza systému KČ 1. a 2. stupně (2002)
 - Optimalizace údržby vybraných systémů elektro - akubaterie, transformátory 6 kV (2003)
- Transgas (2002)
 - Analýza turbosoustrojí 6 MW na KS

Aktivity ÚJV v oblasti RCM

- JE Bohunice (2004-2007)
 - Optimalizace údržby pro cca 120 systémů
 - Školení pracovníků údržby
 - Výběr systémů pro analýzy
 - Kompletní analýza RCM a program údržby pro 45 vybraných systémů (strojní, elektro, SKŘ)
 - Vývoj databáze pro dokumentaci analýz a programů
 - Podpora elektrárny při jednání s dozornými orgány

PREDIKTIVNÍ ÚDRŽBA – PROSTŘEDEK K ZEFEKTIVNĚNÍ PROCESU VÝROBY ŠKODA OCTAVIA

Jiří Čapek, ŠKODA-AUTO a.s., Mladá Boleslav

Montáž – A5 Octavia



Prediktivní údržba – prostředek k zefektivnění procesu výroby Škoda OCTAVIA

Jiří Čapek

CSPU 22_11_06

1

Montáž – A5 Octavia



1. Definice strategie pro dosažení maximální návratnosti investic
2. Důvody změny poměru mezi preventivní a prediktivní údržbou
3. Posouzení vývoje efektivity údržby SaZ + náklady
4. Průběh výroby
5. Analýza prostojovosti
6. Optimalizace pracovišť s přechodem A4 na A5

CSPU 22_11_06

2

Montáž – A5 Octavia



Definice strategie pro dosažení maximální návratnosti investic

- příprava strategie ► vedoucí údržby
- korekce v rámci procesní mapy (soubor všech procesů ovlivňujících výrobu finálního produktu) ► management výrobní oblasti

Naše strategie:

**Stabilita procesu výroby, kvality,
zefektivnění využití zdrojů**

CSPU 22_11_06

3

Montáž – A5 Octavia



Důvody změny poměru mezi preventivní a prediktivní údržbou

- přechod modelu A4 na A5 /2004 ►
- změna technol. zařízení
- zvýšení náročnosti výroby/koncept vozu
- snížení investic do změny portfolia hmotného majetku (technologie, dopravníková techn., budovy atd.)
- optimalizace skladových zásob/snížení limitu skladových zásob ND celoplošně ve ŠKODA AUTO

CSPU 22_11_06

4

Montáž – A5 Octavia



Definice oblastí údržby

- skupiny zařízení ►

- strategické (jobstoper)
- s náhradní technologií
- podpůrné

CSPU 22_11_06

5

Montáž – A5 Octavia



Vývoj efektivity údržby SaZ v letech 1998 – 2006 k 20.11.2006



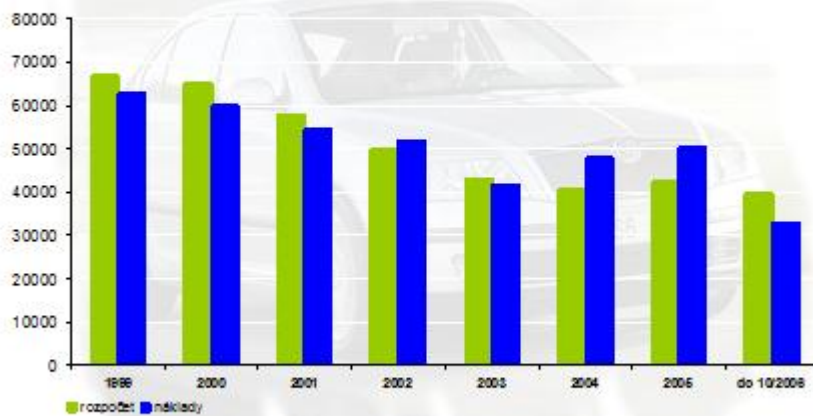
CSPU 22_11_06

6

Montáž – A5 Octavia



Náklady na údržbu provozu 1999 - 2006



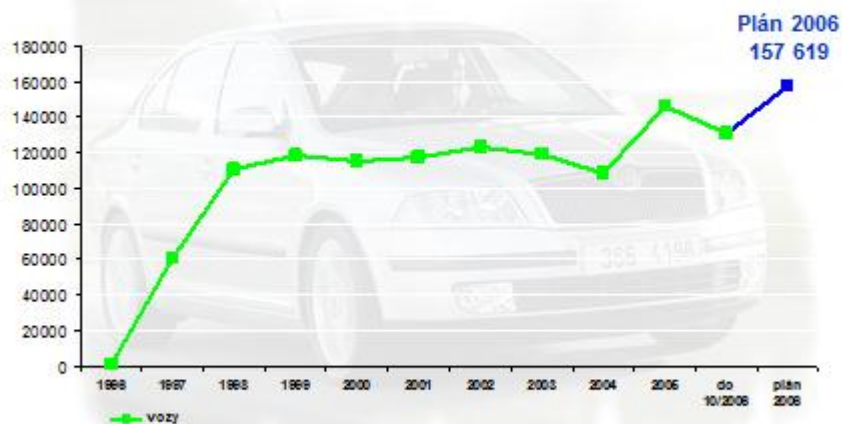
CSPU 22_11_06

7

Montáž – A5 Octavia



Průběh výroby 1996 - 2006



CSPU 22_11_06

8

Montáž – A5 Octavia



Analýza prostojovosti

- porovnání prostojovosti údržby v letech 2004,05,06
- TOP 10 prostojů údržby v roce 2004
- TOP 10 prostojů údržby v roce 2005

CSPU 22_11_06

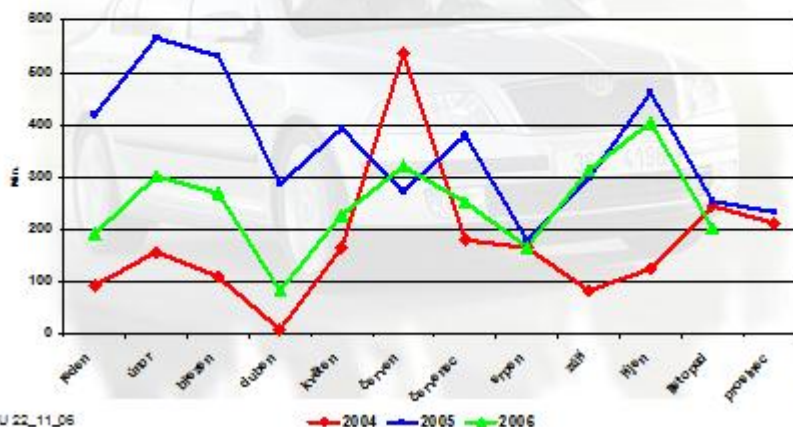
9

Montáž – A5 Octavia



Prostoj údržby SaZ - porovnání let 2004 - 2006 k 20.11.2006

Denní produkce: 2004 515-550 vozů / den
2005 650 vozů / den
2006 670 vozů / den



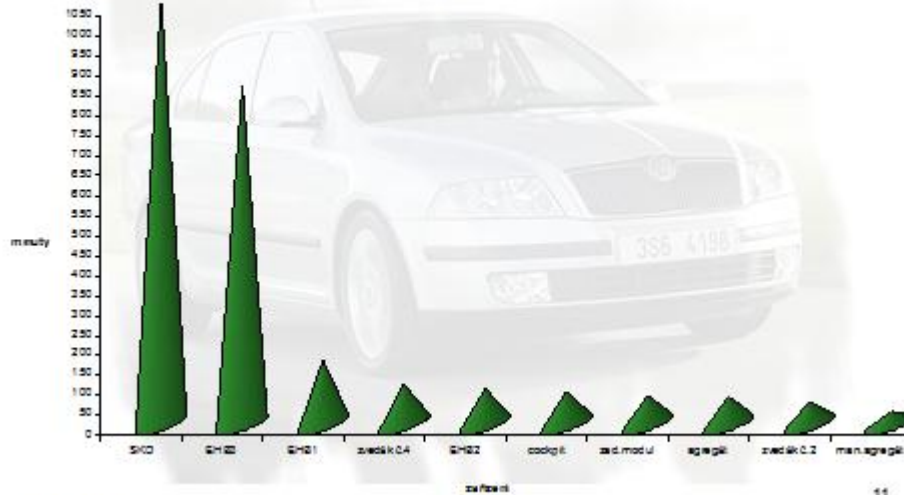
CSPU 22_11_06

10

Montáž – A5 Octavia



TOP 10 – Prostoje údržby 2004



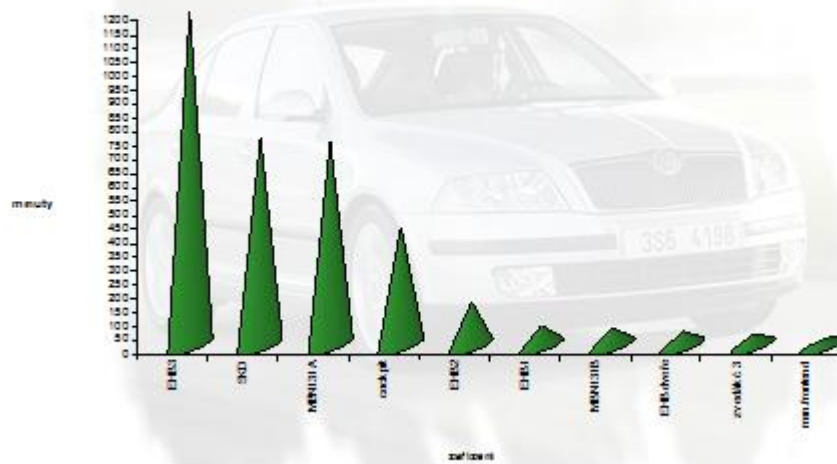
CSFU 22_11_06

11

Montáž – A5 Octavia



TOP 10 – Prostoje údržby 2005



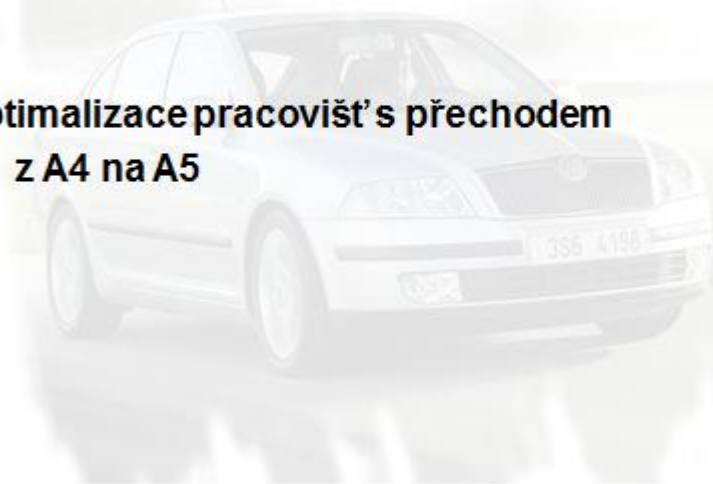
CSFU 22_11_06

12

Montáž – A5 Octavia



Optimalizace pracovišť s přechodem z A4 na A5



CSPU 22_11_06

13

Montáž – A5 Octavia



- EHB – 3 – nový úsek dopravníku



CSPU 22_11_06

14

Montáž – A5 Octavia



➤ Zástavba podvozku



CSPU 22_11_06

15

Montáž – A5 Octavia



➤ Předmontáž agregátu



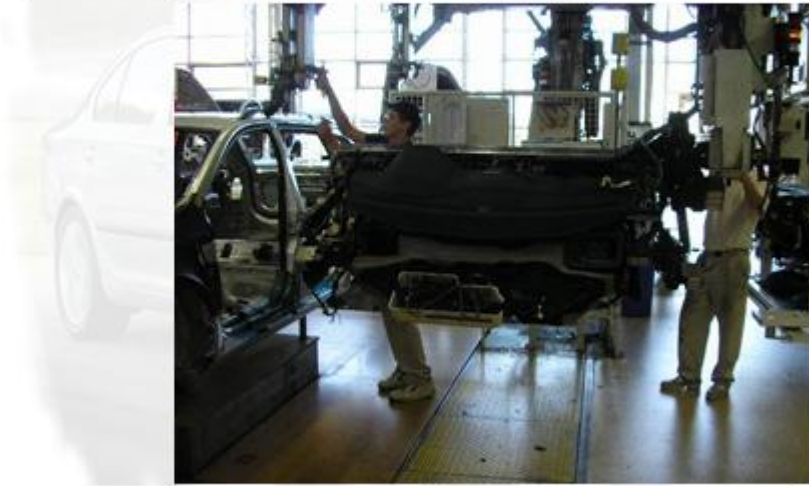
CSPU 22_11_06

16

Montáž – A5 Octavia



➤ Manipulátor cockpitu



CSPU 22_11_06

17

Montáž – A5 Octavia



➤ Laser předních a zadních skel



CSPU 22_11_06

18



Děkuji za pozornost.

Jiří Čapek
vedoucí technického servisu
a montáže podvozku OCTAVIA A5

ŠKODA AUTO a.s.
Mladá Boleslav
4.12.2006