

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

ZAJIŠTĚNOST ÚDRŽBY



MATERIÁLY ZE XIII. SETKÁNÍ
ODBORNÉ SKUPINY PRO SPOLEHLIVOST

Praha, listopad 2003

OBSAH

OPTIMALIZACE PREVENTIVNÍ ÚDRŽBY Prof. Ing. Václav Legát, DrSc.	3
NÁVRH KONCEPCE SPOLEHLIVOSTI ZAŘÍZENÍ Ing. Zdeněk Vyjídáček	12
MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ A VYUŽITÍ DAT Z ŘÍZENÍ ÚDRŽBY Doc. Ing. Vladimír Jurča, CSc.	18

OPTIMALIZACE PREVENTIVNÍ ÚDRŽBY

**Prof. Ing. Václav Legát, DrSc., Ing. Vratislav Červenka,
Doc. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Česká zemědělská univerzita, technická fakulta – katedra jakosti a spolehlivosti strojů
165 21 Praha 6 – Suchbátka
Tel.: 224 383 268, E-mail: legat@tf.czu.cz

Klíčová slova: preventivní údržba, diagnostický signál, obnova, doba provozu, interval pro obnovu

1. Úvod

Technická diagnostika je významným nástrojem managementu obnovy a slouží nejenom k lokalizaci a zjištění příčiny poruchy, ale i ke stanovení okamžitého technického stavu stroje či zařízení a jejich prvků. Dnes je to již velmi rozvinutý obor, který disponuje celou řadou diagnostických metod, mnoha diagnostickými přístroji a vyhodnocovacími algoritmy. Autoři ovšem spatřují určitou slabinu právě v oblasti vyhodnocování diagnostických měření v souvislosti se stanovením optimálních hodnot diagnostických signálů pro údržbu (obnovu), které jsou základem pro stanovení dispozičních dob provozu (pro prediktivní údržbu). **Cílem autorů** je nalézt objektivní metodu pro stanovení hodnoty diagnostického signálu pro obnovu s ilustrací na příkladu.

Jako podklad pro optimalizaci preventivní údržby je třeba sledovat a vyhodnocovat **dobu provozu strojního prvku do jeho fyzického mezního stavu**, tj. do stavu, kdy strojní prvek ztrácí zcela schopnost plnit svoji funkci (např. v důsledku zadření, lomu, trhliny, koroze, přepálení, opotřebení apod.). Tato doba provozu může být také označována jako **fyzický život** strojního prvku.

Konkrétní objekty, např. stroje, výrobní linky apod., jsou tvořeny zpravidla velkým počtem strojních prvků s různými funkčními a spolehlivostními vlastnostmi, s rozdílnou složitostí, cenou apod. Z hlediska obnovy je můžeme rozdělit do dvou velkých skupin [1]:

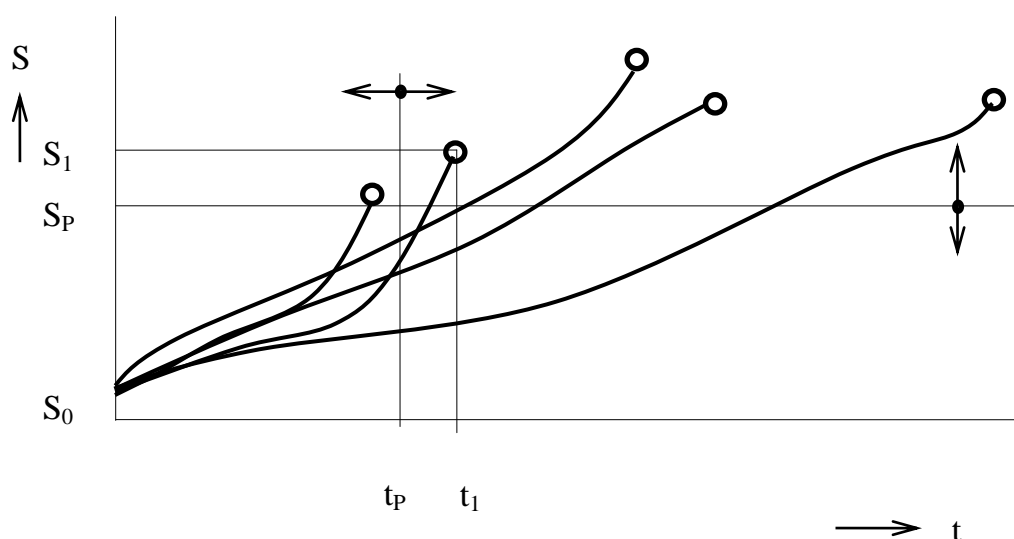
- a) neopravované prvky, obnovované výměnou za nové;
- b) opravované prvky, obnovované různými renovačními metodami.

Obdobně je možno rozdělit strojní prvky (strojní skupiny) z hlediska vnitřních změn jejich technického stavu do jiných dvou skupin:

- a) dvoustavové prvky, u nichž probíhající vnitřní změny technického stavu v důsledku jejich provozu nemají pozorovatelný, měřitelný nebo významný průběžný vnější projev ve změnách technicko-ekonomických parametrů stroje jako celku (např. tlakově mazaná kluzná ložiska motoru); jediným důvodem obnovy těchto dvoustavových prvků je riziko poruchy, která je vyvolána působením vnějších i vnitřních příčin; stavy prvků - označené (1, 0) - znamenají úplně provozuschopný a úplně neprovozuschopný stav,
- b) vícetavové prvky, u nichž probíhající změny technického stavu mají, kromě náhodné složky, průběžný, významný a měřitelný vnější projev ve změnách technicko-ekonomických parametrů stroje jako celku (např. pístní skupina motoru, kompresoru, axiální hydrostatický převodník apod.); důvodem k obnově je průběžné zhoršování provozně-ekonomických parametrů, přičemž riziko poruchy je velmi nízké až zanedbatelné.

2. Charakteristika experimentu

Předpokládejme, že existuje reálná možnost experimentálně sledovat soubor dvoustavových strojních, zpravidla neopravovaných prvků (např. kluzná a valivá ložiska, ozubená kola, žárovky, různé elektrotechnické a elektronické prvky aj.) až do jejich poruchy (do mezního fyzického stavu), a tím získat i příslušné hodnoty jejich fyzického života t . Předpokládejme dále, že u uvedených prvků lze průběžně sledovat a zjišťovat 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. 1. 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



Obr. 1 Závislost diagnostického signálu S na době provozu t , fyzický život a princip tvorby preventivní údržby

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 závisejí na ekonomických a provozních podmínkách používání daného strojního prvku a mohou se tedy měnit - viz schéma.

3. Metodika optimalizace preventivní diagnostické údržby

Základem **optimalizace preventivní údržby** je nalezení takového okamžiku, takové hodnoty **diagnostického signálu** (doby používání, doby provozu, provozního parametru, strukturního parametru, nákladového ukazatele), kdy provedená obnova (za předpokladu, že v tomto okamžiku prvek „žil“) zajišťuje dosažení **minimálních průměrných jednotkových nákladů na provoz a obnovu** daného objektu v průběhu jeho celého užitečného života.

Vstupní údaje pro výpočet optimálního intervalu preventivní údržby (obnovy, seřízení, opravy, výměny, renovace apod.) [2]:

- 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 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 $N_{Pe}(t_p)$ resp. na diagnostickém signálu $N_{Pe}(S_p)$,
- f) funkční závislost středních kumulativních nákladů na provoz objektu vyvolaných jeho diagnostikou (monitorováním technického stavu) v závislosti na intervalu preventivní údržby $N_{Pd}(t_p)$ resp. na diagnostickém signálu $N_{Pd}(S_p)$.

Na základě 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

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

resp.

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

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

$$\bar{t}(t_p) = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{m(t_p)} t_i(t_p) + \sum_{j=1}^{n-m(t_p)} t_j(t_p) \right] \quad (2a)$$

resp.

$$\bar{t}(S_p) = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{m(S_p)} t_i(S_p) + \sum_{j=1}^{n-m(S_p)} t_j(S_p) \right] \quad (2b)$$

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.

Pro dvoustavové prvky se zpravidla čítenel v obou rovnicích (1a) a (1b) 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.

Při konkretizaci výpočtu optimálních hodnot diagnostických signálů (normativů pro obnovu – údržbu) hledáme konkrétní vyjádření výše uvedených obecných funkčních závislostí (1) a (2). Pro funkci pravděpodobnosti poruchy v závislosti na diagnostickém signálu S použijeme Weibullovo rozdělení

$$F(S) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{S - S_z}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (3)$$

pro $S < S_z$; $F(S) = 0$

kde S_z je hodnota diagnostického signálu při prvním výskytu poruchy (třetí parametr Weibullova rozdělení), α a β jsou parametry Weibullova rozdělení.

Průběh střední doby provozu $\bar{t}(S)$ v závislosti na diagnostickém signálu S se vyznačuje degresivním přírůstkem, přičemž maximální hodnota střední doby provozu je rovna střednímu fyzickému životu \bar{t}_f strojního prvku při $S = S_{max}$ (empirické vyjádření) a $S \rightarrow \infty$ pro teoretické vyjádření závislosti. Těmto požadavkům odpovídá např. tato funkce

$$\bar{t}(S) = \bar{t}_f - \bar{t}_f \exp[-B(S - S_{zp})] \quad (4a)$$

kde B je parametr funkce střední doby provozu zjištěný metodami korelační a regresní analýzy a S_{zp} je průměrná hodnota diagnostického signálu na počátku provozu ($t=0$).

Závislost střední hodnoty diagnostického signálu na době provozu získáme pomocí inverzní funkce k funkci (4a), čili

$$S = S_{zp} + \frac{\ln\left(\frac{\bar{t}_f - \bar{t}}{\bar{t}_f}\right)}{-B} \quad (4b)$$

Hledanou závislost pravděpodobnosti poruchy $F(\bar{t})$ na střední době provozu \bar{t} získáme porovnáním rovnic (3) a (4b) – z rovnice (4a) vypočítáme hodnotu diagnostického signálu S a dosadíme do vztahu (3), čili

$$F(\bar{t}) = 1 - \exp\left\{-\left[\frac{B(S_z - S_{zp}) + \ln\left(\frac{\bar{t}_f - \bar{t}}{\bar{t}_f}\right)}{-\alpha B}\right]^\beta\right\} \quad (5)$$

Náklady na diagnostiku nejjednodušeji vyjádříme jako součin jednotkových nákladů na diagnostiku u_{pd} a střední doby provozu \bar{t}

$$N_{Pd}(\bar{t}) = u_{pd}\bar{t} \quad (6)$$

Jednotkové náklady na provoz a obnovu u získáme po malých úpravách dosazením rovnic (5) a (6) do vztahu (1b), pro $N_{pe}(S_p)=0$, čili

$$u(\bar{t}) = \frac{N_o + Z_h - Z_h \exp\left\{-\left[\frac{B(S_z - S_{zp}) + \ln\left(\frac{\bar{t}_f - \bar{t}}{\bar{t}_f}\right)}{-\alpha B}\right]^\beta\right\} + u_{pd}\bar{t}}{\bar{t}} \quad (7)$$

a okamžité jednotkové náklady v_P stanovíme derivací čitatele funkce (7) podle \bar{t} , čili

$$v_P(\bar{t}) = -Z_h \left[\frac{-(B(S_z - S_{zp}) + \ln(\frac{\bar{t}_f - \bar{t}}{\bar{t}_f}))}{\alpha B} \right]^\beta \cdot \frac{\beta}{(\bar{t}_f - \bar{t}) \left[B(S_z - S_{zp}) + \ln(\frac{\bar{t}_f - \bar{t}}{\bar{t}_f}) \right]} \cdot \exp \left\{ - \left[\frac{-(B(S_z - S_{zp}) + \ln(\frac{\bar{t}_f - \bar{t}}{\bar{t}_f}))}{\alpha B} \right]^\beta \right\} + u_{Pd} \quad (8)$$

Lze dokázat, že optimální hodnota (normativ) střední doby provozu leží v průsečíku funkcí (7) a (8), čili

$$u(\bar{t}_o) = v_P(\bar{t}_o) \quad (9)$$

Hledaný normativ diagnostického signálu S_o stanovíme z rovnice (4) po úpravách takto

$$S_o = S_{zp} + \frac{\ln(\frac{\bar{t}_f - \bar{t}_o}{\bar{t}_f})}{-B} \quad (10)$$

Uvedený obecný model optimalizace diagnostické údržby přiblížíme na níže uvedeném příkladu.

4. Příklad

Z provozních záznamů sledování spolehlivosti, diagnostikování technického stavu a sledování životnosti 80 vybraných strojních prvků byla specifikována tato vstupní data: $S_z=2,05$, $N_o=1000$ Kč, $Z_h=30000$ Kč. Absolutní četnosti f_{if} fyzického života jednotlivých skupin strojních prvků jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 Absolutní četnosti f_{if} fyzického života jednotlivých strojních prvků

Střední intervalů t_{fi} [1000 h]	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5
Absolutní četnosti f_{fi}	2	11	19	27	12	6	3

Absolutní četnosti f_{jsf} diagnostických signálů příslušejících poruchovým stavům jednotlivých skupin strojních prvků jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2 Absolutní četnosti f_{jsf} diagnostických signálů příslušejících poruchovým (fyzickým mezním) stavům jednotlivých skupin strojních prvků

Střední intervalů S_{fi}	2,4	3,1	3,8	4,5	5,2	5,9	6,6
Absolutní četnosti f_{Sfi}	3	8	27	23	11	6	2

Naměřené hodnoty diagnostických signálů S u 80 strojních prvků v pravidelných intervalech 3, 4, 5, 6 a 7 [1000 h] jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Naměřené hodnoty diagnostických signálů S v časech t=3, 4, 5, 6, a 7 [1000 h]

	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7
1	0,911	1,000	1,146	1,330	1,350
2	0,940	1,051	1,169	1,293	1,377
3	0,906	1,069	1,191	1,311	1,609
4	0,906	1,009	1,146	1,274	1,339
5	0,906	1,017	1,100	1,200	1,416
6	0,911	1,069	1,134	1,237	1,531
7	0,991	1,154	1,317	1,479	1,686
8	0,991	1,163	1,249	1,386	1,917
9	0,974	1,103	1,317	1,386	1,956
10	0,963	1,146	1,271	1,460	2,033
11	0,963	1,146	1,237	1,441	1,763
12	0,980	1,103	1,271	1,479	1,917
13	1,003	1,154	1,283	1,441	1,724
14	0,980	1,103	1,294	1,460	1,956
15	0,974	1,111	1,214	1,404	1,917
16	0,969	1,129	1,306	1,553	1,917
17	0,963	1,146	1,294	1,479	1,840
18	1,037	1,249	1,374	1,646	2,226
19	1,014	1,180	1,340	1,646	2,187
20	1,031	1,206	1,351	1,646	2,071
21	1,020	1,180	1,420	1,701	2,071
22	1,020	1,223	1,431	1,720	2,380
23	1,031	1,231	1,351	1,701	2,341
24	1,066	1,240	1,340	1,701	2,303
25	1,014	1,231	1,409	1,609	2,264
26	1,014	1,206	1,363	1,664	2,226
27	1,020	1,240	1,431	1,646	2,341
28	1,020	1,189	1,374	1,609	2,303
29	1,014	1,197	1,431	1,590	2,149
30	1,031	1,171	1,351	1,609	2,071
31	1,066	1,171	1,329	1,683	2,341
32	1,066	1,214	1,363	1,683	2,264
33	1,060	1,189	1,397	1,627	2,187
34	1,037	1,214	1,374	1,739	2,264
35	1,117	1,266	1,511	1,869	2,766
36	1,071	1,266	1,477	1,831	2,650
37	1,089	1,300	1,477	1,757	2,727
38	1,094	1,274	1,466	1,813	2,534
39	1,083	1,283	1,500	1,887	2,496
40	1,123	1,257	1,477	1,906	2,611

	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7
41	1,117	1,274	1,454	1,757	2,727
42	1,100	1,309	1,454	1,850	2,804
43	1,106	1,317	1,523	1,757	2,457
44	1,077	1,257	1,511	1,794	2,496
45	1,100	1,291	1,534	1,869	2,650
46	1,089	1,266	1,523	1,757	2,766
47	1,071	1,334	1,500	1,831	2,650
48	1,083	1,266	1,443	1,794	2,573
49	1,106	1,317	1,500	1,831	2,457
50	1,106	1,266	1,511	1,813	2,573
51	1,089	1,300	1,466	1,757	2,650
52	1,111	1,283	1,466	1,794	2,650
53	1,140	1,420	1,603	2,110	3,190
54	1,146	1,394	1,660	2,017	2,997
55	1,180	1,411	1,649	2,017	2,881
56	1,140	1,343	1,580	1,943	2,843
57	1,129	1,343	1,637	1,999	3,113
58	1,146	1,360	1,591	1,961	3,113
59	1,180	1,411	1,591	1,943	2,881
60	1,157	1,343	1,660	2,091	3,036
61	1,129	1,394	1,569	2,054	3,074
62	1,180	1,377	1,557	1,961	3,151
63	1,174	1,343	1,660	1,999	2,920
64	1,163	1,351	1,580	1,999	3,036
65	1,169	1,403	1,660	2,091	3,036
66	1,197	1,506	1,706	2,184	3,229
67	1,186	1,471	1,683	2,259	3,267
68	1,231	1,446	1,671	2,147	3,229
69	1,220	1,463	1,683	2,296	3,499
70	1,237	1,480	1,751	2,296	3,267
71	1,186	1,471	1,740	2,166	3,537
72	1,209	1,497	1,717	2,129	3,383
73	1,214	1,437	1,694	2,129	3,537
74	1,220	1,437	1,671	2,296	3,383
75	1,220	1,471	1,671	2,296	3,306
76	1,266	1,514	1,786	2,481	3,884
77	1,260	1,540	1,786	2,370	3,769
78	1,254	1,549	1,809	2,333	3,923
79	1,283	1,566	1,889	2,407	3,653
80	1,243	1,549	1,797	2,314	3,614

Řešení:

Z údajů uvedených v tab. 1 byly pomocí programu STATGRAPHICS vypočítány tyto charakteristiky: střední fyzický život strojních prvků \bar{t}_f , směrodatná odchylka fyzických životů s_{tf} , parametry Weibullova rozdělení α, β, t_z - viz tabulku 4.

Tab. 4 Charakteristiky fyzického života strojních prvků

\bar{t}_f	s_{tf}	α	β	t_z
8,7375	2,00786	5,6049	2,68185	3,75

Z údajů uvedených v tab. 2 byly vypočítány pomocí programu STATGRAPHICS tyto charakteristiky: střední hodnota diagnostického signálu příslušející fyzickému meznímu stavu S_{fs} , směrodatná odchylka diagnostických signálů příslušejících fyzickým mezním stavům s_{sf} , parametry Weibullova rozdělení α, β, S_z - viz tabulku 5.

Tab. 5 Charakteristiky diagnostických signálů příslušejících fyzickým mezním stavům

S_{fs}	s_{sf}	α	β	S_z
4,29875	0,906166	2,52494	2,6583	2,05

Z údajů uvedených v tabulce 3 a rovnice (4) (po dosazení $\bar{t}_f = 8,7375$) byla vypočítána pomocí programu EXCEL hodnota parametru $B=1,1512$ a $S_{zp}=0,906$. Nyní již můžeme dosadit zjištěné hodnoty jednotlivých parametrů do rovnice (4b), (7) a (8) a vypočítat příslušné funkční závislosti - viz tabulka 6.

Tab. 6 Závislost diagnostického signálu, průměrných a okamžitých jednotkových nákladů na střední době provozu – numerické stanovení normativu střední doby provozu pro obnovu (tučné políčko)

\bar{t}	3	4	5	6	6,797	7	8	8,7
$S(\bar{t})$	1,27	1,44	1,64	1,91	2,21	2,31	3,05	5,64
$u(\bar{t})$	383	300	250	217	200	203	484	3344
$v_p(\bar{t})$	50	50	50	50	200	411	7438	102451

Tab. 7 Závislost střední doby provozu, průměrných a okamžitých jednotkových nákladů době provozu

t	3	4	4,25	5	6	7	8	9	15
\bar{t}	3,00	4,00	4,249	4,99	5,95	6,81	7,52	8,04	8,73
$u(t)$	333,3	251,8	246,1	306,7	586,0	1058,8	1644,5	2242,0	3544,8
$v_p(t)$	0,0	76,8	246,1	1130,4	2836,4	4552,2	5598,8	5556,4	71,2

Uvedené závislosti v tab. 6 jsou rovněž velmi názorně zobrazeny na obr. 2, odkud je zřejmé, že funkce okamžitých jednotkových nákladů v_p protíná funkci průměrných jednotkových nákladů u v jejich minimální hodnotě a současně průsečík těchto funkcí určuje úsečku normativu střední doby provozu pro obnovu $\bar{t}_o=6,797$. Z tohoto obrázku je možné i odečíst hodnotu normativu diagnostického signálu pro obnovu (údržbu) $S_o=2,21$ a lze ji i vypočítat (po dosazení \bar{t}_o) ze vztahu (10).

Pro srovnání uvádíme výpočet nákladových položek pro strategii údržby, kdy nebude aplikována diagnostika a obnova bude prováděna pouze na základě sledování doby provozu, tj. vždy po uplynutí určitého časového intervalu. Potom jednotkové náklady budou dány vztahem

$$u(t) = \frac{N_o + Z_h \left[1 - \exp\left(\frac{t-t_z}{\alpha}\right)^\beta \right]}{\bar{t}(t)} \quad (11)$$

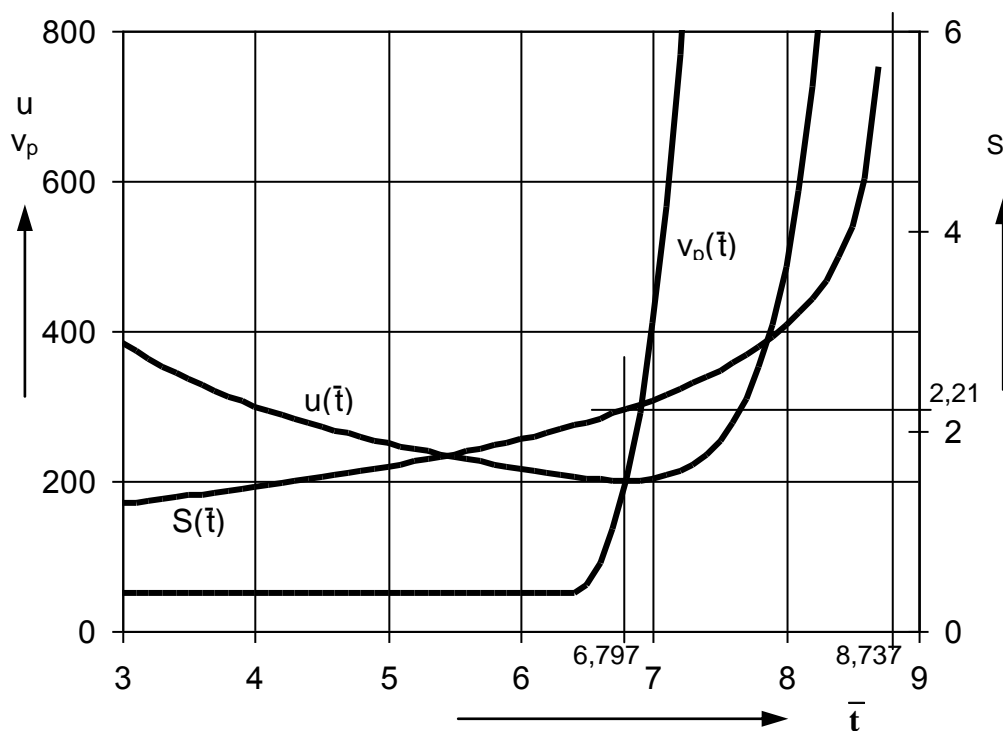
kde $\bar{t}(t) = t$ pro $t \in \langle 0; t_z \rangle$ (12a)

$$\bar{t}(t) = t_z + \int_{t_z}^t \exp\left[-\left(\frac{x-t_z}{\alpha}\right)^\beta\right] dx \quad \text{pro } t \in \langle t_z; \infty \rangle \quad (12b)$$

a okamžité jednotkové náklady budou dány vztahem

$$v_p(t) = Z_h \frac{(t-t_z)^\beta}{\alpha} \frac{\beta}{t-t_z} \exp\left[-\left(\frac{t-t_z}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (13)$$

Průběh jednotlivých veličin pro tento případ je patrný z obrázku 3 a vybrané číselné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7.

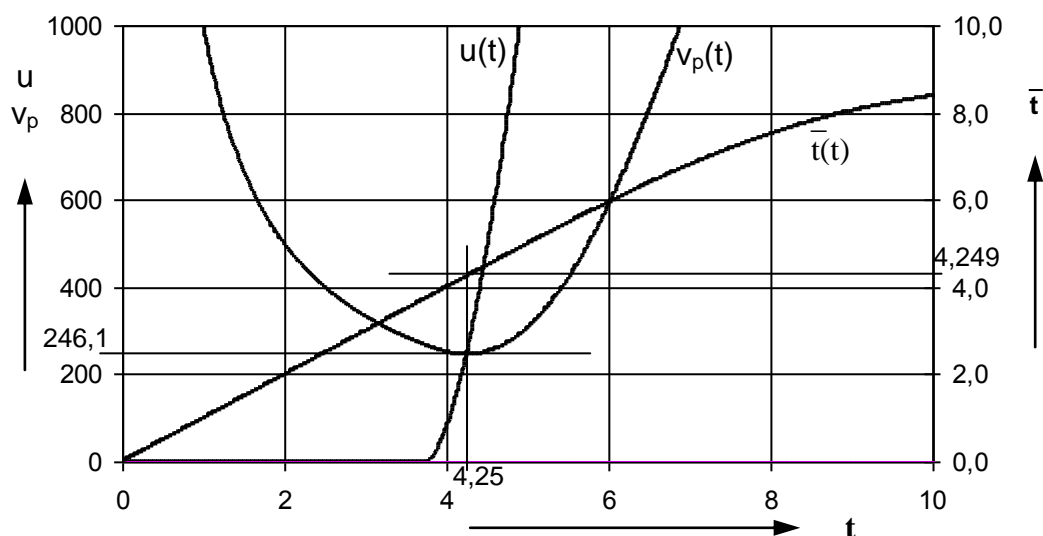


Obr. 2 Závislost diagnostického signálu, průměrných a okamžitých jednotkových nákladů na střední době provozu – grafické stanovení normativu střední doby provozu a diagnostického signálu pro obnovu.

5. Závěr

Je zřejmé, že konkrétní **proces optimalizace diagnostické údržby** – stanovení **normativů** diagnostických signálů pro obnovu vyžaduje v provozních podmínkách experimentálně určit ukazatele životnosti, závislost doby provozu na diagnostickém signálu a náklady na obnovu, diagnostiku a ztráty z havarijní poruchy. K získání hodnot fyzického života je nutné nechat experiment (zkoušku životnosti) proběhnout až do dosažení fyzického mezního stavu jednotlivých sledovaných prvků (obr. 1), což současně umožňuje i získání havarijní ztráty a funkce střední doby provozu.

Náklady na obnovu lze stanovit jednoduchým způsobem z evidence nebo kalkulace příslušných nákladových položek. Praktické stanovení normativů je tedy podmíněno nejenom realizací příslušné zkoušky životnosti, ale i systematickým sledováním daných **nákladových položek** a jejich archivací, což v současné době umožňuje snadno dostupná výpočetní technika.



Obr. 3 Závislost průměrných a okamžitých jednotkových nákladů a střední doby provozu na době provozu.

Z uvedených výsledků pro zvolený příklad je zřejmé, že aplikace diagnostické obnovy přináší nejnižší průměrné jednotkové náklady na provoz a obnovu ($u = 200$ Kč/1000 h – viz tab.6), což vyplývá z porovnání s průměrnými jednotkovými náklady na provoz a obnovu při optimální strategii periodické (věkové) obnovy ($u = 246,10$ Kč/1000 h – viz tab. 7). Nejvyšší průměrné jednotkové náklady na provoz a obnovu jsou pro tento příklad při strategii obnovy po poruše ($u \approx 3544,80$ Kč/1000 h – viz tab. 7).

V případě, že většina těchto údajů chybí, musíme vyhodnocovat diagnostické signály velmi zjednodušeně. Toto vyhodnocení lze založit především na **analýze rychlosti změn** (zhoršování) jednotlivých diagnostických parametrů, přičemž dosažení zdůvodněného technického mezního stavu (v tomto případě vždy má předcházet fyzickému meznímu stavu) je vizuálně, případně akusticky signalizováno operátorovi sledovaného zařízení.

Literatura:

- [1] LEGÁT, V.: Stanovení normativu pro obnovu dvoustavových strojních prvků s jednorázovým použitím. In: Zemědělská technika, ročník 36, č. 1, ÚVTIZ Praha 1990, s. 1-13.
- [2] LEGÁT, V., ŽALUDOVÁ, A., ČERVENKA, V., JURČA, V. (1996) Contribution to optimization of preventive replacement. In: *Reliability Engineering and System Safety* 51, Elsevier Science Limited, s. 259 - 266. ISSN 0951-8320

NÁVRH KONCEPCE SPOLEHLIVOSTI ZAŘÍZENÍ

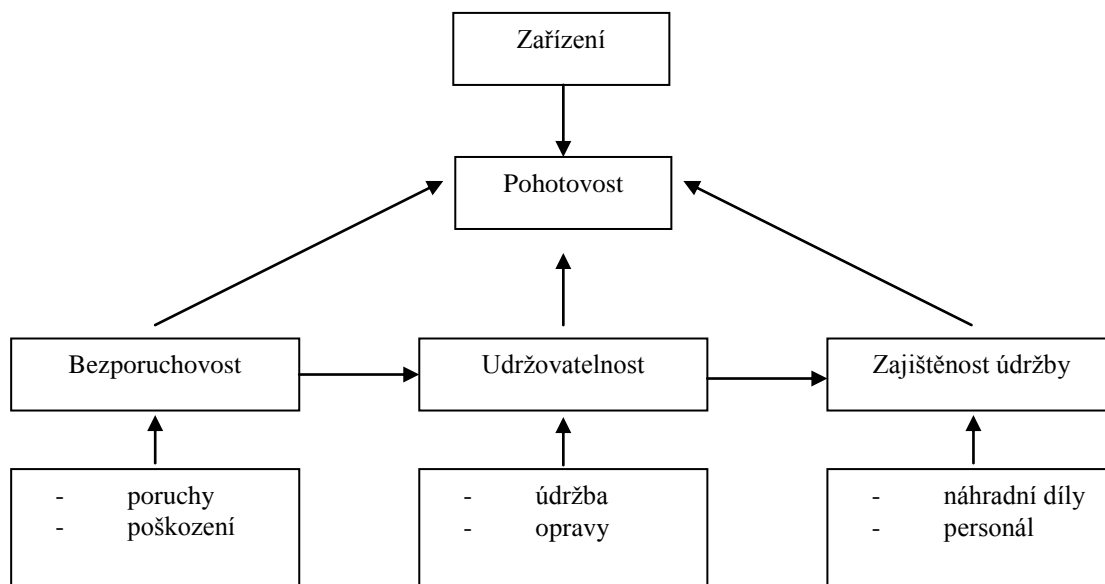
Ing. Zdeněk Vyjídaček

NOSTA-HERTZ, s.r.o.

V rámci projektu TPM je ve společnosti KOZR realizován model koncepce spolehlivosti zařízení. Následující příspěvek uvádí jeho úvodní charakteristiky.

Za spolehlivost považujeme takovou vlastnost zařízení, která mu umožňuje plnit určené funkce v požadované době a v určených podmínkách. Je chápána jako pohotovost zařízení vyrábět a je určena těmito třemi faktory:

- **bezporuchovost**
- **udržovatelnost**
- **zajištěnost údržby**



Pohotovost – schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadovanou funkci v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo intervalu, za předpokladu, že jsou zajištěny požadované vnější podmínky;

Bezporuchovost – schopnost objektu plnit (nepřetržitě) požadovanou funkci v daných podmínkách v daném časovém období;

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

Zajištěnost údržby – schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat dle požadavků v daných podmínkách (které se vztahují jak na vlastní objekt, tak na podmínky užívání i údržby) prostředky potřebné pro údržbu podle dané koncepce údržby;

ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ZAŘÍZENÍ DO KATEGORIÍ

Základní rozdělení zařízení do kategorií se provádí podle vyplněného „Tiskopisu pro validaci údržby“. Základní rozdělení slouží pro diferencovaný přístup k údržbě jednotlivých druhů zařízení.

Kategorie členění

KATEGORIE ZAŘÍZENÍ Z POHLEDU VLIVU NA VÝROBU A ZABEZPEČENÍ VÝROBY, JEHO NAHRADITELNOSTI V RÁMCI KOČR.

- I. **Strategické** – zařízení, které je naprosto unikátní nebo zařízení, které není nahraditelné v rámci KOČR.
- II. **Ostatní**

Kategorie hodnocení

KATEGORIE ZAŘÍZENÍ Z HLEDISKA POHLEDU NA ZAŘÍZENÍ (EKONOMICKÉ, SPOTŘEBA ND, UKAZATELŮ DŮLEŽITOSTI VSTUPŮ, POŽADAVKU NA SLEDOVÁNÍ APOD.).

- I. sledované
- II. nesledované

Kategorie rizik

Kategorie zařízení z hlediska pohledu na poruchové stavy, možnosti následků a eliminace těchto stavů

- I. **kritické** – výpadek zařízení může způsobit zastavení výroby
- II. **důležité** - výpadek zařízení může způsobit omezení výroby
- III. **nedůležité** – výpadek neovlivní výrobu

KATEGORIE ZAŘÍZENÍ A JEJICH VZÁJEMNÉ VAZBY.		
<u>STRATEGICKÉ</u>	<u>SLEDOVANÉ</u>	<i>KRITICKÉ</i> <i>Důležité</i> <i>Nedůležité</i>
<u>OSTATNÍ</u>	<u>SLEDOVANÉ</u>	<i>DŮLEŽITÉ</i> <i>Nedůležité</i>
	NESLEDOVANÉ	<i>DŮLEŽITÉ</i> <i>Nedůležité</i>

POHOTOVOST ZAŘÍZENÍ

Pohotovost zařízení je zabezpečována diferencovaně podle kategorie zařízení a odpovědností za faktory, které ji ovlivňují.

- I. kritické
- II. důležité
- III. Nedůležité

Faktor	nástroje	odpovědnost
Bezporuchovost Ukazatel doby do poruchy Záruky výrobce	Technická dokumentace	Vedoucí střediska Ten, kdo uzavírá smlouvu
Udržovatelnost Doba potřebná pro provádění údržby Preventivní údržba - plánovaná - diagnostická	Plány údržby Diagnostická zařízení Dokumentace od výrobce	APB
Zajištěnost údržby Náhradní díly Personál Odborníci Externí údržba	Přehled náhradních dílů Kvalifikace údržbářů Dosažitelnost údržby	Vedoucí střediska Ten, kdo uzavírá smlouvu APB

Pro zařízení v této kategorii je nutno stanovit způsob zabezpečení jednotlivých faktorů.

VALIDACE ÚDRŽBY

Validace údržby je prováděna na základě požadavku pracovníka odpovědného za středisko. Jedná-li se o zařízení, které svou povahou splňuje kritérium **strategického zařízení** je validace požadována po oddělení APB, které ji provede. Jedná-li se o **zařízení ostatní**, provádí pracovník odpovědný za středisko validaci sám podle „Tiskopisu pro validaci údržby“ (viz příloha).

APB kontaktuje v případě, že se zařízení jeví jako rizikové v otázkách:

- stanovení faktorů bezporuchovosti
- určení nástrojů pro zabezpečení bezporuchovosti
- způsobu zajištěnosti údržby.

SCÉNÁŘE PRO JEDNOTLIVÉ FAKTORY SPOLEHLIVOSTI

Pro zajištění spolehlivosti (pohotovosti) zařízení jsou vytvořeny scénáře pro jednotlivé faktory.

Udržovatelnost

Tento faktor je ovlivněn dobou preventivní údržby a dobou oprav (údržby po poruše). Stanovuje kolik času potřebujeme, abychom zařízení vrátili do provozuschopného stavu.

Jednotlivé údaje se získávají na základě historických údajů, zkušeností pracovníků nebo odhadem.

Záznam a vyhodnocení se provádí podle „Tiskopisu pro určení udržovatelnosti“.

Bezporuchovost

Tento faktor ovlivňuje především pravděpodobnost vzniku poruch.

Pro stanovení kritéria bezporuchovosti byl vybrán ukazatel Ts – střední doba do poruchy (střední doba bezporuchového provozu).

Zajištěnost údržby

Co musíme udělat pro to, aby se zkracovala doba údržby a prodlužovala se střední doba do poruchy.

Náhradní díly

Personál

Smlouvy

Příloha:

Checklist pro validaci údržby

Datum: _____

Č.artiklu: _____

Název: _____

Zákazník: _____

Podskupina: _____

Č.operace: _____

Č.	Kritérium	Kategorie zařízení
1		
1/1	Zařízení je nenahraditelné	strategické
1/2	Zařízení je nahraditelné mimo KOČR koncern	strategické
1/3	Zařízení je nahraditelné v rámci KOČR koncern	strategické
1/4	Zařízení je nahraditelné mimo KOČR (v rámci ČR)	strategické
1/5	Zařízení je nahraditelné v rámci KOČR s omezením	ostatní
1/6	Zařízení je nahraditelné v rámci KOČR bez omezení	ostatní

2		
2/1	Servis není zajištěn.	kritické
2/2	Servis je zajistitelný netuzemským dodavatelem bez smlouvy	kritické
2/3	Servis je zajistitelný tuzemským dodavatelem bez smlouvy	kritické
2/4	Servis je zajištěn netuzemským dodavatelem smluvně	důležité
2/5	Servis je zajištěn tuzemským dodavatelem smluvně	důležité
2/6	Servis provádí odborné pracoviště KOČR po zaškolení.	důležité
2/7	Servis provádí odborné pracoviště KOČR bez zaškolení.	nedůležité
2/8	Servis standardně provádí seřizovač	nedůležité
3		
3/1	ND nejsou dostupné	kritické
3/2	ND jsou dostupné na objednání mimo ČR (delší dodací lhůta)	kritické
3/3	ND jsou dostupné na objednání v rámci KOČR koncern (delší dodací lhůta)	kritické
3/4	ND jsou dostupné na objednání v rámci ČR (delší dodací lhůta)	kritické
3/5	ND jsou dostupné skladem u smluvního dodavatele (mimo ČR)	důležité
3/6	ND jsou dostupné skladem u smluvního dodavatele (v rámci ČR)	důležité
3/7	ND jsou dostupné skladem v rámci koncernu	důležité
3/8	ND jsou dostupné v KOČR	nedůležité
4		
4/1	Dokumentace není k dispozici	důležité
4/2	Dokumentace je k dispozici u dodavatele	důležité
4/3	Dokumentace je k dispozici v KOČR a není naskenována	nedůležité
4/4	Dokumentace je k dispozici v KOČR a je naskenována	Nedůležité

5		
5/1	Vytižení je více než 95%. (kapacita je nezajistitelná)	kritické
5/2	Vytižení je 84 - 95%. (kapacita je riziková)	kritické
5/3	Vytižení je 71 - 83%. (kapacita je vyhovující)	důležité
5/4	Vytižení je do 70%. (kapacita je dostatečná)	nedůležité

Jedná-li se o strategické zařízení bylo předáno hlášení do ARC WIEV

ANO

Jméno kdo hlášení předal: _____

Podpis: _____

Poznámky:

validaci provedl: _____

MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ A VYUŽITÍ DAT Z ŘÍZENÍ ÚDRŽBY

Doc. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

katedra jakosti a spolehlivosti strojů, technická fakulta ČZU v Praze

1. Úvod

Zavádění systémů řízení jakosti v údržbě do podniků v ČR, které v posledních letech souviselo zejména s praktickým uplatňováním norem řady ISO 9000, přináší mimo jiné i dříve nebývalé možnosti analýz dat, která jsou v rámci systému řízení údržby evidována a elektronicky ukládána. Základním požadavkem na systém jakosti v údržbě je úplná dokumentace všech stěžejních údajů o systému - musí být jasně dáno kdy, kdo, jak a čím má kterou údržbu provádět, musí být zpětně zjistitelné jak, kým a kdy byla údržba provedena, jaké náklady byly na které údržby vynaloženy apod. Uložená data o údržbách běžně slouží k plánování údržeb a rozličným provozním analýzám systému údržeb - např. ke zjišťování nákladovosti, pracnosti či délky prostojů zvoleného objektu za zvolené období, ke stanovení měsíčních nákladů na údržby po jednotlivých útvarech či výrobních linkách podniku, ke sledování poruchovosti strojů a tím odstraňování častých příčin poruch, k sumarizaci odpracovaných hodin jednotlivými údržbáři za období aj.

Z evidovaných dat lze však při znalosti teoretických východisek získat vhodnými postupy i řadu dalších ukazatelů, které mohou výrazně pomoci při plánování i hodnocení systému údržby. Tento příspěvek se v rámci omezeného rozsahu velmi stručně zabývá praktickými příklady stanovení a hodnocení těchto dalších ukazatelů, které byly získány z reálných dat podniků využívajících počítačové řízení údržby.

2. Příklady zpracování reálných dat

Pro zlepšování systému jakosti v údržbě je velmi vhodné sledovat a evidovat nejen prostoje celkové, ale i jejich dílčí položky - pravidelným hodnocením podílu dílčích položek prostojů lze kontinuálně provádět nápravná opatření, která jsou zaměřena na zlepšení situace v oblastech s nepřiměřeným podílem na prostojích výrobního zařízení. Příkladem hodnocení dílčích prostojů může být zpracování jejich trendu za delší časové období (min. 6 měsíců), kde je důležité hodnotit nejen trend absolutního počtu hodin prostojů v jednotlivých kategoriích, ale i jejich procentuální podíly na prostojích celkových. Jako příklad je níže uvedena tabulka počtu hodin dílčích prostojů při údržbě za 6 měsíců.

Tab. 1 Počty hodin dílčích položek prostojů

	VI.02	VII.02	VIII.02	IX.02	X.02	XI.02
obsluha	29,3	25,3	22,4	26,5	19,4	14,4
údržba	92,3	90,4	88,3	96,3	82,3	68,2
organizační	28,9	26,3	22,1	25,3	15,4	10,6
technologické	14,2	18,2	12,5	14,8	12,5	10,2
jiné	5,6	6,8	5,2	3,5	3,2	2,6
celkem	170,3	167,0	150,5	166,4	132,8	106,0

1. Počítačová evidence údržeb začala být v podniku aplikována v době používání stroje $t=640$ dní. Do této doby byla evidence údržeb včetně nákladů prováděna zápisy do sešitu údržeb stroje a podle sešitu údržeb lisu bylo za prvních 640 dní provozu stroje na údržbu vynaloženo 310 tis. Kč. Z nákladů na údržby evidovaných později v počítači však snadno zjistíme, že do zavedení systému preventivních údržeb (při cca 940 dnech provozu lisu) bylo na údržby vynakládáno v průměru přibližně 2000 Kč denně a po zavedení systému plánovaných preventivních údržeb zhruba 1000 Kč denně. Do doby používání stroje 640 dní tedy i při této nižší částce vycházejí náklady na údržbu minimálně 640 tis. Kč a nikoli pouze 310 tis. Kč. **Je tím potvrzen známý fakt, že nesnadno zpracovatelná „papírová“ evidence údržeb je velmi nepřesná a neúplná.**
2. Zavedení systému plánovaných preventivních údržeb při cca 940 dnech provozu lisu a tím výrazné omezení výskytu údržeb po poruše snížilo dlouhodobě náklady na údržby lisu. Z grafu je však také zřejmé, že ke snížení nákladů dochází až po implementační fázi systému preventivních údržeb a že v této fázi obvykle náklady na údržby krátkodobě vzrostou, což je logické. Avšak v delším časovém horizontu dobrý systém plánované preventivní údržby náklady výrazně snižuje - pokud si představíme trend růstu nákladů v části „údržby po poruše“ (tečkovaná přímka), zjistíme, že by lis při pokračování systému údržeb po poruše dosáhl kumulativních nákladů na údržby 1,4 mil. Kč o 190 dní provozu dříve. **Po zavedení systému plánované preventivní údržby a jednorázové komplexní údržbě lisu se nadále náklady na údržby snížily téměř na polovinu.**
3. Při době používání lisu cca 1370 dní přesto došlo k přehřátí ložiska podavače s následkem požáru stroje. Po prošetření příčin závady ložiska byl výrazně upraven dosavadní mazací plán stroje tak, aby se situace neopakovala. **Zavedený systém údržeb je třeba průběžně vyhodnocovat a korigovat.**
4. Proložíme-li evidované náklady na údržby spojnicí trendu (čerchovaná přímka), zjistíme, že při dlouhodobější evidenci dat lze aplikovat lineární závislost se slušnou hodnotou spolehlivosti $R^2=0,9706$. Použijeme-li pro spojnicí trendu mocninnou funkci, je hodnota spolehlivosti o 2 setiny nižší. Avšak zpracujeme-li obdobně pouze data do $t=940$ dní (údržby po poruše), je mocninná závislost ($R^2=0,987$) o něco těsnější než lineární ($R^2=0,985$). **Vhodný systém plánovaných preventivních údržeb snižuje progresivitu růstu nákladů na údržby při stárnutí stroje.**
5. Výhodou počítačové evidence údržeb je i ta skutečnost, že pokud chceme zpětně dohledat důvody různých anomálií v průbězích graficky zpracovaných dat, stačí v požadované době provozu, kdy se anomálie vyskytuje, prohlédnout i další položky databází, zejména poznámky k údržbám a náplně jednotlivých stupňů údržeb (viz v grafu údržba za 73 tis. Kč a požár stroje v době provozu 1380 dní). Pokud by nás dále zajímal např. důvod snížení nákladů na údržby v době používání lisu 780-800 dní, lze si opět i na základě poznámek k údržbám („Úprava programu a úklid zařízení“, dále 3 dny vždy „GO převodovky“, „Ustavování a kontrola souososti hřídelí“) vzpomenout, že v té době probíhala celozávodní dovolená a stroj tudíž nebyl v provozu.
6. Vynesli-li bychom do grafu jednotkové náklady na údržby počítané při každé provedené údržbě, bylo by na něm dobře vidět, že náklady na údržby do stroje investované se v následujícím období projevují snížením poruchovosti stroje i při systému údržeb po poruše. **Po zavedení systému preventivních údržeb pak výrazně klesají** (v uvedeném příkladu od cca 1000 dní provozu).

3. Použitá literatura

1. Legát,V.- Jurča,V.: *Management jakosti v údržbě*. Monografie, ČSJ, Praha, 1999.
2. Jurča,V.- Hladík,T.: *Možnosti využití dat z počítačového řízení údržby*. In: Mezinárodní vědecké sympozium „Kvalita a spolehlivost strojov“, Nitra, 2003.
3. Jurča,V.-Hladík,T.-Aleš,Z.: *Možnosti zpracování a využití dat z řízení údržby*. Monografie, ČSJ, Praha, 2003.

Identifikace autora:

Doc.Ing. Vladimír Jurča, CSc.

katedra jakosti a spolehlivosti strojů technické fakulty ČZU v Praze

Kamýčká 129, 165 21 Praha-Suchbátol

tel.: 2 2438 3322, e-mail: jurca@tf.czu.cz