

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

**ÚDRŽBA ZAMĚŘENÁ NA
BEZPORUCHOVOST (RCM)**



**MATERIÁLY ZE XVII. SETKÁNÍ
ODBORNÉ SKUPINY PRO SPOLEHLIVOST**

Praha, listopad 2004

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚDRŽBA ZAMĚŘENÁ NA BEZPORUCHOVOST RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE <i>Prof. Ing. Václav Legát, DrSc.</i> | 3 |
| PRAKTICKÝ PŘÍSTUP K UPLATŇOVÁNÍ ÚDRŽBY ZAMĚŘENÉ NA BEZPORUCHOVOST <i>Ing. Pavel Fuchs, CSc.</i> | 14 |
| SPRÁVNÁ TECHNOLOGIE ÚDRŽBY ZLEPŠUJE BEZPORUCHOVOST VÝROBNÍHO ZAŘÍZENÍ <i>Prof. Ing, Josef Pošta, CSc.</i> | 25 |

ÚDRŽBA ZAMĚŘENÁ NA BEZPORUCHOVOST

RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE

Václav LEGÁT

Technická fakulta, katedra jakosti a spolehlivosti strojů ČZU v Praze

ABSTRACT:

Reliability centred maintenance (RCM) is a method for establishing a preventive maintenance program which will efficiently and effectively achieve the inherent reliability and safety levels of equipment. It is a methodology which can be applied to the development of a preventive maintenance program and results in improved component reliability and minimized overall program costs. The intended end result is improved overall equipment safety, availability and economic operation.

Údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM) je metoda pro zavedení programu preventivní údržby, který umožní účelně a účinně dosáhnout požadované úrovně bezpečnosti a pohotovosti výrobního zařízení, a je určena k tomu, aby vedla ke zlepšení celkové bezpečnosti, pohotovosti a hospodárnosti provozu. **Cílem** tohoto příspěvku je přiblížit tuto normovanou metodu [1] (jako jeden z nástrojů zlepšování jakosti údržby) širší odborné veřejnosti.

1. ZÁKLADNÍ PRINCIPY METODY RCM

Metoda RCM umožňuje používat **strom logického rozhodování** ke zjišťování použitelných a efektivních požadavků na preventivní údržbu pro výrobní zařízení podle **bezpečnostních, provozních a ekonomických** důsledků zjistitelných poruch a podle mechanismu degradace způsobujícího tyto poruchy. Konečným výsledkem práce s použitím rozhodovací logiky je posouzení nutnosti provádění určitého úkolu (operace, zásahu) údržby. **Princip metody RCM** spočívá v těchto krocích:

- a) definují se hranice systému (stroje nebo zařízení) a/nebo subsystému (částí stroje nebo zařízení),
- b) definují se funkce každého systému a/nebo subsystému
- c) identifikují se funkčně významné prvky (FSI - např. vybrané součásti, strojní podskupiny nebo skupiny, části zařízení, objekty apod.),
- d) identifikují se příslušné příčiny poruch funkce funkčně významných prvků (FSI),
- e) předvídají se následky těchto poruch a pravděpodobnosti jejich výskytu,
- f) používá se strom logického rozhodování ke kategorizaci následků poruch FSI,
- g) identifikují se použitelné a efektivní údržbářské zásahy (operace), které tvoří počáteční program údržby,
- h) jestliže nelze identifikovat žádné použitelné a efektivní údržbářské zásahy, potom se daný prvek nebo proces přepracuje,
- i) zavede se dynamický program údržby, který vyplývá z rutinní a systematické aktualizace počátečního programu údržby a z jeho revizí pomocí sledování, sběru a analýzy dat z provozu.

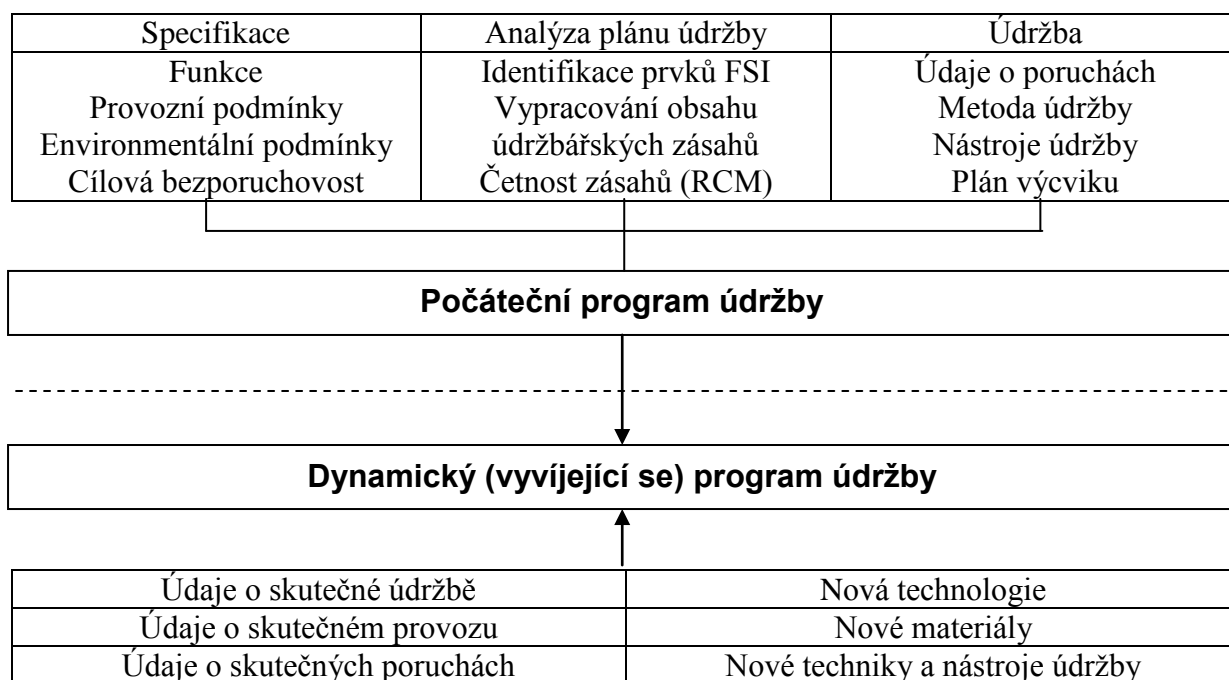
U všech takto navrhovaných údržbářských zásahů (operací) je základním cílem dosažení **bezpečnosti** pracovníků a eliminace nežádoucích **environmentálních** dopadů, jakož

i dosažení provozních a **ekonomických** požadavků. Je však třeba poznamenat, že uvažovaná kritéria zpravidla závisejí na charakteru používaného stroje nebo výrobního zařízení a na jeho způsobu využívání. Např. u výrobního zařízení se požaduje vysoká bezpečnost, spolehlivost, malé nebo žádné environmentální dopady a vysoká efektivnost provozu, zatímco vojenská technika má být hlavně provozně účinná a pohotová, ale nemusí mít tak přísná kritéria na bezpečnost, hospodárnost a environmentální dopady. Důležitost určitých výše uvedených kroků, např. identifikace prvků považovaných za funkčně významné zpravidla závisí na způsobu jejich použití.

Úspěšná aplikace metody RCM vyžaduje dobrou znalost a pochopení funkce systému a jeho prvků spolu s identifikací a pochopením možných poruch a důsledků těchto poruch. Metoda RCM má **největší naději na úspěch** všude tam, kde údržba může předejít poruchám, které by mohly mít vážné následky pro bezpečnost, životní prostředí nebo ekonomiku provozu.

2. PRINCIP VYPRACOVÁNÍ PROGRAMŮ PREVENTIVNÍ ÚDRŽBY ZALOŽENÝCH NA RCM

Program údržby je souborem úkolů (zásahů, operací), které vyplývají z analýzy RCM. Programy údržby se obecně skládají z počátečního programu a z neustále se vyvíjejícího dynamického programu, jak je znázorněno na obr. 1.



Obr. 1 Postup vypracování dynamického programu údržby

Počáteční program údržby vypracovává zpravidla výrobce před uvedením výrobního zařízení (systému) do provozu. **Dynamický program** údržby vychází z počátečního programu a vypracovává jej uživatel systému pokud možno co nejdříve po zahájení provozu (po skončení záručního období), přičemž vychází z údajů o skutečné degradaci, poruchách a z pokroku technologie, materiálů, technik údržby a nástrojů.

Pro vypracování efektivního programu údržby je nutné definovat:

- a) cíle programu údržby,
- b) metodu pro vypracování programu údržby,

c) obsah programu údržby.

Cíle programu údržby:

- udržovat funkci systému v mezích požadované bezpečnosti,
- udržovat úroveň vnitřní bezpečnosti a bezporuchovosti,
- optimalizovat pohotovost,
- získat informace nutné pro zlepšení návrhu těch prvků systému, jejichž vnitřní bezporuchovost se ukázala jako nepřiměřená,
- uskutečnit tyto cíle s minimálními celkovými náklady životního cyklu,
- získat informace nutné pro zavedení dynamického programu údržby.

Metoda pro vypracování programu údržby:

Program se vypracuje s použitím logického přístupu a pro stanovení údržbářských zásahů (operací) se použije strom logického rozhodování. Údržbářské zásahy jsou orientované na jednotlivé vytypované prvky systému.

Obsah programu údržby:

a) skupina **preventivních údržbářských zásahů** vykonávaných v určitých intervalech založených na době provozu nebo ukazatelích technického stavu s cílem identifikovat degradaci a zabránit tomu, aby tato degradace snížila bezpečnost a bezporuchovost pod požadovanou úroveň s využitím těchto prostředků (druhů zásahů):

1. Udržování (ošetření a mazání);
2. Provozní (vizuální nebo automatická) kontrola funkce;
3. Prohlídka (technická, diagnostická, inspekční, revizní), monitorování stavu;
4. Obnova (seřízení, oprava, výměna, renovace);
5. Vyřazení (likvidace, sešrotování).

b) skupina **neplánovaných údržbářských zásahů**, která vychází:

- ze závěrů plánovaných údržbářských zásahů ve specifikovaných intervalech doby provozu nebo technického stavu,
- ze zpráv (včetně automatické detekce) o nesprávné funkci nebo náznacích hrozících poruch.

Efektivní program údržby obsahuje pouze takové údržbářské zásahy, jež jsou nutné ke splnění stanovených cílů. Ze zkušenosti je prokázáno, že nepřiměřené a zbytečné údržbářské zásahy spíše zhoršují bezporuchovost systému a zvyšují náklady na údržbu.

3. POSTUP VYPRACOVÁNÍ PROGRAMU PREVENTIVNÍ ÚDRŽBY ZALOŽENÉHO NA RCM

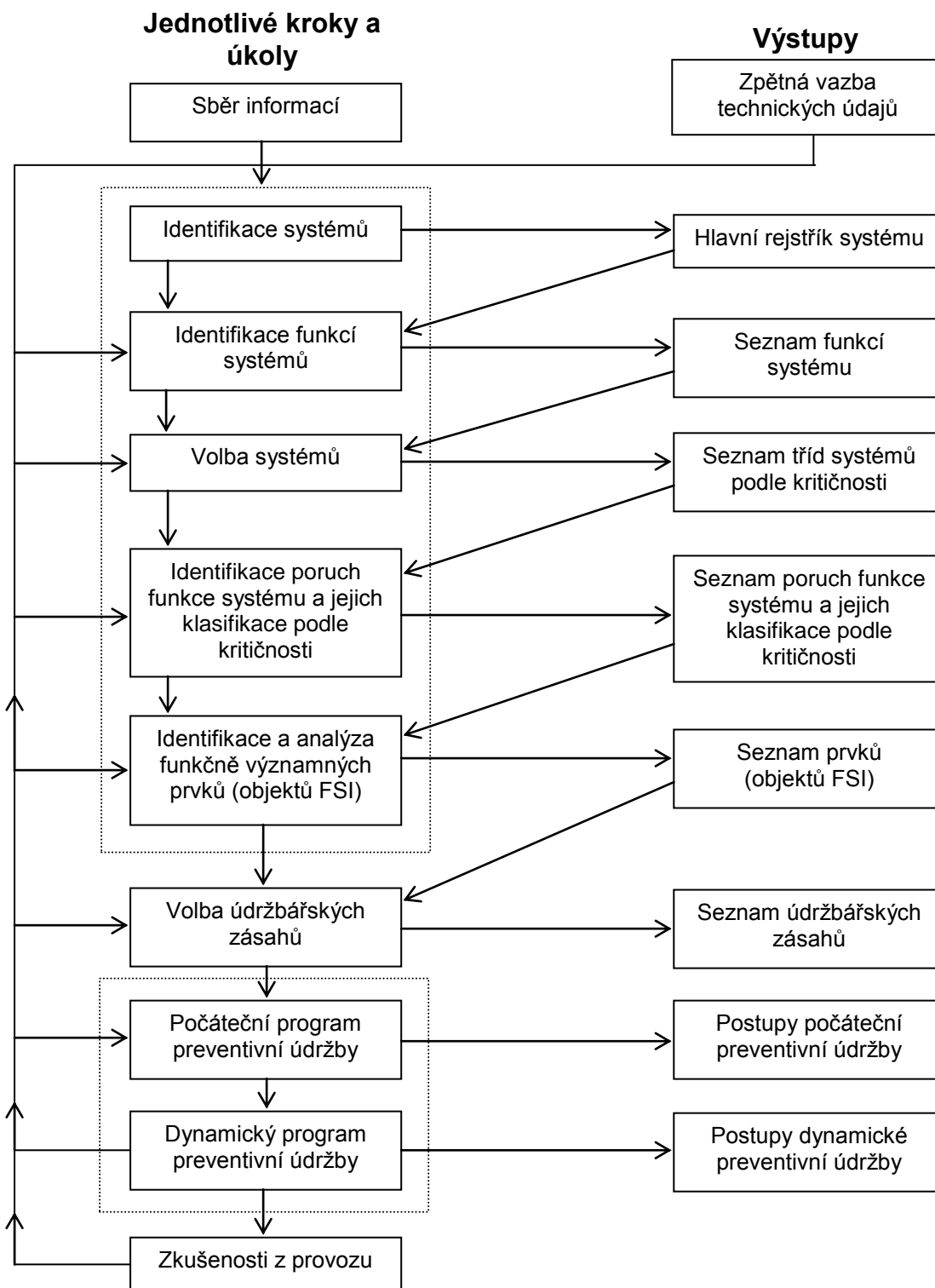
Základní kroky postupu vypracování programu preventivní údržby založeného na RCM jsou znázorněny na obr. 2. Při vypracování programu RCM jsou základními nástroji vývojový logický diagram na obr. 3 a 4, kritéria výběru druhu údržbářského zásahu v tabulce 1.

Vypracování programu RCM dále vychází:

- z identifikace funkčně významných prvků systému (FSI),
- z identifikace použitelných a efektivních preventivních údržbářských zásahů s použitím stromu logického rozhodování.

Funkčně významný prvek systému je prvek, jehož porucha by mohla ovlivnit bezpečnost nebo by mohla mít významný provozní či ekonomický dopad. Proces identifikace prvků FSI vychází z předvídaných důsledků poruch s použitím analytického přístupu a dobrého odborného úsudku. Identifikace FSI postupuje od systému k subsystémům a pokud je to účelné končí až u jednotlivých prvků. Dále je třeba stanovit hranice systémů a subsystémů, vybrat kritické systémy a pro ně udělat analýzu funkce a poruch.

Hloubka aplikace jednotlivých kroků a úkolů vypracování programu preventivní údržby založeného na RCM se také mění v závislosti na složitosti, stáří a způsobu používání systémů (strojů a zařízení).



Obr. 2 Jednotlivé kroky, úkoly a výstupy při vypracování programu preventivní údržby založeného na RCM

Velmi důležité pro správnou analýzu a aplikaci RCM je **objektivní klasifikace následků možných poruch**. Příliš opatrná klasifikace (nadhodnocení následků poruch) může vést k přehnanému programu preventivní údržby a naopak nižší klasifikace (podhodnocení následků poruch) může vést k vyšší poruchovosti s negativním dopadem na bezpečnost a ekonomiku provozu. Analýza poruch funkčně významného objektu může proběhnout takto (např. pro čerpadlo dodávající chladicí kapalinu):

- a) **funkce**: obvykle charakteristické činnosti prvku (např. dodávka chladicí vody s průtokem 100 l/s až 240 l/s do tepelného výměníku),
- b) **porucha funkce**: jak prvek selže při provádění funkce (např. čerpadlo nedodává požadovaný průtok kapaliny),
- c) **příčina poruchy**: proč došlo k poruše (např. zadřené ložisko a poškozené ucpávky),
- d) **následek poruchy**: co je bezprostředním následkem a jaké jsou širší důsledky každé poruchy funkce (např. nedostatečné chlazení, které vede k přehřátí a poruše systému a následným ztrátám produkce ve výši cca 0,5 milionu Kč).

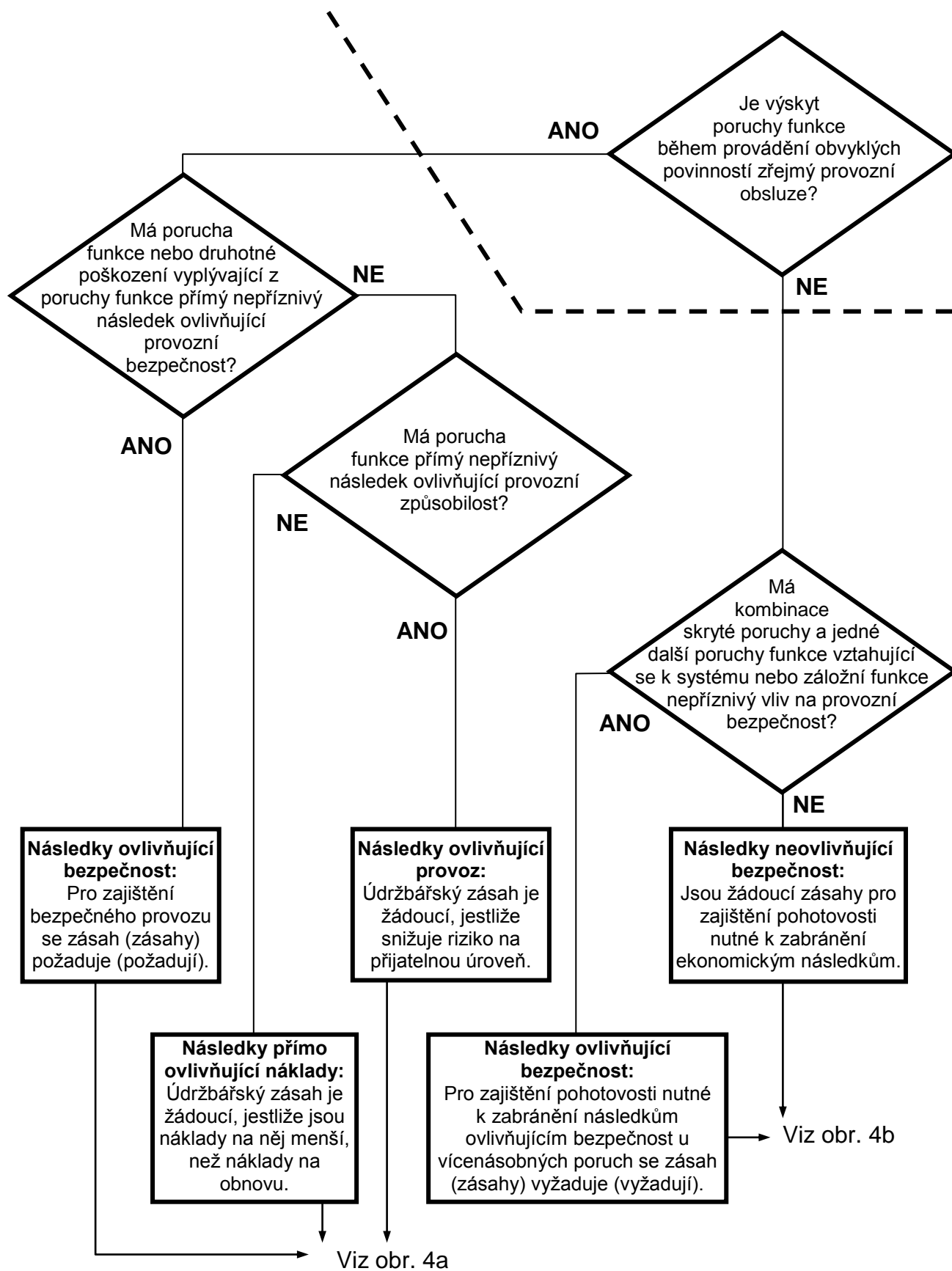
Následky poruch metoda RCM zobecňuje do pěti kategorií s těmito možnými výstupy:

- a) **zřejmá** porucha funkce, následky ovlivňující **provoz a bezpečnost**; musí se použít nejefektivnější údržbářský zásah nebo kombinace zásahů (z pěti obecně možných) a pokud to nejde, je přepracování návrhu povinné,
- b) **zřejmá** porucha funkce, následky ovlivňující **provoz**; musí se použít nejefektivnější údržbářský zásah nebo kombinace zásahů (z pěti obecně možných) a pokud to nejde, může být přepracování návrhu žádoucí,
- c) **zřejmá** porucha funkce, následky přímo ovlivňující **náklady**; musí se použít nejefektivnější údržbářský zásah nebo kombinace zásahů (z pěti obecně možných) a pokud to nejde, může být přepracování návrhu žádoucí,
- d) **skrytá** porucha funkce, následky ovlivňující **bezpečnost**; musí se použít nejefektivnější údržbářský zásah nebo kombinace zásahů (z pěti obecně možných) a pokud to nejde, je přepracování návrhu povinné,
- e) **skrytá** porucha funkce, následky **neovlivňující bezpečnost**; musí se použít nejefektivnější údržbářský zásah nebo kombinace zásahů (z pěti obecně možných) a pokud to nejde, může být přepracování návrhu žádoucí.

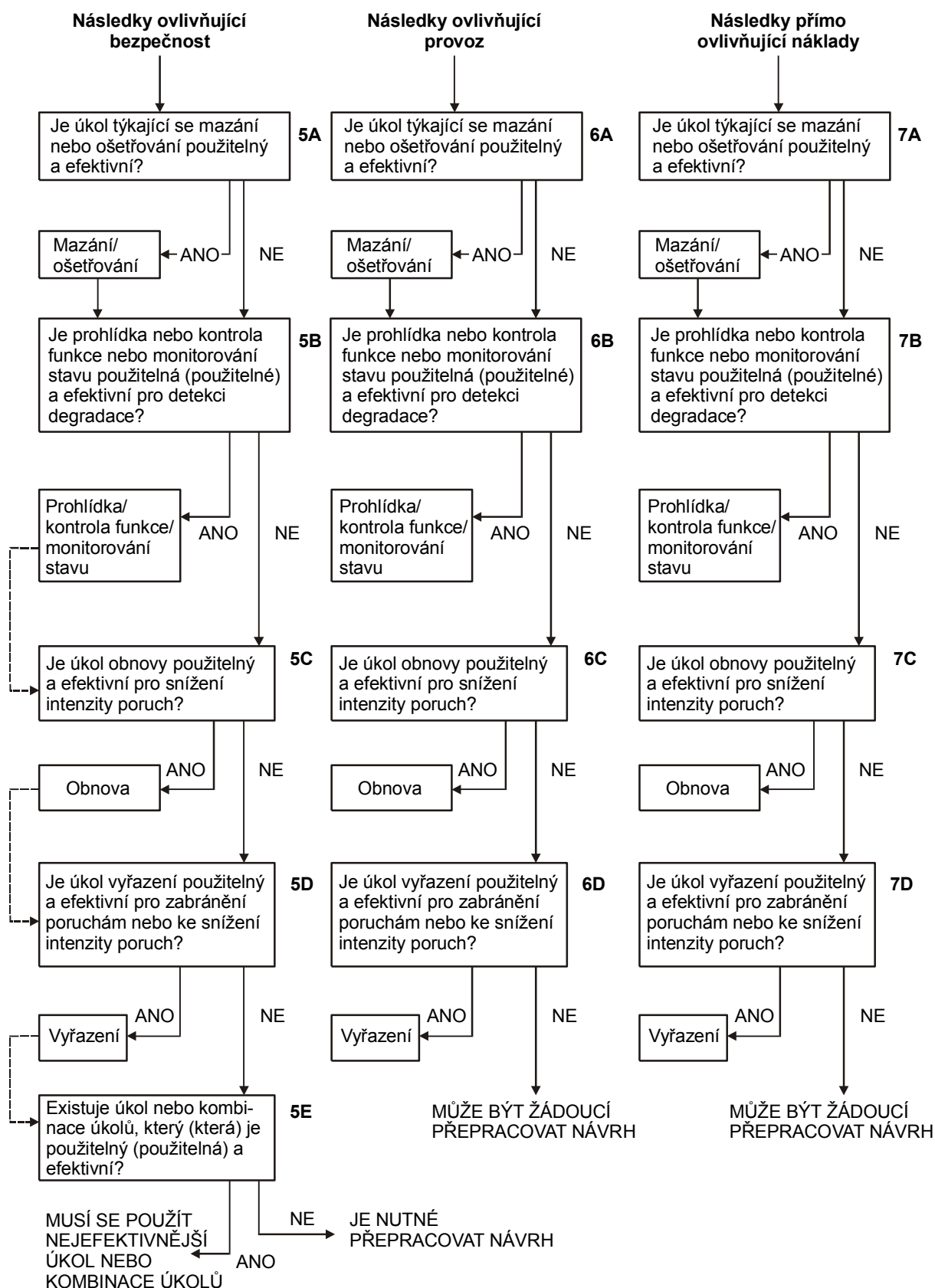
Po provedené analýze a klasifikaci možných poruch je možno přistoupit ke stanovení odpovídajících preventivních údržbářských zásahů (operací). Podstatou tohoto kroku je zjišťování, zda **existuje použitelný a efektivní údržbářský zásah, který zabrání identifikované poruše** nebo zmírní její následky. Pro volbu těchto údržbářských zásahů se využívá metoda analýzy s použitím **stromu logického rozhodování**, která je založena na souboru algoritmizovaných otázek a odpovědí. Tato metoda je zřejmá z obr. 3 a 4 a z tabulky 1.

Jsou-li údržbářské zásahy (operace, úkoly) stanoveny, je dále **nezbytné určit jejich periodicitu**, tj. **interval** mezi nimi, založený na **době provozu** nebo **ukazatelích technického stavu**. Vhodné informace pro stanovení tohoto intervalu je možné získat z jednoho nebo více následujících zdrojů:

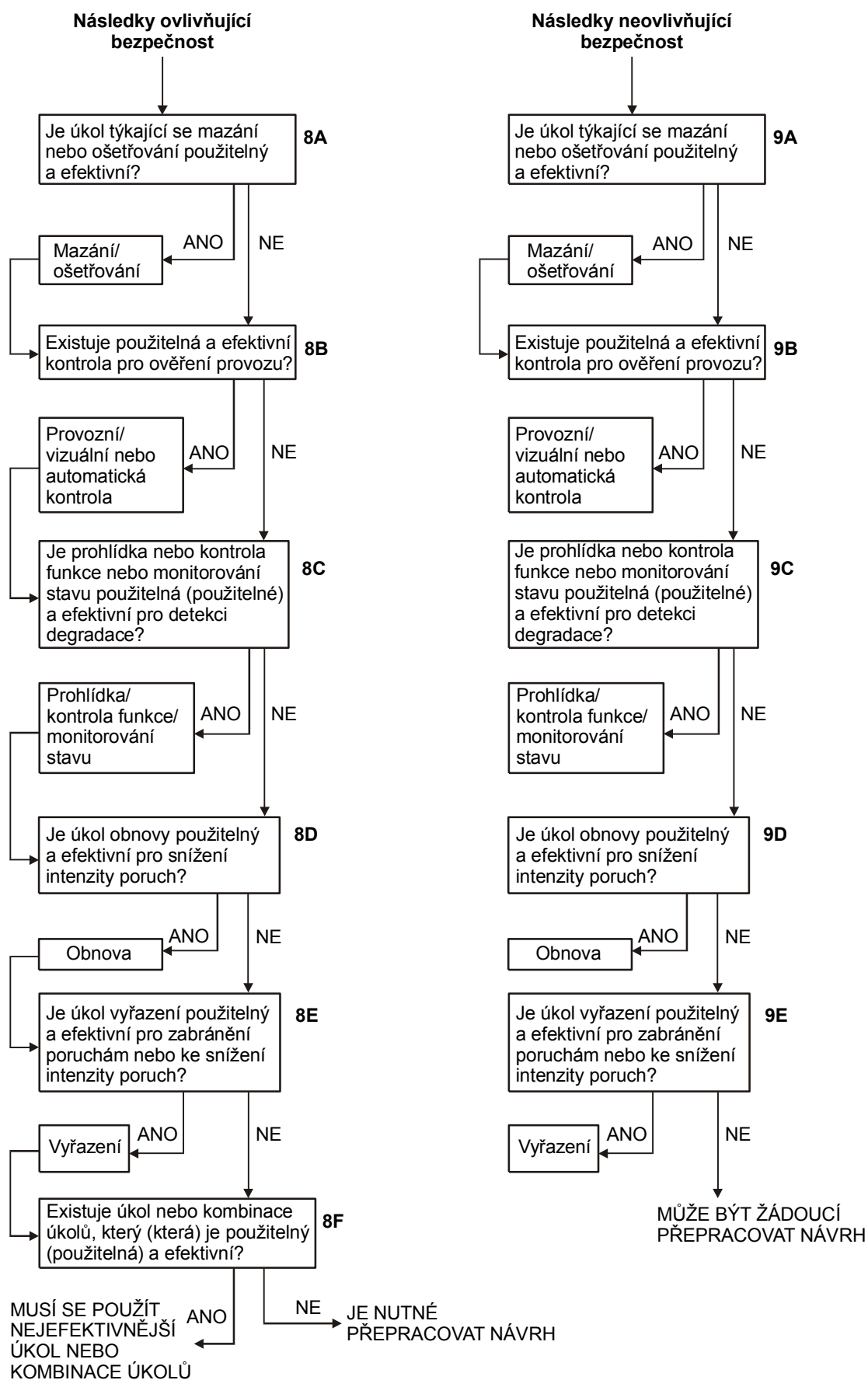
- a) **předchozí znalosti** z jiných obdobných zařízení, jež ukazují, že plánované údržbářské zásahy poskytly závažné důkazy o tom, že jsou použitelné, efektivní a ekonomicky výhodné,
- b) **údaje ze zkoušek** výrobce/dodavatele, která naznačují, že plánované údržbářské zásahy budou pro hodnocení prvek a systém použitelné a efektivní,



Obr. 3 Schéma analýzy následků poruch s využitím stromu logického rozhodování RCM – první úroveň



Obr. 4a Schéma analýzy následků poruch s využitím stromu logického rozhodování RCM – druhá úroveň



Obr. 4b Schéma analýzy následků poruch s využitím stromu logického rozhodování RCM – druhá úroveň

Tab. 1 Kritéria volby údržbářských zásahů (úkolů)

| ÚDRŽBÁŘSKÝ ZÁSAH | KRITÉRIA POUŽITÍ | KRITÉRIA EFEKTIVNOSTI | | |
|--|---|---|--|--|
| | | BEZPEČNOSTI | PROVOZU | PŘÍMÝCH NÁKLADŮ |
| MAZÁNÍ NEBO OŠETŘOVÁNÍ | Doplnění/výměna maziv a dalších provozních náplní musí snížit rychlost degradace funkce. | Údržbářský zásah musí snížit riziko poruchy. | Údržbářský zásah musí snížit riziko poruchy na přijatelnou úroveň. | Údržbářský zásah musí být ekonomicky efektivní. |
| PROVOZNÍ, VIZUÁLNÍ NEBO AUTOMATICKÁ KONTROLA | Musí být možná identifikace poruchy. | Údržbářský zásah musí zajistit přiměřenou pohotovost, aby se snížilo riziko vícenásobných poruch. | Nepoužívá se. | Údržbářský zásah musí zajistit přiměřenou pohotovost, aby se zabránilo ekonomickým následkům vícenásobných poruch, a musí být ekonomicky efektivní. |
| PROHLÍDKA, KONTROLA FUNKCE NEBO MONITOROVÁNÍ STAVU | Snížená odolnost proti poruchám musí být zjištělná a rychlost snižování odolnosti proti poruchám musí být předvídatelná. | Údržbářský zásah musí snížit riziko poruch, aby byl zajištěn bezpečný provoz. | Údržbářský zásah musí snížit riziko poruch na přijatelnou úroveň. | Údržbářský zásah musí být ekonomicky efektivní, tj. náklady na zásah musejí být menší, než náklady na poruchy, jimž by zásah zabránil. |
| OBNOVA | Objekt (prvek) musí vykazovat charakteristiky degradace funkce při identifikovatelné době provozu. Musí být možné obnovit objekt do specifikovaného standardního stavu. | Obnova musí snížit riziko poruch, aby byla zajištěna bezpečnost provozu. | Obnova musí snížit riziko poruch na přijatelnou úroveň. | Obnova musí být ekonomicky efektivní, tj. náklady na obnovu musejí být menší, než náklady na poruchy, jimž by obnova zabránila. |
| VYŘAZENÍ | Objekt (prvek) musí vykazovat charakteristiky degradace funkce při identifikovatelné době provozu a velký podíl prvků musí tuto dobu přežít. | Mezní bezpečná doba života musí snížit riziko poruchy, aby byl zajištěn bezpečný provoz. | Vyřazení musí snížit riziko poruch na přijatelnou úroveň. | Ekonomická mezní doba života musí být ekonomicky efektivní, tj. náklady na vyřazení musejí být menší, než náklady na poruchy, jimž by vyřazení zabránilo |

c) **údaje o bezporuchovosti** a předpovědi bezporuchovosti a **ekonomických** dopadech možných poruch.

Pokud je k dispozici dostatek podkladů, je žádoucí **využít vhodné matematické modely obnovy** a intervaly preventivní údržby stanovit objektivně s využitím kvantitativních vstupních údajů a výsledků řešení [2]. V této souvislosti je třeba poznamenat, že v praxi převládají subjektivní intuitivní přístupy založené na podkladech získaných především podle bodu a) a b). V každém případě je třeba dbát na to, aby požadované preventivní údržbářské

zásahy byly vhodně **seskupovány** a **cyklicky** uspořádány, aby se snížil jejich dopad na **provozní prostoje**.

Jestliže jsou údaje o bezporuchovosti **nedostatečné** nebo **není nic** předem **známo** o jiných obdobných zařízeních či pokud si nejsou právě navrhovaný a předchozí systém dostatečně podobné, mohou interval preventivních údržbářských zásahů (úkolů) zpočátku stanovit pouze **zkušení pracovníci** s použitím **dobrého úsudku** a na základě zkušeností z provozu spolu s nejlepšími dostupnými údaji z provozu a s příslušnými údaji o nákladech.

Výsledkem těchto rozhodovacích analýz a případných výpočtů RCM je návrh systému údržby ve fázi (viz obr. 1):

- a) počátečního programu údržby,
- b) provozního (dynamického) programu údržby.

Již v časných etapách vypracování programu preventivní údržby je užitečné zavést postupy pro elektronické **dokumentování** výsledků analýzy RCM a všech modifikací provedených při provozu po celou dobu užitečného života systému.

4. DISKUSE A ZÁVĚR

Naznačená metoda údržby zaměřené na bezporuchovost (RCM) jistě není žádným a zcela **převratným** řešením, jak předcházet nežádoucím poruchám a jejich následkům v oblasti bezpečnosti, narušování provozu a snižování hospodárnosti. Již dlouhou dobu dodávají výrobci strojů a zařízení pokyny k údržbě a dílenské příručky, které obsahují program preventivní údržby pro jejich stroje a zařízení vypracovaný na základě obdobných intuitivních úvah.

Nové na této metodě je to, že daný úkol řeší systematicky s využitím algoritmizovaných otázek a odpovědí na principu stromu logického rozhodování. Tento přístup při jeho dodržení umožňuje zajistit, že se **nezapomene** na žádný aspekt ovlivňující navrhovaný program preventivní údržby, zejména na analýzu funkčně důležitých prvků, jejich možným poruch se všemi příčinami a následky a na systematické přiřazování vhodných údržbářských zásahů (úkolů). Naopak určitou **slabinou** této normované metody RCM je především subjektivní stanovení intervalů mezi preventivními údržbářskými zásahy, byť s určitým odkazem na možnost využití matematických modelů obnovy.

K **předpokladům úspěšné aplikace** údržby zaměřené na bezporuchovost (RCM) patří dodržení těchto faktorů [3]:

- stanovení jasných cílů projektu RCM,
- podpora vrcholového vedení pro vytvoření prostředí, zavádění a zlepšování preventivní údržby v podniku,
- zapojení všech zainteresovaných stran (technici, údržbáři a obsluhovatelé),
- dobrá a diferencovaná znalost metodologie RCM všemi zainteresovanými stranami,
- vypracování dobrého vzorového pilotního projektu RCM na vybrané výrobní zařízení v podniku,
- vytvoření dostatečných zdrojů pro analýzu, přezkoumání a zavádění všech správných výsledků a doporučení,
- jasná a srozumitelná dokumentace dosažených i dílčích výsledků k jejich prezentaci a podpoře dalšího rozvoje a šíření metody RCM,
- integrace do systému komplexní produktivní údržby TPM.

V každém případě **lze doporučit** tuto metodu tvorby programu preventivní údržby zaměřené na bezporuchovost **k zavedení do praxe** a její používání pro složitější technické systémy s výrazným dopadem jejich poruch na bezpečnost, narušení provozu a zhoršení jejich hospodárnosti.

5. LITERATURA

- [1] ČSN IEC 60300-3-11: 1999 Management spolehlivosti – Část 3-11: Návod k použití – Údržba zaměřená na bezporuchovost.
- [2] LEGÁT, V.: Využití informací o životnosti strojních prvků k optimalizaci jejich preventivní údržby. In: Sborník konference JAKOST'99, DTO Ostrava 1999. s. H17-H24.
- [3] CAMPBELL, J. D.: Uptime – Strategies for Excellence in Maintenance Management. Productivity Press, Portland, Oregon 1995.

Prof. Ing. Václav Legát, DrSc.

Česká zemědělská univerzita v Praze

technická fakulta, katedra jakosti a spolehlivosti strojů

165 21 Praha 6 – Suchbátka

Tel.: 02/24383268

Fax: 02/20921361

E-mail: legat@tf.czu.cz

PRAKTICKÝ PŘÍSTUP K UPLATŇOVÁNÍ ÚDRŽBY ZAMĚŘENÉ NA BEZPORUCHOVOST

Ing. Pavel Fuchs, CSc.
Technická univerzita v Liberci

1 ÚVOD

Téma přímo navazuje na přednášku „Analýza rizik v optimalizaci a údržby“, která byla prezentována 20. 9. 2004 na 16. setkání Odborné skupiny pro spolehlivost [1]. Předpokládá se proto znalost pojmů z analýzy rizik, optimalizace údržby na základě hodnocení přínosů a nákladů (CBA - Cost Benefit Analysis) a tedy i pojmy té části managementu spolehlivosti označovaného jako údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM - Reliability Centred Maintenance) [2].

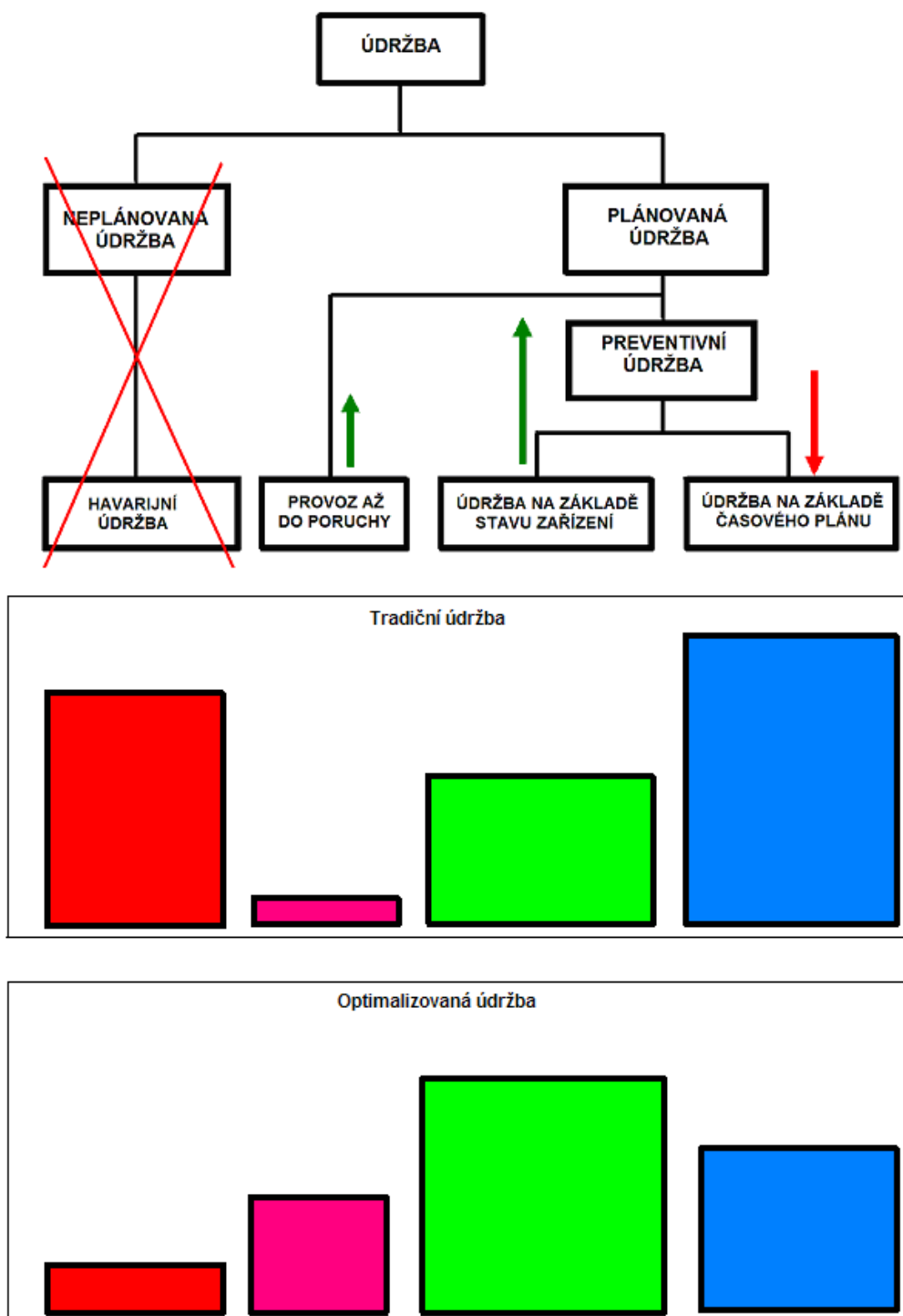
V rámci přednášky bude zopakována základní filosofie RCM, dostupná metodologická podpora a nutné předpoklady pro její úspěšné nasazení v praxi.

2 PODSTATA RCM

Stručně řečeno, to co se očekává v praxi při aplikaci RCM, **je vypracování takového programu údržby zařízení, který bude ekonomicky optimální**. Protože poruchy zařízení vznikají nahodile, jsou v RCM využívány techniky analýzy rizik a ekonomická optimalizace se provádí hodnocením přínosů a nákladů v souvislosti s rizikem plynoucího z poruch zařízení. Přístup založený na riziku tak vede k odklonu od tradičních programů údržby, kde dominovala údržba prováděná na základě časového plánu (v intervalech doporučených výrobcem) k sofistikovanějším programům údržby, kde pro údržbu je rozhodující stav zařízení a následky jeho poruch.

Metoda RCM neusiluje o „nulovou toleranci“ vůči poruchám zařízení, jak by z jejího názvu někdo mohl soudit, protože to je nemožné. Jejím účelem je na základě poznatků o možných poruchách zařízení (jejich vzniku a následcích) zvolit ekonomicky nejvhodnější úkony údržby (uvedené v programu údržby). Množina uvažovaných úkonů údržby má rozsah od úmyslného (plánovaného) chodu zařízení do poruchy, přes známé operace údržby, až po návrh na změnu provozních podmínek nebo změnu projektu zařízení (v případě neúměrně vysokého rizika).

Protože vytváření programu údržby je při aplikaci postupů RCM založeno na ekonomické efektivnosti vede tato skutečnost k přesunu úkonů údržby z plánovaných odstávek do údržby prováděné za provozu zařízení. Důvodem je zvýšení disponibility (resp. pohotovosti) zařízení vlivem kratší doby, po kterou je zřízení mimo provoz. Přesun údržby je pochopitelně možný a ekonomický jen tam, kde jsou pro to podmínky (zálohované struktury). Změny v údržbě při aplikaci postupů RCM jsou graficky znázorněny na obr. 1 a je z nich patrný přesun finančních prostředků z časově plánované údržby k údržbě prováděné na základě stavu zařízení při současném poklesu celkových nákladů na údržbu.



Obr. 1: Změny v programu údržby při aplikaci RCM

Jako technickou poznámku je třeba uvést, že **ČSN EN 13306: 2002 Terminologie údržby** nemá zaveden pojem „havarijní údržba“. Uvádí jen pojem „údržba po poruše“, který v tomto případě zahrnuje jak plánovitý provoz až do poruchy s následnou údržbou, tak i údržbu neplánovanou a zde označovanou za havarijní.

Princip hledání ekonomicky optimálních úkonů údržby pro program údržby byl již popsán v [1] a je založen na hodnocení indexu efektivity údržby, viz (1).

$$I = \frac{R_{NO} - R_{UO}}{N_{PU}} = \frac{\frac{N_F}{MTBF_{NO}} - \frac{N_F}{MTBF_{UO}}}{N_{PU}} > 1 \quad (1)$$

| | |
|-------------|---|
| I | ... index efektivity údržby [1] |
| R_{NO} | ... riziko neudržovaného objektu (bez preventivní údržby) [Kč.rok ⁻¹] |
| R_{UO} | ... riziko udržovaného objektu (s preventivní údržbou) [Kč.rok ⁻¹] |
| N_F | ... následky poruchy ve finančním ocenění [Kč] |
| N_{PU} | ... náklady na preventivní údržbu [Kč.rok ⁻¹] |
| $MTBF_{NO}$ | ... střední doba mezi poruchami neudržovaného objektu [rok] |
| $MTBF_{UO}$ | ... střední doba mezi poruchami udržovaného objektu [rok] |

Aby údržba byla nákladově efektivní, musí být index efektivity údržby větší než 1. Pro výpočet indexu efektivity údržby je třeba znát pouze 4 parametry. Otázkou je, jak získat jejich hodnoty. Co vše je třeba pro to metodicky učinit v obecné rovině uvádí příslušná norma [2]. Praktická realizace však vyžaduje značné úsilí.

3 APLIKACE POSTUPŮ RCM

Při aplikaci postupů RCM v praxi je třeba si uvědomit tyto základní skutečnosti - jakého okruhu péče o zařízení se týká a jaká míra podrobnosti se požaduje.

- Okruh péče závisí na charakteru zařízení. U komplexních technologických zařízeních (energetika, petrochemické provozy apod.) je péče o zařízení dělena na úkoly spojené s integritou zařízení (většinou korozní problematika), přiměřeností bezpečnostních prvků (problematika testování a zkoušení ochranných systémů) a vlastní údržbu zařízení. Postupy RCM se aplikují zpravidla na vlastní údržbu zařízení, integrita zařízení a požadovaná úroveň bezpečnosti se řeší jinými prostředky.
- Míra podrobnosti není obecně předepsána. Praktické zkušenosti však ukazují, že nejefektivnější je, když jsou postupy RCM aplikovány na úrovni komponent technologického zařízení.

Výchozím bodem při aplikaci je rozčlenění složitého výrobního zařízení na funkčně ucelené subsystémy. Tím je zajištěna „parcelace“ technologie do menších celků plnicích jednoduše popsatelnou výrobní funkcí. To je podstatné pro analýzu důsledků poruch komponent subsystému, protože tyto poruchy ovlivní (nebo neovlivní) definovanou výrobní funkci a s ní spojené ztráty výroby.

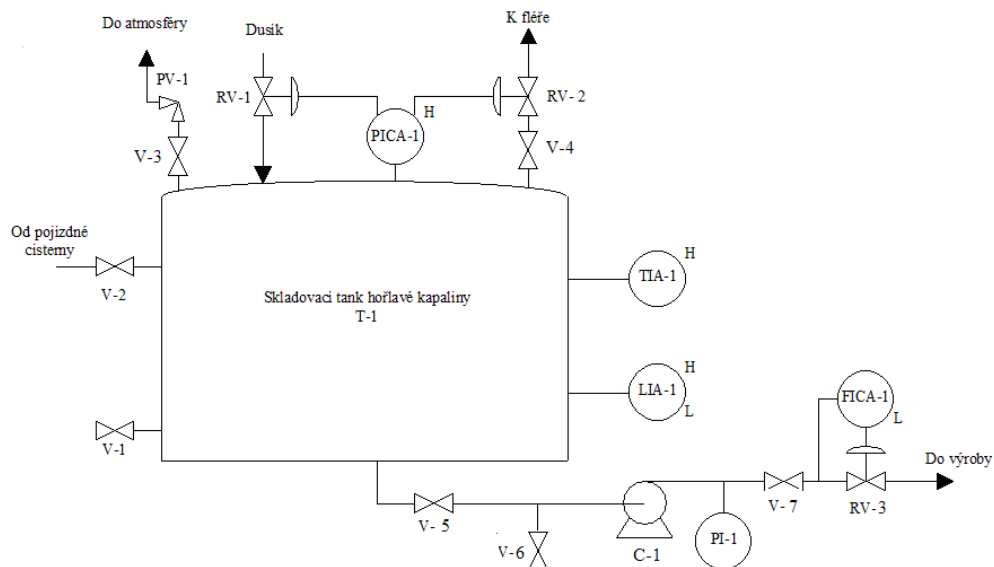
Jednoznačnost výrobní funkce (ve smyslu jediné funkce) je podstatnou podmínkou pro zdárný průběh analýz, protože jsou k ní vázány výrobní ztráty. **Ty jsou stanoveny rovnicí výrobních ztrát.** Tato rovnice vyčísluje hodinové ekonomické ztráty způsobené výpadkem výroby. V jednoduchém případě má rovnice výrobních ztrát konstantní (časově nezávislou) hodnotu a výrobní ztráty jsou přímo úměrné době výpadku výroby. Ve složitějších případech (typické pro petrochemickou výrobu) má rovnice výrobních ztrát progresivní charakter.

Při aplikaci postupů RCM, které vedou k optimalizaci programu údržby zařízení je třeba vykonat tyto základní činnosti:

1. Rozčlenění zařízení na funkčně ucelené subsystémy s jednoznačně definovanou výrobní funkcí a stanovení rovnice výrobních ztrát.
2. Zpracování seznamu komponent, které jsou předmětem údržby.
3. Stanovení způsobu (módu) selhání každé komponenty (zpravidla se uvažují 1 až 3 módy selhání).
4. Hodnocení následků (ekonomické, zdravotní a bezpečnostní, ekologické) a jejich finanční ocenění individuálně pro každý mód selhání.
5. Odhad střední doby mezi poruchami neudržovaného objektu individuálně pro každý mód selhání.
6. Analýza údržby stávající/navrhované individuálně pro každý mód selhání v rozsahu - úkon údržby, typ údržby, možnost provedení úkonu na komponentě za provozu, četnost údržby, vykonavatel údržby, náklady na úkon údržby, povinnost údržby ze zákona.
7. Odhad střední doby mezi poruchami udržovaného objektu individuálně pro každý mód selhání.
8. Vyhodnocení ekonomické efektivnosti navrhované údržby individuálně pro každý mód selhání.
9. Sestavení programu údržby z množiny úkonů údržby s ohledem na jejich charakter formou věcného a časového plánování (bezrozpornost kapacit, termínů, návazností odstavení a zajištění výrobních subsystémů a zařízení apod.).

Ze seznamu postupů je zřejmé, kde jsou zdroje 4 parametrů potřebných k optimalizaci údržby. Parametr N_F se určuje činností ad 4, parametr N_{PU} se určuje činností ad 6, parametr $MTBF_{NO}$ je stanoven při činnosti ad 5 a parametr $MTBF_{VO}$ je stanoven při činnosti ad 7. Pro pochopení jsou základní činnosti demonstrovány na jednoduchém příkladu.

Na obr. 2 je uvedeno schéma jednoduchého technologického uzlu chemického provozu. Zásobní tank T-1 je navržen pro skladování hořlavé kapaliny pod slabým přetlakem dusíku, který je udržován regulačními ventily RV-1 a RV-2 řízenými regulačním obvodem tlaku PICA-1. Tank je opatřen pojistným ventilem PV-1 pro případ přetlaku. Kapalina je do tanku dodávána z železniční cisterny. Čerpadlo C-1 kontinuálně dodává hořlavou kapalinu do výroby a její množství je řízeno regulačním obvodem průtoku FICA-1, který nastavuje průtok prostřednictvím regulačního obvodu RV-3. Tank je osazen měřením teploty TIA-1 s indikací (dálkovým ukazováním na velíně) a alarmovým hlášením při překročení dovolené horní teploty kapaliny. Dále je osazen měřením hladiny LIA-1 s indikací a alarmovým hlášením při překročení horní a dolní hladiny kapaliny v tanku a měřením tlaku PI-1 na výtlaku čerpadla s indikací. Ventily V-3, V-4, V-5 a V-7 jsou za provozu plně otevřeny, uzavírány jsou při opravách nebo revizích zařízení. Vypouštěcí ventily V-1 a V-6 jsou za provozu uzavřeny, otevírány jsou při opravách nebo revizích zařízení. Ventil V-2 je uzavřen a otevírá se při doplňování kapaliny v tanku. Doplňování se provádí za provozu technologie.



LEGENDA

ZÁŘÍZENÍ A ARMATURY

| | |
|----|------------------|
| C | čerpadlo |
| T | tank |
| V | ventil |
| PV | pojistný ventil |
| RV | regulační ventil |

PŘÍSTROJE

| | |
|---|----------|
| P | tlak |
| T | teplota |
| L | hladina |
| F | průtok |
| I | indikace |
| C | ovládání |
| A | alarm |
| H | - vysoko |
| L | - nízko |

Obr. 2: Schéma technologického uzlu chemického provozu

Kapalina v tanku je výchozí surovinou pro finální produkt vyráběný v další části chemického provozu. Doplnění zásoby suroviny je organizováno operátorem na základě informace o úrovni hladiny v tanku. Tank je zpravidla z ekonomických důvodů plněn na polovinu své kapacity. Při naplnění zásobníku na povolené maximum postačuje surovina na 2 dny výroby, po vyčerpání zásoby suroviny nebo při přerušení její dodávky v důsledku poruchy je výroba finálního produktu zastavena.

Rozčlenění zařízení na funkčně ucelené subsystémy s jednoznačně definovanou výrobní funkcí a stanovení rovnice výrobních ztrát

Tento technologický uzel je již výše zmíněným subsystémem rozsáhlejšího chemického provozu. Lze jej dále rozčlenit na komponenty. Má jednoznačně definovanou výrobní funkci - dodávka výchozí suroviny pro další zpracování. Z rovnice výrobních ztrát je známa hodinová výrobní ztráta $V = 80\,000,-$ Kč.

Seznam komponent, které jsou předmětem údržby

Uvažují se ventily V-1 až V-7, regulační ventily RV-1,2,3, pojistný ventil PV-1, čerpadlo C-1, regulační obvod PICA-1, FICA-1, měřicí obvod PI-1, TIA-1, LIA-1. Neuvažují se tank T-1 a potrubní trasy (jsou předmětem řízení integrity) a elektrické napájení, které je vhodné hodnotit jako samostatný nadřazený subsystém.

Stanovení způsobu (módu) selhání každé komponenty

Uvažují se pouze nejpravděpodobnější módy selhání, zpravidla postačuje uvažovat nejvýše 3 módy selhání, viz následující přehled.

V-1 až V-7 - netěsnost na ucpávce

| | |
|-----------------|---|
| <i>RV-1,2,3</i> | - netěsnost na ucpávce - zaseknutí ventilu - nefunkční akční člen |
| <i>PV-1</i> | - zaseknutí ventilu - podcházení ventilu |
| <i>C-1</i> | - porucha ložiska - porucha ucpávky |
| <i>TIA-1</i> | - porucha snímače - porucha elektroniky |

Hodnocení následků

Při hodnocení následků se popíší následky pro každý mód poruchy formou scénáře a určí ekonomické, zdravotní a bezpečnostní a ekologické důsledky v následujícím rozsahu.

- Ekonomické důsledky
 - přímé výrobní ztráty (hodinová výrobní ztráta x doba přerušení výroby)
 - ostatní výrobní ztráty (další ztráty vzniklé např. poškozením jiného výrobního zařízení, snížením jeho životnosti apod.)
 - přímé materiálové náklady na opravu (např. cena náhradního dílu)
 - náklady na pracovníky údržby (vlastní, smluvní)
 - náklady na provozní pracovníky (zajištění technologie, vystavení pracovního příkazu, převzetí po opravě apod.)
 - ostatní náklady na opravu (např. přistavení mechanizace)
- Zdravotní a bezpečnostní důsledky
 - od poškození zdraví až po úmrtí více osob v důsledku požáru, výbuchu, otravy vyjádřené finančním ohodnocením
- Ekologické důsledky
 - podle rozsahu zasažení životního prostředí vyjádřené finančním ohodnocením

Při finančním vyčíslení nákladů se vychází jak ze známých ekonomických dat, tak i z odborného úsudku.

Čerpadlo C-1, mód poruchy - porucha ložiska (označeno jako C-1a)

Scénář - porucha ložiska, poškození čerpadla zadřením, výrobní ztráty vlivem přerušení dodávky suroviny, 20% poškození katalyzátoru v reakční části technologie bez vlivu na bezpečnost a životní prostředí.

Ekonomické důsledky

- *přímé výrobní ztráty (80 000,- Kč x 8h =640 000,-Kč)*
- *ostatní výrobní ztráty (snížení životnosti katalyzátoru 1 000 000,- Kč)*
- *přímé materiálové náklady na opravu (50 000,-Kč)*
- *náklady na pracovníky údržby (8 000,-Kč)*
- *náklady na provozní pracovníky (2 000,-Kč)*

Zdravotní a bezpečnostní důsledky (0,-Kč)

Ekologické důsledky (0,-Kč)

C-1a (následky vyčísleny ve výši $N_F = 1\,700\,000,-$ Kč)

Čerpadlo C-1, mód poruchy - porucha ucpávky (označeno jako C-1b)

Scénář - porucha ucpávky, únik média vlivem netěsnosti, odhaleno při obchůzce, řízené odstavení technologie operátorem, přerušení dodávky suroviny, malý vliv na bezpečnost a životní prostředí.

Ekonomické důsledky

- *přímé výrobní ztráty (80 000,- Kč x 4h =320 000,-Kč)*
- *ostatní výrobní ztráty (0,- Kč.)*
- *přímé materiálové náklady na opravu (10 000,-Kč)*
- *náklady na pracovníky údržby (3 000,-Kč)*
- *náklady na provozní pracovníky (2 000,-Kč)*

Zdravotní a bezpečnostní důsledky (100 000,-Kč)

Ekologické důsledky (50 000,-Kč)

C-1b (následky vyčísleny ve výši $N_F = 485\,000,-$ Kč)

Měřicí obvod TIA-1, mód poruchy - porucha snímače (označeno jako TIA-1a)

Scénář - porucha snímače, ztráta měření teploty zjištěná operátorem, bez ztrát na výrobě, bez vlivu na bezpečnost a životní prostředí.

Ekonomické důsledky

- *přímé výrobní ztráty (0,-Kč)*
- *ostatní výrobní ztráty (0,- Kč)*
- *přímé materiálové náklady na opravu (1 000,-Kč)*
- *náklady na pracovníky údržby (500,-Kč)*
- *náklady na provozní pracovníky (0,-Kč)*

Zdravotní a bezpečnostní důsledky (0,-Kč)

Ekologické důsledky (0,-Kč)

TIA-1a (následky vyčísleny ve výši $N_F = 1\,500,-$ Kč)

Měřicí obvod TIA-1, mód poruchy - porucha elektroniky (označeno jako TIA-1b)

Scénář - porucha elektroniky, ztráta měření teploty zjištěná diagnostikou, bez ztrát na výrobě, bez vlivu na bezpečnost a životní prostředí.

Ekonomické důsledky

- *přímé výrobní ztráty (0,-Kč)*
- *ostatní výrobní ztráty (0,- Kč)*
- *přímé materiálové náklady na opravu (5 000,-Kč)*
- *náklady na pracovníky údržby (500,-Kč)*
- *náklady na provozní pracovníky (0,-Kč)*

Zdravotní a bezpečnostní důsledky (0,-Kč)

Ekologické důsledky (0,-Kč)

TIA-1b (následky vyčísleny ve výši $N_F = 5\,500,-$ Kč)

Odhad střední doby mezi poruchami neudržovaného objektu

Odhad je zpravidla založen na odborném inženýrském odhadu provozních specialistů, kteří vycházejí z vlastních zkušeností.

C-1a (MTBF_{NO} = 2 roky)

C-1b (MTBF_{NO} = 1 rok)

TIA-1a (MTBF_{NO} = 20 let)

TIA-1b (MTBF_{NO} = 20 let)

Analýza údržby

Při implementaci RCM se provede popis stávající údržby a zkoumá se, zda lze údržbu zefektivnit. Při hodnocení nákladů na údržbu se postupuje obdobně jako při hodnocení nákladů spojených s poruchou.

C-1a stávající ($N_{PU} = 32\ 000,-$ Kč/rok)

| Úkon údržby | Typ údržby | Za provozu | Četnost [1/rok] | Poskytuje | Náklady [Kč] | Roč. náklady [Kč/rok] | Vyh. |
|----------------|------------------|------------|-----------------|------------|--------------|-----------------------|------|
| výměna oleje | časově plánovaná | Ne | 2 | kontraktor | 1 000,- | 2 000,- | ne |
| výměna ložisek | časově plánovaná | Ne | 0,5 | kontraktor | 60 000,- | 30 000,- | ne |
| | | | | | | 32 000,- | |

C-1a navrhovaná ($N_{PU} = 29\ 400,-$ Kč/rok)

| Úkon údržby | Typ údržby | Za provozu | Četnost [1/rok] | Poskytuje | Náklady [Kč] | Roč. náklady [Kč/rok] | Vyh. |
|---------------------|------------------|------------|-----------------|------------|--------------|-----------------------|------|
| analýza oleje | časově plánovaná | Ano | 2 | kontraktor | 200,- | 400,- | ne |
| vibrační monitoring | časově plánovaná | Ano | 4 | kontraktor | 2 000,- | 8 000,- | ne |
| výměna oleje | na základě stavu | Ne | 1 | kontraktor | 1 000,- | 1 000,- | ne |
| výměna ložisek | na základě stavu | Ne | 0,33 | kontraktor | 60 000,- | 20 000,- | ne |
| | | | | | | 29 400,- | |

Odhad střední doby mezi poruchami neudržovaného objektu

Odhad je založen na sběru dat o poruchách (zpravidla generické databáze) a korigován odborným inženýrským odhadem provozních specialistů podle charakteru zařízení a reálných provozních podmínek. U komponent I&C systémů je zpravidla hodnota $MTBF_{NO} = MTBF_{UO}$.

C-1a ($MTBF_{UO} = 10$ let)

C-1b ($MTBF_{UO} = 5$ let)

TIA-1a ($MTBF_{UO} = 20$ let)

TIA-1b ($MTBF_{UO} = 20$ let)

Vyhodnocení ekonomické efektivity údržby

Vyhodnocení efektivity se provádí v podstatě již při analýze údržby, kdy se nejen hledají možnosti úspor nákladů, ale i rovnou rozhoduje, zda údržbu vůbec provádět (je zřejmé, že neprodlouží MTBF nebo náklady na její prodloužení jsou neúměrné přínosu).

C-1a stávající

$$I = \frac{\frac{N_F}{MTBF_{NO}} - \frac{N_F}{MTBF_{UO}}}{N_{PU}} = \frac{\frac{1700000}{2} - \frac{1700000}{10}}{32000} = \frac{850000 - 170000}{32000} = 21,25$$

C-1a navrhovaná

$$I = \frac{\frac{N_F}{MTBF_{NO}} - \frac{N_F}{MTBF_{UO}}}{N_{PU}} = \frac{\frac{1700000}{2} - \frac{1700000}{10}}{29400} = \frac{850000 - 170000}{29400} = 23,13$$

Z výsledku je zřejmé, že jak stávající, tak navrhovaná údržba je u tohoto módu poruchy velmi efektivní. Přínos navrhované údržby spočívá v nalezení rezerv a úspoře cca 10% nákladů na údržbu.

Sestavení programu údržby

Značný přínos z aplikace postupů RCM spočívá i v možnosti efektivního sestavení programu údržby. Analýza funkcí výrobního zařízení, jeho dělení do funkčních celků a následná analýza údržby prováděná pro každou komponentu (resp. pro každý mód poruchy) přináší systematickost do tvorby plánů údržby od mazacích plánů až po plány koordinace údržbových prací při odstávkách výrobního zařízení (bezrozpornost kapacit, termínů, návazností odstavení apod.).

4 SITUACE V OBLASTI RCM

Postupy a zásady RCM jsou známy již poměrně dlouhou dobu a doporučení na jejich aplikaci byly směřovány jak do oblasti vytváření plánů údržby ve fázi projektu nového zařízení, tak do oblasti plánů údržby již provozovaných zařízení. To je zřejmé jak z vývoje norem IEC pro oblast údržby, tak z dostupných informací uvedených např. v [3].

Protože RCM je založeno na hodnocení rizik, bývá začleňováno do širšího komplexu úloh směřujících ke komplexnímu řízení provozních rizik (RRM - Risk and Reliability Management), které se zabývá i integritou zařízení (RBI - Risk Based Inspection) a úrovní spolehlivosti zabezpečovacích systémů (IPF - Instrumented Protection Functions). Jak pro RBI, tak pro IPF jsou k dispozici mezinárodní standardy, viz [4, 5]. Hodnocení kritičnosti poruchy každé komponenty pomocí matice rizik, viz obr. 3, je běžné.

| | | MTBF | Criticality Class | | | | |
|---------------------|---|--------------|---------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|
| Probability | H | 0.0 - 0.5 y | L | MH | H | E | E |
| | M | 0.5 - 4.0 y | L | M | MH | H | E |
| | L | 4.0 - 20.0 y | N | L | M | MH | H |
| | N | > 20.0 y | N | N | L | M | MH |
| Economics | | | Slight Damage < 10k | Minor Damage 10 - 100k | Local Damage 100 - 1000k | Major Damage 1 - 10M | Extensive Damage > 10M |
| Health & Safety | | | Slight Injury | Minor Injury | Major Injury | Single Fatality | Multiple Fatality |
| Environment | | | Slight Effect | Minor Effect | Localised Effect | Major Effect | Massive Effect |
| Consequence classes | | | N | L | M | H | E |

Obr. 3: Hodnocení kritičnosti poruchy komponent v matici kritičnosti

Při aplikaci postupů RCM u provozovaných výrobních zařízení jsou preferovány praktické zkušenosti a specifická data před obecnými doporučeními výrobců. Důvodem jsou různé provozní podmínky, ve kterých musí zařízení pracovat a doporučení výrobce bývá zpracováno tak, aby s rezervou pokrylo většinu situací. Dalším faktorem je jistá nedůvěra k doporučení výrobců a kontraktorů, která vychází z podezření na skryté zájmy dodavatele zařízení a údržby (zvýšení objemu dodávky náhradních dílů a objemu údržbových prací), které jsou odlišné od cílů provozovatele (minimalizace spotřeby náhradních dílů a objemu údržbových prací).

Vzhledem k efektivnímu provedení značného objemu analýz, zpracování dat a vytvoření plánů údržby je nezbytná SW podpora procesů RCM. Proto jak softwarové společnosti zabývající se spolehlivostí [6], tak výzkumná centra velkých nadnárodních společností [7, 8, 9] disponují specializovanými SW nástroji pro efektivní zvládnutí analýz a zpracování informací.

Postupy RCM jsou i v zahraničí prosazovány především u velkých společností, kde jsou dostatečné kapacity k řešení této problematiky a vzhledem k velikosti majetku i možnost značných úspor nákladů na údržbu (až 40%). Pro situaci v ČR je příznačná jistá snaha o zavedení RCM, která se zrcadlí v příspěvcích publikovaných na odborných konferencích. Přestože již byly podniknuty dílčí studie u velkých firem (ČEZ, Transgas, Česká rafinářská), není dosud realizováno komplexní zavedení postupů RCM do provozní praxe.

5 OMEZENÍ PŘI IMPLEMENTACI RCM

Potíže se kterými se setkává implementace RCM do provozní praxe je dána mnoha faktory, které lze rozdělit do 4 základních oblastí.

- **Datové vstupy.** Tyto jsou dominantní a bez jejich dostupnosti nelze přistoupit k analytické činnosti. Jedná se o tato data:
 - seznam majetku vedený až na úroveň komponent, ke kterým jsou následně vztahovány ekonomické a provozní údaje,
 - rovnice výrobních ztrát,
 - náklady na údržbu (ceny komponent a náhradních dílů, náklady na jednotlivé typy údržby apod.),
 - paměť údržby (záznamy o provozu a poruchách zařízení).
- **Informační vstupy.** Jsou stejně důležité jako datové vstupy a nemá bez nich smysl přistupovat k analytické práci. Jedná se o:
 - výrobní schémata a konstrukční dokumentace,
 - popisy funkcí zařízení a postupů výroby,
 - způsob provozování zařízení za normálních a mimořádných situací,
 - návaznosti a vzájemné funkční závislosti výrobních zařízení.
- **Analytické činnosti.** Představují jádro procesu implementace RCM. S využitím metod a technik oboru spolehlivosti a hodnocení rizik jsou datové a informační vstupy transformovány do nákladově efektivních strategií údržby. Pro tyto analytické činnosti je zapotřebí vytvořit multiprofesní tým (resp. více týmů) provozních a údržbových pracovníků doplněných specialisty na spolehlivost.

- Organizace údržby. Výsledky analytické činnosti musí být uspořádány do programů údržby, což vyžaduje schopnost nasazení efektivních postupů a jejich dokonalou organizaci v programu údržby.
- Vytvoření podmínek a podpora managementu. Je zcela klíčová, protože implementace RCM je složitý a náročný projekt, jehož rozběh se ani při optimálních podmínkách nevyhne komplikacím, které mohou vyústit ve zpoždění proti plánovanému harmonogramu. Vždy vyžaduje koncentraci finančních a lidských zdrojů. Po implementaci procesů RCM se tyto procesy stávají trvalo součástí provozní praxe (se všemi pozitivními důsledky) a udržování RCM je méně nákladné.

I když jsou tyto faktory při implementaci RCM obecně platné, mají v našich i zahraničních poměrech nestejnou váhu, která je zpravidla závislá na organizační a odborné úrovni organizace, ve které se RCM implementuje. Při analýze příčin úspěchu a neúspěchu implementace RCM v jednotlivých organizacích se lze vždy dobrat příčin, které vedly k problémům se zaváděním RCM. Kritickou příčinou nebývá úroveň vstupních dat či speciálních znalostí z oboru spolehlivosti, ale nevytvoření potřebných podmínek a nízká podpora vrcholového managementu. Tato podpora je velmi potřebná, protože při implementaci RCM jdou potřebné procesy napříč organizačními strukturami a liniemi pravomocí a odpovědností v podniku.

6 ZÁVĚR

Cílem této přednášky bylo stručně nastínit, jakým způsobem jsou v praxi využívány postupy RCM. Pokud si odborná veřejnost při procházení norem a metodik, které se podrobně zabývají postupy RCM na základě přednášky konkretizuje představy o činnostech a procesech s tím spojených, splnil tento příspěvek svůj účel.

LITERATURA

- [1] FUCHS, P.: Analýza rizik v optimalizaci a údržby. In: 16. seminář Odborné skupiny pro spolehlivost České společnosti pro jakost - Spolehlivost a analýza rizik. Praha, 2004.
- [2] ČSN IEC 60300-3-11: 1999 Management spolehlivosti. Část 3-11: Návod k použití - Údržba zaměřená na bezporuchovost.
- [3] <http://www.aladon.co.uk>
- [4] Std API Recommended Practice 580. Risk-Based Inspection. American Petroleum Institute, 2002.
- [5] ČSN IEC ČSN EN IEC 61508-x: 2002 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností.
- [6] <http://www.isograph-software.com/rcmover.htm>
- [7] http://www.shellglobalsolutions.com/products_services/maintenance.htm
- [8] <http://www.lsc.co.uk>
- [9] <http://www.dnv.com/>

SPRÁVNÁ TECHNOLOGIE ÚDRŽBY ZLEPŠUJE BEZPORUCHOVOST VÝROBNÍHO ZAŘÍZENÍ

Josef Pošta

Referát na pracovním semináři odborné skupiny pro spolehlivost při ČSJ, v rámci hlavního tematu „Údržba zaměřená na bezporuchovost“

Mechanismy a stroje nepracují se stoprocentní účinností. Provozní hmoty, zpracovávané materiály a suroviny nejsou využívány stoprocentně. Prostředí obklopující stroje a jejich součásti na ně působí chemickými, tepelnými a jinými vlivy.

Ztrátová energie vyvolává a způsobuje opotřebení a ostatní druhy poškození strojů a jejich součástí. Nevyužití materiály, suroviny a provozní hmoty znečišťují stroje a unikají do okolního prostředí. Okolní prostředí tyto nepříznivé děje podporuje, zesiluje nebo umožňuje.

Zeslabovat účinky a zmírňovat důsledky těchto nepříznivých dějů je jedním z technických úkolů údržby. V principu je to možné působením na podmínky, ve kterých uvedené nepříznivé děje probíhají. K tomu je nutné co nejlépe poznat podstatu, mechanismy a zákonitosti degračních procesů i všech významných spolupůsobících vlivů.

Klíčová slova: údržba, bezporuchovost, pohotovost, technologický postup údržby

Význam a postavení údržby

Údržba je kombinace všech technických, administrativních a manažerských činností během životního cyklu objektu zaměřených na jeho udržení ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci. [1]

Výrobní zařízení může spolehlivě a efektivně sloužit tehdy, bude-li

- správně provozováno,
- správně udržováno.

Jestliže od provozu zařízení se očekává a požaduje především efektivní produkce jakostních výrobků, od údržby se očekává a požaduje především zajištění pohotovosti a bezporuchovosti zařízení.

Údržba je tedy nutná, aby mohlo výrobní zařízení plnit požadované úkoly. Proto je s údržbou nutno počítat ve všech etapách životního cyklu zařízení, počínaje jeho projektováním, konstruováním a výrobou, přes etapu jeho provozního využívání až k etapě jeho vyřazení a likvidace.

V etapě projektování, konstruování a výroby je možno výrazně ovlivnit udržovatelnost, a to jak konstrukčním řešením, tak návrhem základních parametrů plánu údržby a jeho technické realizace.

V etapě provozu je možno (a nutno) přizpůsobit, zkoordinovat a logisticky zabezpečit údržbu souvisejících či spolupracujících zařízení tak, aby byl co nejméně narušován výrobní proces, aby nebyla nepříznivě ovlivňována jakost produkce, bezpečnost zařízení ani jeho další významné technicko-ekonomické parametry.

V ČSN EN 13306 Terminologie údržby se uvádí mimo jiné:

Údržba zásadním způsobem přispívá ke spolehlivosti objektu. Je na zodpovědnosti každého vrcholového vedení údržby, aby stanovilo svou strategii údržby na základě následujících tří hlavních kritérií:

- zajistit **pohotovost objektu** pro požadovanou funkci, často při optimálních nákladech;

- brát v úvahu **bezpečnostní požadavky spojené s objektem** a kladené jak pracovníky údržby, tak pracovníky uživatele, a pokud je to nutné, uvážit jakýkoliv dopad objektu na prostředí;
- zachovat **životnost objektu a/nebo jakost produktu či poskytované služby**, v případě potřeby s uvážením nákladů.

Údržba má řadu aspektů. V tomto příspěvku bude pozornost věnována především aspektu technologickému, protože správnost technologického postupu každého údržbářského zásahu bývá mnohdy pod tlakem vnějších podmínek ekonomického prostředí a pod tlakem výroby podceňována či zanedbávána. Rovněž technologická kázeň, tj. pečlivé, přesné a úplné dodržení předepsaných postupů a respektování všech zásad správného provedení, bývá mnohdy porušována, ať už z neznalosti, nedbalosti nebo nedostatku kontroly.

Dodržení technologické kázně je možno považovat za jeden z vlivů, který vytváří úroveň jakosti údržby jako činnosti (služby).

Aby bylo možno údržbu považovat za jakostní, musí být splněna řada předpokladů, mezi nimi zejména použití vhodného a správného technologického postupu údržby, vhodných materiálů i zařízení pro vykonání jednotlivých údržbářských úkonů, dodržování technologické kázně.

Přehled technologií preventivní údržby

Preventivní údržba je údržba prováděná v předem stanovených intervalech nebo podle předepsaných kritérií a zaměřená na snížení pravděpodobnosti poruchy nebo degradace fungování objektu. [1]

Pro preventivní údržbu strojů je typické, že vykonávané práce jsou téměř shodné nebo zcela totožné pro nejrůznější stroje. Při preventivní údržbě strojů je v obecném případě nutno vykonávat tyto činnosti:

1. Vnější kontrola strojů
2. Čištění strojů
3. Mazání strojů
4. Péče o specifické systémy strojů
5. Konzervace a dekonzervace strojů
6. Garážování a uskladňování mobilních strojů

Vliv těchto činností na kvalitu produkce, na rychlost opotřebení strojů a na vznik dalších (závislých) poškození je značný. Pečlivě a včas vykonávaná preventivní údržba je, stejně jako dodržování všech pravidel a zásad správného provozu, předpokladem produkce kvalitních výrobků, spolehlivého a bezpečného provozu strojů, vysoké pohotovosti strojů umožňující pružnou reakci při změnách výroby, přispívá k prodloužení technického života strojů. To vše v důsledcích znamená technické předpoklady konkurenceschopnosti podniku.

Vnější kontrola strojů

Jedná se o celou řadu jednoduchých prací, které zpravidla nebývají výrobci strojů zcela přesně specifikovány. Přesto jsou důležité a mají výrazný pozitivní dopad na technický stav i provozní náklady strojů.

Kontrolu činnosti vykonává obsluha či údržbář tým, že sleduje stroj a jeho jednotlivé části při provozu (nebo zkušebním běhu) a vnímá vnější projevy odchylek od normálního stavu (například nové zvuky, změnu rychlosti pohybu, změnu otáček, chvění, zvýšenou teplotu, zápach, aj.). To může dát impuls k cílené kontrole určité části stroje nebo některé jeho funkce a pomoci odhalit začínající poruchy.

Čištění strojů

Pomine-li se estetická stránka, je ještě řada dalších důvodů proč stroje čistit: nečistoty ovlivňují kvalitu produkce, brání normální funkci mechanismů, jsou jedním z iniciátorů

korozí nebo korozi působí, zhoršují chlazení a tím zvyšují tepelné namáhání a zhoršují podmínky mazání a tím nepřímo zrychlují opotřebení strojních součástí i stárnutí provozních hmot, vnikají mezi funkční povrchy a působí jejich poškozování abrazivním opotřebením a korozi, často zvyšují nebezpečí požáru nebo výbuchu, znesnadňují a znepríjemňují práci údržbářů, jsou nepříjemné nebo zdraví škodlivé.

Mazání strojů

Mazání je častou a důležitou prací při preventivní údržbě strojů a zařízení. Má přímý vliv na rychlost opotřebení funkčních povrchů součástí, tím na jejich technický život. Z fyzikálního hlediska je mazáním ovlivňováno tření, tedy mechanická účinnost mechanismů. Dobře zvolené a použité mazivo plní ještě další funkce. Lze tedy shrnout, že mazivo:

- maže, tj. snižuje tření,
- konzervuje, tj. chrání před korozi,
- chladí, tj. odvádí třecí teplo,
- dotěsňuje, tj. zlepšuje účinnost a brání vnikání nečistot zvenčí,
- čistí, tj. vynáší cizí částice.

Nejčastěji používané způsoby mazání strojů jsou:

- Mazání olejovou náplní, průběžně ve strojích filtrovanou provozními filtry a periodicky vyměňovanou.
- Mazání tukovou náplní periodicky doplňovanou (popř. vyměňovanou), nebo jednorázově použitou. Tento způsob je běžný pro mazání kluzných i valivých uložení.

Technických zařízení pro mazání strojů je řada od jednoduchých ručních zařízení, jednotlivých přístrojů s motorickým pohonem, centrálních mazacích systémů až k olejovým hospodářstvím včetně skladu maziv a výdejních zařízení pro vydávání, měření a evidenci spotřeby maziv pro jednotlivé stroje.

Péče o specifické systémy strojů

Konstrukce strojů jsou velmi rozmanité a obsahují i takové části, které lze považovat za specifické. Příkladem mohou být pneumatiky mobilních strojů, akumulátory strojů se spalovacím motorem, hydraulické systémy, elektronické systémy apod.

Konzervace a dekonzervace strojů

Konzervace je dočasná ochrana materiálů a výrobků před korozi. K vážným škodám působeným korozi může na strojích docházet tam, kde není nebo nemůže být povrchová úprava, například závity spojovacích šroubů, pružiny, otevřená ozubená soukolí, řetězová kola, pracovní orgány a nástroje, pístitnice hydraulických válců atd. Konzervovat je ovšem třeba i vnitřní povrchy strojů, například spalovací prostory motorů, vnitřky motorových a převodových skříní nad hladinou oleje, vstřikovací čerpadla a trysky motorů, potrubí, zásobníky, nádrže atd.

Nejdostupnější a nejrozšířenější způsob konzervace spočívá v použití ochranných povlaků. Jako konzervační látky se používají konzervační oleje, vazelíny, vosky. Všude, kde to je možné, je vhodné použití takových konzervačních prostředků, které nemusí být odstraňovány, ale na které může být přímo aplikováno provozní mazivo.

Garážování a uskladňování mobilních strojů

U strojů v trvalém provozu a u sezonně pracujících strojů v době sezony má garážování (tj. krátkodobé odstavení stroje do další pracovní směny) význam především jako ochrana před zneužitím a odcizením. Vliv garážování na korozní poškozování takto nasazovaných strojů je malý nebo žádný, garážování však usnadňuje provoz v zimním období (snazší spouštění motorů, není nutno vypouštět vodní náplně).

U sezonních strojů mimo sezonu a u strojů dlouhodoběji odstavených z provozu (tj. uskladněných), má správné uskladnění a správně provedená konzervace stroje rozhodující význam pro omezení korozních škod.

Přehled technologií následné údržby

Porucha je jev, spočívající v ukončení schopnosti technického objektu vykonávat požadované funkce při stanovených parametrech. [1]

Oprava je fyzický zásah prováděný za účelem obnovy požadované funkce objektu, který je v poruchovém stavu. [1]

Opravy se mohou lišit rozsahem prováděné práce. Nejrozsáhlejší opravy, tzv. generální, znamenají úplnou opravu celého stroje (skupiny), tj. všech jeho součástí. Opravy menšího rozsahu pak znamenají opravu pouze některé části stroje. Při úplné opravě přicházejí v úvahu následující práce:

1. Vnější čištění stroje
2. Demontáž
3. Čištění a odmašťování součástí
4. Technická kontrola a třídění součástí
5. Oprava součástí
6. Kompletace součástí pro montáž
7. Montáž a seřízení
8. Záběh
9. Povrchová úprava

Příklady vlivu jakosti technologických procesů údržby na bezporuchovost, pohotovost a bezpečnost výrobních zařízení

Každý technologický postup obsahuje přípravné operace, hlavní operaci a operace dokončovací. Všechny operace mají svůj význam a jejich pečlivé a úplné vykonání je předpokladem pro správnost a účinnost celého technologického postupu. Chybí-li některá potřebná operace, je technologický postup nesprávně navržený.

Technologický postup lze také chápat jako systém seriově zapojených prvků, kde prvky jsou jednotlivé operace. Nevykonaná nebo nesprávně (nekvalitně, neúplně, pozdě či předčasně aj.) vykonaná operace pak znamená snížení pravděpodobnosti bezporuchovosti této operace a tedy přímo a bezprostředně snižuje pravděpodobnost bezporuchovosti celého technologického postupu, kterou je možno chápat také jako jeho jakost.

Příklad 1- vliv údržby na bezpečnost zařízení

Dva pracovníci externí firmy měli vykonat údržbu reaktoru pro výrobu bioplynu v ÚČOV Praha. Při použití autogenního plamene došlo k výbuchu a smrtelnému úrazu jednoho a těžkému úrazu druhého pracovníka.

Jednalo se zjevně o nesprávný technologický postup údržby. Nesprávnost obecně mohla spočívat ve špatně navrženém postupu nebo v jeho nedodržení. Důsledky jsou katastrofální.

Příklad 2- vliv údržby na bezporuchovost zařízení

Údržbář měl odstranit poruchu na zdrojové soustavě traktoru tvořené derivačním dynamem a vibračním regulátorem. Porucha se projevovala na první pohled viditelným „spálením“ regulačních kontaktů regulátoru.

Údržbář vyměnil poškozený regulátor a prohlásil opravu za hotovou. Během následující půlhodiny se stejná porucha opakovala. Po stejně provedené další opravě se porucha opět opakovala.

Jednalo se o nesprávný technologický postup údržby. K poškození regulátoru došlo v důsledku zkratu budicího vinutí dynamu na kostru, který způsobil závislou poruchu regulátoru. Nesprávnost spočívala v tom, že nebyla nalezena a odstraněna primární porucha,

ale byl pouze vyměněn regulátor na kterém vznikala závislá (sekundární) porucha. Z hlediska technologického postupu se jednalo buď o nesprávně navržený postup, ve kterém nebyly zařazeny všechny potřebné předběžné a dokončující operace (nalezení příčiny poruchy, výstupní kontrola provedeného zásahu), a nebo o nedbale (neúplně) provedený postup.

Příklad 3 - vliv údržby na spolehlivost zařízení

Údržbáři měli provést předletovou přípravu vrtulníku. Nedodrželi však technologický postup a nedoplňovali palivo do rezervní nádrže. Vrtulník přepravoval oficiální hosty včetně dvou kosmonautů. Po spotřebování paliva z provozní nádrže se vrtulník zřítíl. Jednalo se o nedbale (neúplně) provedený technologický postup, což bylo jednou z příčin havarie.

Příklad 4 - vliv údržby na pohotovost zařízení

Při velkém výpadku elektrorozvodné sítě byla přerušena dodávka proudu na operační sály nemocnice, kde právě probíhaly operace. Záložní zdroj tvořený dieselagregátem se automaticky nespustil, protože startovací akumulátory byly zcela vybité. Obnova náhradní dodávky trvala déle než hodinu.

Akumulátory dieselagregátu byly trvale připojeny na zdroj napětí, který je udržoval ve stavu plného nabití. Údržbář při instalaci omylem zapojil zdroj s opačnou polaritou, což způsobilo úplné vybití akumulátorů a jejich úplné znehodnocení.

Jednalo se o nesprávně (nedbale) provedený technologický postup a zanedbání (nevykonání) předepsaných pravidelných kontrol záložního zdroje.

Uvedené příklady ukazují některé z možných dopadů nesprávně vykonané (či nevykonané) preventivní údržby. Bylo by možno uvést také řadu příkladů, kdy podobné následky mělo nesprávné vykonání následné údržby (opravy) zařízení.

Z hlediska odpovědnosti (zavinění) se ve všech případech jako příčina jeví selhání lidského činitele. Z hlediska technického však je příčinou nesprávné (tj. nedbalé, neúplné nebo žádné) vykonání údržby.

Lze tedy opětovně konstatovat, že správně vykonaná údržba má rozhodující vliv na bezpečnost, bezporuchovost a pohotovost strojů a zařízení.

Literatura

1. ČSN EN 13306 Terminologie údržby