



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

VYBRANÉ NÁSTROJE ZAJIŠTĚNOSTI ÚDRŽBY



**Materiály z 32. setkání
odborné skupiny pro spolehlivost**

Praha, září 2008

OBSAH

Základní nástroje pro zlepšování managementu údržby <i>prof. Ing. Václav Legát, DrSc.</i>	3
Analýza kořenových příčin poruch (RFCA) – nástroj pro zlepšování provozní spolehlivosti <i>Ing. Václav Havlů</i>	18
Tribotechnická diagnostika – nástroj pro zlepšování managementu údržby <i>Ing. Martin Holec</i>	26

Základní nástroje pro zlepšování managementu údržby

Prof. Ing. Václav Legát,
DrSc.

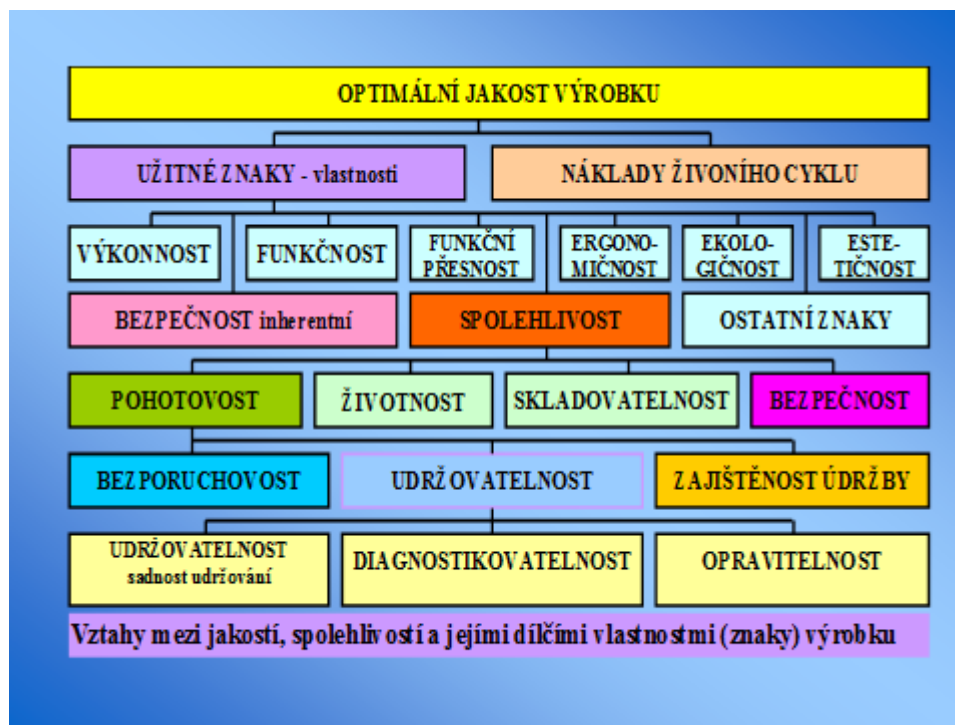
Technická fakulta ČZU v
Praze,

katedra jakosti a
spolehlivosti strojů

E-mail: legat@tf.czu.cz

1. Úvod

- Cílem příspěvku je přiblížit základní nástroje zajištění údržby, které umožňují zlepšovat management údržby



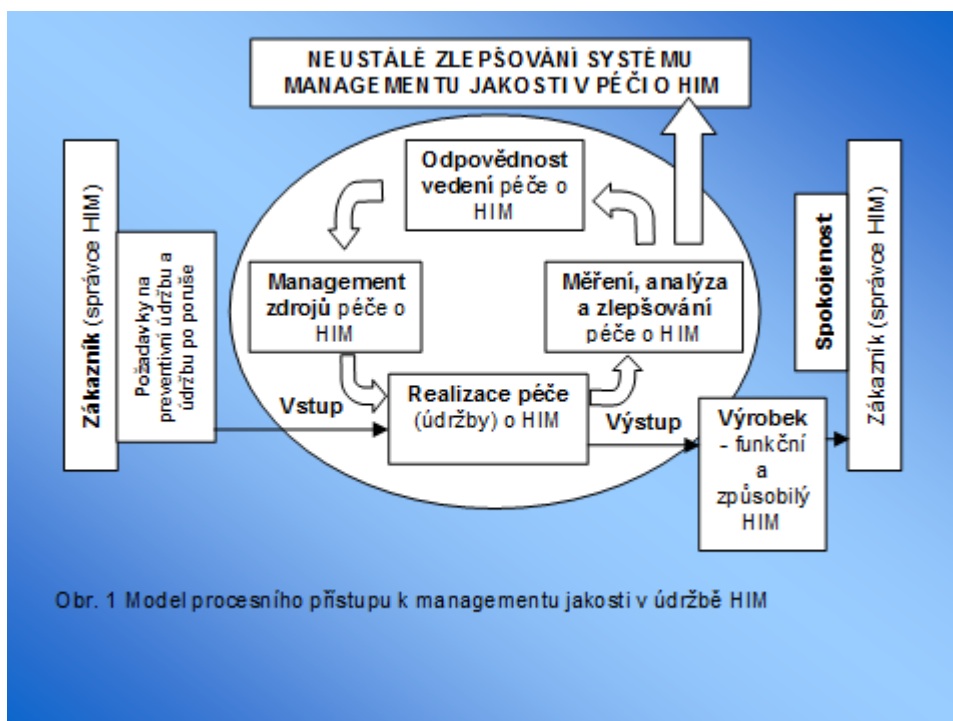
- Zajištění údržby** je schopnost organizace poskytující údržbářské služby *zajišťovat* podle požadavků v daných podmínkách *prostředky* (zdroje) potřebné *pro údržbu* podle dané koncepce údržby IEC 50(191).
- Management údržby** zahrnuje všechny činnosti managementu, které určují cíle, strategie a odpovědnosti údržby a které management uplatňuje takovými prostředky jako je *plánování, řízení a kontrola údržby a zlepšování metod* v organizaci, včetně ekonomických hledisek – ČSN EN 13306.

2. Vybrané nástroje pro zlepšování managementu údržby

2.1 Normovaný systém managementu jakosti ISO 9001:2000 v článku 7.5.1

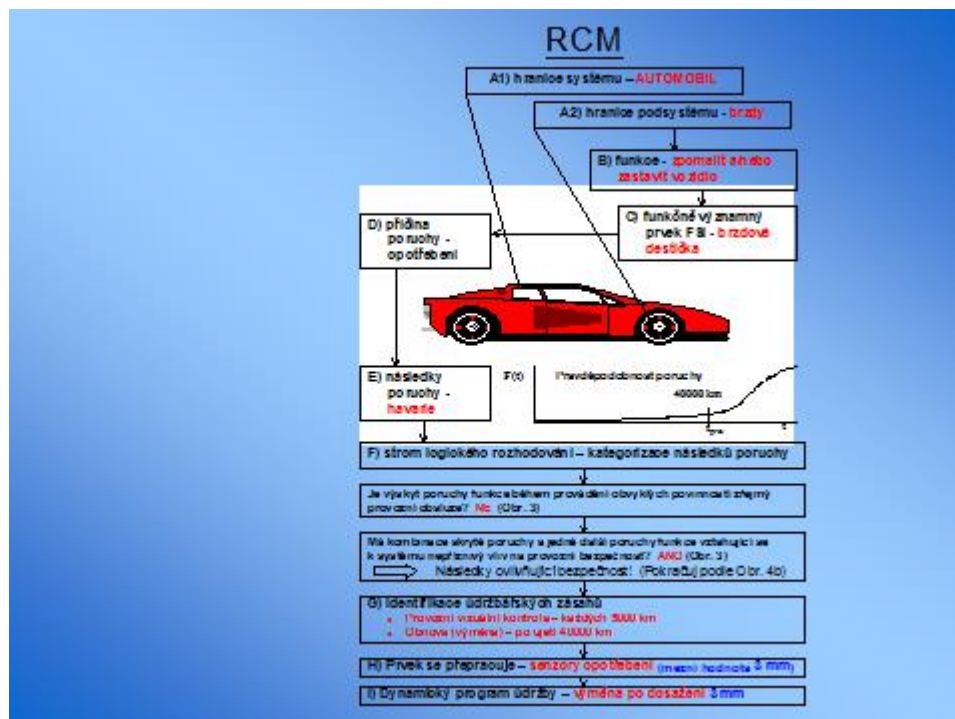
Organizace musí řídit pracovní činnosti při výrobě a při poskytování služeb pomocí:

- použití a **údržby** vhodného zařízení pro pracovní činnosti při výrobě a poskytování služeb



2.2 Údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM)

- metoda pro zavedení programu preventivní údržby
- využití algoritmovaných otázek a odpovědí na principu stromu logického rozhodování
- mnoho aplikací ve světě pro složitější technologie
- přínos - nižší poruchovost

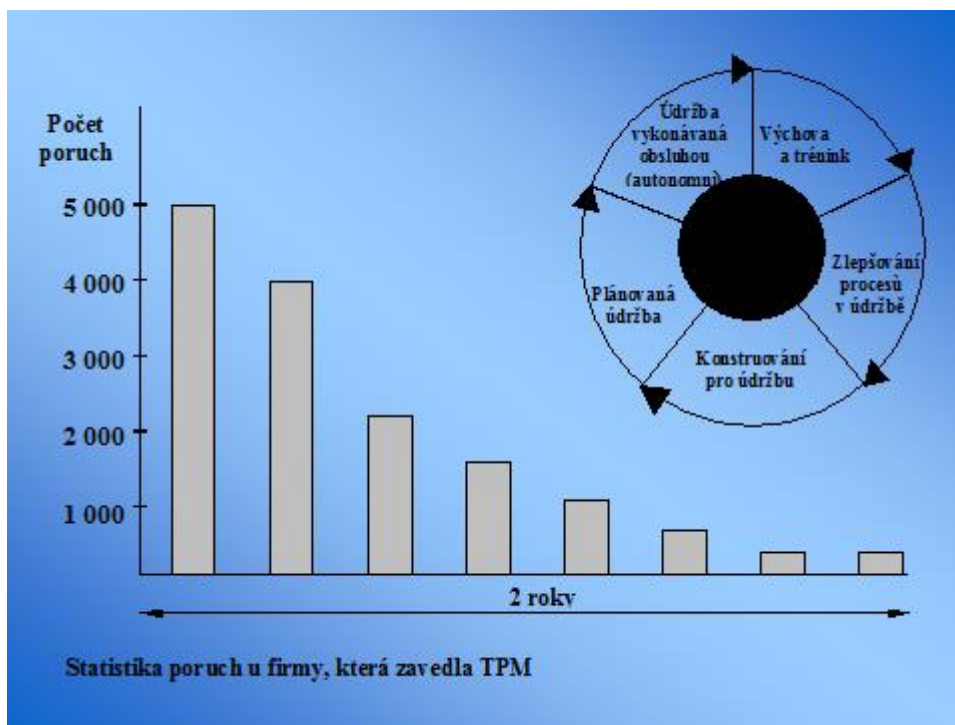


2.3 Komplexní produktivní údržba (TPM)

- čtvrt století uplatňovaná metoda ve světě, začátek - Nakajima v Japonsku
- metoda maximálního zapojení pracovníků organizace do údržby
- cíl - maximalizovat celkovou efektivitu výrobního zařízení, zvýšit produktivitu údržby a snížit náklady

PILÍŘE TPM



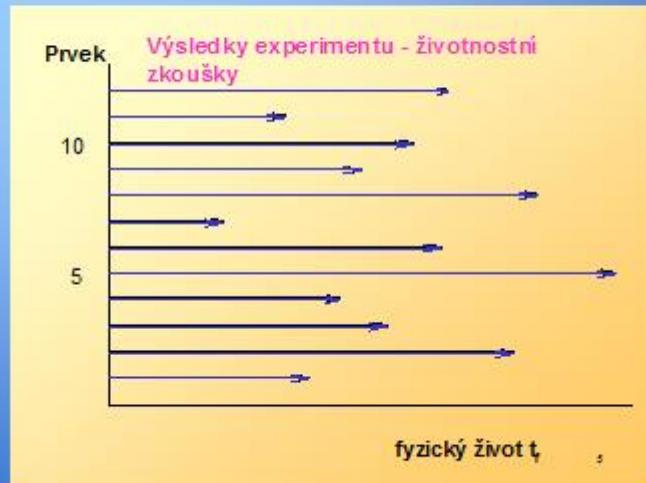


2.4 Analýza způsobů a důsledků poruch – FMEA

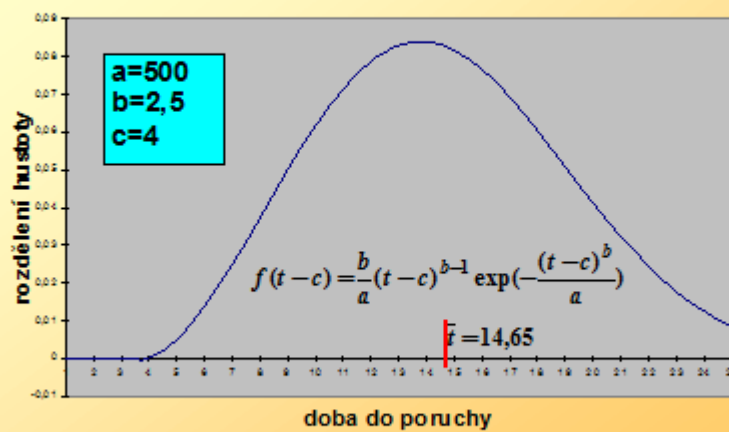
Stroj nebo zařízení _____ Zodpovědnost za návrh _____ Číslo FMEA _____
 Strojní skupina _____ Datum _____ Strana _____ z _____
 Součást _____ Zpracoval _____ Datum provedení FMEA: _____
 Model _____ (původní) _____ (revidovaná) _____
 Základní tým _____

Název zařízení (prvku)	Funkce	Identifikační číslo	Způsob (druh) poruchy	Příčina poruchy	Způsob zjištění poruchy	Důsledky poruchy	Pravděpodobnost poruchy	Odhaditelnost poruchy	Následek poruchy	Úroveň kritičnosti	Doporučení k napravení
										Přijmát opatření při 60 a více bodech úrovně kritičnosti	

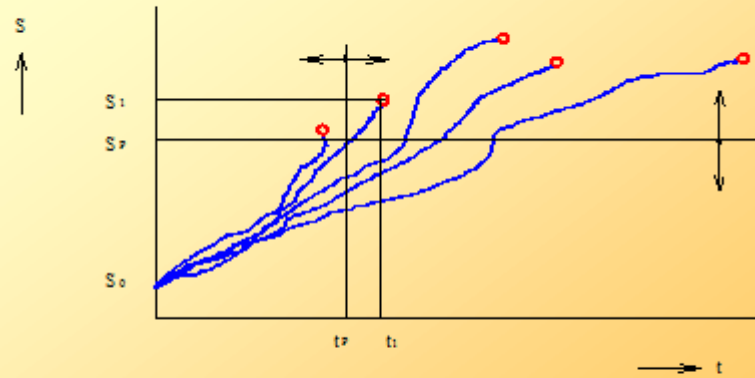
2.5 Spolehlivost, bezporuchovost a optimalizace preventivní údržby



Weibullovo rozdělení

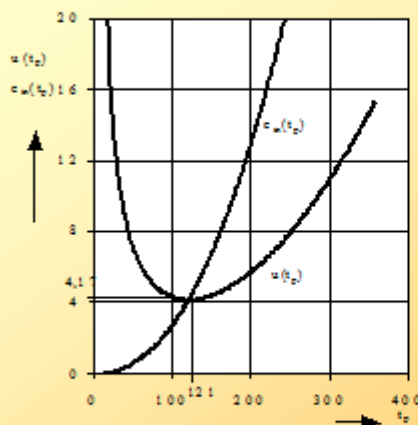


Princip preventivní údržby

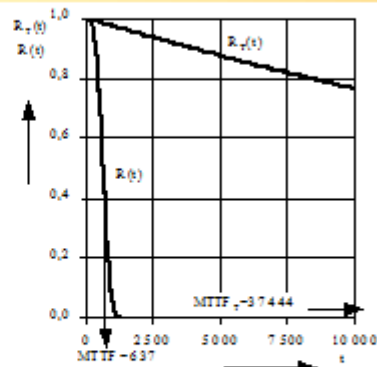


Obr. 1 Závislost diagnostického signálu S na době provozu t , fyzický život a princip tvorby preventivní údržby

11



Obr. 2 Závislost $c_m(t_p)$ a $c(t_p)$ na t_p



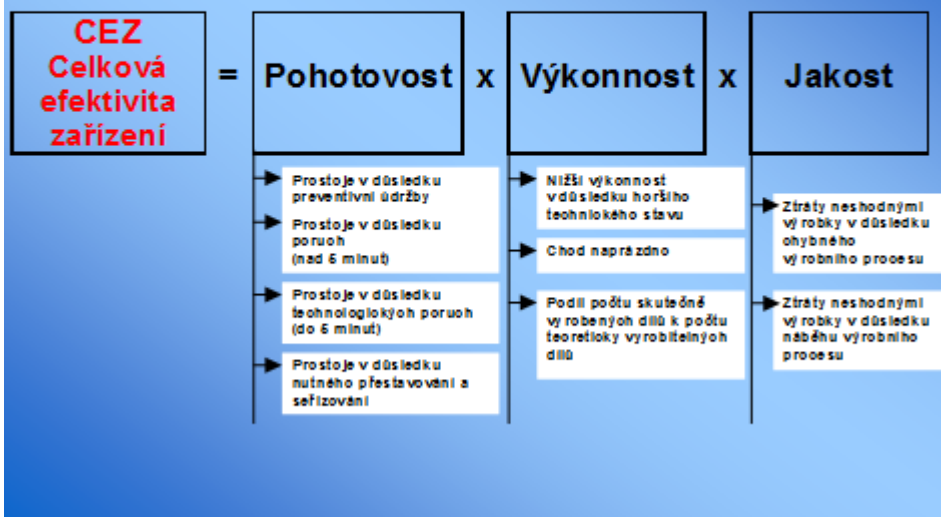
Obr. 3 Pravděpodobnost bezporuchového života $R(t)$ a $R_p(t)$ v závislosti na době provozu t

18

2.6 Měření produktivity a efektivity údržby

- vnější produktivita (program a management)
- vnitřní produktivita (způsobilost a motivace údržbářů)
- celková produktivita
- **ukazatel celkové efektivity zařízení (CEZ)**
- pohotovost (využití času)
- výkonnost (technický stav)
- jakost (způsobilost)

Celková efektivita zařízení (CEZ) – ukazatel účinnosti TPM



Výpočet celkové efektivity zařízení (CEZ)

pro daný stroj a zjištěné údaje (výsledky):

Doba směny t_{sm} = 480 minut	Preventivní údržba (čištění + prohlídka) t_{pu} = 20 minut	Přestavování (výměna nástroje a seřízení) t_{ps} = 20 minut	Počet neshodných výrobků v důsledku chybného výrobního procesu z_{chyb} = 5
Přestávka t_{pau} = 30 minut	Údržba po poruše t_{up} = 40 minut	Počet vyrobených kusů za směnu (skutečná produkce) Q_{sk} = 330	Počet neshodných výrobků v důsledku náběhu výrobního procesu z_{nab} = 10
Logistický prostor t_{log} = 15 minut	Odstraňování technologických poruch t_{ot} = 5 minut	Plánovaná pracnost výroby jednoho kusu T_{pl} = 0,95 minut	Naměřil a zaznamenal: František Novák

(OEE) CEZ (EVZU)	=	Součinitel pohotovosti (480-30-15-20-40-5-20)/(480-30-15) = 0,8046	x	Součinitel výkonnosti 330/(330/0,95) = 0,8957	x	Součinitel jakosti (330-5-10)/330 = 0,9545	=	0,6879
------------------	---	--	---	---	---	--	---	--------

Produktivní (dispoziční) čas směny

$$t_{pc} = t_{pau} - t_{ot} - t_{log}$$

Operativní čas směny

$$t_{oper} = t_{pu} - t_{pu} - t_{up} - t_{ot} - t_{log}$$

Součinitel pohotovosti

$$S_{poh} = t_{oper}/t_{pc}$$

Teoretická (jmenovitá) produkce

$$Q_{ym} = t_{oper}/T_{pl}$$

Součinitel výkonnosti

$$S_{miv} = Q_{sk}/Q_{ym}$$

Součinitel jakosti

$$S_j = (Q_{sk} - z_{chyb} - z_{nab})/Q_{sk}$$

Záznam vstupních dat pro výpočet CEZ

Strana z

Název stroje/zařízení: Den/směna: Tyden: Středisko:
 Číslo výrobek: Nepožadovaný časový fond t_{nca} : 960 Data zaznamenal:
 stroje/zařízení: Plánovaná pracnost (cyklus) T_{pl} : 0,98 minut min

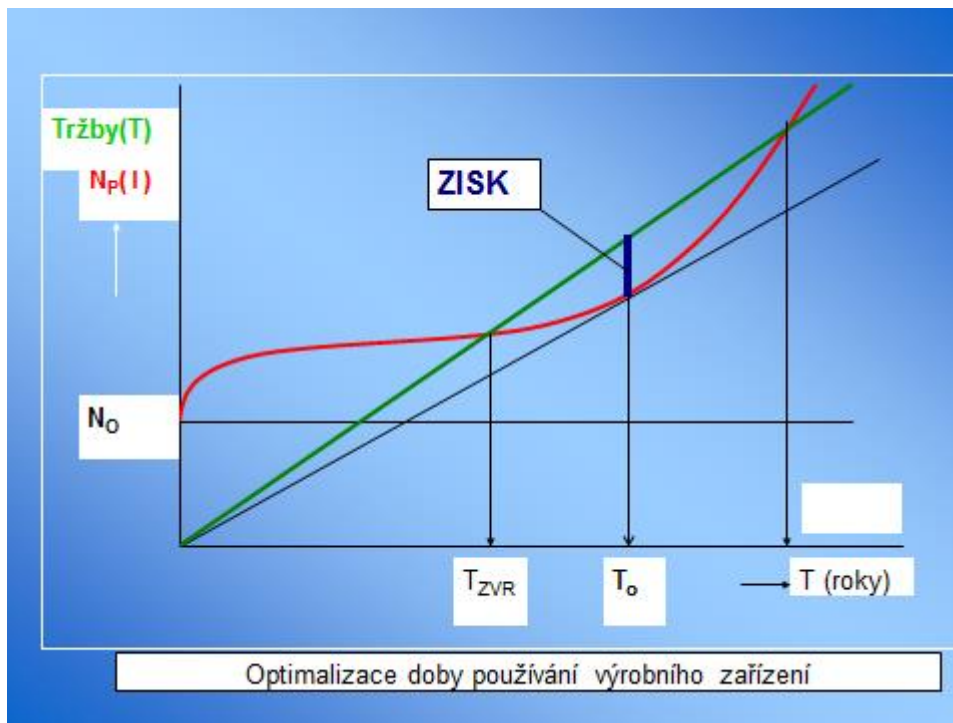
Čas	Operativní čas	Prostojne nezávislé na údržbě (minuty)	Preventivní údržba t_{pu} (minuty)	Údržba po poruše (minuty)	Přestavování a seřizování (minuty)	Počet výrobků	Počet neshodných výrobků	Poznámka	
									Organizační prostor t_{log}
0:00	1:00	75							
1:00	1:30		15						
1:30	4:00	120							
4:30	4:30		30						
5:00	5:30	20							
5:30	5:35				15	3	3		
5:35	5:45	80				88	5		
5:45	5:55				10	2	2		
5:55	6:00				5	1	1		
6:00	6:15	85				84			
6:15	6:30			5					
6:30	6:35				5				
6:35	6:50		5						
6:50	7:00								
Celkem:									

2.7 Interní a externí benchmarking - orientační porovnávání

- stanoví se ukazatele (indikátory)
- stanoví se, s kým se bude provádět orientační porovnávání
- analyzují se data
- zjistí se příležitosti ke zlepšování jakosti údržby
- EFNMS organizuje benchmarking a ČSPÚ hodlá jej organizovat také

2.8 Optimální obnova výrobního zařízení

- fyzické opotřebení,
- změna výrobního programu,
- rozšíření výroby,
- změna výrobní technologie,
- technologická a ekonomická zastaralost výrobního zařízení,
- ekologická nezpůsobilost výrobního zařízení,
- nadbytek nebo nedostatek vlastních i cizích investičních prostředků (financí),
- situace na trhu opotřebeného výrobního zařízení
- **jednotkové náklady na provoz a pořízení (obnovu)**



2.9 Počítačová podpora řízení údržby

- Komerční software:
 - modul celého balíku pro řízení podniku (SAP, ORACLE apod.)
 - speciální software určený pouze pro řízení údržby (MAXIMO, MP5 apod.)
 - SW lokálních firem

2.10 Technická diagnostika

- zjištění okamžitého technického stavu
- stanovení příčiny a lokalizace poruchy
- vypracování prognózy dispoziční doby provozu
- interní a externí diagnostika
- silná elektronizace a uplatnění umělé inteligence

2.11 Technologie údržby a oprav

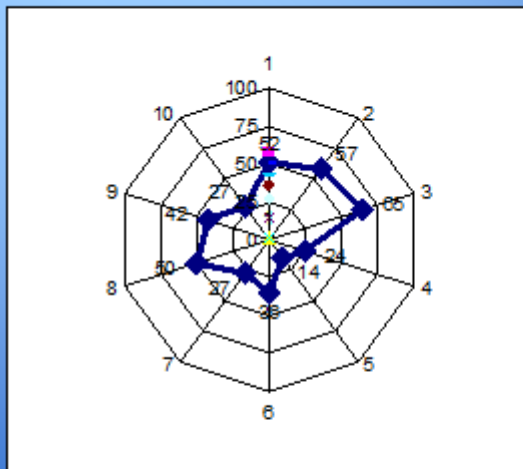
- aplikace speciálních strojírenských technologií
- postupy, jak správně dělat údržbu a opravy
- renovační metody
- standardy údržby a oprav (TPM)

2.12 Audit jakosti managementu údržby

- Audit chápeme jako systematický, nezávislý a dokumentovaný proces získávání důkazů z auditu a jeho objektivního hodnocení s cílem stanovit rozsah splnění kritérií auditu.

Oblasti auditu jakosti managementu údržby:

1. Charakteristika podnikatelských činností a výrobních zařízení v organizaci
2. Strategie a systémy údržby v organizaci
3. Organizace a řízení personálu v údržbě
4. Administrativa a dokumentace managementu údržby
5. Preventivní údržba
6. Plánování, rozvrhování a pracovní příkazy v údržbě
7. Realizace údržbářských procesů
8. Nakupování, skladování a řízení zásob náhradních dílů a materiálu
9. Měření účinnosti a efektivity údržby, její zlepšování a hodnocení spokojenosti zákazníků
10. Počítačová podpora řízení údržby



1. Charakteristika podnikatelských činností a výrobních zařízení v organizaci
2. Strategie a systémy údržby v organizaci
3. Organizace a řízení personálu v údržbě
4. Administrativa a dokumentace managementu údržby
5. Preventivní údržba
6. Plánování, rozvrhování a pracovní příkazy v údržbě
7. Realizace údržbářských procesů
8. Nakupování, skladování a řízení zásob náhradních dílů a materiálu
9. Měření účinnosti a efektivity údržby, její zlepšování a hodnocení spokojenosti zákazníků
10. Počítačová podpora řízení údržby

3. Závěr

- Provést audit systému údržby v organizaci
- Vypracovat program zlepšování managementu údržby v organizaci
- Aktualizovat programy údržby pro jednotlivé stroje a výrobní zařízení na principu RCM optimalizací proporcí mezi preventivní údržbou a údržbou po poruše
- Uplatňovat proaktivní údržbu
- Zlepšovat organizaci a řízení údržby na principu ISO 9001, programu spolehlivosti a TPM
- Optimalizovat proporce interní a externí údržby
- Zlepšovat počítačovou podporu řízení údržby
- Systematicky vzdělávat, školit a trénovat personál v údržbě
- Zavést a vyhodnocovat interní srovnávání (benchmarking)

Analýza kořenových příčin havarijních poruch – nástroj pro zlepšování preventivní údržby

Root Cause Failure analysis – a tool for preventive maintenance improving

Vít Havlů
SYNTHOS Kralupy a.s.

Klíčová slova: porucha, příčina, analýza, RCFA.

Anotace:

Pro dobré zajištění proaktivní preventivní údržby je nezbytná analýza příčin kritických poruch. Obecně je pro tuto oblast k dispozici metodologie analýzy kořenových příčin poruch (RCFA). Autor v příspěvku uvádí postup aplikace a zkušenosti s uplatněním dané metodologie v praxi.

Abstract:

In order to ensure preventive current maintenance, it is necessary to analyze the cause of critical failure. Generally, there is for this area available the methodology Root Cause Failure Analysis (RCFA). The author is going through the process of application in the paper and introduces experiences with use of this methodology in practice.

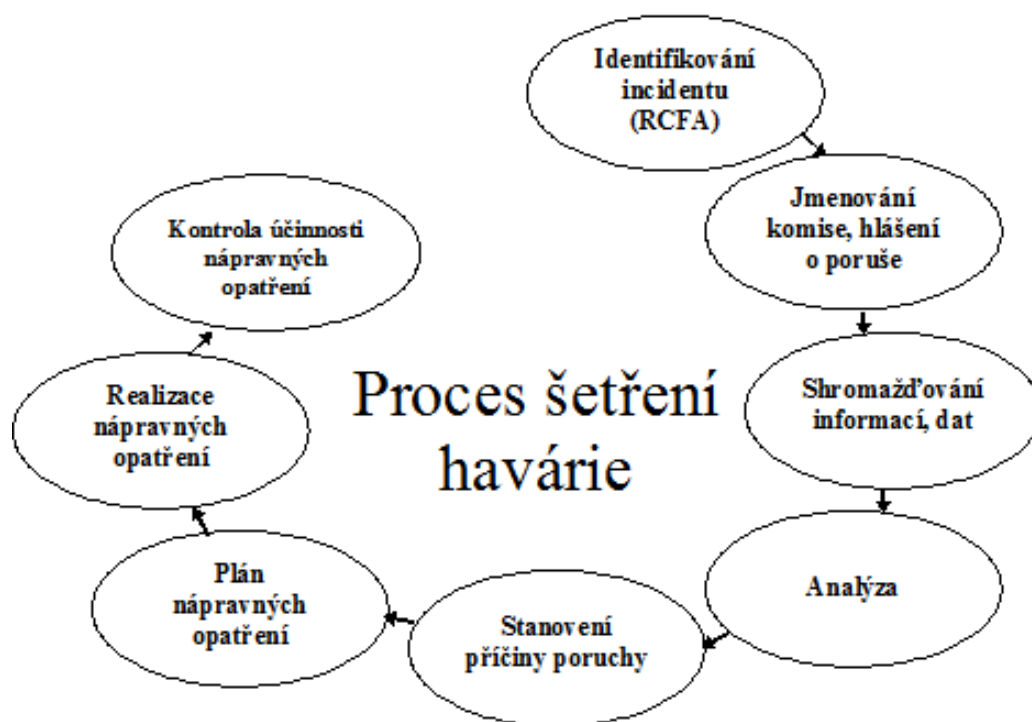
1. Úvod:

Záměrem každého výrobního závodu je minimalizace poruch, které mají vliv na kapacitu výroby. Tyto poruchy způsobují nejen ztráty z prostojů, ale i další vynaložené náklady na jejich odstranění. Jedním z nástrojů pro nalezení příčin poruch se využívá metodika RCFA. Pomocí této metodiky se hledají základní příčiny poruchy a navrhuje se vhodné nápravné opatření na její odstranění, aby se porucha stejného charakteru v budoucnu neopakovala.

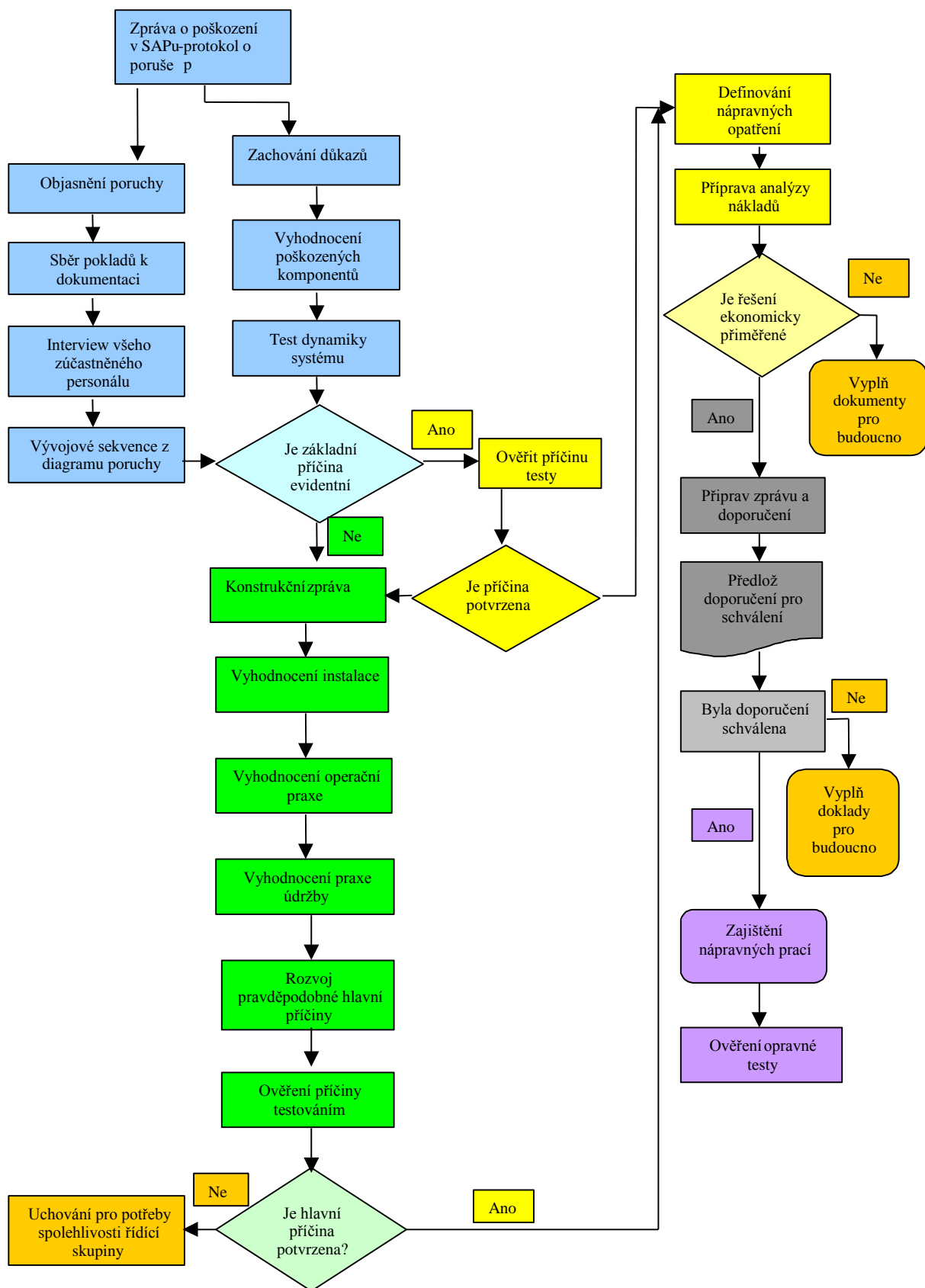
Cílem tohoto příspěvku je seznámit posluchače s metodou analýzy kořenových příčin poruch a podat základní informace o postupu provádění této metody a její aplikace v praxi.

2. Postup provádění analýzy

Každé vyšetřování základních příčin poruch pomocí RCFA analýzy by mělo zahrnovat pět základních fází. V některých případech může nastat překrytí mezi fázemi, s maximálním úsilím by se však měly držet odděleně a zřetelné. Grafické znázornění postupu jednotlivých kroků, zjednodušuje a zpřehledňuje metodiku průběhu vyšetřování (viz obr. 2). Tato snaha by měla zahrnovat všechny úkoly a vyžadované aktivity pro hodnocení poruchy a určení specifických limitů a ukázat podmínky, za kterých došlo k havárii.



Obr.1 Schéma procesu šetření havárie



Obr.2 Grafické znázornění postupných kroků metodiky RCFA

Fáze I – Sběr dat

Prvním krokem při vyšetřování je sběr dat k objasnění dokumentované poruchy nebo problému. Tato fáze hodnocení zahrnuje interview se zúčastněným personálem, sběr evidenčních dat, a dále zpracování vedoucí k dalšímu zkoumání jako je analyzování posloupnosti v postupu poruchy, což je nezbytné k objasnění a jasnému porozumění problému. Je nutno připomenout, že tato sekce je primárním zdrojem informací o poruše zařízení.

Je důležité shromažďovat data ihned po výskytu škodné události. Některá data by měla být sbírána dokonce už během výskytu.

Sesbíraná data budou rozdělena na data předtím, během a po výskytu poruchy. U závažných případů může být užitečné pro analyzování informací vyvolaných během vyšetřování fotografování oblasti výskytu. Maximálním úsilím by měly být uchovány fyzické důkazy jako poškozené součásti, roztržená těsnění, spálená vedení, spálené pojistky, rozlité tekutiny, částečně dokončené pracovní příkazy a procedury.

Budou identifikováni účastníci výskytu události a dobře informovaní jedinci. Sesbíraná data by měla být ověřena, aby zabezpečovala přesnost analýzy. Kusy materiálu se označí, segregují a určí se karanténní oblast, kde se budou důkazy uchovávat.

Informace, které je potřeba zahrnout:

- aktivity související s výskytem události
- počáteční nebo opakující se problémy
- hardware (vybavení) nebo software (programové problémy) spojované s výskytem události
- současný administrativní program nebo změny vybavení
- fyzické prostředí nebo okolnosti apod.

Fáze II – Hodnocení

Tato fáze zahrnuje analyzování dat a identifikace příčin, shrnutí nálezů a jejich kategorizace.

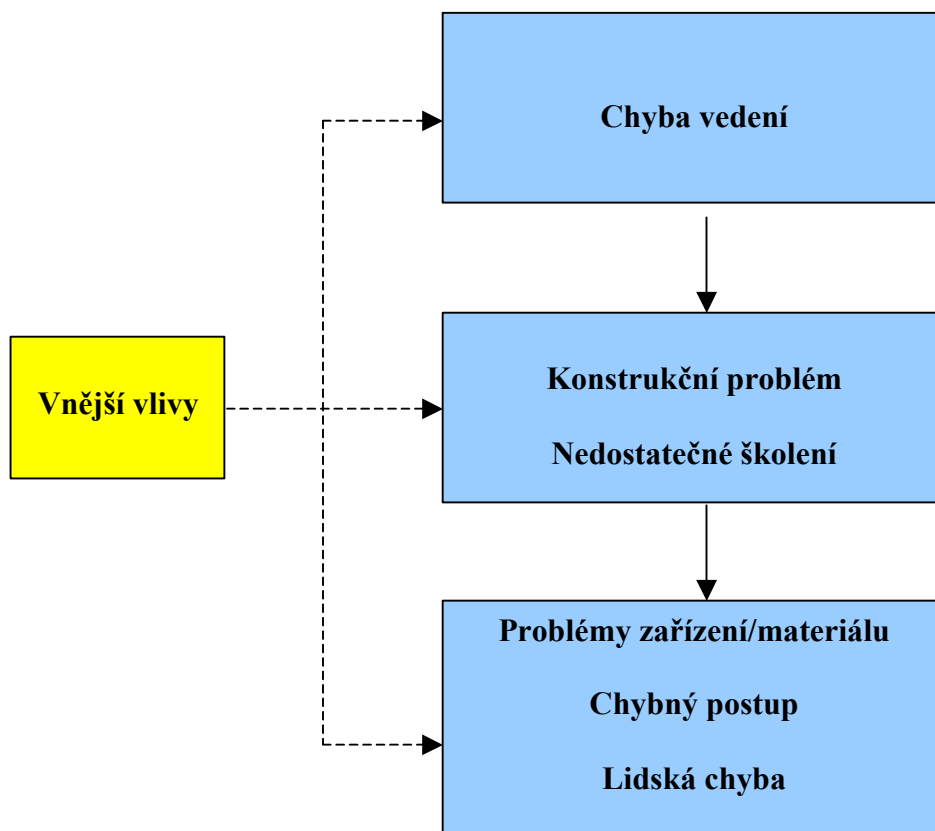
Hlavní kategorie příčin jsou:

- 1) Problémy zařízení/materiálu
- 2) Chybný postup
- 3) Lidská chyba
- 4) Konstrukční problém
- 5) Nedostatečné školení pracovníků
- 6) Chyba vedení
- 7) Vnější úkazy

Tyto kategorie byly pečlivě vybrány se záměrem oslovit všechny problémy, které by mohly nastat. Zařízení/materiál, postupy (instrukce) a personál jsou základní prvky, které jsou k provozování nezbytné. Konstrukce a školení určují kvalitu a účinnost zařízení a personálu. Těchto pět prvků musí být řízeno, proto je také uvedeno vedení. Pokud nastane porucha, vždy je za ní zodpovědný jeden z těchto šesti prvků (vnější úkazy slouží jako prvek sedmý).

Přímá, základní (kořená) nebo přispívající příčina se může vyskytovat v příčinném řetězci činitelů (viz obr. 3). Základní příčina může být operátorská chyba, zatímco chyba vedení může být příčina přímá.

Těchto sedm kategorií je dále rozděleno do 32 dalších podkategorií.



Obr. 3 Příčinný řetězec činitelů.

Fáze III – Nápravná opatření

Analýza RCFA umožňuje zlepšení spolehlivosti a bezpečnosti vhodně vybranou a efektivně aplikovanou nápravnou akcí. Nejdříve se určí nápravná opatření pro každou příčinu. Pak se aplikují následující kritéria k nápravným akcím pokud je lze uplatnit. Jestliže nelze uplatnit navržená nápravná opatření, musí následovat jiná řešení.

Před aplikováním nápravných akcí je třeba položit si několik otázek:

- Vráti se zařízení pomocí navržených nápravných opatření do původního stavu?
- Jsou nápravná opatření proveditelná?
- Splní nápravná opatření požadované cíle?
- Nezpůsobí nápravná opatření nová nebezpečí? (Nesmí být narušeno bezpečí ostatních systémů)
- Byly okamžité akce provedeny vhodně a efektivně?

Úspěšný nápravný program vyžaduje podporu managementu, který je zapojen na vhodné úrovni, je ochotný vzít odpovědnost a rozdělit adekvátní prostředky pro nápravné opatření. Nápravné akce mohou mít dopad na ostatní zařízení a jejich provedení by mělo být zvažováno.

Navržená opatření by měly být seřazeny podle důležitosti a měly by se aplikovat včas. Kompletní nápravný program by neměl být založen pouze na specifických příčinách poruch, ale také na sledování ostatních zařízení, hodnocení a zaměstnaneckých návrzích.

Při zavádění nápravných opatření je třeba si položit také následující otázky:

- Osloví nápravná opatření všechny příčiny?
- Nebude mít nápravná opatření špatný efekt?
- Jaké budou důsledky ze zavádění nápravných opatření?
- Jaké budou důsledky pokud se nápravná opatření nezrealizují?
- Kolik budou stát nápravná opatření (z pohledu investic a údržby)?
- V jakém časovém rámci se nápravná opatření budou implementovat?
- Jaké prostředky budou využity pro nápravné opatření?

Fáze IV – Informování

Efektivní komunikace napomáhá objevovat chybné kroky postupu vyšetřování. Všechny údaje týkající se aktuálního vyšetřování a archivace všech předchozích případů, by měly být umístěny na jednotném místě a vedena evidence poruch.

Informování o průběhu nápravných opatření, změnách a výsledcích je vhodné zasílat všem zainteresovaným zaměstnancům.

Fáze V – Další sledování

Další sledování zahrnuje určování jestli nápravná opatření byla efektivní v řešení problémů. Nejprve by mělo být sledováno to, jestli jsou nápravná opatření vhodně implementována.

Sledování přehledu nápravných akcí, normálních procesů a měnicího se kontrolního systému může být prospěšné pro efektivní vedení celého procesu. Návrat stejných nebo podobných událostí musí být identifikované a analyzované. Jestliže se poruchy opakují, vše by mělo být znovu zhodnoceno a určeno, proč nápravná opatření nebyla efektivní. Při změně kontrolního systému by se mělo zhodnotit, jaká zlepšení jsou nutná. Včasné údaje ze změn podmínek mohou být získány ze sledování měnicího se trendu příslušných grafů.

3. Praktická ukázka analýzy poruchy (část vyšetřovací zprávy)

Výpadek parní turbíny na výrobně Etylbenzenu:

Popis poruchy

Po plánované odstávce provozu v září/říjnu 2007 se parní turbína neprovozovala z důvodu neustáleného provozu výroby Etylénu. Dne 4.12.2007 byla spuštěna turbína a následně 6.12.2007 byla TP222 odstavena z důvodu vysoké hlučnosti převodovky. Po demontáži z pozice a převozu do dílen bylo zjištěno poškození zubů převodového ústrojí, opotřebení lopatek oběžného kola, dýz a tepelně ovlivněná oblast u kroužku ložiska na hřídeli.

Popis poruch turbíny od generální opravy

Turbína byla provozována za ustáleného provozu jednotky EB2 od roku 2002 do odstávky 17.6.2006. Po odstavení bylo zjištěno značné poškození turbínového kola vlivem kapek vody obsažených ve vlhké páře, a dále poškození rychloběžné hřídele pod ucpávkou, vzniklé třením uhlíkových kroužků o hřídel.

Na turbíně byla od června r. 2006 do ledna r. 2007 prováděna generální oprava. Při této opravě došlo k výměně turbínového kola a rozváděcích dýz, které byly značně opotřebeny vlivem vlhké páry. Dále

došlo též k výměně obou hřídelí převodovky společně s ozubenými koly a ucpávkou. Od 14.2.2007 byla turbína v provozu do 12.6.2007, kdy došlo k odstavení jednotky EB2 vlivem blesku.

Během této doby došlo k závadě otáčkoměru a přicpání chladicí vody chladiče oleje. Následně byla turbína najeta opět až za ustáleného stavu jednotky EB2 a byla v provozu od 10.7.2007 do 8.10.2007, kdy byla odstavena do pravidelné zarážky. Po zarážce byla turbína najeta 5.12.2007 a dne 6.12.2007 došlo k jejímu odstavení z důvodu hlučného chodu. Dne 18.12.2007 byla provedena revize turbíny technikem společnosti Siemens, jejímž závěrem bylo konstatování, že turbína není dále provozuschopná.

Při revizi bylo zjištěno poškození ozubených kol (zejména pastorku) jež bylo zdrojem zvýšené hlučnosti při provozu zařízení a dále poškození opěrného kroužku hřídele. Bylo též zjištěno poškození turbínového kola vlivem kapek vody dopadajících na lopatky, avšak v daleko menší míře než před generální opravou.

Popis příčin poruchy

Základní příčina poruchy:

Vznik únavového opotřebení na bocích zubů pastorku hnací hřídele tzv. pitting (kontaktní únavové opotřebení) a následný vznik tzv. spallingu (vydrolování).

Přispívající zjištěné příčiny poruchy

Vysoký obsah vody v oleji, nevhodné parametry páry pro provozování turbíny (hodnoty ale splňují požadavky na páru podle projektu).

Příčiny vzniku pittingu mohou být různé, a proto se nedají z dostupných informací/dat jednoznačně stanovit. Vznik, průběh i intenzita poškození únavovým opotřebením je závislé na provozních podmínkách, použitém materiálu a jeho povrchové úpravě, znečištění provozního oleje aj.

Nápravná opatření – návrh

- 1) Oprava stávající turbíny – v návaznosti na reklamační řízení provést opravu buď u výrobce nebo u jiné firmy. Opravu by bylo vhodné provést co nejdříve, aby bylo možno turbínu osadit na pozici, kde by sloužila jako záloha za elektromotor do doby než bude zajištěna přehřátá pára pro provoz turbíny.
- 2) Pořízení elektromotoru pro pohon druhého čerpadla, nebo na sklad jako záloha pro případ poruchy stávajícího elektromotoru (přibližná cena motoru 350tis.a dodací lhůta 8-10 týdnů).V případě instalace motoru na místo turbíny by bylo nutno upravit pozici pro elektromotor, zvýšily by se náklady na spotřebu el. energie a bylo by třeba vyřešit problémy s odběrem páry vzniklé odběrem tepla z kolony C-220.
- 3) Úprava páry před vstupem do turbíny:
 - Ohřátí páry na vyšší teplotu - přidání přehříváče před vstupem páry do turbíny, bude třeba vypracovat projekt.
 - Redukce páry na nižší tlak – přidání redukčního ventilu do potrubí před turbínu, bude třeba konzultovat s výrobcem, zda-li by turbína dokázala podávat dostatečný výkon při nižším tlaku páry.
- 4) Zkrácení intervalu analýz oleje v převodovce turbíny a zprovoznění funkčního načítání motohodin turbíny do mazacího plánu.

- 5) Instalace měření teploty páry před vstupem do turbíny a připojení tohoto měření do řídicího systému.

4. Závěr:

Autor v tomto příspěvku ukázal, jakým způsobem lze řešit havární poruchy na výrobním zařízení. Navržená metodika zkoumání poruchy je sestavena tak, aby bylo možné vystihnout všechny oblasti potenciálních poruch a navrhnout pro ně vhodná nápravná opatření, aby se porucha tohoto typu v budoucnu už neopakovala. Jejím hlavním přínosem je sjednocení vyšetřování poruch závažnějšího charakteru v podniku, jejich evidence a popis, zvýšení dostupnosti a spolehlivosti zařízení, a tím i následně snížení ztrát z prostojů.

Metodika RCFA se dá použít i jako vhodný nástroj pro preventivní systém údržby.

Použitá literatura:

- [1] Mobley, R.K.: Root cause failure analysis. Plant Engineering 1999, ISBN 0-7506-7158-0
- [2] Bumba, Kelnar, Sluka: Postupy a metodiky analýz a hodnocení rizik pro účely zákona č. 353/1999 Sb., o prevenci závažných havárií.
http://www.vubp.cz/html_oppzh/metodiky/postmetanalyzduben2005.pdf
- [3] U.S. Department of Energy: Root cause analysis guidance document. 1992
<http://www.hss.energy.gov/NuclearSafety/techstds/standard/nst1004/nst1004.pdf>
- [4] Holý, P.: Vyšetřování mimořádných událostí. Dokument KAUČUK, a.s., revize 2006

Internet: (30.3.2008)

[http://www.env.cz/www/zamest.nsf/0/7d67630b76736000c12569df004051f2/\\$FILE/ATTIO9Z5/MP%20BP.pdf](http://www.env.cz/www/zamest.nsf/0/7d67630b76736000c12569df004051f2/$FILE/ATTIO9Z5/MP%20BP.pdf)
<http://www.vubp.cz/download/smerniceOECD.pdf>
<http://www.reliability.com/articles/article21.htm>
<http://www.maintenanceworld.com/root-cause-analys.htm>

Autor:

Ing. Vít Havlů
Inženýr spolehlivosti
SYTHOS Kralupy a.s.
O. Wichterleho 810
278 52 Kralupy nad Vltavou
Česká republika
Tel.: +420 315 712 347, email: vit.havlu@kaucuk.cz



Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

Seminář České společnosti pro jakost
18.9.2008



Ing. Martin Holec
ČESKÁ RAFINĚRSKÁ, a.s.

1

Rafinérie Litvínov



kapacita 5,1 MMT

2

Rafinérie Kralupy nad Vltavou



kapacita 3,3 MMT

3

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

Produkty

LPG

Automobilové benzíny OČ RON 91 a 95

Motorová nafta třídy D,B,F, resp. 2

Topné oleje

Silniční asfalty 50/70, 70/100, 160/200

Kapalná síra

Olejevé hydrogenáty stabilizované, klasické

Suroviny pro petrochemii, propylén

Letecký petrolej JET A1

MTBE

4

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

Vybraný strojní park

- Litvínov
 - Čerpadla 915
 - Kompresor, turbíny, ventilátory a ostatní 350
 - Hydraulické systémy 6
- Kralupy
 - Čerpadla 656
 - Kompresor, turbíny, ventilátory a ostatní 168
 - Hydraulické systémy 1

5

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

Preventivní a prediktivní údržba rotačních strojů

- Rozsah preventivní údržby
 - doporučení výrobce
 - zkušenosti z provozování
- Prediktivní údržba
 - technická diagnostika
 - vibrodiagnostika
 - tribodiagnostika

6

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

Náplň práce tribotechnika v ČR

- tvorba a aktualizace mazacích plánů
- seznamování s nimi operátory
- kontrola dodržování mazacích plánů (zejména intervaly výměn a domazávání)
- kontrola správnosti dodržování a nakládání s mazivy (skladování, používání)
- tribodiagnostika

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

7

Počet odebraných vzorků za rok: cca 500

Skladba strojů

rotační kompresory a parní turbíny: 16

pístové kompresory: 30

čerpadla: 15

převodové ústrojí: 15

hydraulické systémy: 6

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

8

Sledované parametry

- Kinematická viskozita 40°C (ČSN 656216)
 - Bod vzplanutí (ČSN 656212)
 - Obsah vody (EN ISO 12 937)
 - Číslo kyselosti (ČSN 656070)
 - Obsah nečistot (ČSN 656206, ISO 4406/87)
 - Množství vybraných kovů (fe, cu, mu a pb)
- Počet částic, popis a charakter částic

9

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

Sledované parametry

- Deemulgace (ČSN 656230)
- Obsah antioxidantů a přísad
- Pěnivost 25 a 95 °C (ČSN 656238)
- Stanovení infračerveného spektra
- Stanovení množství vybraných kovových prvků

10

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

Četnost vzorkovacích intervalů

Sestavení na základě zkušeností s rychlostí vývoje změny

Nutno brát ohledy na:

- vlastní zkušenosti s provozem stroje
- provozní prostředí (ve zhoršených podmínkách častější kontrola)
- provozní parametry (teplota olejového systému, ložisek,..)
- častější vzorkování při přiblížení se k hraničním hodnotám

11

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

Příklad rychlosti změn vybraných parametrů

druh zkoušky	olejový systém	co způsobuje změnu	způsob projevu	rychlost vývoje
bod vzplanutí	- mazání převodových skříní		náhlá změna pozvolná změna	nelze určit nedošlo k výrazným změnám
	- mazání parních turbín		náhlá změna pozvolná změna	nelze určit ± 2 °C za 1 rok ± 1°C na 4350 hod
	- mazání klíč. mech. . .	pronikání pracovního média - lehké HCL - vzduch, N ₂	náhlá změna pozvolná změna pozvolná změna	nelze určit ± 5°C za 1 rok ± 1°C na 1740 hod ± 1-3°C za 1 rok ± 1°C na 8700 až 2900 hod
	mazání valvých (kluzných) ložisek	pronikání pracovního média - HCL	náhlá změna pozvolná změna	nelze určit ± 15°C za 1 rok ± 1°C na 580 hod

12

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

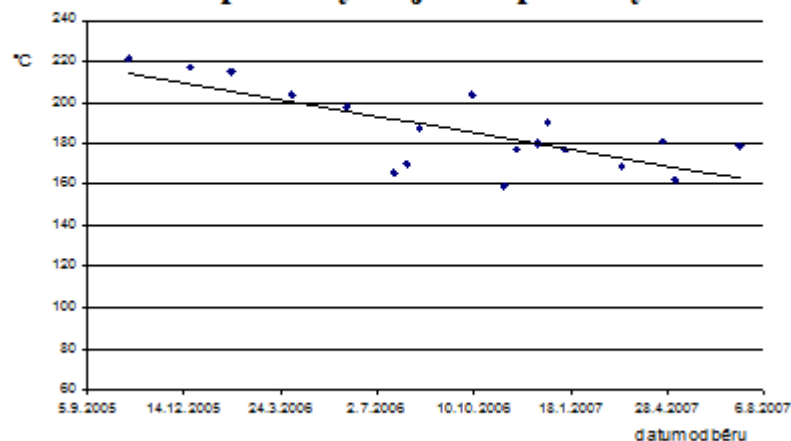
Příklad frekvence testů na základě rychlosti vývoje změn

Druh stroje	Druh zkoušek a frekvence testů	
mazání převodových skříní	Bod vzplanutí Kinematická viskozita při 40°C Obsah vody Kód šistoty Stanovení kyselosti oleje	1 x 12 měsíců 1 x 6 měsíců 1 x 6 měsíců 1 x 6 měsíců 1 x 6 měsíců
mazání turbokompresorů	Bod vzplanutí Kinematická viskozita při 40°C Obsah vody Kód šistoty Stanovení kyselosti oleje Obsah antioxidantů Stanovení infračerveného spektra Pěnivost vizuální kontrola (barva, vzhled, zápach)	1 x 2 měsíce 1 x 4 měsíce 1 x 2 měsíce 1 x 2 měsíce 1 x 8 měsíců 1 x 6 měsíců 1 x 8 měsíců 1 x 6 měsíců denně
ucpávkový olej turbokompresorů	Bod vzplanutí Kinematická viskozita při 40°C Obsah vody Kód šistoty Stanovení kyselosti oleje Stanovení infračerveného spektra vizuální kontrola (barva, vzhled, zápach)	1 x 2 měsíce 1 x 4 měsíce 1 x 2 měsíce 1 x 2 měsíce 1 x 6 měsíců 1 x 6 měsíců denně

13

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

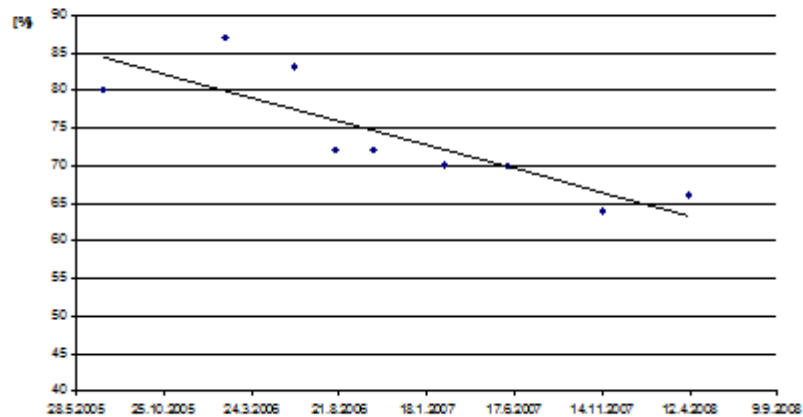
Příklady průběhu určitých parametrů v čase Ucpávkový olej - bez poruchy



14

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

Turbínový olej – obsah antioxidantů v %



17

■ Tribotechnická diagnostika - nástroj pro zlepšení managementu údržby

Příklady z provozu

Velký obsah vody a mech nečistot

- Porucha chladicího okruhu, nebo kompaktnosti olejové nádrže
- U parních turbín poruchy ucpávek

Změna kyselosti, viskozity, barvy (termální, oxidační degradace)

- Vyčerpání aditiv, vysoká teplota (nevhodný provoz stroje, nesprávná funkce části olejového okruhu)

Změna viskozity a bodu vzplanutí

- Pronikání provozního média do olejové náplně

18

Příklady z provozu

Velký obsah vody a mech nečistot

- Porucha chladicího okruhu, nebo kompaktnosti olejové nádrže
- U parních turbín poruchy ucpávek

Změna kyselosti, viskozity, barvy (termální, oxidační degradace)

- Vyčerpání aditiv, vysoká teplota (nevhodný provoz stroje, nesprávná funkce části olejového okruhu)

Změna viskozity a bodu vzplanutí

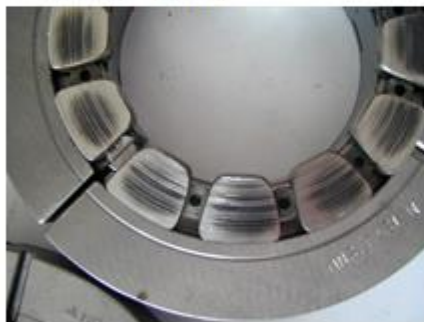
- Pronikání provozního média do olejové náplně

19

■ Název prezentace podle titulní stránky

příklad - turbokompresor Borsig GHH 2002

Ložisko – axiální



- radiální, spodní polovina



20

■ Název prezentace podle titulní stránky

- Nález poškozených ložisek
 - axiální ložisko
 - plošný úbytek kompozice povrchu segmentů
 - radiální ložisko
 - pitting ložiskového kovu, snižování únosné plochy ložiska
- Příčina
 - proniknutí vody do mazacího oleje z poškozeného chladiče

21

■ Název prezentace podle titulní stránky

Rozhodnutí volit pevné intervaly výměny, nebo na základě skutečného stavu?

parametry:

Ekonomické

- důležitost stroje pro provoz – existence záložního stroje
- velikost olejové náplně – cena maziva

Bezpečnostní

- bezpečnost provozu – havárie stroje v důsledku špatného maziva

Doporučení výrobce

Ostatní

- teplota, ...

22

■ Název prezentace podle titulní stránky

Rozhodnutí volit pevné intervaly výměny, nebo na základě skutečného stavu?

Porovnání nákladů dvou variant

- pevné intervaly výměn
- výměny na základě skutečného stavu

23

■ Název prezentace podle titulní stránky

Vztah pro usnadnění volby zda u daného stroje provádět vzorkování olejových náplní

$$(L \cdot V + p + P)i + H_N > (L \cdot V + p + P)y + R + H_D$$

- L cena jednoho litru oleje v Kč
- V objem olejové náplně v litrech
- p cena práce za jednu výměnu
- P cena za odstavení stroje v důsledku provedení výměny
(prostoje, najetí, ...)
- i předpokládaný počet výměn za dané období bez provádění
rozběrů vzorků
- H_N cena v Kč v případě havárie u nedagnostikovaného stroje
(zahrnuje riziko havárie a rozsah poškození)
- R cena za všechny rozbory vzorků v daném období
- y předpokládaný počet výměn po zavedení tribodiagnostiky
- H_D cena v Kč z rizika v případě havárie u diagnostikovaného
stroje (zahrnuje riziko havárie a rozsah poškození)

Platí-li nerovnice doporučuje se provádět vzorkování

24

■ Název prezentace podle titulní stránky

Upravený vztah pro výpočet minimálního objemu olejové nádrže

$$V \geq \frac{y(p + P) - i(p + P) + R + H_D - H_N}{L(i - y)}$$

25

■ Název presentace podle titulní stránky

Tabulka průměrných dosahovaných hodnot užitečného života olejových náplní

Druh stroje	Životnost olejové náplně v hodinách provozu / v kalendářních měsících stáří
mazání převodových skříní	16 000 – 20 000 / 24 - 36
mazání klikových mechanismů u strojů s vratným pohybem	
- médium vzduch	13 000 – 16 000 / 20 – 26
- médium lehké uhlovodíky	12 000 – 14 000 / 18 - 26
mazání valivých (kluzných) ložisek	12 000 – 14 000 / 18 – 26
mazání parních turbín	
- velké pární turbíny	65 000 – 70 000 / 96
- malé pární turbíny	30 000 – 35 000 / 38
mazání turbokompresorů	65 000 – 70 000 / 96
ucpávkový olej turbokompresorů	18 000 – 25 000 / 24- 36

■ Název presentace podle titulní stránky

Příklad

Pístový kompresor, pracovní médium vzduch o objemu olejové nádrže 60 l.

- Cena oleje je 50 Kč/l, cena výměny 800 Kč.
 - Předpokládáme že stroj bude v provozu 8 000 hodin za rok. Výrobce doporučuje výměnu po 4 000 hodinách provozu. Za rozbory vzorků v tomto roce zaplatíme 4 000 Kč. Případná havárie stroje nebude mít dopad na výrobu, oprava bude stát 2 milión korun.
 - Pravděpodobnost havárie nediodagnostikovaného stroje v roce 0,1
 - diagnostikovaného stroje 0,05
 - odstavení stroje v důsledku výměny oleje nemá vliv na výrobu
- Vyplatí se výměna každé 4000 hodin, či zavedení tribodiagnostiky?

27

■ Název prezentace podle titulní stránky

Po dosazení do výše uvedeného vztahu dostaneme výsledek

$$207\,600 > 106\,090\text{Kč}$$

Ano, vyplatí se u takového stroje zavedení tribodiagnostiky a výměny mazacího oleje na základě skutečného stavu

28

■ Název prezentace podle titulní stránky

Postup v případě zjištění nevyhovujícího stavu olejové náplně:

- jen poškození stroje, nebo nějaké strojní části (chladič, špatný stav ucpávek,...)
Co nejrychlejší provedení opravy

- nevyhovující stav olejové náplně (vysoký obsah mechanických nečistot, pokles obsahu aditiv, změna viskozity)
 - filtrace
 - částečná výměna
 - úplná výměna

29

■ Název prezentace podle titulní stránky

Po dosazení do výše uvedeného vztahu dostaneme výsledek

$$207\,600 > 106\,090\text{Kč}$$

Ano, vyplatí se u takového stroje zavedení tribodiagnostiky a výměny mazacího oleje na základě skutečného stavu

30

■ Název prezentace podle titulní stránky

Kritéria pro rozhodnutí o ekonomické výhodnosti/
nevýhodnosti filtrace oleje, nebo jeho výměny

$$L \cdot V + p + P + Z > F$$

- L cena jednoho litru oleje v Kč
- V objem olejové náplně v litrech
- p cena práce za výměnu
- P cena za odstavení stroje v důsledku provedení výměny (prostoje, najetí, ...)
- F cena za provedení filtrace
- Z úspora z neuskutečněných nákladů v důsledku zvýšení spolehlivosti a životnosti strojního zařízení.

Platí-li nerovnice, je výhodnější provést filtraci.

31

■ Název prezentace podle titulní stránky



Děkuji za pozornost

Martin Holec, Specialista diagnostiky rotačních strojů
ČESKÁ RAFINERSKÁ, a.s.

martin.holec@orc.cz
Tel: 736 50 60 87

32