

ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

**PREVENTIVNÍ ÚDRŽBA
ZVYŠUJE BEZPORUCHOVOST
A SNIŽUJE RIZIKO**



**Materiály z 52. setkání
odborné skupiny pro spolehlivost**

Praha, září 2013



Obsah

PREVENTIVNÍ ÚDRŽBA ZVYŠUJE BEZPORUCHOVOST A SNIŽUJE RIZIKO KRITICKÉ PORUCHY

Václav Legát, Martin Stávek

3

ÚDRŽBA ZAMĚŘENÁ NA BEZPORUCHOVOST (RCM) A JEJÍ UPLATŇOVÁNÍ V PRAXI

Jaroslav Zajíček, Jan Kamenický

11

NOVÁ METODIKA KOMPLEXNÍHO UPLATNĚNÍ RCM, RBI A SIFPRO V PODMÍNKÁCH PETROCHEMICKÉHO PRŮMYSLU

Vít Havlů, Martin Pexa, Václav Legát

22

PREVENTIVNÍ ÚDRŽBA ZVYŠUJE BEZPORUCHOVOST A SNIŽUJE RIZIKO KRITICKÉ PORUCHY

PREVENTIVE MAINTENANCE INCREASES RELIABILITY AND DECREASES RISK OF CRITICAL FAILURE

Václav Legát, Martin Stávek

Klíčová slova: kvalita, údržba, management rizik, preventivní údržba, zálohování, ošetřování rizik

Anotace:

Cílem příspěvku je charakterizovat postavení a úlohu kvalitní údržby v managementu rizik. Jde o definování rizika ve vztahu ke kritické poruše a o stanovení vlivu preventivní údržby a zálohování na výši rizika. Přínosem aplikace metod preventivní údržby a zálohování je snížení nákladů (ztrát) v důsledku kritické poruchy.

Abstract:

An aim of the paper is a characteristic of quality maintenance position and task within risk management. Author deals relationship between critical failure and risk and influence of preventive maintenance and redundancy on risk level. Benefit of preventive maintenance and redundancy applications is decreasing costs (loss) as critical failure consequences.

1. Úvod

Špatně udržované nebo dokonce neudržované stroje a zařízení se dříve nebo později porouchají a některá porucha může být i havarijní, kritická nebo až katastrofická. Každá porucha se vyznačuje rozdílným následkem, počínaje zanedbatelným dopadem až po usmrcení několika lidí. V této souvislosti hovoříme o riziku poruchy.

Porucha je definována jako *ztráta schopnosti fungovat tak, jak je požadováno*. Porucha objektu je tedy událost, která vede k poruchovému stavu tohoto objektu. K zařazení poruch do kategorií podle závažnosti jejich následků je možné použít upřesňující označení, jako je katastrofická, kritická, závažná, málo závažná, nedůležitá a nevýznamná porucha. Kritéria závažnosti zpravidla závisejí na oblasti použití [1] ČSN IEC 60050-191 Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 191: Spolehlivost.

Riziko je definováno jako *účinek nejistoty na dosažení cílů*. Účinek je odchylka od očekávaného – kladná a/nebo záporná. Cíle mohou mít různá hlediska (jako jsou finanční, zdravotní a bezpečnostní a environmentální cíle) a mohou být uplatňovány na různých úrovních (jako je strategická úroveň, úroveň týkající se celé organizace, projektu, produktu a procesu). Rizika jsou často charakterizována odkazem na potenciální události a následky nebo na jejich kombinaci. Riziko se často vyjadřuje jako kombinace následků události (včetně změn okolností) a s ní související možnosti výskytu. Nejistota je stav dokonce i částečného nedostatku informací související s pochopením nebo znalostí události a jejích následků nebo možnosti výskytu [2] TNI 01 0350:2010 Management rizik – Slovník a [5] ČSN ISO

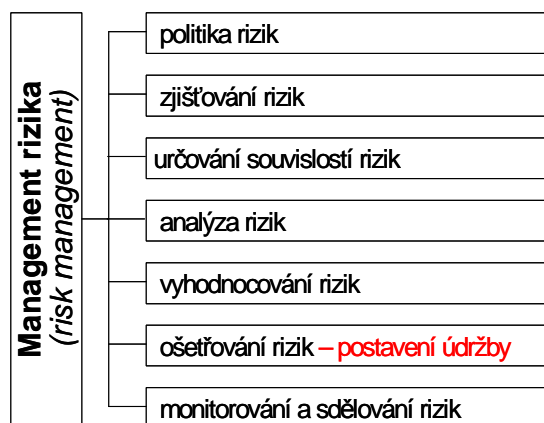
31000:2010 Management rizik – Principy a směrnice. Jiná norma [4] ČSN IEC 61882:2002 Studie nebezpečí a provozuschopnosti (studie HAZOP) – Návod k použití definuje **riziko** jako *kombinaci pravděpodobnosti výskytu poškození a závažnosti tohoto poškození*. Poznámka: V obvyklém případě, kdy lze závažnost poškození kvantifikovat, se místo „kombinace“ používá „součin“. Nejčastěji používaná definice rizika je definice poslední uváděná včetně poznámky.

Kvalitní údržba je taková údržba, která splňuje požadavky na: a) udržování HM v provozuschopném a způsobilém stavu, b) předcházení vzniku poruch a následujících poruchových stavů, c) operativní odstraňování vzniklých poruch, d) snižování environmentálních dopadů provozu výrobního zařízení, e) zajištění bezpečnosti provozu, f) snižování rizik a g) vynakládání optimálních nákladů na údržbu.

Cílem tohoto příspěvku je popsat oblasti managementu rizik, v nichž může kvalitní údržba pozitivně přispět ke snížení rizik a naznačit metody a nástroje údržby, které lze pro snížení (ošetření) rizik použít.

2. Management rizik

Managementem rizik se rozumí *koordinované činnosti k vedení a řízení organizace s ohledem na rizika* [2]. Podle normy [4] je **management rizik** definován jako *systematické používání politik, postupů a pracovních technik managementu u úkolů zabývajících se určováním souvislostí, zjišťováním, analýzou, vyhodnocováním, ošetřováním, monitorováním a sdělováním rizik* – viz obr. 1. Část této definice je podle [2] obsažena v termínu **struktura managementu rizik** jako *soubor prvků poskytujících základy a organizační uspořádání pro navrhování, implementování, monitorování, přezkoumávání a neustálé zlepšování managementu rizik v celé organizaci*.



Lze říci, že všechny činnosti člověka i organizace zahrnují rizika. Organizace řídí rizika tím, že je identifikují, analyzují a pak vyhodnocují, určují, zda by rizika mohla být změněna jejich **ošetřením** tak, aby se uspokojivě vešla do hranic příslušejících kritérií rizik. V průběhu tohoto procesu komunikují a konzultují se zainteresovanými stranami a monitorují a přezkoumávají rizika i opatření, která rizika modifikují, aby se zajistilo, že žádná další ošetření rizik už nejsou zapotřebí. Pozice údržby je zejména v etapě ošetřování rizik.

Obr. 1 Struktura managementu rizik

K dalším termínům, patří **nebezpečí, identifikace nebezpečí, nebezpečná událost, poškození** a již známý termín **riziko** (risk). Obsah těchto termínů je přehledně uveden v tab. 1.

Tab. 1 Základní termíny, které se vztahují k managementu rizik a jejich definice

Termín	Definice
nebezpečí (hazard)	zdroje potenciálního poškození nebo situace s potenciální možností poškození
identifikace nebezpečí (hazard identification)	proces rozpoznání, že existuje nebezpečí, a definování jeho charakteristik
nebezpečná událost (hazard event)	jakákoliv událost, která může způsobit poškození

poškození (harm)	tělesné zranění nebo škoda na zdraví, majetku nebo životním prostředí
riziko (risk)	kombinace pravděpodobnosti (nebo četnosti) výskytu nebezpečné události a jejich následků

Při analýze rizika se kromě jiného zkoumá **pravděpodobnost náhodného jevu**, kterým je **nebezpečná událost** a **následek** nebezpečné události.

Jde o jakoukoliv událost, která může způsobit **poškození**:

- fyzické **zranění** nebo
- újmu na **zdraví** lidí či
- škodu na **majetku** nebo
- životním **prostředí**.

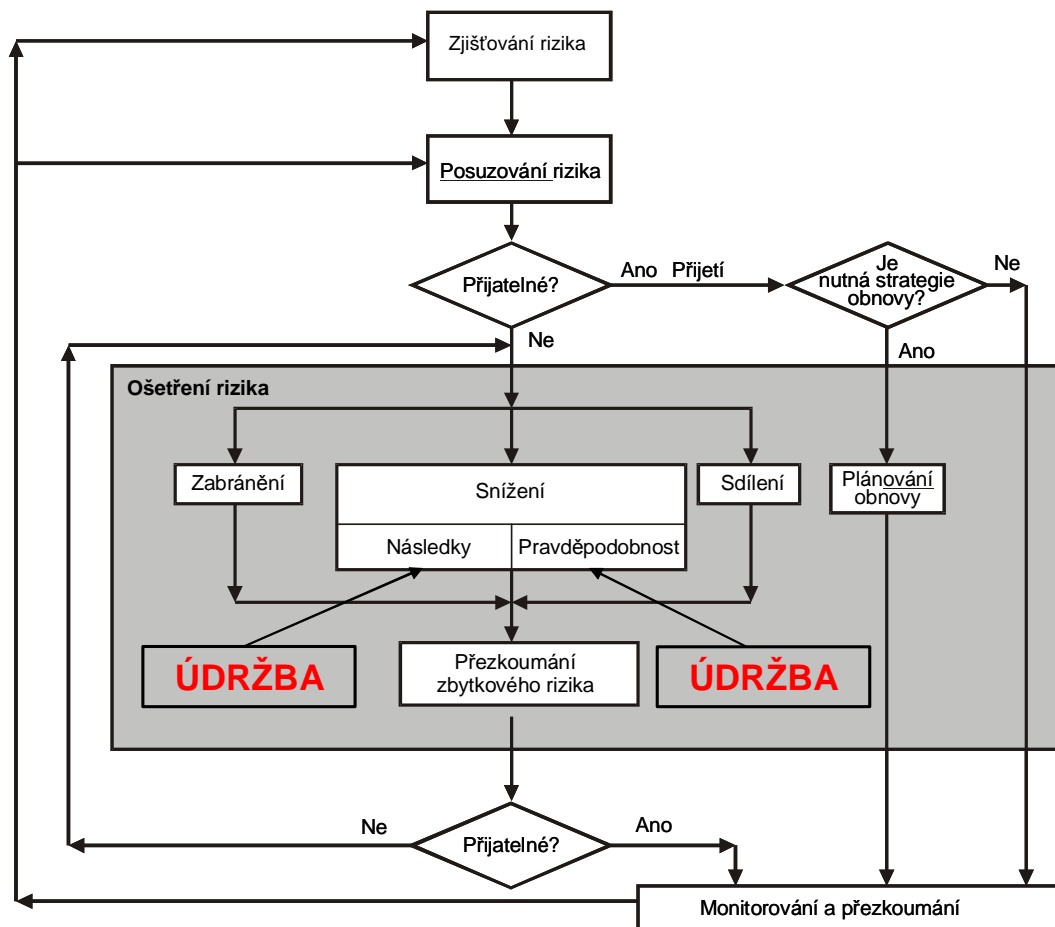
Ošetřením rizika se rozumí *proces volby a uplatňování opatření pro modifikaci rizika*. Termín „ošetření rizika“ se někdy používá i pro samotné opatření. Mezi opatření pro ošetření rizika lze zahrnout **zabránění, snížení, optimalizaci, přenos** nebo **zachování rizika**. Proces ošetřování rizika je znázorněn na obr. 2. Právě do procesu ošetřování rizika by měla vstupovat údržba s nápravnými a preventivními opatřeními.

V tabulce 2 jsou uvedeny příčiny poškození nežádoucími událostmi (průmyslovými haváriemi), jejich procentické zastoupení a možné preventivní zásahy, které by mohly snížit jejich výskyt.

Tab. 2 Příčiny havárie řídicích systémů (34 analyzovaných případů) podle [3]

Příčina havárie	Podíl %	Ošetření
Nedostatečné zadání	44	Důkladné přezkoumání zadání
Změny provedené v řídicím systému po předání a uvedení do provozu	20	Pečlivé změnové řízení, přezkoumání, verifikace a validace
Chyby v projektu a při instalaci	15	Přezkoumání projektu a verifikace a validace instalace
Chyby při provozu a údržbě	15	Řádný výcvik operátorů a údržbářů
Chyby při instalaci a uvádění do provozu	6	Řádný výcvik montérů a operátorů, validace

V tabulce 3 jsou uvedeny možnosti ovlivnění nebezpečné události a následného poškození údržbou. Jde o takové metody a nástroje jako jsou revize elektrických, plynových a zdvihacích zařízení a tlakových nádob, metody BOZP, LOTO (Lockout / Tagout), ISO 18001 FMECA, RCM, FRACAS, RCFA, ISO 9001 aj.



Obr. 2 Proces ošetřování rizik podle [5]

Tab. 3 Možnost ovlivnění nebezpečné události a následného poškození údržbou

Poškození	Činnosti údržby	Použité nástroje
Fyzické zranění	Revizní prohlídky a nápravná opatření	Revize elektrických, plynových a zdvihacích zařízení a tlakových nádob, metody BOZP, LOTO (Lockout / Tagout), ISO 18001 aj.
Újma na zdraví lidí	Revizní prohlídky a nápravná opatření	Systémy environmentálního managementu (EMS), pracovní prostředí, BOZP, aj.
Škoda na majetku	Preventivní údržba	FMECA, RCM, FRACAS, RCFA, ISO 9001 aj.
Škoda na životním prostředí	Revizní prohlídky a nápravná opatření, preventivní údržba	Revize tlakových nádob, údržba zaměřená na integritu, seřizování, ISO 14001 EMS aj.

Nebezpečnou událostí může být také porucha, a to buď:

- **kritická porucha** je porucha, o které se usuzuje, že může způsobit **úraz osob, značné materiální škody** nebo může mít jiné nepřijatelné následky, nebo
- **havarijní porucha** je náhlá porucha, která končí úplnou neschopností objektu vykonávat požadované funkce a **velkými náklady** na odstranění následků.

Jak údržba může snižovat **pravděpodobnost** kritických a havarijních poruch? Základním nástrojem **snižování pravděpodobnosti** těchto poruch je:

a) **preventivní údržba:**

- periodická,

- diagnostická (prediktivní, proaktivní),
- b) **zálohování objektů:**
 - nezatížená (studená) záloha,
 - zatížená (horká) záloha.

Jak údržba může snižovat **závažnost (důsledky)** kritických a havarijních poruch? Instalováním prvků:

- **pasivní** ochrany (zábradlí, ochranné bariéry apod.) a
- **aktivní** (laserová závora, automatické hasební zařízení apod.) **bezpečnosti.**

Např.: osobní automobil – deformační zóny, výztuhy apod. – pasivní bezpečnost; airbagy, ABS, ESP (Electronic Stability Programme) apod. – aktivní bezpečnost.

3. Management údržby zaměřený na rizika

V naznačeném úzkém pojetí jde o řízení rizika kritické poruchy jako nebezpečné události. Riziko kritické poruchy R_{iskkp} je dáno v Kč vztahem

$$R_{iskkp}(t_p) = F_{kp}(t_p) * C_{kp} \quad (1)$$

kde: $F_{kp}(t_p)$ je pravděpodobnost kritické poruchy v době provozu do preventivní údržby t_p a C_{kp} je ztráta (ocenění závažnosti) způsobená kritickou poruchou v Kč

Jednotkové riziko kritické poruchy r_{iskkp} v Kč/t (např. Kč/h) lze vyjádřit vztahem

$$r_{iskkp} = \lambda_{kp} * C_{kp} \quad (2)$$

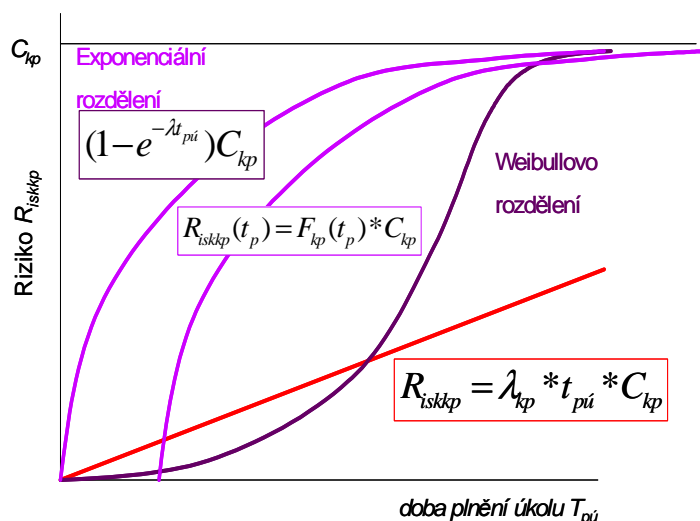
kde λ_{kp} je intenzita kritických poruch.

Kumulativní riziko kritické poruchy R_{iskkp} v Kč

$$R_{iskkp} = \lambda_{kp} * t_{pú} * C_{kp} \quad (3)$$

kde $t_{pú}$ je doba plnění úkolu a je $\ll MTBCF$ (střední doba provozu mezi kritickými poruchami)

Poznámka: Rovnice (2) a (3) platí pro exponenciální rozdělení a konstantní intenzitu kritických poruch.



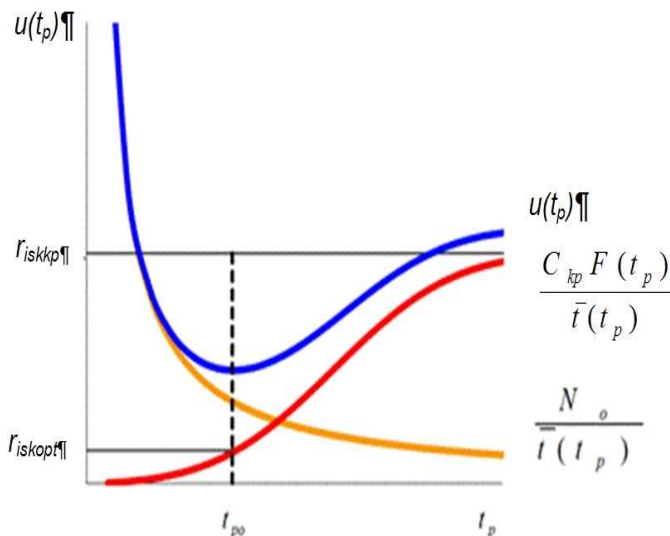
Grafické znázornění rovnic (1) a (3) je uvedeno na obr. 3. Z tohoto obrázku je patrné, že čím je delší doba plnění úkolu, tím velikost rizika roste. Z obrázku je také zřejmé, že při použití rovnice (3) pro $t_{pú} = MTBCF$ a pro exponenciální rozdělení by součin $\lambda_{kp} * t_{pú}$ (pravděpodobnost výskytu kritické poruchy) byl roven jedné a riziko by bylo rovno C_{kp} . Ve skutečnosti je v tomto případě pravděpodobnost kritické poruchy rovna 0,63 (pro exponenciální rozdělení). Proto je třeba pracovat s podmínkou $t_{pú} \ll MTBCF$.

Obr. 3 Závislost rizika na době plnění úkolu

Riziko kritické poruchy lze snižovat optimalizovanou periodickou údržbou podle vztahu (4)

$$u(t_p) = \frac{N_o + C_{kp} F(t_p)}{\bar{t}(t_p)} = \frac{N_o + R_{iskkp}(t_p)}{\bar{t}(t_p)} \quad (4)$$

kde $u(t_p)$ jsou jednotkové náklady na provoz a obnovu v závislosti na intervalu periodické údržby t_p , $\bar{t}(t_p)$ je střední doba provozu do obnovy, N_o jsou náklady na preventivní obnovu (údržbu).

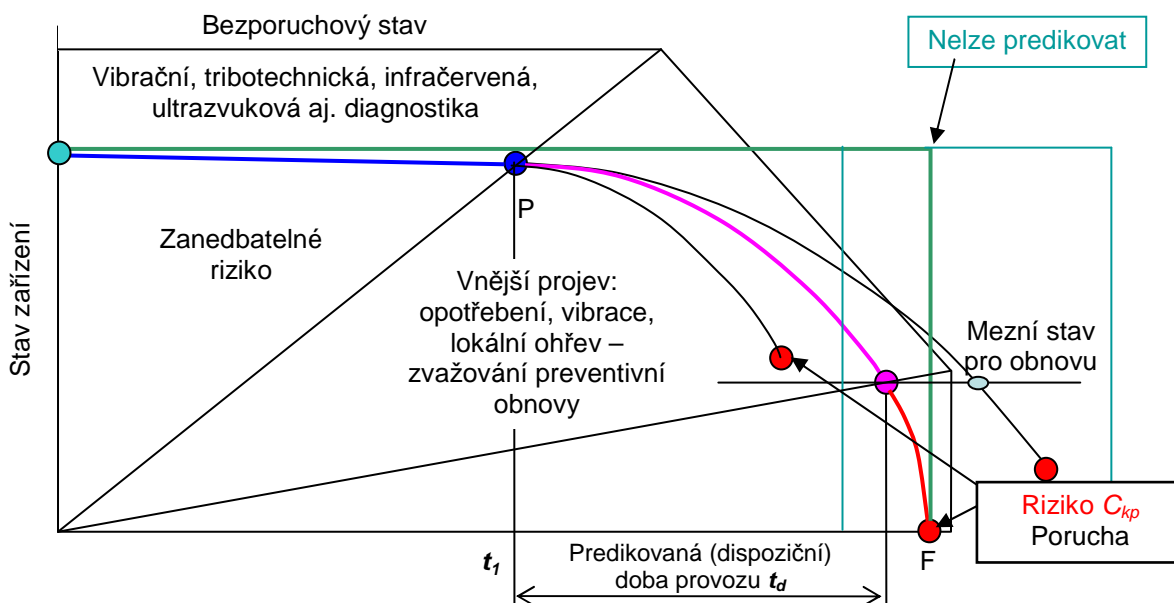


Průběh nákladů na provoz a obnovu, jejich minimalizace a velikost rizika je zřejmá z obr. 4. Dále je patrné, že při údržbě po poruše je velikost rizika r_{iskkp} a po aplikaci optimalizované periodické údržby riziko kleslo na hodnotu r_{iskopt} a rovněž jednotkové náklady na riziko a obnovu $u(t_{po})$ klesly na minimum.

Na obr. 5 je naznačeno snižování rizika kritické poruchy diagnostickou údržbou při individuálním sledování objektů. Technický stav objektu (pokud je to technicky možné a ekonomicky výhodné) je nejlépe spojitě diagnosticky monitorovat a posuzovat průběh signálu.

Obr. 4 Minimalizace rizika periodickou údržbou

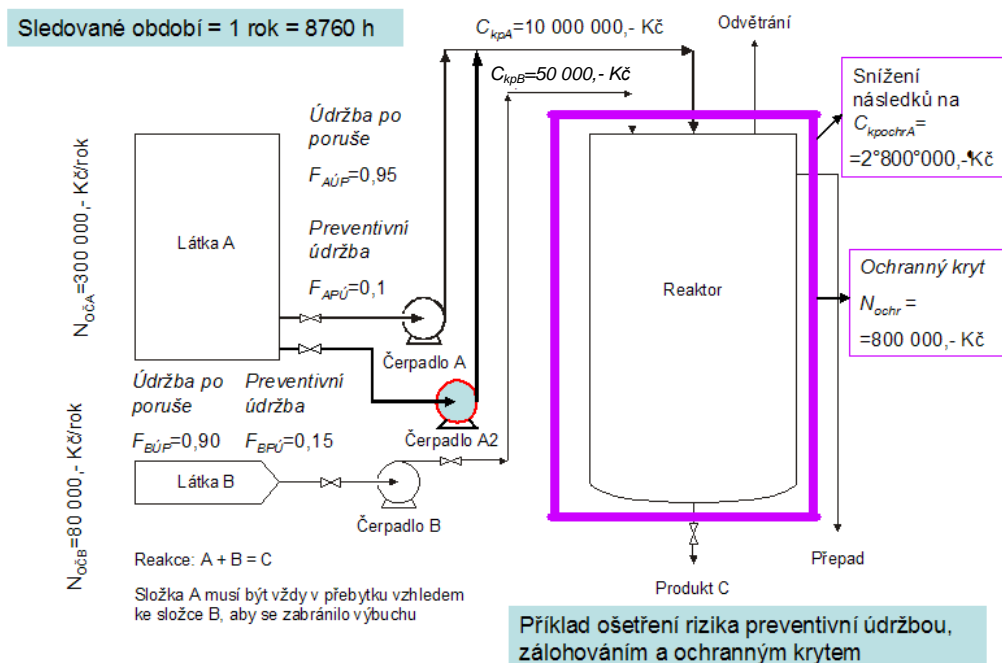
Stanoví se mezní hodnota signálu pro obnovu (MSO) tak, aby se předešlo kritické poruše. Při jejím dosažení je objekt obnoven a riziko je s určitou pravděpodobností eliminováno [7]. V případě, kdy se diagnostický signál mění skokem a kdy diagnostiku nejsme schopni uplatnit - nelze poruchu předikovat a není šance takové kritické poruše zabránit. Riziko se realizuje v plné výši.



Obr. 5 Princip snižování rizika kritické poruchy diagnostickou údržbou

Příklad ošetření rizika preventivní údržbou, zálohováním a ochranným krytem je znázorněn na obr. 6. Na tomto schématu jsou uvedena vstupní data pravděpodobností kritických poruch, nákladů a ztrát a jsou uvažovány čtyři scénáře:

1. Neošetřené riziko.
2. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B.
3. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B a zálohováním čerpadla A.
4. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B, zálohováním čerpadla A a ochranným krytem.



Obr. 6 Schéma upravené podle ČSN IEC 61882 Studie nebezpečí a provozuschopnosti

V tabulce 4 je proveden výpočet rizik pro čtyři scénáře ošetření rizika preventivní údržbou, zálohováním a ochranným krytem. Je vidět průkazný přínos ošetřování rizik.

Tab. 4 Výpočty ošetření ročního rizika preventivní údržbou, zálohováním a ochranným krytem

1. Neošetřené riziko	9 545 000,- Kč
$R_{iskneošAB} = F_{AÚP} * C_{kpA} + F_{BÚP} * C_{kpB} = 0,95 * 10\,000\,000 + 0,90 * 50\,000 = 9\,545\,000,- \text{ Kč}$	
2. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B	1 007 500,- Kč
$R_{iskošpúAB} = F_{APÚ} * C_{kpA} + F_{BPÚ} * C_{kpB} = 0,10 * 10\,000\,000 + 0,15 * 50\,000 = 1\,007\,500,- \text{ Kč}$	
$Roční náklady = R_{iskošpúAB} + N_{očA} + N_{očB} = 1\,007\,500 + 300\,000 + 80\,000 = 1\,387\,500,- \text{ Kč}$	
3. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B a zálohováním čerpadla A	107 500,- Kč
$R_{iskošpúzalAB} = F_{APÚ} * F_{APÚ} * C_{kpA} + F_{BPÚ} * C_{kpB} = 0,1 * 0,1 * 10\,000\,000 + 0,15 * 50\,000 = 107\,500,- \text{ Kč}$	
$Roční náklady = R_{iskošpúzalAB} + N_{očA} + N_{očA2} + N_{očB} = 107\,500 + 300\,000 + 300\,000 + 80\,000 = 787\,500,- \text{ Kč}$	
4. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B, zálohováním čerpadla A a ochranným krytem	35 500,- Kč
$R_{iskošpúzalochrAB} = F_{APÚ} * F_{APÚ} * C_{kpochrA} + F_{BPÚ} * C_{kpB} = 0,1 * 0,1 * 2\,800\,000 + 0,15 * 50\,000 = 35\,500,- \text{ Kč}$	
$Roční náklady = R_{iskošpúzalochrAB} + N_{očA} + N_{očA2} + N_{očB} = 35\,500 + 300\,000 + 300\,000 + 80\,000 = 715\,500,- \text{ Kč}$	

4. Závěr

1. **Údržba po poruše** ze své podstaty pouze kopíruje inherentní (vloženou) bezporuchovost objektů u primárních (nezávislých) poruch a ještě navíc nebrání nežádoucím sekundárním (závislým, vynuceným) poruchám, které jsou způsobeny poruchou primární. Způsobuje provozní ztráty vyvolané sekundárními poruchami, neplánovanými výpadky výroby a případnými nežádoucími dopady na bezpečnost provozu a životní prostředí.
2. **Preventivní údržba** (periodická, diagnostická) přispívá ke **zvyšování bezporuchovosti** tím, že snižuje pravděpodobnost poruchy (údržba provedená před vznikem poruchy se nezapočítává jako porucha, započítávají se pouze poruchy, kterým systém preventivní údržby nezabránil).
3. K **ošetřování (snižování) rizik** přispívá zvláště **preventivní údržba** tím, že snižuje pravděpodobnost nebezpečných události (kritických poruch) a obecné činnosti údržby mohou přispět **zálohováním** rovněž ke snížení pravděpodobnosti poruch a dále různými opatřeními (např. montáží zábran, krytů, zádržných nádrží apod.) ke snížení **následků rizik**.
4. **Všechna rozhodnutí údržby** je nutno posuzovat **ekonomickými kritérii** a pro dané objekty a podmínky je třeba **volit správný systém údržby** (údržbu po poruše, periodickou nebo diagnostickou preventivní údržbu). **Světový trend** je uplatňovat **diagnostickou údržbu** (založenou na znalosti konkrétního technického stavu a predikci dispozičního užitečného života) všude tam, kde je to **technicky možné a ekonomicky výhodné**.

Literatura:

- [1] ČSN IEC 60050-191 Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 191: Spolehlivost
- [2] TNI 01 0350:2010 Management rizik – Slovník
- [3] *Out of control: why controls system go wrong and how to prevent failure*. 2nd ed. Sudbury: HSE Books, 2003. ISBN 07-176-2192-8.
- [4] ČSN IEC 61882:2002 Studie nebezpečí a provozuschopnosti (studie HAZOP) – Návod k použití
- [5] ČSN IEC 62198 Management rizika projektu – Směrnice pro použití
- [6] ČSN ISO 31000:2010 Management rizik – Principy a směrnice
- [7] LEGÁT, V., ŽALUDOVÁ, A. H., ČERVENKA, V., JURČA, V.: Contribution to optimization of preventive replacement. Reliability Engineering and System Safety 51, 1996 Elsevier Science Limited, p. 259 - 266

Autoři:

prof. Ing. Václav Legát, DrSc.

Ing. Martin Stávek

Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, katedra jakosti a spolehlivosti strojů,
Kamýcká 129, 165 21 Praha – Suchbátka

Tel.: +420 22438 3268, E-mail: legat@tf.czu.cz, stavek@tf.czu.cz

ÚDRŽBA ZAMĚŘENÁ NA BEZPORUCHOVOST (RCM) A JEJÍ UPLATŇOVÁNÍ V PRAXI

Ing. Jaroslav Zajíček, Ph.D.; Ing. Jan Kamenický, Ph.D.

*VŠB-TUO, Výzkumné energetické centrum, 17. listopadu 15, Ostrava – Poruba 708 33
email: jaroslav.zajicek@vsb.cz; jan.kamenicky@vsb.cz*

1. Úvod

Údržba zaměřená na bezporuchovost RCM, jejíž zkratka pochází z anglického názvu metody Reliability Centred Maintenance, bývá zpravidla k vidění ve společnosti výrazů:

- optimalizace údržby,
- řízení rizik,
- snižování nákladů,
- maximalizace zisku, apod.

Jedná se o vytvoření harmonogramu údržbových úkonů, který zohledňuje technické, spolehlivostní i ekonomické parametry technických zařízení. O procesu a základním principu analýzy RCM bylo již napsáno mnoho, v rámci akcí pořádaných ČSÚ například příspěvek [1] na konferenci „Kvalitou k nejlepším výsledkům“. Cílem tohoto příspěvku je zaměřit se především na úskalí reálné aplikace, která vyžaduje zavést jistá zjednodušení. Na druhou stranu lze dosažené výstupy využít k dalším procesům, které na první pohled s RCM nesouvisí, a to např.:

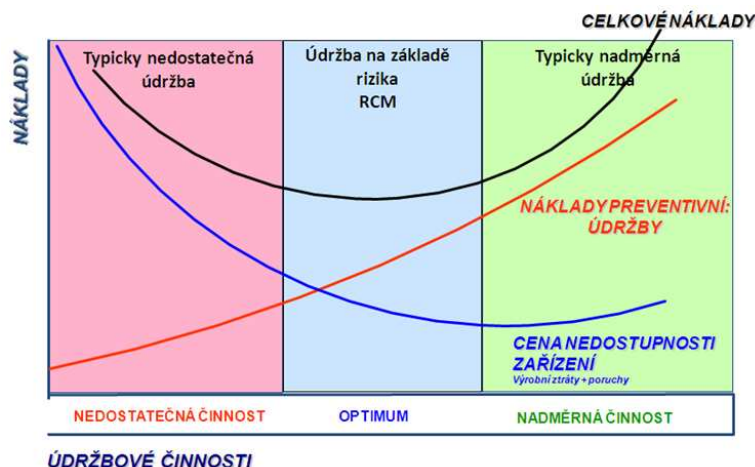
- řízení skladového hospodářství (náhradních dílů),
- řízení velikosti skladu surovin a meziproductů,
- změna technologie,
- pojistné krytí rizik.

2. Základní filosofie RCM

Proces RCM je jedním z pilířů řízení rizika a spolehlivosti pro stávající a nová zařízení. Pochopení projevů poruch a znalost toho, jak můžeme zabránit jejich výskytu nebo zmírnit jejich dopady, vyústí v úsporu peněz díky optimalizaci údržbových činností. Při plně kvantitativním přístupu je RCM v podstatě ekonomickou optimalizací zohledňující přímé náklady a rizika.

Ekonomická optimalizace musí zohledňovat všechny vstupní parametry, které se na celkových nákladech nezanedbatelným způsobem podílí, přičemž do nákladů zahrnujeme i průměrnou míru rizika vztahenou na jednotku času (v praxi většinou 1 rok). Mezi složky nákladů patří materiálové náklady, mzdové náklady, ztráty plynoucí z neprodukce a pochopitelně i finanční ohodnocení následků poruchy na zdraví a životy osob a na životní prostředí.

Základní princip hledání minima celkových nákladů je patrný z následujícího grafu na obrázku 1. Rostoucí tendence nákladů poruchy při vysokém stupni údržby značí „přeúdržbování“ zařízení, kdy častými zásahy do zařízení jeho poruchovost zvyšujeme.



Obr. 1 Celkové náklady v závislosti na stupni údržby

Postupy RCM jsou popsány v monografiích i normativních dokumentech, např. [2], [3], [4]. Při důslednějším prozkoumání souvislostí může být v názvu zmíněná bezporuchovost zavádějící, protože v každém provozu existují zařízení, jejichž poruchy negenerují ztráty výroby, neohrožují bezpečnost ani životní prostředí, nezpůsobují ani další jiné sekundární škody a je tedy zbytečné vynakládat finanční prostředky na zvýšení jejich bezporuchovosti.

3. Vstupy a výstupy analýzy a jejich důvěryhodnost

Před samotnou aplikací analýzy RCM je třeba nejprve určit rozsah technického zařízení, které bude analýze RCM podrobena. Přistoupit k tomu lze dvěma způsoby, a to plošnou aplikací na veškerý registr zařízení, nebo výběrem kritických zařízení, na kterých se při optimalizaci předpokládá dosažení nejvyšších ekonomických přínosů. Plošnou aplikací (např. v energetice nebo petrochemii se jedná o tisíce položek) sice získáme kompletní přehled o zařízeních, který lze pak dále využít jako podklad k různým manažerským rozhodnutím týkajícím se směřování finančních zdrojů do oblasti údržby, pojištění nebo personální, na druhou stranu je díky počtu zařízení a časovým dispozicím analýza mnohem povrchnější než v případě výběru kritických zařízení v počtu maximálně několika desítek kusů.

3.1 Způsoby poruch

Prvním krokem samotné analýzy je identifikace způsobů poruch. Metodika zjednodušené RCM doporučuje analyzovat 3 dominantní způsoby poruch, a to takové, které se již na zařízení vyskytly, nebo se jejich výskyt reálně očekává. Počet analyzovaných způsobů poruch by se však měl přizpůsobit složitosti a důležitosti zařízení. Například pro velký rotační stroj jsou 3 způsoby poruch zcela nedostatečné, naopak na místním měření tlaku nebo teploty se ani 3 způsoby poruch nevyužijí.

Při praktické aplikaci jsou tendence analyzovat způsoby poruch, které se vyskytují často, a dále pak způsoby poruch, které se vyskytly v nedávné historii a měly značný stupeň následků. Tím mohou být opomenuty způsoby poruch s nízkou pravděpodobností a vysokými následky, které jsou z pohledu generovaného rizika dominantní.

Jako pomůcka při facilitaci procesu, která má sloužit ke snížení pravděpodobnosti opomenutí důležitých způsobů poruch může sloužit tabulka pro identifikaci nebezpečí. Jejím úkolem je systematicky projít všechny typy nebezpečí, jejichž existence se může projevit konkrétním způsobem poruchy.

Tab. 1: Tabulka pro identifikaci nebezpečí

			Vnitřní vlivy		Vnější vlivy	
			Trvalé	Dočasné	Trvalé	Dočasné
Biologické	flora	houby, plísňe				
	fauna	mikroorganismy				
		ostatní				
Elektrická energie	stejnoseměrné napětí	bezpečné napětí				
		nebezpečné napětí				
	střídavé napětí	bezpečné napětí				
		nebezpečné napětí				
Chemické	výbušnost					
	hořlavost					
	žiravost					
	toxicita					
	dráždivost					
	karcinogenost					
	mutagenost					
Kinetická energie	přímocházející pohyb					
	rotační pohyb					
Potenciální energie	pád člověka	z výšky				
		do hloubky				
	předmět	pád				
		převrácení				
Tepelná energie (vč. záření)	oheň	přímý kontakt				
		sálání				
	ostatní zdroje	přímý kontakt				
		sálání				
	radioaktivita					
	UV záření					
	IR záření					
mikrovlny						
Tlak	plyn					
	kapalina					
Zvuk	slyšitelné pásmo	pod prahem bolestivosti				
		nad prahem bolestivosti				
	ultrazvuk					
Informační	přenos informace					
	význam informace					
Živelná nebezpečí	země	zemětřesení				
		sesuv půdy				
		propad půdy				
	voda	povodeň				
		potopa				
		extrémní sucho				
	vzduch	přímocházející				
		rotační				
	oheň	požár				
		atmosférický výboj				

3.2 Střední doby mezi poruchami MTBF a zálohovanost zařízení

Identifikované způsoby poruch se v následujícím kroku kvantifikují pomocí složky míry očekávání a následků. Míra očekávání způsobu poruchy se zpravidla vyjadřuje pomocí hodnoty střední doby mezi poruchami MTBF (Mean Time Between Failures). Pro aplikaci RCM je pak důležité definovat pravidla, která řeší následující otázky:

Jaké jsou specifické typy MTBF pro aplikaci RCM?

Principem RCM je porovnání 3 stavů péče o zařízení, a to stavu zcela bez preventivní údržby, stavu za předpokladu stávajícího harmonogramu preventivní údržby a stavu při nově navrhovaném harmonogramu prevence. Těmto stavům odpovídají různé hodnoty MTBF.

Jak stanovit MTBF?

I v případě, že k zařízení je k dispozici dostatečná datová základna o provozu a úkonech údržby, zpravidla je svázána se stávajícím plánem preventivní údržby a tedy na jejím základě je možné určit pouze MTBF za předpokladu stávajícího harmonogramu preventivní údržby. Zbývající 2 hodnoty MTBF musí být tedy získány jiným způsobem. Výpočet hodnoty MTBF na základě parametrů spolehlivosti dílčích komponent by byl časově a datově velmi náročný a spolehlivostním databázím tříditelným dle typu zařízení často chybí provozní kontext. V praxi se nejčastěji využívá přímých zkušeností s daným nebo jemu konstrukčně a funkčně podobným zařízením. Pro zajištění vyšší objektivity expertních odhadů se hodnota MTBF stanovuje v týmu různých profesí (např. operátor, technolog, technik, údržbář). I po diskuzi v týmu bývá tendence stanovit hodnotu MTBF nižší, než je skutečná, a to z důvodů, že:

- jsou opomenuty stejné typy zařízení, které dosud nevykázaly poruchu,
- je špatně zdůvodnitelné MTBF s vyšší hodnotou, než je doba užitečného života zařízení (pro personál bez znalosti teorie spolehlivosti),
- se započítává porucha očekávaná v blízké době.

Role facilitátora týmu spočívá, kromě jiného, v usměrnění stanovování MTBF a eliminaci výše uvedených bodů. **Přesto lze říci, že hodnoty MTBF používané v analýze jsou konzervativní, a tím pádem je zařízení věnována vyšší prevence, než odpovídá ekonomickému minimu.**

Používá se kalendářní nebo provozní MTBF?

Analýza RCM vyžaduje zadávání hodnoty kalendářní MTBF. U zařízení, u kterého je požadavek na funkci 365/24h a hodnota nepohotovosti je zanedbatelná, je hodnota kalendářní a provozní MTBF totožná. To stejné platí i pro zálohovaná zařízení, které fungují v horké záloze. U ostatních zařízení a zapojení zařízení ve studené záloze je třeba stanovit kalendářní MTBF např.:

- výpočtem za předpokladu znalosti provozní MTBF, časové závislosti poruch a vytížení zařízení,
- z historie dat při stejném vytížení zařízení,
- usměrněním dat ze spolehlivostních databází konkrétním provozním kontextem.

Jak stanovit MTBF zálohovaných systémů jako celku?

Zjednodušené RCM nepředpokládá poruchové stavy dvou (nebo více) zálohovaných zařízení současně. Toto zjednodušení je akceptovatelné pouze v případě, že obě zařízení

mají vysokou hodnotu pohotovosti (lze efektivně řídit dobou obnovy MTTR - Mean Time To Restoration, například pomocí držení ND skladem). V ostatních případech je pak vhodné **definovat způsob poruchy, který bude vyjadřovat poruchu celého systému sestávajícího se ze záložních zařízení**, a dopočítat na základě ukazatelů dílčích zařízení hodnotu MTBF celého systému. To již vyžaduje hlubší znalosti teorie spolehlivosti, pravděpodobnosti a matematické statistiky.

Doposud jsme jako vyjádření míry očekávání uvažovali pouze hodnotu MTBF. Daleko přesnější, ale pochopitelně i výpočetně náročnější, by bylo namísto střední hodnoty pracovat s celým pravděpodobnostním rozdělením doby do poruchy. Výhoda by byla především při stanovování intervalů pro preventivní časovou údržbu (preventivní údržba prováděná v pravidelných časových intervalech, kde časem můžeme rozumět čas kalendářní, provozní, ale může se jednat i o počet vyrobených kusů či najetých kilometrů). V praxi se zjednodušeně uvažuje pouze to, zda je doba do poruchy časově (ne)závislá, tedy zda se jedná o exponenciální rozdělení či nikoliv. Důvod, proč se nepracuje s pravděpodobnostním rozdělením doby do poruchy, ale pouze s MTBF, je především malý počet záznamů o poruchách a sekundárně pak časová náročnost a schopnost data zpracovat i za předpokladu použití profesionálního podpůrného softwaru.

3.3 Ekonomické parametry

Druhou složkou rizika jsou následky. Ty mohou být čistě ekonomické nebo dále spočívat i v důsledcích na životní prostředí či bezpečnost práce. Aby bylo možné riziko kvantitativně vyhodnotit a vzájemně porovnávat, je třeba uvedené typy následků sjednotit jednou veličinou, kterou jsou zpravidla finance. Finanční vyjádření bezpečnostních a environmentálních důsledků je více než diskutabilní a nemělo by být pouhým převzetím hodnot z běžně dostupných studií. Ohodnocení konkrétních neekonomických důsledků patří k rozhodnutím managementu, který se může v dostupných studiích inspirovat, ale především by se do těchto rozhodnutí měla projevit individualita bezpečnostní a environmentální politiky konkrétní firmy/společnosti. Dále je třeba si uvědomit, že v této oblasti nemusí striktně platit linearita díky sociálním aspektům vnímání rizika. Například postupné úmrtí několika osob během 10 let nebývá vnímáno shodně jako jednorázové úmrtí stejného počtu osob jednou za 10 let. Vzhledem k tomu, že transformace bezpečnostních a environmentálních následků do finančního vyjádření je především manažerskou úlohou a je v rámci firmy vnímána jako fixní, není třeba hlouběji zkoumat její nepřesnosti.

Mezi čistě ekonomické složky následků řadíme následky z nepohotovosti zařízení (tedy ztráty na výrobě), dále pak náklady na materiál a mzdy a v některých případech i podpůrné služby jako např. stavba lešení, práce jeřábu apod. Tyto složky lze vyčíslit na základě hodinových mezd, pořizovacích cen náhradních dílů a ztráty na výrobě pomocí rovnic výrobních ztrát. Ty by měly zahrnovat ceny surovin, produktů, velikosti mezikladů, možnosti přesměrování výroby nebo možnosti výroby alternativních produktů atd. Nejistoty vstupních hodnot mohou nastat z následujících důvodů:

- preventivní údržbový zásah ovlivňuje více způsobů poruch než jeden (řeší se přiřazením ke způsobu poruchy generující největší riziko nebo ke způsobu poruchy, u kterého nejvíce ovlivňuje MTBF; nebo lze řešit uvedením ke všem relevantním

způsobům poruchy při usměrnění nákladů nebo střední doby provádění tak, aby roční přímé náklady zůstaly zachovány),

- cena surovin a produktů se mění,
- objem výroby není v čase konstantní,
- do modelu se uvažuje pouze průměrná hodnota naplnění meziskladů,
- změna měnového kurzu,
- časovou náročnost servisních činností nelze předem přesně odhadnout,
- mění se hodinové sazby jednotlivých profesí,
- mění se ceny náhradních dílů,
- rozdíl mezi účetní hodnotou náhradních dílů držených skladem a cenou nových dílů,
- současná hodnota peněz, inflace, apod.

Nejistot vstupujících do analýzy RCM je poměrně velké množství a není možné vstupní data v krátkých časových intervalech stále aktualizovat. Aktualizace analýz, a to jak po stránce ekonomických dat, tak usměrněním hodnoty MTBF na základě delšího sledovaného období, by měla nastat v době, kdy se některý z parametrů významným způsobem změní.

Pro rozhodnutí o plánu preventivní údržby zařízení je (zjednodušeně řečeno) důležitý poměr mezi náklady preventivní a poruchové údržby. Ekonomické parametry preventivních zásahů se zpravidla mění obdobným způsobem jako na straně havarijních zásahů (hodinové sazby prací, cena náhradních dílů atd.), poměr tedy zůstává stejný a tím i rozhodnutí o jejich výhodnosti.

3.4 Interpretace výstupů RCM

Po provedení analýzy na konkrétním způsobu poruchy analyzovaného zařízení získáme hodnotu indexu efektivnosti MEI (Maintenance Effectiveness Index) a zejména absolutní hodnotu úspor. Na základě těchto dvou kritérií se následně rozhoduje o akceptaci nebo zamítnutí definovaného plánu preventivní údržby.

MEI je vypočten podle vztahu:

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

kde R_{NO} je riziko poruchy neudržovaného objektu,

R_{UO} je riziko udržovaného objektu,

N_{PU} jsou náklady preventivní údržby,

N_F jsou náklady údržby po poruše,

$MTBF_{NO}$ je střední doba mezi poruchami neudržovaného objektu,

$MTBF_{UO}$ je střední doba mezi poruchami udržovaného objektu.

Pozn.: Všechny ukazatele výše se týkají pouze analyzovaného způsobu poruchy, nikoliv zařízení jako celku.

Mezní hodnotou pro rozhodování na základě MEI je hodnota MEI=1, kdy celkové náklady na provoz a údržbu zařízení s preventivní údržbou jsou rovny stavu zcela bez údržby (pouze havarijní údržba). Pokud je MEI>1, je preventivní údržba doporučena, pokud MEI<1, je

výhodnější provozovat zařízení do poruchy. V případech blízkých mezní hodnotě je vhodné zvážit:

- nejistoty zadaných vstupních dat,
- administrativní a jinou zátěž změny přístupu v údržbě,
- existenci zcela jiného plánu údržby než je navrhovaný.

Jako druhé kritérium byla uvedena absolutní hodnota úspor, která je porovnáním nákladů a rizik stávajícího a doporučovaného stavu. V případě, že úspory jsou nevýznamné, je vhodné před změnou systému údržby zvážit všechny tři body, uvedené výše pro situaci s hodnotami MEI blízkými hodnotě 1.

Pozn.: Termín „absolutní“ zde nemá význam ve smyslu „kladný“, ale je použit z důvodu, aby nedošlo k záměně s poměrovým vyjádřením, tzv. „relativním“.

3.5 Modelový příklad

V předchozích kapitolách 3.2 až 3.4 byly popsány typy nejistot, které mohou negativně ovlivnit správnost rozhodnutí a přijetí doporučovaného plánu údržby. Pro lepší názornost byl zvolen modelový příklad, u kterého budou definovány nejistoty jednotlivých vstupů a zjištěna funkční vazba na nejistotu rozhodovacího kritéria, tedy indexu MEI.

Systémem je čerpadlo, zkoumaný způsob poruchy je zadření ložisek. V současné době se provozuje bez jakékoliv preventivní údržby, tedy do poruchy. Poruchová údržba (výměna ložiska) má následující parametry:

- opravu provádějí 3 pracovníci cca 8 hodin; při hodinové mzdě 300 Kč se jedná o mzdové náklady v částce 7 200 Kč;
- cena nového ložiska = 10 000 Kč;
- ztráty na výrobě během opravy = 30 000 Kč;
- MTBF = 3 roky.

Předpokládá se, že MTBF by šlo prodloužit na dvojnásobek, pokud by 1x ročně během zarážky byla vyměněna olejová náplň. Parametry tohoto preventivního úkonu jsou:

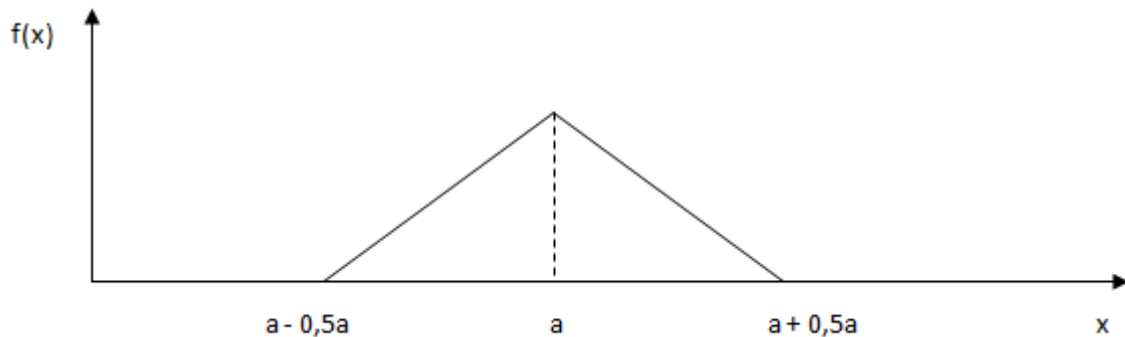
- výměnu oleje provedou 2 pracovníci během 3 hodin; při hodinové mzdě 300 Kč se jedná o mzdové náklady v částce 1 800 Kč;
- cena olejové náplně = 3 000 Kč;
- výměna oleje se provádí v pravidelné odstavce a negeneruje tedy ztráty na výrobě;
- interval provádění úkonu je 1x ročně;
- MTBF poruchy je dvojnásobkem oproti stavu zcela bez údržby = 6 let.

V případě, že výpočet indexu MEI (dle vztahu 1) a hodnoty úspor bude probíhat standardně pouze se středními hodnotami reprezentovanými expertními odhady, získáme tyto hodnoty:

$$MEI = \frac{\frac{7200 + 10000 + 30000}{3} - \frac{7200 + 10000 + 30000}{6}}{\frac{1800 + 3000}{1}} = 1,64$$

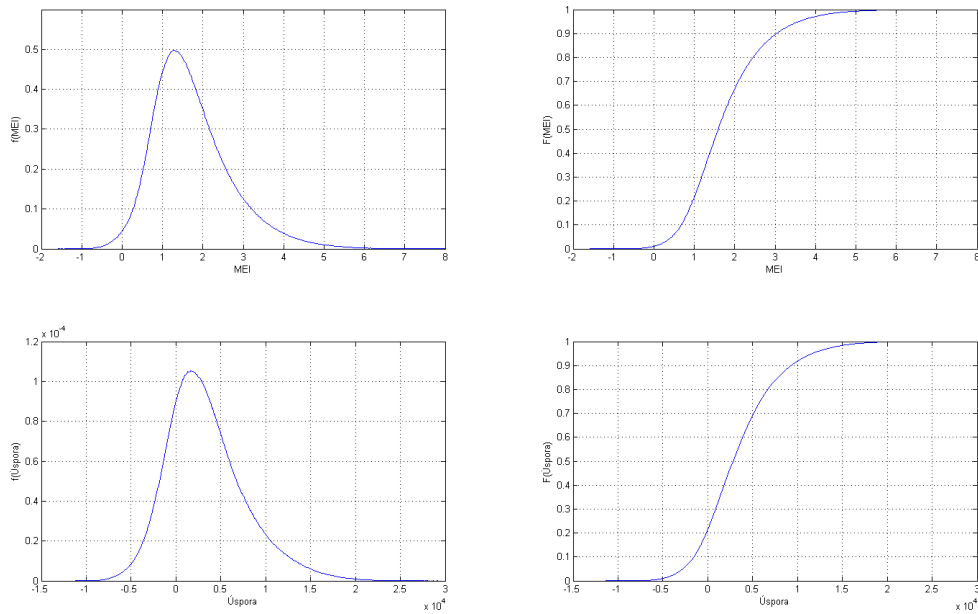
$$\begin{aligned} \text{Úspora} &= \frac{7200 + 10000 + 30000}{3} - \left(\frac{7200 + 10000 + 30000}{6} + \frac{1800 + 3000}{1} \right) = \\ &= 3067 \text{ Kč/rok} \end{aligned}$$

Nyní budou vstupní parametry uvažovány s nejistotami. Kromě intervalu provádění, který předpokládáme fixní, budou všechny ostatní parametry modelovány s nejistotou. Každý z parametrů bude moci nabývat hodnot v intervalu ohraničeném hodnotou o 50% nižší a hodnotou o 50% vyšší oproti odhadované střední hodnotě. Rozdělení pravděpodobnosti pro jednotlivé hodnoty bude dáno trojúhelníkovou funkcí dle obrázku 2.



Obr. 2 Rozdělení pravděpodobnosti hodnot vstupních parametrů

Simulačním modelováním, při kterém namísto středních hodnot bylo použito celé rozdělení pravděpodobnosti z obr. 2, bylo získáno pravděpodobnostní rozdělení pro index MEI a úspory. První řádek se týká indexu MEI, druhý řádek úspor. V prvním sloupci jsou znázorněny hustoty pravděpodobnosti $f(x)$, v druhém pak distribuční funkce $F(x)$.

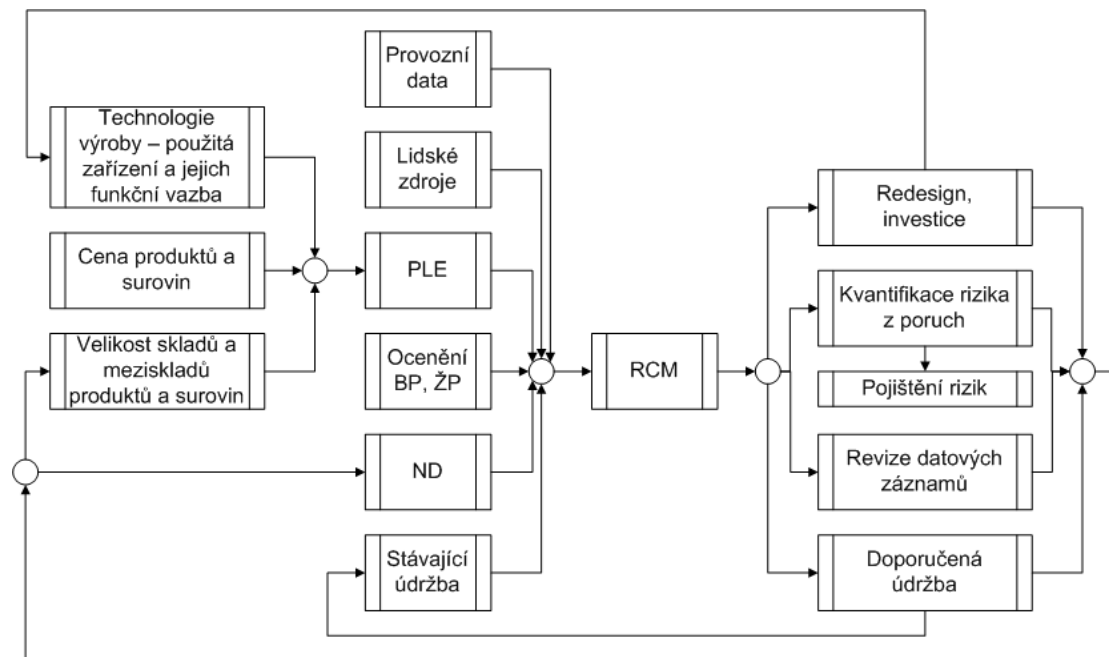


Obr. 3 Průběh $f(x)$ a $F(x)$ pro rozhodovací kritéria plánu údržby

Standardním deterministickým výpočtem vyšla hodnota indexu MEI 1,64, distribuční funkce ale ukazuje, že s pravděpodobností přibližně 20% bude nižší než hraniční hodnota, která je rovna jedné. To stejné platí pochopitelně i pro úspory. Rozšíření znalostí o nejistoty vstupních parametrů a tím i výstupních hodnot kritérií může pomoci rozhodovacímu procesu v případech, kdy hodnoty rozhodovacích kritérií jsou blízké hraničním hodnotám.

4. Možnosti dalšího využití výstupů RCM

RCM je proces, do kterého vstupuje celá řada datových vstupů, které nejsou v čase konstantní a navíc jsou zpětně ovlivněny výstupy RCM. To lze znázornit zpětnovazebním schématem na obr. 4.



Obr. 4 Schéma vstupů a výstupů RCM

Celá optimalizace údržby by měla probíhat v cyklech, protože takto rozsáhlý model, kde nejsou deterministicky dané funkční závislosti jednotlivých parametrů, není možné provést automatizovaně v jednom kroku.

Jak je vidět ze schématu, dílčí výstupy RCM lze například efektivně využít pro:

- **náhradní díly**, kdy na základě průběhu rovnice výrobních ztrát PLE (Production Losses Equation), hodnoty MTBF, doby dodání náhradního dílu a jeho ceny lze stanovit, zda má být náhradní díl držen skladem či nikoliv,
- stanovení úrovně **kapacit skladů** surovin, meziproduktů a produktů, a to takovým způsobem, že součet ztrát z neprodukce a nákladů na držení těchto skladů se požaduje minimální.

5. Závěr

I přes vyjmenované nejistoty vstupních parametrů je analýza RCM zcela jistě smysluplnou činností. Při jejím provádění na plně kvantitativní úrovni je strukturovaně shromážděna celá řada dat o spolehlivosti a ekonomice provozu zařízení, která jsou přímo využitelná i k jiným procesům. Oproti jiným analýzám, prováděným pouze kvalitativně nebo semikvantitativně (bodové stupnice), je zde model hodnocení efektivity naplánované údržby racionálně odůvodnitelný, protože v principu se jedná pouze o porovnávání hodnot nákladů a rizik vztahovaných na jednotné časové období. Článek pak tuto problematiku rozšířil i o modelování nejistot, které může hrát významnou roli při rozhodovacím procesu v případech, kdy hodnoty rozhodovacích kritérií jsou v blízkosti hraničních hodnot.

Nepřímým benefitem provedené analýzy je pak utřídění a aktualizace datových podkladů, získání prostředku pro komunikaci na úrovni mezi managementem, provozním personálem a technickým personálem a celkové zvýšení povědomí zaměstnanců o vztazích mezi spolehlivostními, ekonomickými a technickými parametry zařízení.

Použitá literatura a zdroje zkušeností

- [1] Zajíček, Jaroslav: *Údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM) a její nadstandardní využití pro potřeby řízení provozu*, Kvalitou k nejlepším výsledkům, 2011
- [2] ČSN IEC 60300-3-11: 2010: *Management spolehlivosti – Část 3-11: Pokyn k použití – Údržba zaměřená na bezporuchovost*
- [3] Moubray, J.: *Reliability-centred Maintenance*. Butterworth-Heinemann, 1997, ISBN 0-8311-3146-2
- [4] Anthony M. Smith and Glenn R. Hinchcliffe: *RCM - Gateway to World Class Maintenance*, Elsevier, 2003 ISBN: 0-7506-7461-X
- [5] ČSN EN 13306: 2002: *Terminologie údržby*

V příspěvku byly využity zkušenosti s aplikací metody RCM ve společnostech: Česká rafinérská a.s., ČEZ a.s., Synthos Kralupy a.s., Slovalco a.s.

Poděkování:

Tato práce byla vypracována v rámci projektu Příležitost pro mladé výzkumníky, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/30.0016, podpořeného Operačním programem Vzdělávání pro konkurenceschopnost a spolufinancovaného Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

NOVÁ METODIKA KOMPLEXNÍHO UPLATNĚNÍ RCM, RBI A SIFPRO V PODMÍNKÁCH PETROCHEMICKÉHO PRŮMYSLU A NEW METHODOLOGY FOR COMPREHENSIVE APPLICATION OF RCM, RBI AND SIFPRO IN THE PETROCHEMICAL INDUSTRY

Vít Havlů, Martin Pexa, Václav Legát

Anotace:

Tento příspěvek se zabývá návrhem nové metodiky uplatnění známých nástrojů RCM, RBI a SIFpro s cílem ošetření rizik vhodnou údržbou. Podstatou nové metodiky je návrh komplexního uplatňování všech tří metod v organizaci souběžně a nikoliv izolovaně, což je bohužel současná praxe. Podle navržené metodiky pracuje v organizaci jeden řídicí tým Reliability and Risk Treatment Centred Maintenance (RRTCM), který využívá stávající nástroje RCM, RBI a SIFpro paralelně, což vytváří značné úspory doby trvání inženýrských činností. Tyto činnosti jsou v navržené metodice rozčleněny do pěti fází, přičemž jejich struktura umožňuje odstranit veškeré pracovní duplicity, kterým se nevyhne oddělené a izolované uplatňování jednotlivých nástrojů. Nově navržená metodika přináší úsporu 45 až 50 % pracovní inženýrské činnosti a adekvátně k tomu i významné finanční úspory.

Abstract:

The paper brings a proposal of new methodology for application of well-known tools – RCM, RBI and SIFpro – with the aim to treat risks by means of suitable maintenance. The basis of the new methodology is the proposal of complex application of all three methods at the same time and not separately as typical today. The proposed methodology suggests having just one managing team for Reliability and Risk Treatment Centred Maintenance (RRTCM) employing existing RCM, RBI, and SIFpro tools concurrently. This approach allows for significant reduction of engineering activities' duration. In the proposed methodology these activities are staged into 5 phases and structured in order to eliminate all duplicities resulting from separate application of the three tools. The newly proposed methodology saves 45% to 50% of the engineering workload and adequate significant financial savings.

Klíčová slova: údržba, spolehlivost, řízení rizik

Použité zkratky:

FMEA	Failure Modes & Effects Analysis - Analýza způsobů a důsledků poruch
FMECA	Failure mode, effects and criticality analysis - Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch
HAZOP	Hazard and Operability studies - Studie nebezpečí a provozuschopnosti
HSE	Health, Safety and Environment - Zdravotní, bezpečnostní a environmentální (problematika)
IOW	Integrity Operating Window - Provozní rozmezí zajišťující integritu
KPI	Key Performance Indicators - Klíčové ukazatele výkonnosti
MOTI	Management of Technical Integrity – Řízení technické integrity
PHA	Process Hazard Analysis - Analýza procesních rizik
PLE	Production Loss Equation – Rovnice výrobních ztrát
RBI	Risk Based Inspection - Inspekce na základě vyhodnocení rizika

RCA	Remaining Corrosion Allowance – Zbývající korozní přírůstek
RCM	Reliability Centered Maintenance - Údržba zaměřená na bezporuchovost
SIFpro	Safety Instrumented Function Process - Bezpečnostní přístrojové funkce
SIL	Safety Integrity Level - Úroveň bezpečnostní integrity

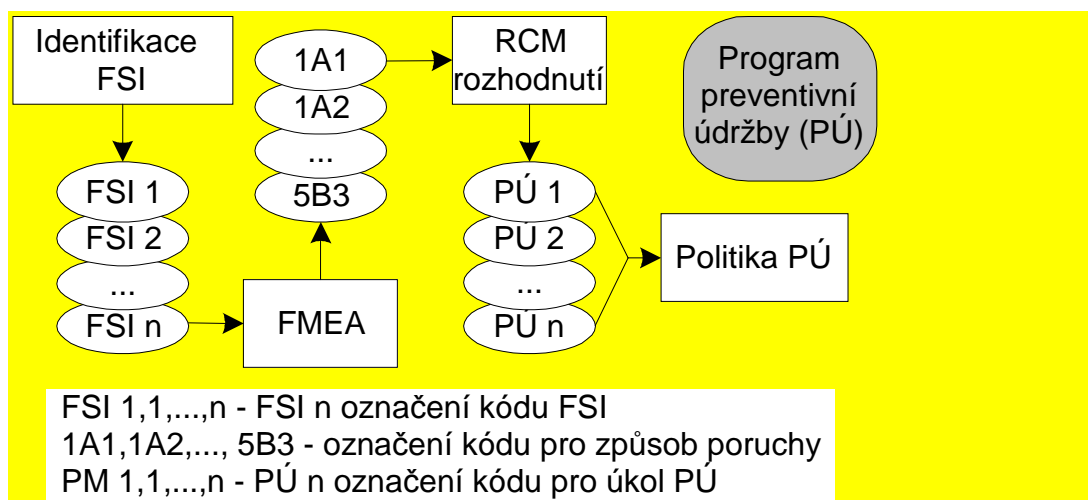
Úvod

Počet a složitost strojních zařízení je v současné době tak vysoká, že bez správně nastaveného systému údržby není možné provozovat zařízení efektivně a udržovat rizika spojená s poruchami na přijatelné úrovni.

Správná preventivní údržba snižuje počet poruch, zlepšuje bezporuchovost, je jedním z nástrojů ošetřování rizik a nežádoucích následků poruch.

Významnými nástroji pro zlepšování bezporuchovosti a ošetřování rizik jsou metody RCM, RBI a SIFpro. Tyto metody jsou východiskem pro návrh nové metodiky jejich souběžného a komplexního uplatňování s názvem Reliability and Risk Treatment Centred Maintenance (RRTCM) a metody RCM, RBI a SIFpro budou proto dále pouze velmi stručně připomenuty.

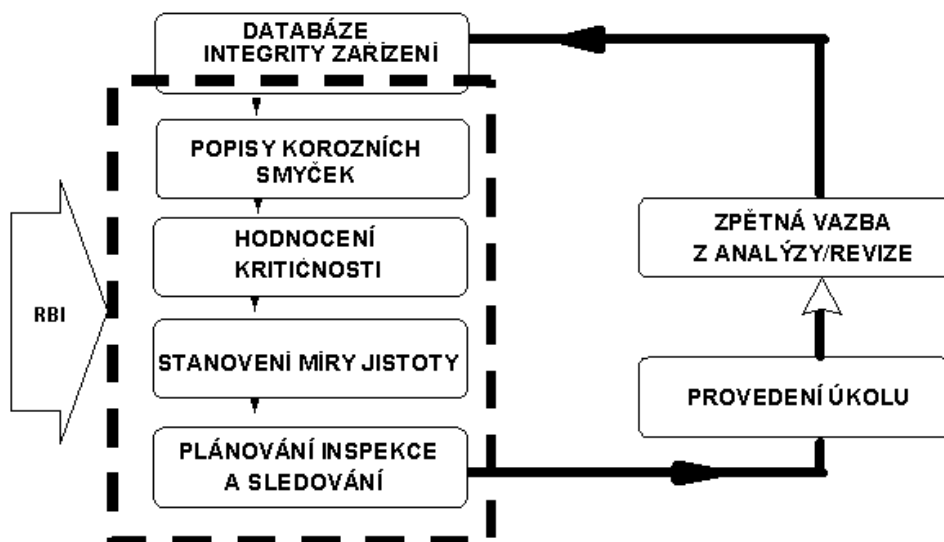
Reliability Centered Maintenance (RCM) představuje strukturovaný proces pro podporu rozhodování o uplatnění správné politiky údržby z hlediska optimalizace času provedení údržbářského zásahu (run to failure, periodical maintenance, maintenance based on conditional monitoring and predictive maintenance) (Moulbrey 1991, Modak 2003, Wang 2012, Legutko 2009, Smith 2003, Legat 2011, SAE JA1012, ISA TR84.00.02) pro jakékoliv fyzické zařízení v jeho provozním kontextu (Modek 2003, Jaarsveld 2011, Park 2011, Fore 2010). Metoda RCM je využívána ve všech oblastech průmyslu na úrovni High Technology (Holladay 2006, Wang 2007, Fotuhi 2009). RCM aplikuje analýzu funkčních poruch (FFA – Functional Failure Analysis) a/nebo FMEA/FMECA (Failure Modes and Effects Analysis, Failure Modes and Effects Criticality Analysis) (Li 2012) pro rozlišení úrovně kritičnosti poruch. Další procedura RCM vede k rozlišení poruch na zjevné a skryté a dále na poruchy pouze s dopadem na ekonomiku provozu, poruchy s dopadem na kvalitu, životní prostředí a bezpečnost. Proces je zakončen přiřazením vhodného údržbářského úkolu, který snižuje nebo alespoň nezhoršuje kritičnost poruchy. Proces analýzy RCM se obvykle skládá ze tří až čtyř kroků (obrázek číslo 1) (Cheng 2008, Zajíček 2007).



Obrázek 1 Proces analýza RCM (Cheng 2008), PÚ – preventivní údržba, FSI – funkčně významné prvky

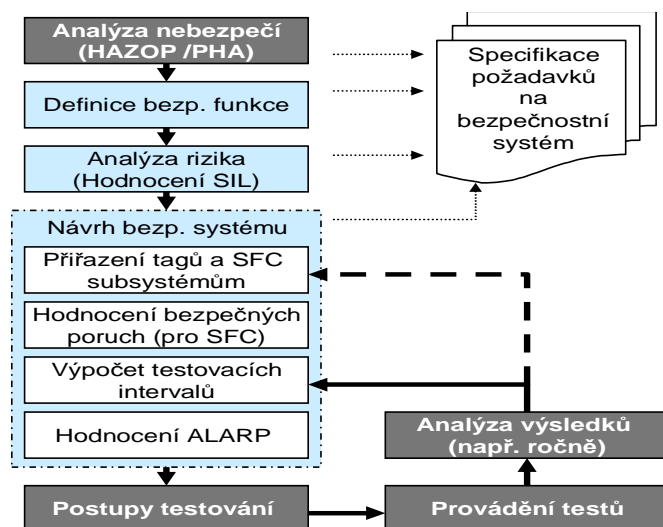
Risk Based Inspection (RBI) představuje strategii pro optimalizaci inspekčních a následných údržbářských prací na základě rizika převážně ve zpracovatelském průmyslu (specificky pro rafinérie, plynárenská a petrochemická zařízení) (Tan 2011) a měla by být aplikována pro

určení inspekčních plánů pro tlakové části veškerých stacionárních zařízení, včetně nádob a potrubních vedení (API RP 580, API 510, Tien 2007, Bertolini 2009). Během postupu metody RBI (Singh 2009, Turan 2011) jsou zvažovány všechny takové způsoby poruch tlakových zařízení, které ovlivňují tlakovou integritu zařízení a potrubních vedení. Ostatní způsoby poruch stacionárních zařízení, jako úsady, by měly být analyzovány v rámci RCM. (Wang 2011). Hlavní kroky jsou vyznačeny na obrázku 2.



Obrázek 2 Hlavní kroky procesu RBI

Safety Instrumented Function (SIFpro) představuje strategii pro optimalizaci plánu testovacích intervalů regulačních smyček (ČSN EN 61508-2, ISA TR84.00.02-2002). SIFpro pokrývá nahodilé bezpečné a nebezpečné poruchy jisticích přístrojů, včetně alarmů (Timms 2009, Cruz 2010). Jedná se o přesně vymezenou oblast v rámci měřicích přístrojů. (ČSN EN 61511, Freeman 2007, Kannan 2007, Gratán 2010). Metoda SIFpro navazuje na provedenou analýzu HAZOP (Hazards and Operability) (ČSN IEC 61882) nebo PHA (Process Hazard Analysis), které identifikují místa, kde jsou vyžadovány bezpečnostní přístrojové funkce (SIF) viz. obrázek 3. Tam, kde je vyžadováno SIF, se určí snížení rizika až do cílové úrovně bezpečnostní integrity (SIL).



Obrázek 3 Proces hodnocení SIFpro a návrhu bezpečnostního přístrojového systému

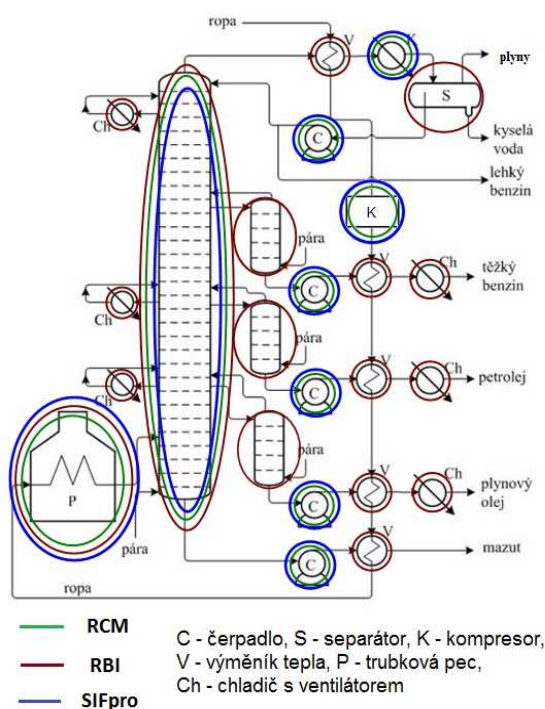
Výstupem těchto metod a nástrojů, které již existují celou řadu let, je optimalizovaná politika inspekcí a údržby. Současnou slabinou uplatňování těchto metod je jejich postupné a izolované zavádění a realizace (Wang 2011). Aby však bylo dosaženo významnějších úspor, tak je třeba tyto metody realizovat souběžně. Cílem tohoto příspěvku je návrh nové metodiky a systému managementu RRTCM založeném na souběžném uplatnění výše uvedených a prověřených metod (RCM, RBI a SIFpro).

Návrh nové metodiky Reliability and Risk Treatment Centred Maintenance (RRTCM)

Každá z metod (RCM, RBI a SIFpro) se soustředí na specifickou oblast výrobního zařízení a jeho údržby. Sloučením uvedených metod do RRTCM lze dosáhnout sladěného a strukturovaného řešení s těmito výstupy:

- Komplexním hodnocením rizika je dosaženo vhodné struktury organizace RRTCM a zjednodušeno jednání s úřady.
- Snižuje se pracovní zatížení jednotlivých profesí (data a informace lze využít u více metod).
- Souběžné uplatnění metod RCM, RBI a SIFpro vykazuje synergický efekt a umožňuje dosáhnout vyšší efektivity programů údržby.

Aplikace nové metody vyžaduje i důkladný výcvik pracovního týmu s pozitivním dopadem na jeho ochotu zavádět navrženou novou metodu. Připomeňme si, že metody RCM, RBI a SIFpro jsou určeny pro výrobní zařízení (např. stroje, součásti, potrubí, měřicí přístroje, aparáty se vzájemným vztahem aj.) [ČSN IEC 60300- 3-11]. Například v chemickém průmyslu (obrázek 4) má největší uplatnění metoda RCM, která obsáhne většinu výrobních zařízení. Je to dáno tím, že metoda RCM se zabývá převážně strojními zařízeními (zejména rotačními stroji, elektrickým zařízením, filtry a měřicí technikou [SAE JA1011, SAE JA1012: 2002]. Metoda RBI obsáhne veškerá tlaková a potrubní zařízení, a to i taková, která podléhají tzv. mandatorní údržbě (např. kolony, reaktory, výměníky, chladiče, potrubí aj.) [API RP 580]. Metoda SIFpro pokrývá poruchy jisticích přístrojů, včetně alarmů (ČSN EN 61511).



Obrázek 4 Příklad uplatnění jednotlivých metod (RCM, RBI a SIFpro) na komponenty výrobní jednotky atmosférické destilace ropy

Organizovaný a společný přístup ke zlepšení preventivní údržby by měl být cílem každé výrobní společnosti. Často ale mohou vznikat problémy se zaváděním těchto metod, protože to představuje významnou změnu v organizaci, a to nejenom v oblasti údržby, ale i v ovlivnění výroby či začlenění managementu do procesu (problémy technické, manažerské a organizační).

Rozhodovací procesy vycházející z hodnocení rizika se stávají stále významnějšími nástroji pro řízení údržby v podniku. Vstupní analýza RRTCM představuje týmovou práci prováděnou skupinou odborníků z provozu, údržby, procesní technologie, oblasti materiálů a koroze, inspekce, bezpečnosti práce, elektro a instrumentace k získání podkladů pro návrh sladěného a strukturovaného procesu údržby.

Navržený systém RRTCM je rozdělen do pěti **fází** (tabulka 1), které jsou dále rozděleny do jednotlivých dílčích **bloků**. Každá fáze je chápána jako proces, který se skládá z dílčích činností (bloků), které na sebe navzájem navazují či se prolínají. Vstupy a výstupy jednotlivých fází tvoří data, informace, formuláře, postupy, doporučení aj., která jsou nedílnou součástí procesu. Specifickým přínosem návrhu je to, že v každém bloku je barvami (zelenou, žlutou a červenou) identifikováno, zda získané vstupy jsou použitelné pouze u jedné metody, dvou metod, nebo jsou společné pro všechny tři metody.

První fáze pojednává převážně o možnostech implementace metod do procesu údržby v podniku. Zabývá se shromažďováním dat a informací formou auditu, dále školením zaměstnanců i managementu.

Ve **druhé** fázi se připravují potřebná data k tomu, aby analýzy metod mohly probíhat ve schváleném plánu. Příprava zahrnuje nejenom sběr a tvorbu samotných dat, ale i koordinaci pracovníků, kteří se na analýzách podílejí.

Třetí fáze je vlastní proces analýz, který probíhá podle stanoveného postupu, aby byl zachován ucelený pohled na analyzované provozní jednotky a výsledky byly v jednotné podobě.

Čtvrtá fáze se zabývá vlastní implementací výstupů z provedených analýz do informačního systému údržby. Nové požadavky na časové a obsahové provedení údržby je do programu údržby a následného plánu údržby třeba implementovat tak, aby byly zohledněny plánované odstávky výrobního zařízení a legislativní požadavky.

Poslední **pátá** fáze řeší aktualizaci implementovaného systému v případě změn, které se během provozu vyskytnou. Poukazuje na oblasti, ve kterých případné změny mohou vést k transformaci provedených analýz a dále slouží k hodnocení celého procesu RRTCM.

Tabulka 1 Tabulka návrhu procesu RRTCM

Fáze 1 Hodnocení přípravenosti	1. Přípravná studie	■
	2. Hlavní studie	■
	3. Shromažďování a analýza dat	■
	4. Semináře v rámci implementace	■
	5. Požadavky na lidské zdroje	■
	6. Požadavky na odborné znalosti	■
	7. Smluvní podmínky	■
	8. Audit údržby	■
Fáze 2 Příprava pro analýzy	9. Stanovení rovnice ztrát	■
	10. Určení pořadí provozních souborů	■
	11. Nastavení hranic analýzy	■
	12. Přípravné práce pro provedení analýzy	■
	13. Stanovení týmu	■
	14. Časový plán analýz	■
	15. Řízení informací o zařízení	■
	16. Stanovení matice rizik	■
Fáze 3 Proces analýzy	17. Postup při analýze RCM	■
	18. Postup při analýze RBI	■
	19. Postup při analýze SIFpro	■
Fáze 4 Implementace výsledků	20. Struktura výstupů nového programu údržby	■
	21. Nový program údržby	■
	22. Plán implementace	■
	23. Harmonizace činností údržby	■
Fáze 5 Revize systému	24. Proces aktualizace systému	■
	25. Změny v analýzách	■
	26. Sledování klíčových ukazatelů	■

Většina činností společná
 Části společné
 Rozdílné činnosti



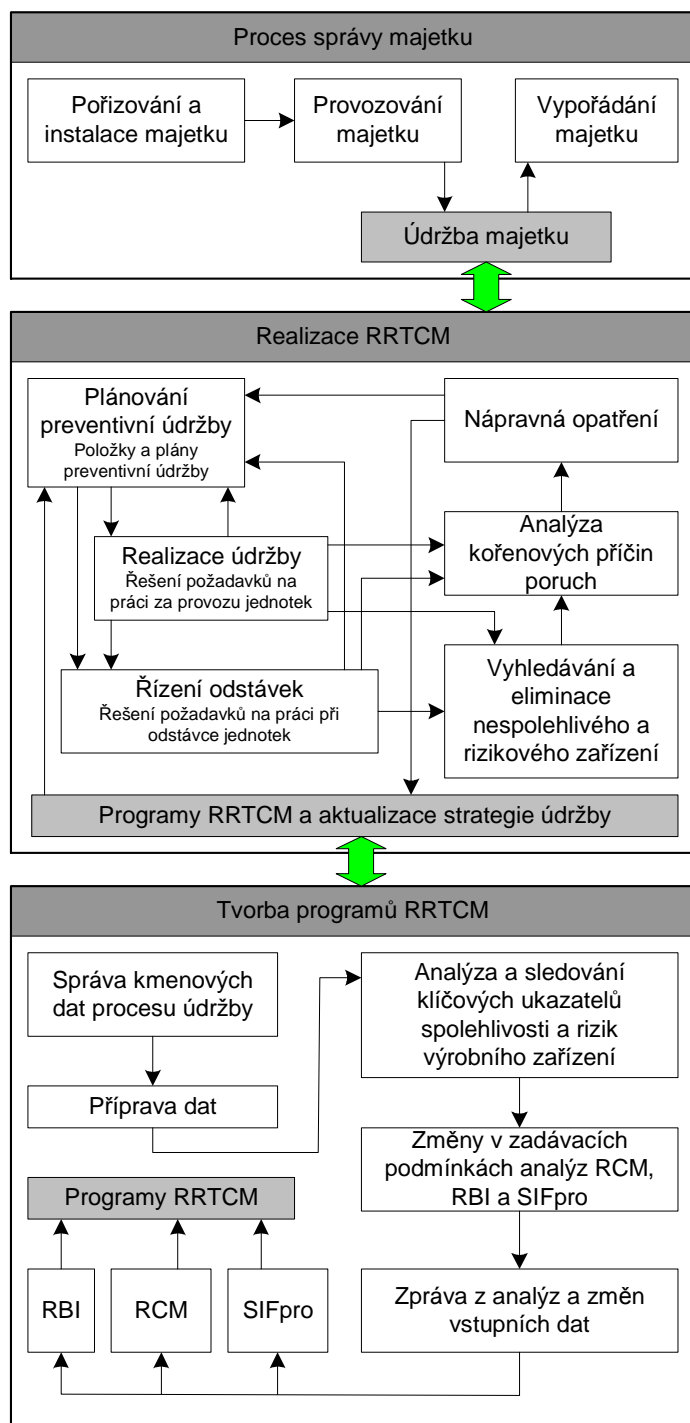
Výsledky

Začlenění systému RRTCM do struktury managementu organizace je znázorněno na obrázku 5 ve třech úrovních. Nejvyšší úroveň je proces správy majetku, o úroveň níže je základní propojení RRTCM v procesu údržby a poslední úroveň představuje vazby na proces řízení rizik a spolehlivosti. Rozhodujícím výstupem systému RRTCM je tvorba programů preventivní údržby.

Implementace aktualizovaných programů preventivní údržby v systému RRTCM sebou přináší nejenom snížení nákladů, ale i další výhody:

- snížení pracnosti (využití jednou pořízených dat ve všech metodách),
- stanovení politiky údržby zohledňující rizika,
- zvýšení bezporuchovosti a pohotovosti zařízení,
- zajištění technické integrity zařízení,
- splnění požadavků HSE (zdravotně bezpečnostní a environmentální oblasti) a další legislativy,
- jednotná databáze pro registraci údajů o údržbě, inspekci a bezpečnostních požadavků,
- usnadnění procesu zpětné vazby pro trvalé zlepšování,
- aktualizace registru majetku,
- jeden zdroj pro plány a rozhodnutí v oblasti údržby inspekce a bezpečnostních požadavků,
- zlepšení nakládání s náhradními díly,
- postupné vytváření databáze údajů o spolehlivosti,
- centralizace pracovních postupů údržby,
- zapojení operátorů do oblasti preventivní údržby,
- prostředí multidisciplinárních týmů RRTCM navozuje atmosféru užší spolupráce mezi podnikovými odděleními.

Proces uplatňování metodiky RRTCM není nikdy absolutně dokončen, protože provoz výrobních zařízení přináší změny, které ovlivňují či mění vstupy do následujících analýz, a tím i jejich výstupy a výsledky. Je potřeba nastavit systém aktualizace vstupních dat v provozu, který zajistí aktualizovaná data odpovídající reálnému stavu zařízení pro RRTCM.

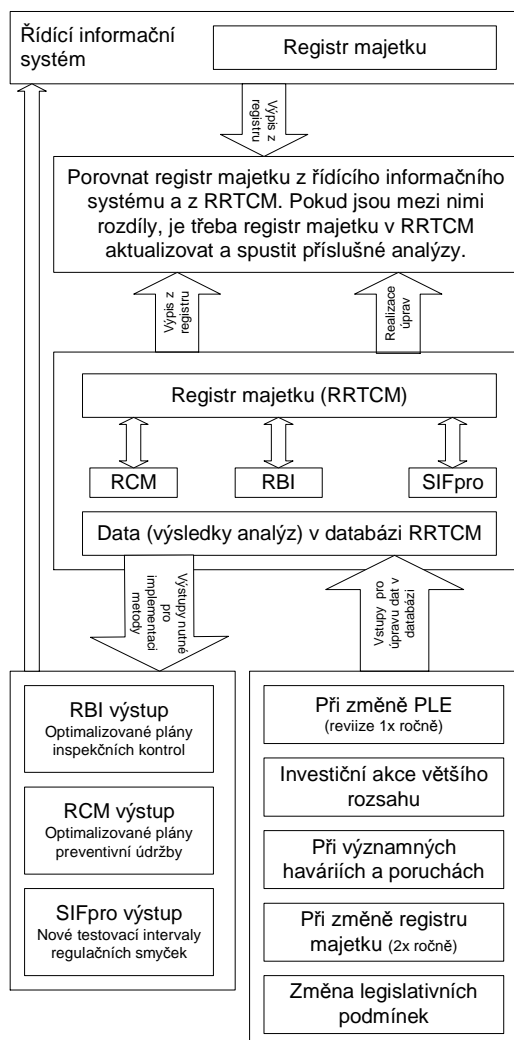


Obrázek 5 Začlenění systému RRTCM do struktury organizace

Aktualizace dat pro RRTCM (obrázek 6) mohou být periodické na základě předem stanovených intervalů nebo mohou být provedeny specificky pro danou záležitost. V ideálním případě by měla být pro danou výrobní jednotku nebo zařízení provedena celková aktualizace po předem stanovených intervalech (ročně, jednou za dva roky aj.), avšak lze je přeplánovat

na jinou vhodnou dobu, aby se zohlednilo plánování odstávek. Navíc k periodickým aktualizacím dat mohou být připojeny aktualizace nepravidelné pro určitou část zařízení, na němž probíhají významné změny:

- renovace, modernizace a výstavba nového zařízení (změna registru majetku, změny PLE, zabezpečení aj.),
- nová zjištění inspekcí a zkoušek,
- nová zjištění o stavu zařízení při odstavení výrobních jednotek,
- předpisů a norem (mandatorní údržba),
- podnikatelské strategie organizace (změna trhu, zaměření organizace či majitele),
- parametrů rovnice ztrát (PLE) (velké investiční projekty, změna technologie apod.),
- podnikových kritérií tolerance rizika,
- poruchy a informace o výskytu nových degračních mechanismů,
- nové výsledky analýz HAZOP, PHA nebo HSE,
- vypracování a aplikace nových údržbářských technik nebo přístrojů,
- nové výsledky ze srovnávacích studií,
- významné změny hodnoty měny (směnný kurz měny).

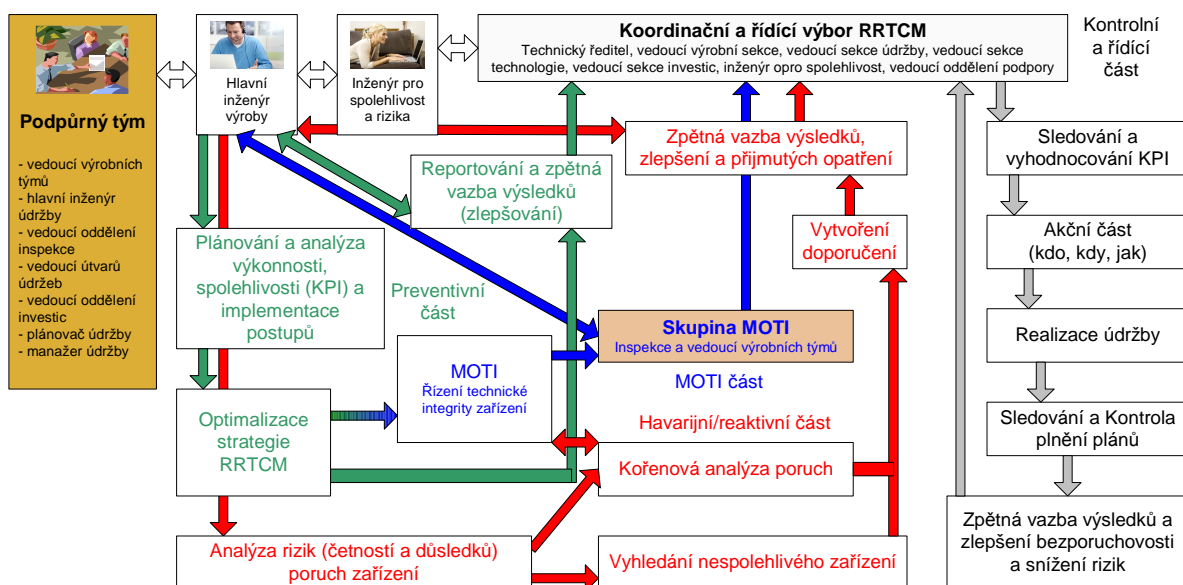


Obrázek 6 - Schéma procesu aktualizace systému RRTCM

Aby bylo dosaženo nejlepších výsledků a přínosů ze zavedení RRTCM, tak je nutné stanovit jasnou a pevnou organizační strukturu a definovat role a odpovědnost jednotlivých osob. Na obrázku 7 je organizační struktura RRTCM. Tato struktura je rozdělena na čtyři základní části:

- preventivní část,
- MOTI (Management of Technical Integrity) část,
- havarijní/reaktivní část,
- kontrolní a řídicí část.

Preventivní část ukazuje, jaká je pozice RRTCM ve vztahu k ostatním činnostem zlepšování spolehlivosti (např. RCA) a vůči definování a sledování klíčových indikátorů výkonnosti (KPI). MOTI se zabývá řízením technické integrity zařízení, která vychází ze studií RBI (provozování výrobních jednotek, sdílení informací mezi týmy, sledování překročení provozních limitů IOW (Integrity Operating Window)). V kontrolní a řídicí části se výbor složený z managementu organizace, na základě informací, rozhoduje o dalším postupu a pracích, které je potřeba vykonat.



Obrázek 7 Návrh struktury RRTCM v organizaci

Dále obrázek 7 ukazuje, že vedle řídicího výboru managementu, je doporučeno také zřídit styčnou osobu (ústřední osobu) pro problematiku spolehlivosti/integrity, aby tato osoba prováděla podporu týmů RRTCM při provádění hodnocení a definování údržbových a inspekčních plánů.

Ekonomické přínosy implementace RRTCM lze vyjádřit, pomocí úspory doby činností potřebných k zavedení dílčích metod RRTCM, a to RCM, RBI a SIFpro. V tabulce Z jsou uvedeny poměrové časové náročnosti implementace těchto dílčích metod. V pesimistické variantě zavádění RRTCM lze dospět k úspoře pracovní síly 44,4 % a v optimistické variantě 50,5%.

Tabulka 2 - Porovnání časové náročnosti (pracnosti) zavedení metod RCM, RBI a SIFpro navrženou metodikou RRTCM

Činnosti	RCM		RBI		SIFpro		Společná pracnost		Pracnost RRTCM
	P	O	P	O	P	O	P	O	
Fáze 2									
9.	1	1	1	1	1	1	3	3	1
10.	1	1	1	1	1	1	3	3	1
11.	0,7	0,9	0,4	0,6	0,2	0,3	1,3	1,8	1
12.	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,8	1,7	2,2	1
13.	0,9	1	0,9	1	0,9	1	2,7	3	1
14.	1	1	1	1	1	1	3	3	1
15.	0,5	0,7	0,5	0,7	0,3	0,4	1,3	1,8	1
16.	1	1	1	1	1	1	3	3	1
Fáze 3									
17.	1	1	0	0	0	0	1	1	1
18.	0	0	1	1	0	0	1	1	1
19.	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Fáze 4									
20.	0,5	0,6	0,5	0,6	0,2	0,3	1,2	1,5	1
21.	0,5	0,6	0,5	0,6	0,2	0,3	1,2	1,5	1
22.	0,5	0,7	0,6	0,7	0,3	0,4	1,4	1,8	1
23.	0,5	0,7	0,5	0,7	0,2	0,3	1,2	1,7	1
	Σ						27	30,3	15

Snížení časové náročnosti (%) **44,4 50,5**

- P - pesimistická varianta ■ pro všechny metody společně
O - optimistická varianta ■ části metod společně
■ využití pouze jednou metodou

Závěr

Při návrhu nového systému RRTCM, který výrazně zasahuje do organizační struktury, pravomocí pracovníků a do mnoha zavedených procesů ve společnosti, je nutné počítat s řadou těžkostí při zavádění. Potíže, se kterými se implementátor systému údržby orientované na bezporuchovost a rizika do provozní praxe může setkat, jsou dány různými faktory, např.:

- vysokými nároky na datové vstupy,
- kvalitou analytické činnosti,
- organizací údržby,
- vytvořením podmínek a podporou managementu aj.

V rámci příspěvku je nově navržen systém RRTCM, který využívá separátně vyzkoušené metody RCM, RBI, a SIFpro. Aby toto řešení údržby na základě rizika bylo efektivní, tak je zcela stěžejní získat podporu managementu podniku. Ze schémat uvedených na obrázku č. 5 a 7 je zcela zřejmé, že nový systém RRTCM prochází téměř všemi stupni a organizačními jednotkami podniku.

V tabulce číslo 2 jsou uvedeny poměrové časové náročnosti implementace jednotlivých metod RCM, RBI a SIFpro v případě jejich začlenění do RRTCM. Dosažitelná úspora doby implementace v případě aplikace RRTCM se pohybuje od 45 % až do 50 %. Konkrétní ekonomické přínosy implementace RRTCM závisejí na velikosti podniku a na kvalitě práce jednotlivých pracovních týmů RRTCM.

Hlavním smyslem aplikace metodiky a systému RRTCM nejsou jenom časové úspory implementace, ale především stanovení optimální strategie údržby výrobního zařízení zaměřené na bezporuchovost a ošetření rizik a na správný tok investic do majetku a jeho údržby.

Literatura

- [1] API RP 580, Risk-Based Inspection, Second Edition, American Petroleum Institute, 2009.
- [2] API 510, Pressure Vessel Inspection Code: Maintenance Inspection, Rating, Repair, and Alteration - Includes Addenda 1, 2, 3 and 4 (1999, 2000, 2001, 2003), Edition: 8th Edition, American Petroleum Institute, 1997.
- [3] M. Bertolini, M. Bevilacqua, F. E. Ciarapica and G. Giacchetta, "Development of Risk-Based Inspection and Maintenance procedures for an oil refinery," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 22, no. 2, pp. 244 – 253, 2009.
- [4] Z. Cheng, X. Jia, P. Gao, S. Wu and J. Wang, "A framework for intelligent reliability centered maintenance analysis," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 93, no. 6, pp. 806 – 814, 2008.
- [5] H. J. Cruz-Campa and M. J. Cruz-Gómez, "Determine sis and SIL using HAZOPS,," *Process Safety Progress*, vol. 29, no. 1, pp. 22-31, 2010.
- [6] ČSN EN 61511, Funkční bezpečnost - Bezpečnostní přístrojové systémy pro sektor průmyslových procesů, Český normalizační institut, Praha, 2005.
- [7] ČSN EN 61508-2, Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/ programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností, Český normalizační institut, Praha, 2002.
- [8] ČSN IEC 60300- 3-11. Management spolehlivosti – Část 3-11: Návod k použití – Údržba zaměřená na bezporuchovost, Český normalizační institut, Praha, 2010.
- [9] ČSN IEC 61882, Studie nebezpečí a provozuschopnosti (studie HAZOP) - Pokyn k použití, Český normalizační institut, Praha, 2002.
- [10] V. Deshpande and J. Modak, "Maintenance strategy for tilting table of rolling mill based on reliability considerations," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 80, no. 1, pp. 1 – 18, 2003.
- [11] S. Fore and A. Msipha, "Preventive Maintenance Using Reliability Centred Maintenance (RCM): a Case Study of a Ferrochrome Manufacturing company, " *South African Journal of Industrial Engineering*, vol 21, no. 1, pp. 207 – 233, 2010.
- [12] M. Fotuhi-Firuzabad, S. Afshar, D. Farrokhzad and J. Choi, "Reliability Centered Maintenance Program Initiation on Electric Distribution Networks,," In *Proceedings 2009 Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*, pp. 723 – 726, 2009.
- [13] R. Freeman, "Using layer of protection analysis to define safety integrity level requirements,," *Process Safety Progress*, vol. 26, no. 3, pp.185-194, 2007.
- [14] D. Grattan and S. Nicholson, "Integrating switchgear breakers and contactors into a safety instrumented function,," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 23, no. 6, pp. 784-795, 2010.
- [15] D. W. Holladay, B. D. Dallman and C. H. Grigg, "Reliability centered maintenance study on voltage regulators, " In *Proceedings ESMO 2006 11th International Conference on Transmission & Distribution Construction*, pp. 106 – 110, 2006.
- [16] ISA TR84.00.02, Part 1. Safety Instrumented Functions (SIF) - Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques Part 1: Introduction, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2002.
- [17] W. Jaarsveld and R. Dekker, "Spare parts stock control for redundant systems using reliability centered maintenance data,," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 96, no. 11, pp. 1576 – 1586, 2011.
- [18] P. R. Kannan, "Bayesian networks: Application in safety instrumentation and risk reduction,," *ISA Transactions*, vol. 46, no. 2, pp. 255-259, 2007.
- [19] V. Legát, V. Jurča, Z. Aleš, "Contribution to Plough Shares and Chisels Useful Life Optimization,," *Scientia Agriculturae Bohemica*, vol. 42, no. 2, pp. 73-78, 2011.
- [20] S. Legutko, "Development trends in machines operation maintenance,," *Eksplatacja i Niezawodnosc*, vol. 42, no. 2, pp. 8-16, 2009.
- [21] J. Moubray, *Reliability-centred Maintenance*. Butterworth-Heinemann, 1997.

- [22] J. Li and H. Xu, "Reliability Analysis of Aircraft Equipment Based on FMECA Method," In Proceedings International Conference on Solid State Devices and Materials Science, pp. 1816 – 1822, 2012.
- [23] G. P. Park, J. H. Heo, S.S. Lee and Y. T. Yoon, "Generalized Reliability Centered Maintenance Modeling Through Modified Semi-Markov Chain in Power System," Journal of Electrical Engineering & Technology, vol. 6, no. 1, pp. 25-31, 2011.
- [24] SAE JA1011, Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes, 2009.
- [25] SAE JA1012, A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard, 2002.
- [26] M. Singh and T. Markeset, "A methodology for risk-based inspection planning of oil and gas pipes based on fuzzy logic framework," Engineering Failure Analysis, vol. 16, no. 7, pp. 2098-2113, 2009.
- [27] A. M. Smith and G. R. Hinchcliffe, RCM - Gateway to World Class Maintenance, Elsevier, 2003.
- [28] Z. Tan, J. Li, Z. Wu, J. Zheng and W. He, "An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection," Safety Science, vol. 49, no. 6, pp. 852-860, 2011.
- [29] S. W. Tien, W. T. Hwang and C. H. Tsai, "Study of a risk-based piping inspection guideline system," ISA Transactions, vol. 46, no. 1, pp. 119 – 126, 2007.
- [30] C. Timms, "Hazards equal trips or alarms or bot," Process Safety and Environmental Protection, vol. 87, no. 1, pp. 3-13, 2009.
- [31] O. Turan, I. Lazakis, S. Judah and A. Incecik, "Investigating the Reliability and Criticality of the Maintenance Characteristics of a Diving Support Vessel," Quality and Reliability Engineering International, vol. 27, no. 7, pp. 931-946, 2011.
- [32] Q. Wang and J. Gao, "Research and application of risk and condition based maintenance task optimization technology in an oil transfer station," Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 25, no. 6, pp. 1018 – 1027, 2012.
- [33] Y. Wang, L. Jaw and P. Rendek, "Demonstration of a Reliability Centered Maintenance (RCM) tool to extend engine's Time-On-Wing (TOW)," In Proceedings 2007 IEEE Aerospace Conference, pp. 3703 – 3707, 2007.
- [34] Q. Wang, W. Liu, X. Zhong, J. Yang, and Q. Yuan, "Development and application of equipment maintenance and safety integrity management system," Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 24, no. 4, pp. 321-332, 2011.
- [35] J. Zajicek and J. Kamenicky, "Effectiveness optimization of RCM process," In Proceedings and Monographs in Engineering, Water and Earth Sciences, European Safety and Reliability Conference (ESREL 2007), pp. 1887 – 1891, 2007.

V příspěvku byly využity zkušenosti s aplikací metodik RCM, RBI a SIFpro ve společnostech: Česká rafinářská a.s., Synthos Kralupy a.s.

Autoři:

Ing. Vít Havlů, Ph.D.
Projektový manažer
UNIPETROL RPA, s.r.o.
Kancelář | Office: Záluží 1, 436 70 Litvínov 7
Tel.: +420 737 205 872
Email: Vit.Havlu@unipetrol.cz, www.unipetrolrpa.cz

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.
Česká zemědělská univerzita v Praze
Kamýcká 129
165 21 Praha 6 – Suchbátův
Email: pexa@tf.czu.cz

prof. Ing. Václav Legát, DrSc.
Česká zemědělská univerzita v Praze
Kamýcká 129
165 21 Praha 6 – Suchbátův
Email: legat@tf.czu.cz





ISBN 978-80-02-02486-6

**PREVENTIVNÍ ÚDRŽBA ZVYŠUJE BEZPORUCHOVOST
A SNIŽUJE RIZIKO**

Sborník přednášek,

Kolektiv autorů

1. vydání, rok vydání 2013

vazba brožovaná, počet stran 35