

PREVENTIVNÍ ÚDRŽBA SNIŽUJE RIZIKO KRITICKÉ PORUCHY

Václav LEGÁT, Martin PEXA, Zdeněk ALEŠ, Jan HROCH

Klíčová slova: preventivní údržba, kritická porucha, ekonomická porucha

Anotace

Příspěvek je zaměřený na problematiku preventivní údržby se zacílením na snížení rizika kritické poruchy. Údržbu je nutné chápat jako zdroj výrobního procesu a ne jako nákladovou položku. Příspěvek popisuje, co může udělat údržba pro zvýšení bezporuchovosti a snížení rizika a tento efekt popisuje na příkladu ošetření rizika preventivní údržbou, zálohováním a ochranným krytem na systému čerpadel a reaktoru.

1. Úvod

Bez údržby majetku obecně a z toho výrobního zařízení zvláště se dříve nebo později **zastaví chod každé organizace**. Údržbu je proto nezbytné považovat jako **zdroj** výrobního procesu a nikoli pouze jako nákladovou položku. Údržba je svojí podstatou mnohem náročnější proces než samotná výroba. Proces výroby je zpravidla pečlivě naplánován, má do detailu rozpracované technologické postupy, plánování se řídí kusovníky nebo recepturami aj., kdežto údržba je proces velmi variabilní a většina rozhodování má intuitivní či expertní charakter, přičemž každé rozhodnutí ovlivňuje náklady. **Údržba po poruše** je ryze náhodný (stochastický) proces, ať již jde o okamžik vzniku poruchy a následné opravy nebo o její rozsah se všemi negativními dopady. Vzniklé poruchy zastavují výrobní proces, vyvolávají neplánované prostoje a následující výpadky výroby a havarijní a kritické poruchy přinášejí rizika nežádoucích událostí ekonomického (to vždy), environmentálního a/nebo bezpečnostního charakteru (zranění či úmrtí). Moderní údržba ke snížení těchto nežádoucích následků údržby po poruše přichází obecně s **údržbou preventivní** a v poslední době s údržbou **prediktivní** (založenou na diagnostice - monitorování a předpovědi technického stavu pro obnovu) s **proaktivním** vykonáváním (údržbář vyhledává příčiny poruchy, odstraňuje je a teprve potom provádí vlastní opravu poškozeného objektu) [6, 7]. Přední světoví odborníci v oblasti **Průmyslu 4.0** radí a doporučují aplikovat **prediktivní údržbu** všude tam, kde je to **technicky možné a ekonomicky výhodné**.

Cílem tohoto příspěvku je nejenom přiblížit manažerům údržby management rizik kritických poruch, ale také ukázat jak preventivní údržba a další opatření přispívají ke snížení rizik.

2. Definování rizika a jeho ošetřování

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] a [5]. Jiná norma [3] 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“.

V naznačeném pojetí jde o kvantifikaci rizika kritické nebo havarijní poruchy jako nebezpečné události:

- **kritická porucha** je porucha, o které se usuzuje, že může způsobit úraz osob, značné materiální škody nebo může mít jiné nepříjemné následky, nebo
- **havarijní porucha** je náhlá porucha, která končí úplnou neschopností objektu vykonávat požadované funkce a **velkými náklady** na odstranění následků [1].

Aktualizovaná norma [1] v souvislosti s výše uvedenými termíny definuje **kritičnost** poruchy nebo poruchového stavu jako *závažnost důsledku s ohledem na specifikovaná kritéria hodnocení*, což je jeden činitel rizika.

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 a C_{kp} je ztráta (ocenění závažnosti) způsobená kritickou poruchou v Kč

Kumulativní riziko kritické poruchy R_{iskkp} v Kč

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

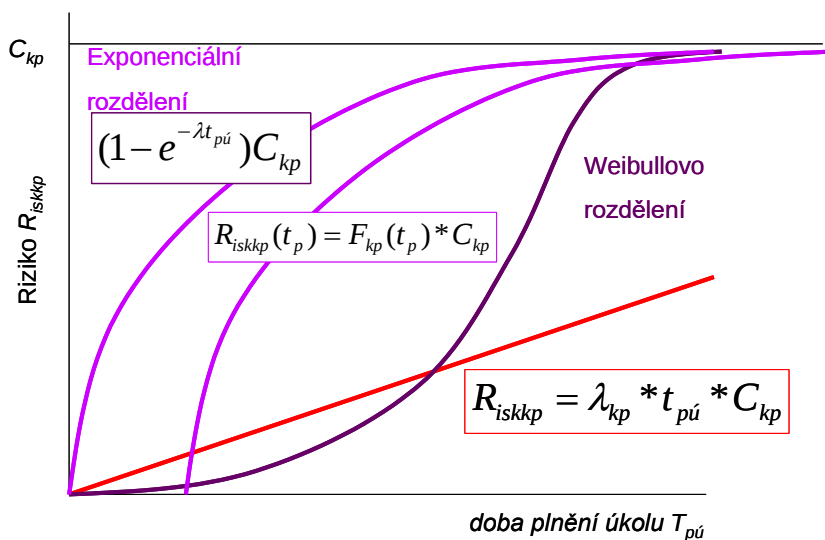
kde $t_{pú}$ je doba plnění úkolu a je $\ll MOTBCF$ (střední doba provozu mezi kritickými poruchami), λ_{kp} je intenzita kritických poruch a C_{kp} je ztráta (ocenění závažnosti) způsobená kritickou poruchou v Kč

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

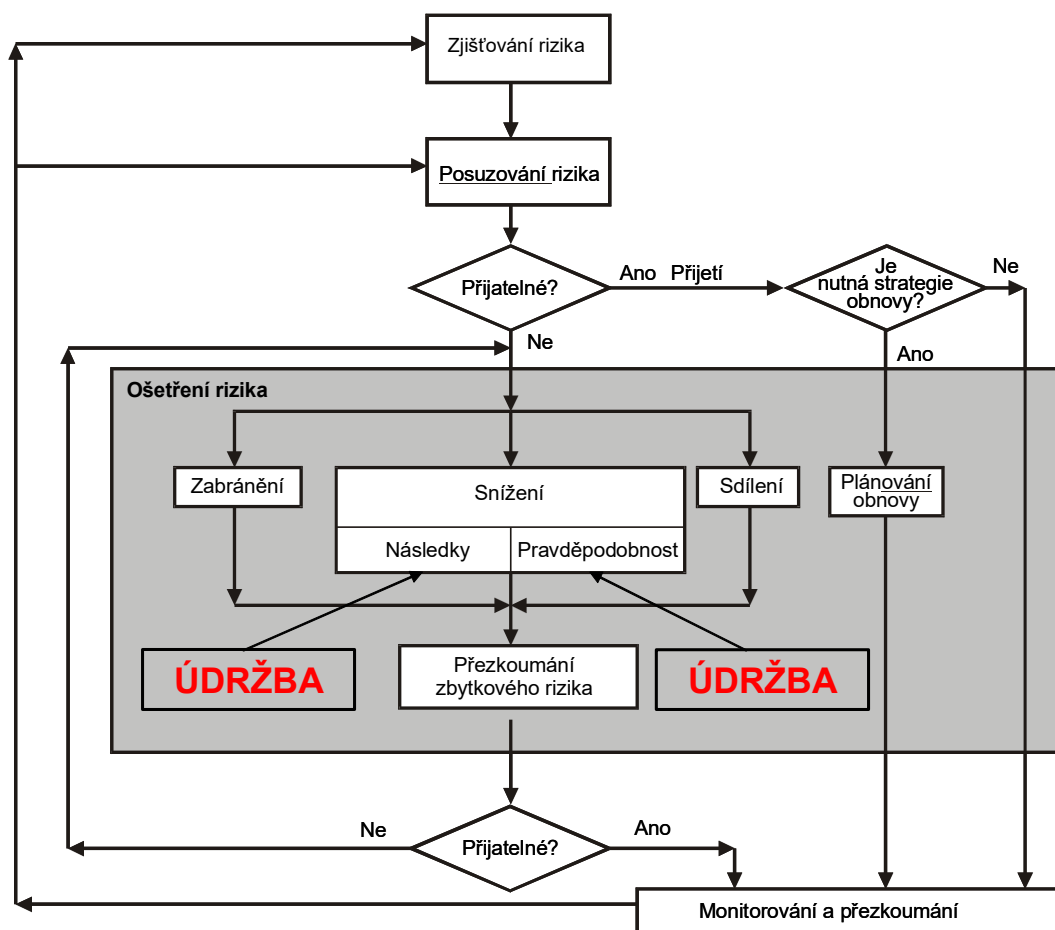
Grafické znázornění rovnic (1), (2) a (3) je uvedeno na obr. 1. Z tohoto obrázku je patrné, že čím je delší doba plnění úkolu, tím velikost rizika roste. Z obrázku je také zřejmé, že při použití rovnice (3) pro $t_{pú} = MOTBCF$ a pro exponenciální rozdělení by součin $\lambda_{kp} * t_{pú}$, vyjadřující přibližně pravděpodobnost 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 vždy s podmínkou, že $t_{pú} \ll MOTBCF$.

Ošetření 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.



Obr. 1 Závislost rizika na době plnění úkolu



Obr. 2 Proces ošetřování rizik podle [4]

3. Co může dělat údržba pro zvýšení bezporuchovosti a snížení rizik

Údržba může **zvyšovat bezporuchovost** snižováním **pravděpodobnosti** kritických a havarijních poruch. Základním nástrojem **snižování pravděpodobnosti** těchto poruch je [8]:

a) preventivní údržba:

- periodická,
- diagnostická (podle stavu, prediktivní, proaktivní),

b) zálohování objektů:

- nezatížená (studená) záloha,
- zatížená (horká) záloha.

Údržba může snižovat **rizika** kritických a havarijních poruch výše uvedenou cestou zvyšování bezporuchovosti a dále snižováním dopadů (následků, důsledků) nežádoucích události 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.

Lze shrnout, že ošetřováním rizika současně hledáme cesty ke zvyšování bezporuchovosti na straně jedné a na straně druhé ke snižování dopadů havarijních a kritických poruch, tedy bezporuchovost je přímou složkou (činitelem) rizika.

V tabulce 1 jsou uvedeny možnosti ovlivnění nebezpečné události (havarijní a kritické poruchy) a následného poškození údržbou. Jde o takové metody a nástroje (manažerské, semikvantitativní i kvantitativní), 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.

Tab. 1 Možnost ovlivnění nebezpečné události a následného poškození údržbou

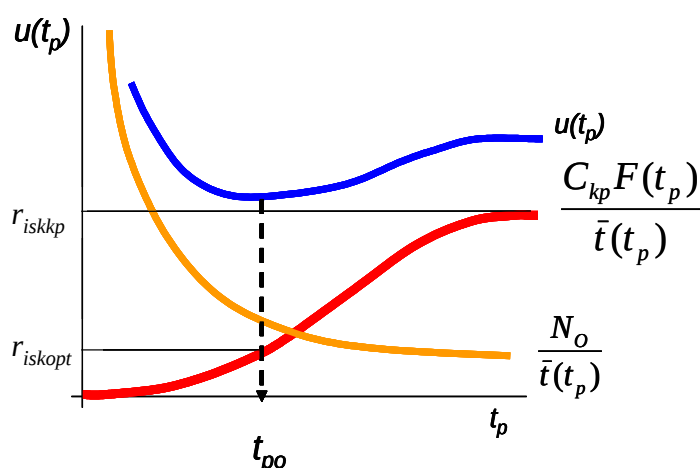
Poškození	Činnosti údržby	Použité nástroje
Fyzické zranění	Revizní prohlídky a nápravná opatření	Revize elektrických, plynových a zdvihacích zařízení a tlakových nádob, metody BOZP, LOTO (Lockout/Tagout), ISO 18001 aj.
Škoda na majetku	Preventivní údržba	FMECA, RCM, FRACAS, RCFA, ISO 9001 aj.
Škoda na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

4 Preventivní údržba snižuje riziko

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

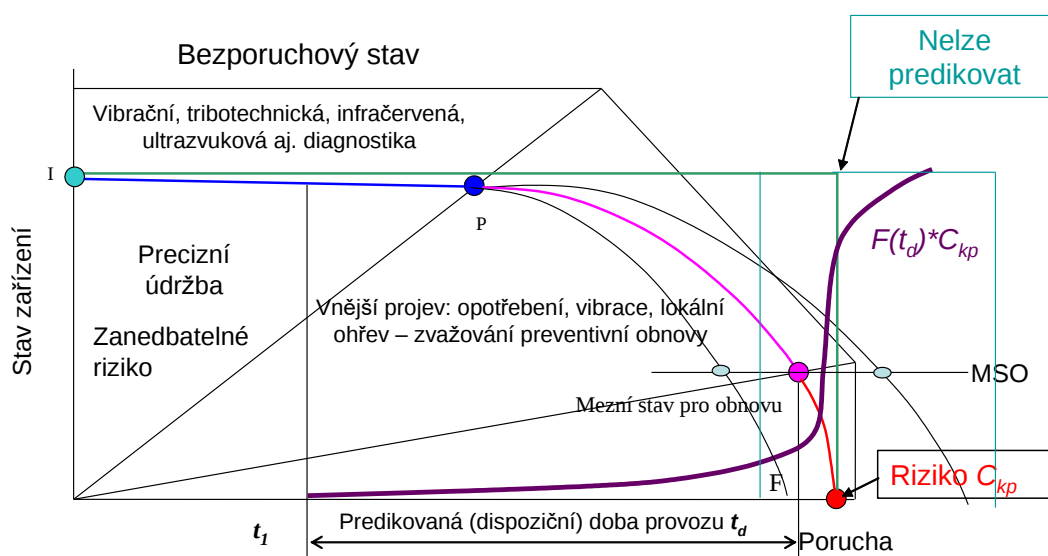
$$u(t_p) = \frac{N_o + C_{kp} F(t_p)}{\bar{t}(t_p)} = \frac{N_o + R_{iskkp}(t_p)}{\bar{t}(t_p)} \quad (4)$$

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



Obr. 3 Minimalizace rizika periodickou údržbou

Průběh nákladů na provoz a obnovu, jejich minimalizace a velikost rizika je zřejmá z obr. 3. 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.



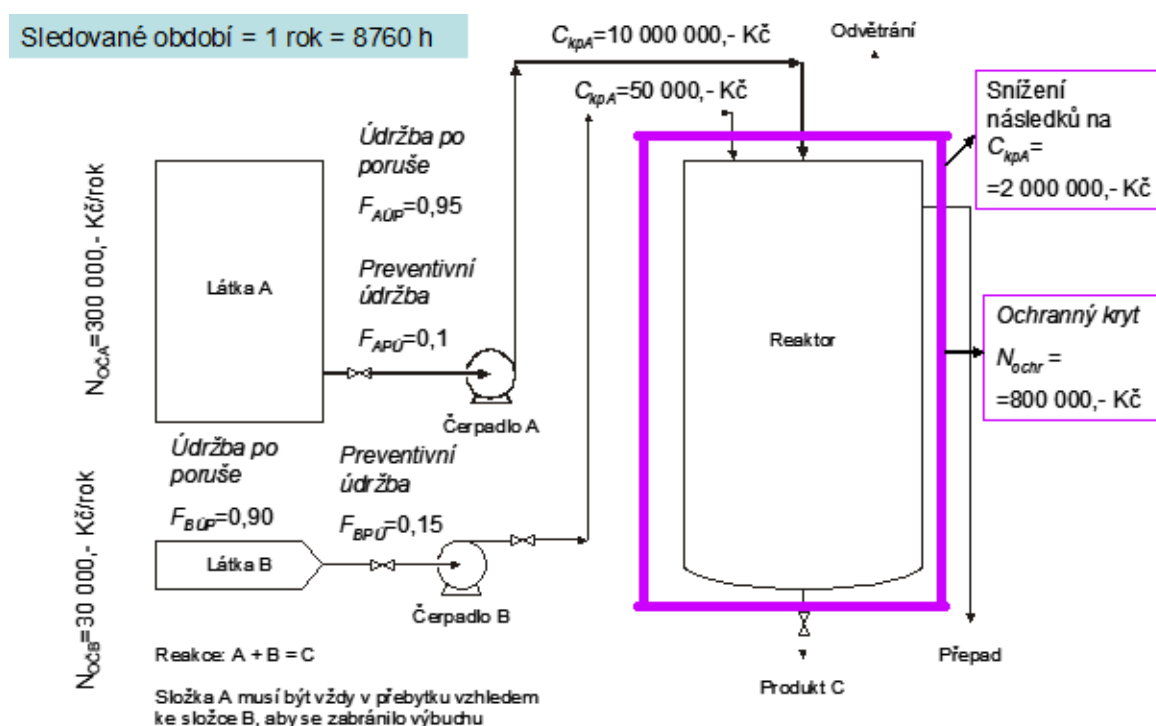
Obr. 4 Princip snižování rizika kritické poruchy diagnostickou údržbou

Na obr. 4 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 monitorován a posuzuje se průběh signálu. Stanoví se mezní hodnota signálu pro obnovu (MSO) tak, aby se předešlo kritické poruše. Při jejím dosažení je objekt obnoven a riziko je s velkou pravděpodobností eliminováno [6]. 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 [7].

5. Příklad ošetření rizika kritické poruchy

Příklad ošetření rizika preventivní údržbou, zálohováním a ochranným krytem je znázorněn na obr. 5. 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. 5 Schéma upravené podle ČSN IEC 61882 Studie nebezpečí a provozuschopnosti

V tabulce 2 je proveden výpočet rizik pro čtyři scénáře ošetření rizika preventivní údržbou, zálohováním a ochranným krytem [8].

Tab. 2 Výpočty ošetření ročního rizika preventivní údržbou, zálohováním a ochranným krytem

1. Neošetřené riziko	9 545 000,- Kč
$R_{iskneošAB} = F_{AÚP} * C_{kpA} + F_{BÚP} * C_{kpA} = 0,95 * 10000000 + 0,90 * 50000 = 9\,545\,000,- \text{ Kč}$	
2. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B	1 007 500,- Kč
$R_{iskošpúAB} = F_{APÚ} * C_{kpA} + F_{BPÚ} * C_{kpA} = 0,10 * 10000000 + 0,15 * 50000 = 1\,007\,500,- \text{ Kč}$ $Roční\ náklady = R_{iskošpúAB} + N_{OČA} + N_{OČB} = 1007500 + 300000 + 30000 = 1\,337\,500,- \text{ Kč}$	
3. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B a zálohováním čerpadla A	107 500,- Kč
$R_{iskošpúzáAB} = F_{APÚ} * F_{APÚ} * C_{kpA} + F_{BPÚ} * C_{kpA} = 0,10 * 0,10 * 10000000 + 0,15 * 50000 = 107\,500,- \text{ Kč}$ $Roční\ náklady = R_{iskošpúzáAB} + N_{OČA} + N_{OČB} = 107500 + 300000 + 300000 + 30000 = 737\,500,- \text{ Kč}$	
4. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B, zálohováním čerpadla A a ochranným krytem	35 500,- Kč
$R_{iskošpúzáochrAB} = F_{APÚ} * F_{APÚ} * C_{kpA} + F_{BPÚ} * C_{kpA} = 0,10 * 0,10 * 2800000 + 0,15 * 50000 = 35\,500,- \text{ Kč}$ $Roční\ náklady = R_{iskošpúzáAB} + N_{OČA} + N_{OČB} = 35500 + 300000 + 300000 + 30000 = 665\,500,- \text{ Kč}$	

6. Závěr

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.

- Preventivní údržba** (periodická, diagnostická podle stavu, prediktivní) 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).
- K ošetřování (snižování) rizik** přispívá zvláště **preventivní údržba** tím, že snižuje pravděpodobnost nebezpečných událostí (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**.
- 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 podle stavu nebo prediktivní údržbu). **Světový trend** je

uplatňovat **diagnostickou prediktivní údržbu** (založenou na znalosti konkrétního technického stavu a predikci dispozičního užitečného života) všude tam, kde je to **technicky možné a ekonomicky výhodné**.

Použitá literatura:

- [1] ČSN IEC 60050-191 Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 191: Spolehlivost
- [2] TNI 01 0350:2010 Management rizik – Slovník
- [3] ČSN IEC 61882:2002 Studie nebezpečí a provozuschopnosti (studie HAZOP) – Návod k použití
- [4] ČSN IEC 62198 Management rizika projektu – Směrnice pro použití
- [5] ČSN ISO 31000:2010 Management rizik – Principy a směrnice
- [6] LEGÁT, V.: Kolik systémů managementu údržby směřuje k její excelenci? Konference Národní fórum údržby 15. a 16. 5. 2006, vydavatel Žilinská univerzita 2006, s. 32-40, ISBN 80-8070-541-0
- [7] LEGÁT, V. – POŠTA, J. – JURČA, V. – FLEGL, R. – HRNČÍŘ, P.: Systémy managementu jakosti a spolehlivosti v údržbě. ČSJ Praha 2007. ISBN 978-80-02-01949-7
- [8] LEGÁT, V.: Správná údržba snižuje rizika. In: Sborník konference Národní fórum údržby konané 31. 5. 2011, vydavatel Žilinská univerzita 2011, ISBN 978-80-554-0363-2

Autoři:

prof. Ing. Václav Legát, DrSc.

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

vedoucí katedry jakosti a spolehlivosti strojů, Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze
předseda předsednictva České společnosti pro údržbu (ČSPÚ)

doc. Ing. Zdeněk Aleš, Ph.D.

proděkan, Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze
člen předsednictva České společnosti pro údržbu (ČSPÚ)

Ing. Jan Hroch

výkonný ředitel České společnosti pro údržbu (ČSPÚ)

Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, katedra jakosti a spolehlivosti strojů,

Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbát

Česká společnost pro údržbu, Areál České zemědělské univerzity v Praze, Technická fakulta,

Kamýcká 872, 165 21 Praha 6 – Suchbát

E-mail: pexa@tf.czu.cz, ales@tf.czu.cz, hroch@udrzba-cspu.cz