

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

**ZKUŠENOSTI S UPLATŇOVÁNÍM
MANAGEMENTU
SPOLEHLIVOSTI V PRAXI**



**MATERIÁLY Z IX. SETKÁNÍ
ODBORNÉ SKUPINY PRO SPOLEHLIVOST**

Praha, prosinec 2002

OBSAH

Využití zpracovávaných výsledků spolehlivosti v AERO Vodochody a.s.	3
<i>Ing. Zdeněk Kocour</i>	
Alokace požadavků na spolehlivost řídicích systémů	8
<i>Ing. Pavel Fuchs, CSc.</i>	
Řízení spolehlivosti a životnosti lisovacích nástrojů	15
<i>Doc. Ing. Antonín Mykiska, CSc.</i>	
Optimalizace požadavků na spolehlivost vozidel z hlediska LCC a její využití v technické praxi	23
<i>Ing. Aleš Weiter</i>	

Využití zpracovávaných výsledků spolehlivosti v AERO Vodochody a.s.

Ing. Zdeněk Kocour, AERO Vodochody a.s.

Při minulých setkáních jsme se mohli seznámit s obsahem a zajištěním sběru informací o spolehlivosti, dále pak se způsoby a metodami jejich zpracování.

Můj příspěvek je zaměřen na oblasti využívání výsledků spolehlivosti v podniku Aero Vodochody a.s. Všechna využití zde uvedená byla prakticky uplatněna a jejich příklady užití uvádím dále. Většina z nich vyplynula jako nutnost.

Zpracovávané materiály slouží k :

- průkazu spolehlivosti nového typu letounu pro jeho certifikaci a získání průkazu letové způsobilosti,
- dokladování dosahované spolehlivosti prototypů i sériově vyráběných letounů,
- prognostickým pracím,
- projektovým pracím,
- vytipování a zavádění nápravných opatření, hodnocení jejich účinnosti,
- informací a rozborovým pracím v podniku i u dodavatelů,
- lokalizaci rozsahu poruch jednoho typu,
- zpřesňování počtů potřebných náhradních dílů,
- zpřesňování LCC (životních nákladů),
- prodloužení doby do GO a životnosti,
- změnám termínů a obsahu předepsané údržby,
- náhradě nákladných zkoušek spolehlivosti některých dílů,
- podkladům státního dozoru na vyžádání – ÚCL, VTÚL a PVO i zahraniční,
- marketingovým pracím,
- vyžádaným informacím.

Jednotlivé práce Vám trochu přiblížím :

Průkaz spolehlivosti nového typu letounu pro jeho certifikaci a získání průkazu letové způsobilosti

Forma : - pro letoun je to kvalifikovaný a průběžně zpřesňovaný odhad splnitelnosti parametrů podle požadavků zákazníka,

- pro nové a značně modifikované systémy a subsystémy jsou to analýzy FMEA a FMECA.

Příklady : - letoun L 159,

- letoun L 159B,
- zdroje elektrické energie L 159,
- palivový systém L 159,
- hydraulický systém Ae 270 a další.

Dokladování dosahované spolehlivosti prototypů i sériově vyráběných letounů

Forma : Zpráva o spolehlivosti –

Příklady : - prototypu L 159,

- prototypu L 159B,
- 11x L 29 v provozu,
- 11x L 39 v provozu celková,
- 56x L 39 v provozu jednotlivých uživatelů,
- 17x L 59 v provozu jednotlivých uživatelů,
- 2x L 159A v provozu.

Prognostické práce

Forma : studie.

Příklad : Prognóza parametrů spolehlivosti L 39C na rok 1983.

Okolnosti : zadáno v lednu 1981, informace za léta 1978 – 80.

Metody : pro letoun a systémy extrapolace trendů, pro kritické celky Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti a proud poruch.

Výsledky : do odchylky 10 % spadaly všechny parametry letounu a systémů a též 24 z 27 kritických celků. Nezdařená prognóza měla následující příčiny :

- 1x nápravná opatření u variozátáčkoměru odstraňovala následky a ne příčiny poruch,
- 1x zavedeno nápravné opatření na koncovém spínači s potlačením poruchovosti 20x,
- 1x stopkohout zrušen bez náhrady.

Příklad : odhady vývoje střední doby mezi poruchami (MTBF) L 159A

Forma : grafická extrapolace.

Poznámka : sem patří i všechny prováděné analýzy FMECA.

Podklady pro projektové práce

Forma : analýza spolehlivosti s přihlédnutím ke změnám (studie).

Příklad : použití palivových celků provozovaných na L 39 a L 59 pro L 159 a vyráběných v Aero Vodochody a.s., stanovení nutnosti jejich doplňkových spolehlivostních zkoušek.

Vytipování a zavádění nápravných opatření, hodnocení jejich účinnosti

Forma : analýza spolehlivosti.

Příklady : teleskop hermetizace – 4x,
radiokompas RKL 41 – 3x,
zdroj spouštěče motoru SAFÍR 5,
variozátáčkoměr LUN 1180 – 3x,
sonda klimatizace LUN 5626 – 3x.

Účinnost nápravného opatření je hodnocena jako

$$N = \sqrt{((T_0 * T_{95})^{II} / (T_0 * T_{95})^I)}, \quad \text{kde}$$

T_0 – střední doba mezi poruchami z Weibullova rozdělení pravděpodobnosti,

T_{95} – doba do porušení 5 % celků z Weibullova rozdělení pravděpodobnosti,

I - hodnoty před opatřením,

II - hodnoty po opatření,

N - násobek zlepšení (1x byl zjištěn < 1 – variozátáčkoměr LUN 1180).

Přes 1000 nápravných opatření spolehlivosti zvýšilo bezporuchovost L 39 na dvojnásobek.

Podklady pro informace a rozborové činnosti v podniku a u dodavatelů

Forma : výpisy jednotlivých poruch dodávaných celků, prvotní informace nebo jejich kopie.

Lokalizace rozsahu poruch jednoho typu

Forma : několikanásobná analýza celku s cílem co nejpřesněji rozdělit nehomogenní soubor na soubory homogenní.

Příklad : Poruchy těsnění teleskopu hermetizace :

Z prvních dvou analýz shoda – $T_0 = 700$ l.h., $T_{95} = 300$ l.h., konec života.

Z třetí analýzy zjištěn nehomogenní soubor, celková T_0 se zvýšila 3x. Původní soubor odečten, zbytek rozdělen na časné a nahodilé poruchy. Při zjišťování příčin časných poruch bylo ve výrobě, meziskladech a montáži zjištěno 11 nedostatků. Zvýšení celkové T_0 a změna charakteru poruchovosti na časnou a nahodilou bylo způsobeno nám nenahlášenou změnou materiálu těsnění. Po dotazu od kdy byla odpověď „To už si nepamatuju“. Početně stanoveno období výroby 20. – 22. série, dodatečně potvrzeno od 21. série. Ve výrobě byla 37. série.

Čtvrtá analýza potvrdila oprávněnost vyřazení teleskopu hermetizace ze seznamu kritických dílů.

Příklad : „Jak to, že nám pořád posílají poruchy zatačkoměrů, když montujeme zatačkoměry s opatřením a dodali jsme dost náhradních ?“

Bylo hlášeno 87 poruch zatačkoměrů. Podle průběhu Weibullova rozdělení a po homogenizaci souborů byl odhadnut extrapolací počet možných poruch na 180 – 185. Skutečně došlo 181 hlášení o poruše zatačkoměru.

Zpřesňování potřebných počtů náhradních dílů

Forma : doporučení.

Příklady : - L 59E pro dva letouny na celkový nálet 200 l.h. s tím, že zákazník nezapůjčí nic ze svých zásob. Doporučeny dva motory. Odezva byla „Ty ses zbláznil !“ Jeden byl vyměněn.

- L 39 pro Jemen na celou dodávku na dva roky záruky, později na další dva roky.

Poznámka : je nutno zadávat i pravděpodobnost nevyčerpání skladů.

Podklady pro zpřesňování LCC

Forma : seznam MTBF pro letoun a jeho systémy.

Příklad : L 159A.

Prodlužování doby do GO a životnosti

Základem jsou posouzení pevnostní a únavová.

Forma : přehled poškození draku letounu pro pevnost a únavu, doporučení prací a výměn celků, které jsou nutné pro další provoz.

Příklady : - prototyp L 39MS z 800 l.h. do vyčerpání únavové životnosti,

- L 39 od 15. série z 1000 na 1500 l.h. (3000 na 4500 l.h.),
- Motor AI 25 TL z 500 na 750 l.h. do GO

Změny termínů a obsahu předepsané údržby

Forma : doporučení.

Příklady : - doplnění výměny těsnění teleskopu hermetizace před nápravným opatřením při pracích po 250 l.h. pro zajištění 95 % bezporuchovosti,

- převedení předepsaných demontážních prohlídek spouštěče SAFÍR 5 ze 600 na 2000 cyklů a sjednocení s pracemi na letounu po 1000 l.h. Bezporuchovost se tím zvýšila 2x,
- převedení demontážních kontrol drobných elektrických prvků, sloučeno s bezdemontážní kontrolou funkce okruhů,
- zavedení výměn tlačítek rádia a přepínače ukazatelů teploty výstupních plynů po 500 l.h. z důvodu intenzivního opotřebení.

Náhrada nákladných spolehlivostních zkoušek

Forma : analýza spolehlivosti.

Příklady : - bezporuchovost koncového spínače LUN 3158 provozovaného na L 39 s cílem použití pro Z 37T,

- bezporuchovost plováku na plovákovém ventilu L 39 s cílem použití pro plovákový spínač na L 159 a další typy,
- použití palivových celků provozovaných na L 39 a L 59 a vyráběných v Aero Vodochody a.s. pro L 159, stanovení nutnosti jejich doplňkových spolehlivostních zkoušek.

Vyžádané podklady státním dozorem

Forma : informace.

Příklady : - pro JAA (USA) podklady pro uvolnění provozu v kategorii EXPERIMENTAL letounu L 39 v.č. 2337, rozbor bezpečnosti a bezporuchovosti na úrovni letounu v.č.2337, verze, série a flotily. Tím bylo uvolněno v USA létání pro všechny letouny L 39.

- pro FAA (GB) vyjádření k možným technickým příčinám havárie letounu L 39 v.č. 0932, kdy byl průběh nehody velmi dobře popsán.

Marketingové práce

Forma : požadovaná.

Příklady : - prezentace spolehlivosti vyráběných typů,

- práce pro konkrétní nabídky : - Austrálie
- JAR

Poznámka : Zadání zájemců bývají tak konkrétní, že příprava na odpověď vyžaduje velké úsilí a chyběly nám i zkušenosti.

Vyžádané informace

Forma : požadovaná (ústní, psaná rukou až zpráva).

Příklady : - Studie spolehlivějšího okruhu přečerpávání paliva pro L 159B,

- „Řekni mi něco o relátkách“.

Závěr

Zde uvedené výstupy lze shrnout a pokrývají oblasti :

- marketingu,
- projekce a konstrukce,
- dokladování a dokumentace,
- podpora logistiky.

Příkládaný význam spolehlivostním pracím v posledních létech akcelaruje spolu s požadavky zákazníků závratnou měrou. Přesto práce narážejí na značné těžkosti, hlavně kapacitní.

ALOKACE POŽADAVKŮ NA SPOLEHLIVOST ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Ing. Pavel Fuchs, CSc., Technická univerzita v Liberci

1 ÚVOD

V technické praxi se často setkáváme s případy, že pro kvantifikaci spolehlivosti zařízení nepostačuje k zařízení jenom „globálně“ přiřadit ukazatele spolehlivosti a jejich hodnoty. Vyžaduje se, a je potřebné, přiřadit ukazatele spolehlivosti k více funkcím, které zařízení vykonává nebo k hierarchicky nižším strukturám zařízení. O přiřazení či rozdělení požadavků na spolehlivost se zabývá tento příspěvek a demonstruje alokaci požadavků na spolehlivost na řídicím systému energetického zařízení.

2 STANOVENÍ POŽADAVKŮ NA SPOLEHLIVOST

V případě jednoúčelových a tím i zpravidla jednoduchých zařízení nebývá při stanovování požadavků na spolehlivost problémem vybrat vhodný ukazatel spolehlivosti a přiřadit k němu požadovanou hodnotu. Tento případ se zpravidla vyskytuje u komponent, které jsou většinou neopravované, tj. po poruše se nahrazují novými. Příkladem mohou být elektronické součástky, elektromechanické prvky (spínač, relé, snímač, drobný elektromotor apod.) i mechanické komponenty (např. ložisko). V tomto případě se obvykle jako ukazatel spolehlivosti volí intenzita poruch vztažená k času (např. $\lambda = 3 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$) nebo k jinému vhodnému parametru jako je počet sepnutí nebo otáček (závisí na režimu činnosti komponenty). Tyto údaje jsou uvedeny v technické specifikaci komponenty dodávané výrobcem nebo dodavatelem. Další ukazatele spolehlivosti, které by např. charakterizovaly jejich udržovatelnost, nejsou u těchto komponent udávány. Nejen proto, že se jedná o neopravované komponenty, ale z toho důvodu, že doba výměny porouchané komponenty za novou se liší případ od případu v souvislosti se zařízením, ve kterém je komponenta instalována. Nelze např. k jednomu typu komponenty stanovit univerzálně platnou střední dobu opravy.

Rovněž u opravovaných jednoúčelových zařízení nebo komponent není problém vybrat vhodný ukazatel spolehlivosti a přiřadit k němu požadovanou hodnotu. Opět se zpravidla jedná o intenzitu poruch (přesněji řečeno parametr proudu poruch) či střední dobu mezi poruchami (MTBF). K těmto ukazatelům pak obvykle přistupuje ukazatel, který charakterizuje časovou náročnost opravy, tj. střední doba opravy (MRT). Příkladem komponent nebo zařízení, ke kterým tyto ukazatele přiřazujeme, je elektromotor většího výkonu, čerpadlo, televizor apod.

Ke zcela odlišné situaci pak dochází, pokud je třeba stanovit požadavky na spolehlivost velkého a komplikovaného zařízení. Typickým příkladem těchto zařízení jsou investiční celky. V tomto případě nepostačuje stanovit v rámci požadavků na výkonnost investičního celku hodnoty ukazatelů spolehlivosti vztažené k cílové funkci zařízení, tj. např. ke schopnosti produkovat. Zejména z toho důvodu, že popsání spolehlivosti této cílové funkce (součinitelem pohotovosti, střední dobou mezi poruchami a střední dobou opravy) nevypovídá nic o spolehlivosti dílčích částí zařízení, které jsou často redundantně zapojeny pro dosažení potřebné úrovně spolehlivosti cílové funkce, o nákladech na jeho údržbu, o počtu potřebných náhradních dílů, koncepci a kapacitě údržby apod.

Je zřejmé, že v takovémto případě nepostačuje pro charakterizování úrovně spolehlivosti zařízení jen soupis požadavků na spolehlivost cílové funkce, ale je třeba rozdělit (alokovat) spolehlivost na jednotlivé části zařízení až po úroveň jednotlivých komponent. Alokace požadavků na spolehlivost vychází z požadavků objednatele na spolehlivost cílové funkce zařízení. Dodavatel navrhuje zařízení na dosažení spolehlivosti cílové funkce (s přihlédnutím ke všem technickým a ekonomickým aspektům) a při tom současně řeší otázku spolehlivosti od dílčích částí zařízení (subsystémů) až po jednotlivé komponenty. V takovém případě nelze u zařízení vystačit s jednoduchou specifikací spolehlivosti, ale specifikace spolehlivosti je podstatně obsažnější a sestává se z řady položek, které jsou charakterizovány různými ukazateli spolehlivosti.

Příkladem alokace spolehlivosti mohou být požadavky kladené na specifikaci spolehlivosti řídicích systémů elektráren.

3 ALOKACE SPOLEHLIVOSTI ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

Moderní systém kontroly a řízení (SKŘ) elektrárny je tvořen řadou subsystémů, které realizují řadu různých funkcí. Systém kontroly a řízení jako celek i jeho jednotlivé subsystémy vykonávají řadu funkcí. Například regulační obvod zpravidla vykonává tyto funkce: automatická regulace, ruční ovládání akčního orgánu, ukazování akční veličiny, ukazování měřené veličiny, ukazování žádané hodnoty, ukazování regulační odchylky. Systém má sice hierarchickou strukturu, ale řada funkcí je autonomních a jednotlivé části řídicího systému jsou umístěny poblíž řízených technologických zařízení (tzv. distribuovaný řídicí systém). K takovému systému neexistuje jediná vrcholová cílová funkce. Pro takový systém si zpravidla objednatel provede úvodní část alokace spolehlivosti. V této části stanoví hodnoty funkcí jednotlivých subsystémů nebo shodných funkčních částí. Dodavatel pak provádí návrh zařízení a alokuje požadavky na spolehlivost až na úroveň individuálních komponent.

3.1 Spolehlivost funkcí SKŘ

Pro alokaci spolehlivosti k funkcím SKŘ je třeba definovat:

- funkčně ucelenou část SKŘ, která vykonává specifikovanou funkci
- poruchu funkce SKŘ
- ukazatele spolehlivosti funkcí SKŘ

3.1.1 Funkčně ucelená část SKŘ

Při dělení SKŘ na funkčně ucelené části je třeba postupovat podle následujícího přehledu.

Individuální část měřicího kanálu (IČMK)

- Vykonávaná funkce: Dodání informace o snímané veličině na rozhraní s centrální částí.
- Zahrnuté zařízení: Všechny komponenty měřicího kanálu od napojení individuálního čidla na technologii (včetně tohoto napojení) po elektroniku rozhraní s centrální částí pro zpracování informace.

Údaj o fyzikální veličině od více IČMK

- Vykonávaná funkce: Dodání verifikované informace o snímané veličině.
- Zahrnuté zařízení: Požaduje-li se věrohodný a spolehlivý údaj o fyzikální veličině, tvoří se spojením údajů o této fyzikální veličině (snímané několika IČMK) a jejich zpracováním

v centrální části na jediný verifikovaný údaj. Proto je třeba zahrnout komponenty všech IČMK, kterými je fyzikální veličina snímána a příslušné zařízení centrální části na zpracování informací.

Individuální část kanálu sdělování informací (IČKSI)

- Vykonávaná funkce: Automatické přenášení informací.
- Zahrnuté zařízení: Veškeré komponenty od rozhraní s centrální částí na zpracování informací až po individuální sdělovač.

Komplet obrazovkových sdělovacích kanálů

- Vykonávaná funkce: Dodání požadované informace na „ k z n “ monitorů.
- Zahrnuté zařízení: Energetické zařízení má obvykle více pracovišť operátorů a dozorných a údržbových pracovníků. Pro každé z těchto pracovišť je k dispozici n vzájemně nezávislých a vzájemně zaměnitelných obrazovkových sdělovacích kanálů. Pro vyvolání potřebného množství informací o řízeném procesu je potřebná funkceschopnost alespoň k ($k \leq n$) obrazovkových sdělovacích kanálů. Komplet obrazovkových sdělovacích kanálů zahrnuje komponenty n obrazovkových sdělovacích kanálů (tj. n IČKSI) od rozhraní s centrální částí na zpracování informací až po monitory včetně.

Individuální část ovládacího kanálu (IČOK)

- Vykonávaná funkce: Přenos povelu od rozhraní s centrální částí na výkonový člen.
- Zahrnuté zařízení: Obsahuje komponenty od elektroniky rozhraní s centrální částí na zpracování informací po výkonový prvek na rozhraní s technologií.

Centrální část na zpracování informací (CČZI)

- Vykonávaná funkce: Zpracování informace pro operátora, realizace regulačních algoritmů, algoritmů logických automatů, algoritmů ochranných obvodů.
- Zahrnuté zařízení: Obsahuje komponenty od rozhraní s individuálními částmi měřicích kanálů po rozhraní s individuálními částmi kanálů na sdělování informací a individuálními částmi ovládacích kanálů.

Ochranný systém

- Vykonávaná funkce: Vydání signálu k odstavení nebo k zásahu při vybočení sledovaných parametrů ze zadaných mezí.
- Zahrnuté zařízení: Obsahuje všechny komponenty systému od snímačů (resp. napojení snímačů na technologii) přes části všech IČMK v systému zapojených, dále funkčně příslušné zařízení CČZI a IČOK až po vypínací prvky akčních orgánů včetně.

Bezpečnostní systém

- Vykonávaná funkce: Vykonání definovaných operací při vybočení sledovaného procesu z definovaných mezí.
- Zahrnuté zařízení: Obsahuje komponenty jednoho projekčně ohraničeného obvodu, tj. všechny komponenty na snímání a zpracování informací, části realizující algoritmus daného bezpečnostního systému, všechny komponenty výkonných ovládacích řetězců.

Regulační obvod

- Vykonávaná funkce: Automatické vykonání regulačního algoritmu včetně zadávání žádané hodnoty.
- Zahrnuté zařízení: Obsahuje všechny komponenty napojení snímačů na technologii, komponenty snímání informací (analogové, dvouhodnotové, číslicové), komponenty zpracování regulačních algoritmů (funkčně příslušné zařízení CČZI) a komponenty ovládání akčních orgánů (příslušné komponenty IČOK).

Logický sekvenční automat

- Vykonávaná funkce: Automatické vykonání řídicího algoritmu.
- Zahrnuté zařízení: Zahrnuje všechny komponenty potřebné pro získání vstupních informací (analogových, dvouhodnotových, číslicových), komponenty pro realizaci algoritmu řízení (funkčně příslušné zařízení CČZI) a komponenty ovládání všech koncových zařízení.

3.1.2 Porucha funkce SKŘ

Za poruchu funkce je třeba považovat každou poruchu, která má za následek neprovedení či nesprávné (neúplné) provedení funkcí uvedených v přehledu funkčně ucelených částí SKŘ. Je třeba zaznamenat každou poruchu funkce bez ohledu na to, zda je zaviněna poruchou individuálního prvku nebo nedostatky software či nízkou interferenční odolností SKŘ.

3.1.3 Ukazatele spolehlivosti funkcí SKŘ

Přiřazení ukazatelů spolehlivosti pro jednotlivé funkce SKŘ je uvedeno v tab. 1. Jako ukazatele spolehlivosti pro vykonávané funkce se doporučují v souladu s ČSN IEC 50(191):

U	... součinitel (ustálené) nepohotovosti (definice 191-11-08),
MTBF	... střední doba provozu mezi poruchami (definice 191-12-09),
MRT	... střední doba opravy (definice 191-13-05).

Při hodnocení spolehlivosti funkcí SKŘ lze u většiny funkcí předpokládat rychlé odhalení poruchových stavů diagnostikou SKŘ. Proto lze oprávněně předpokládat, že hodnoty středních dob provozu mezi poruchami a středních dob opravy funkcí SKŘ budou velmi blízké hodnotám středních dob použitelného a nepoužitelného stavu a bude je možné použít pro výpočet součinitele (ustálené) nepohotovosti funkcí SKŘ.

Tab. 1: Ukazatele spolehlivosti funkcí SKŘ

Název funkčně ucelené části SKŘ	Vykonávaná funkce	Ukazatel spolehlivosti
individuální část měřicího kanálu (IČMK) pro jednu fyzikální veličinu	dodání informace o snímané veličině na rozhraní s centrální částí	U, MTBF, MRT
údaj o fyzikální veličině od více IČMK	dodání verifikované informace o snímané veličině	U, MTBF, MRT
individuální část kanálu sdělování informací	automatické přenášení informací	U, MTBF, MRT
komplet obrazkových sdělovacích kanálů	dodání požadované informace na „k z n“ monitorů	U, MTBF, MRT
individuální část ovládacího kanálu	přenos povelu od rozhraní s centrální částí na výkonový člen	U, MTBF, MRT
centrální část na zpracování informací (počítačový systém resp. vyhodnocovací logika)	zpracování informace pro operátora, realizace regulačních algoritmů, algoritmů logických automatů, algoritmů ochranných obvodů	U, MTBF, MRT
ochranný systém	vydání signálu k odstavení nebo k zásahu při vybočení sledovaných parametrů ze zadaných mezí	U ... pro nebezpečnou poruchu MTBF ... pro bezpečnou poruchu MRT
bezpečnostní systém	vykonání definovaných operací při vybočení sledovaného procesu z definovaných mezí	U ... pro nebezpečnou poruchu MTBF ... pro bezpečnou poruchu MRT
regulační obvod	automatické vykonání regulačního algoritmu včetně zadávání žádané hodnoty	U, MTBF, MRT
logický sekvenční automat	automatické vykonání řídicího algoritmu	U, MRT

Za nebezpečnou poruchu funkce ochranného nebo bezpečnostního systému je třeba považovat takovou poruchu, která způsobí, že ochranný systém není schopen vydat signál k odstavení nebo k zásahu při vybočení sledovaných parametrů ze zadaných mezí a bezpečnostní systém není schopen vykonat definované operace při vybočení sledovaného procesu z definovaných mezí.

Za bezpečnou poruchu funkce ochranného nebo bezpečnostního systému je třeba považovat takovou poruchu, která vyvolá falešnou aktivaci ochranného nebo bezpečnostního systému.

3.2 Spolehlivost komponent SKŘ

Pro alokaci spolehlivosti ke komponentám SKŘ je třeba definovat:

- komponentu SKŘ
- poruchu komponenty SKŘ
- ukazatele spolehlivosti komponent SKŘ

3.2.1 Komponenta SKŘ

Základem pro alokaci spolehlivosti na individuální komponenty je technicko-obchodní specifikace (resp. seznam strojů a zařízení) dodávky SKŘ. U elektronického zařízení se přitom podle jeho funkce a složitosti rozhodne, zda bude považováno za jednu individuální komponentu nebo se přistoupí k jeho rozčlenění na více individuálních komponent (dle samostatně vyměnitelných modulů či karet, viz vstupní a výstupní jednotky řídicího počítačového systému). Rozhodující je, zda se u výrobce jedná o obchodně samostatně vedenou položku.

Při alokaci spolehlivosti SKŘ na samostatné komponenty je třeba přihlídnout ke skutečnosti, že spolehlivost SKŘ po stránce hardware je rozhodující měrou určena spolehlivostí čidel, spolehlivostí zařízení pro vyhodnocování a sdělování informací a spolehlivostí akčních orgánů. Signálové trasy, přizpůsobení signálu, ranžíry, skříně, napájecí zdroje a příbuzná zařízení ovlivňují spolehlivost SKŘ podstatně méně.

3.2.2 Porucha komponenty SKŘ

V souladu s ČSN IEC 50(191) je za poruchu komponenty třeba považovat každou poruchu, která povede ke ztrátě její funkceschopnosti. Při poruše je třeba komponentu opravit či vyměnit. U komponenty se mohou eventuálně objevit vady, které nevedou ke ztrátě její funkceschopnosti, ale jsou odstraněny údržbou. Tyto vady se za poruchu komponenty nepovažují. Metrologická kalibrace či jiné seřízení se za poruchu komponenty rovněž nepovažuje.

3.2.3 Ukazatele spolehlivosti komponent SKŘ

Jako ukazatele spolehlivosti komponent SKŘ se doporučují v souladu s ČSN IEC 50(191):

- MTBF ... střední doba provozu mezi poruchami (definice 191-12-09)
MRT ... střední doba opravy (definice 191-13-05)

Střední dobu opravy je však třeba vztahovat k **obnovení funkce**, kterou individuální komponenta vykonává. Porouchaná komponenta bude v řadě případů nahrazena jinou. Vlastní oprava komponenty (je-li vůbec možná, protože řada komponent je neopravovaných a nahrazují se novými) proběhne později v dílně údržby, příp. dodavatele či výrobce. Tato skutečnost není pro hodnocení spolehlivosti SKŘ rozhodující.

4 ZÁVĚR

Uvedený příklad alokace spolehlivosti k jednotlivým částím řídicího systému je jen značným zjednodušením složité problematiky a postupy k tomu volené se mohou v konkrétních případech odlišovat. Nedílnou částí SKŘ jsou např. softwarové prostředky a alokace požadavků na spolehlivost SKŘ je prováděna i s ohledem na spolehlivost software. Další požadavky jsou na spolehlivost SKŘ kladeny po stránce odolnosti proti možnosti omylu operátora, proti poruše se společnou příčinou apod. Vzhledem ke složitosti a komplexnosti problematiky spolehlivosti SKŘ přesahuje vysvětlení těchto aspektů účel tohoto materiálu a není v něm proto uvedeno.

Poznámka: V textu je běžně používán termín "ukazatele spolehlivosti", přesto, že se nejedná o terminologii v souladu s ČSN IEC 50(191). Spolehlivost je souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují: bezporuchovost, udržovatelnost a zajištěnost údržby. Nemá proto žádný ukazatel a pokud se zmiňují v textu "ukazatele spolehlivosti" míní se tím ukazatele bezporuchovosti, udržovatelnosti a zajištěnosti údržby.

Poznámky k diskusi

- **Střední doba do obnovy** (ČSN IEC 50(191), definice 191-13-08).
Očekávaná doba do obnovy, anglická zkratka MTTR.
- **Střední doba opravy** (ČSN IEC 50(191), definice 191-13-05).
Očekávaná doba opravy, anglická zkratka MRT.

ŘÍZENÍ SPOLEHLIVOSTI A ŽIVOTNOSTI LIISOVACÍCH NÁSTROJŮ

Doc. Ing. Antonín Mykiska, CSc.
Fakulta strojní ČVUT v Praze

- Úvod

Současné chápání **sdílení odpovědnosti** výrobce (dodavatele) a zákazníka **ve vztahu ke spolehlivosti, bezpečnosti a životnosti** lze rámcově stručně shrnout takto:

I. výrobce a/nebo dodavatel obecně zodpovídá:

- za stanovení požadavků na bezpečnost, životnost a spolehlivost (bezporuchovost + udržovatelnost + zajištěnost údržby) pro stanovené podmínky a dobu užívání,
- za jejich "vkonstruování", "vprojektování" do návrhu a za stanovení politiky údržby,
- za inherentní bezpečnost, životnost, bezporuchovost dodaných produktů,
- podstatnou měrou za zajištěnost údržby,

II. zákazník (odběratel, konečný uživatel) má obecně odpovědnost

- za dodržování stanovených podmínek užívání, tj. zejména provozních podmínek (zatížení, podmínky prostředí), zacházení a provádění preventivní údržby;
- za zajištěnost preventivní údržby v podmínkách organizace,
- podle okolností sdílí či přejímá odpovědnost za údržbu po poruše a její zajištěnost.

2. Motivace, cíle a obsah hodnocení provozní spolehlivosti a životnosti

Vyhodnocování, resp. prověřování skutečně dosahované úrovně bezporuchovosti, udržovatelnosti, zajištěnosti údržby a pohotovosti produktů při jejich užívání s vazbou na ekonomické přínosy a ztráty jsou obecně obsahem **hodnocení provozní spolehlivosti**. Jsou nedílnou součástí managementu, řízení a zabezpečování spolehlivosti v rámci systému jakosti organizace.

Podle cílů a druhů produktů, které jsou předmětem řízení a prověřování, lze problematiku hodnocení provozní spolehlivosti (a obdobně životnosti) rozdělit na dvě velké skupiny:

1. **spolehlivost produktů typu finálních výrobků** (různé funkční složitosti, resp. jejich komponent) chápaných jako "výstupy" dané organizace: v tomto případě jsou zkoumány spolehlivostní a životnostní parametry a výsledky analýz, prověřování a hodnocení jsou využívány především ve formě zpětné vazby pro zlepšování výrobků v období jejich návrhu a výroby, pro případné prokazování spolehlivosti výrobku apod.,
2. **spolehlivost produktů typu technologických systémů**: jsou zkoumány spolehlivostní a životnostní parametry strojů a zařízení výrobních linek (obecněji technologických systémů), které realizují vlastní produkci v organizaci; hlavním cílem je analýzou příčin poruchových a dalších prostojů a s nimi spojenými náklady dosáhnout stabilizace výrobního procesu při optimalizaci z ekonomických hledisek.

Koncepční řešení této problematiky vyžaduje návrh a realizaci potřebného sběru, přenosu, zpracování a využívání dat v reálném čase pomocí **informačního systému spolehlivosti**. Zkušenosti jednoznačně ukazují, že ho je nutné vytvářet a realizovat v návaznosti na informační systém organizace, tj. s možnostmi vzájemné komunikace a výměny dat a informací, a že realizace je nemyslitelná bez využití výpočetní techniky a vhodného softwaru.

- **3. Informační systém sběru a zpracování dat pro analýzy a řízení provozní spolehlivosti, životnosti a ekonomické efektivity lisovacích nástrojů**
- **3.1 Stanovení cílů a koncepce řešení**

Dále jsou uvedeny praktické zkušenosti s návrhem, realizací a využíváním informačního systému pro hodnocení a řízení provozní spolehlivosti a životnosti lisovacích nástrojů pro průtláčné lisování profilů z hliníkových slitin v podniku Alusuisse Děčín.

K realizaci informačního systému byl použit **programový modul "ISQ-SPOL"**, který je součástí modulárně koncipovaného informačního systému "ISQ-SYSTEM" firmy ISQ PRAHA, s.r.o. pro počítačovou podporu managementu a zabezpečování jakosti (tj. pro získávání, zpracování a distribuci dat s jejich ochranou před neoprávněnými přístupy, kopírováním atd.). "ISQ-SYSTEM" může být provozován v autonomní i síťové verzi, tj. jeho jednotlivé moduly mohou být provozovány jak autonomně, tak integrovány do celého systému. Při návrhu modulu "ISQ-SPOL" byly důsledně uplatněny přístupy a postupy platných mezinárodních norem ISO (zejména souboru ČSN EN ISO 9000), IEC, EN a dalších. Modul je navržen v podobě, která je flexibilně přizpůsobována pro konkrétní podmínky jednotlivých organizací.

Standardní verze modulu "ISQ-SPOL" je určena pro návrh informačních systémů organizací, které sledují a hodnotí spolehlivost a nákladové položky vyrobených finálních produktů. Pro aplikaci v podmínkách podniku Alusuisse Děčín byl modul dopracován a aplikován pro tyto stanovené **cíle**:

analyzovat a hodnotit spolehlivost a životnost lisovacích nástrojů tak, aby bylo možné sledovat jejich opotřebení nástrojů, "zbytkovou" životnost, náklady atd. s cílem optimalizovat řízení preventivní údržby, údržby po poruše, jejich zajištění, provozních podmínek (namáhání, podmínky prostředí), zacházení a na základě současně hodnocené ekonomické efektivity optimalizovat řízení stavu zásob, využívání a údržby jednotlivých skupin nástrojů z hlediska dosahované pohotovosti a nákladů.

- **3.2 Vymezení pojmů, koncepce zpracování dat a prezentace výstupů**

Před vlastním řešením byly vymezeny pojmy a definovány veličiny ve vztahu ke spolehlivosti (pohotovosti a zejména bezporuchovosti) a životnosti lisovacích nástrojů:

poruchový stav nástroje:

stav, který vyžaduje údržbu po poruše, nazývanou korekci (interně korektorem, při korekci většího rozsahu externě);

preventivní údržba nástrojů (rovněž nazývaná korekce):

- *leštění (po každém nasazení),*
- *nitridace (po 30, 60, 80 % jejich plánovaného technického života);*

mezí stav nástroje:

- *neopravitelné poškození (např. rozlomení nástroje, odlomení jeho části apod.),*
- *rozhodnutí korektora, že nástroj již nelze korigovat,*
- *příliš vysoké náklady na další korekci (ekonomické hledisko);*

náhodné veličiny pro kvantifikaci spolehlivosti (bezporuchovosti) i životnosti :

délka nalisovaného materiálu (stručně nalisovaná délka) L [m] – tj. délka nalisovaného materiálu daného průřezu S [m²] s profilem určeným použitým nástrojem, resp.

hmotnost nalisovaného materiálu (stručně nalisovaná hmotnost) m [kg] - tj. hmotnost nalisovaného materiálu daného průřezu S [m²] s profilem určeným použitým nástrojem.

náklady:

- *na celkový život nástroje (na pořízení, preventivní údržby, korekce a vyřazení),*
- *na korektora .*

Byl navržen a rozpracován rozsah a obsah analýz a hodnocení provozní spolehlivosti (bezporuchovosti) a životnosti z hlediska formulovaných požadavků a cílů zadavatele úkolu –

podniku Alusuisse Děčín. Jako základní byly zvoleny **soubor požadovaných analýz** (analýzy poruch a opotřebenosti nástrojů a jejich příčin, stavů po lisování, analýzy středního života nástrojů, příčin vyřazení nástrojů, nákladů na vyřazené nástroje) a **zpracování přehledů** (přehledy vyřazených nástrojů, aktivních nástrojů, nástrojů podle platby). Uvedené analýzy a přehledy umožňují sledovat provoz nástrojů z hlediska vlivu výrobní linky, obsluhy lisu, nástrojaře, dodavatele nástroje, lisovaného profilu atp.

Pro prezentaci výsledků provedených analýz a zpracovaných přehledů byly využívány:

- jednoduché a přehledné grafické prezentace přehledů a rozdělení absolutních a (nebo) relativních četností pomocí **tabulek, grafů a histogramů**,
- **Paretova analýza** významnosti jednotlivých dílčích jevů analyzovaného jevu, prezentované **Paretovým diagramem** kumulovaných relativních četností.

Sledování, studium a hodnocení provozní bezporuchovosti (tj. bezporuchovosti opravovaných objektů) jednotlivých nástrojů, resp. skupin nástrojů při užívání v provozu bylo založeno na využívání proud poruchu Z(L), resp. parametru proudu poruch z(L), který je derivací Z(L).

Nadstavbově byl navržen **soubor ukazatelů** (v této etapě vesměs počítaných jako statistické bodové odhady), jehož struktura je:

- ukazatele provozní spolehlivosti: střední nalisovaná délka, resp. hmotnost mezi poruchami, mezi poruchami, střední nalisovaná délka, resp. hmotnost mezi externími opravami a další;
- ukazatele životnosti: délkový, resp. hmotnostní život nástroje;
- ukazatele efektivnosti: náklady na jednotku hmotnosti, relativní nákladový podíl údržby po poruše, výsledné náklady na jednotku hmotnosti, výsledný relativní nákladový podíl údržby po poruše, výsledný relativní nákladový podíl externích oprav, výsledné relativní navýšení četnosti oprav po poruše korektorem;
- problémově orientované ukazatele: ukazatele pro výběr dodavatelů (průměrný délkový, resp. hmotnostní život nástroje, relativní četnost reklamací, relativní četnost prasklých nástrojů) a další.


Pro analýzy a hodnocení vlivu životnosti a spolehlivosti nástrojů na provozní technické ekonomické vlastnosti a parametry při jejich užívání v procesu lisování bylo požadováno především hodnocení životnosti a "provozní" bezporuchovosti nástrojů (tj. jako bezporuchovosti opravovaných objektů). Vyhodnocování ukazatelů udržitelnosti a pohotovosti nástrojů nebylo z hlediska stanovených záměrů a cílů zadavatelem požadováno.

- 3.3 Sběr dat pro počítačové zpracování

Realizace systematického a v reálném čase probíhajícího sběru dat pro další počítačové zpracování, jehož výstupem jsou stanovené evidence, analýzy a hodnocení spolehlivosti, životnosti a nákladů, byla uskutečněna pomocí dvou speciálně navržených formulářů:

1. Karta nástroje (obr. 1), která podchycuje data charakterizující nástroj jako takový


(identifikace nástroje), způsob jeho užití, dodavatele, ekonomické a výkonové parametry, datum a příčinu jeho vyřazení.

A L D K A R T A L I S O V A C Í H O N Á S T R O J E			
	Rozměr: Slitina: LIS1 LIS2	Plánovaná životnost:	kg
	Hmotnost čepu: kg/m	Hmot. nalis. celkem:	kg
	Provedení: Specifikace:	Zůstatek životnosti:	kg
	Počet otvorů:	Opotřeben z:	%
Hmotnost výlisku: kg/m	Nitr.:		
Lisovací rychlost: m/min	Náklady na korekce:	Kč	
Do poruchy: kg m	Náklady na opravy:	Kč	
	Náklady na 1kg:	Kč/kg	
Datum pořízení:	Dodavatel: -	Cena:	Kč Platba:
Datum vyřazení:	Příčina vyřazení: -		
Pozn.:			

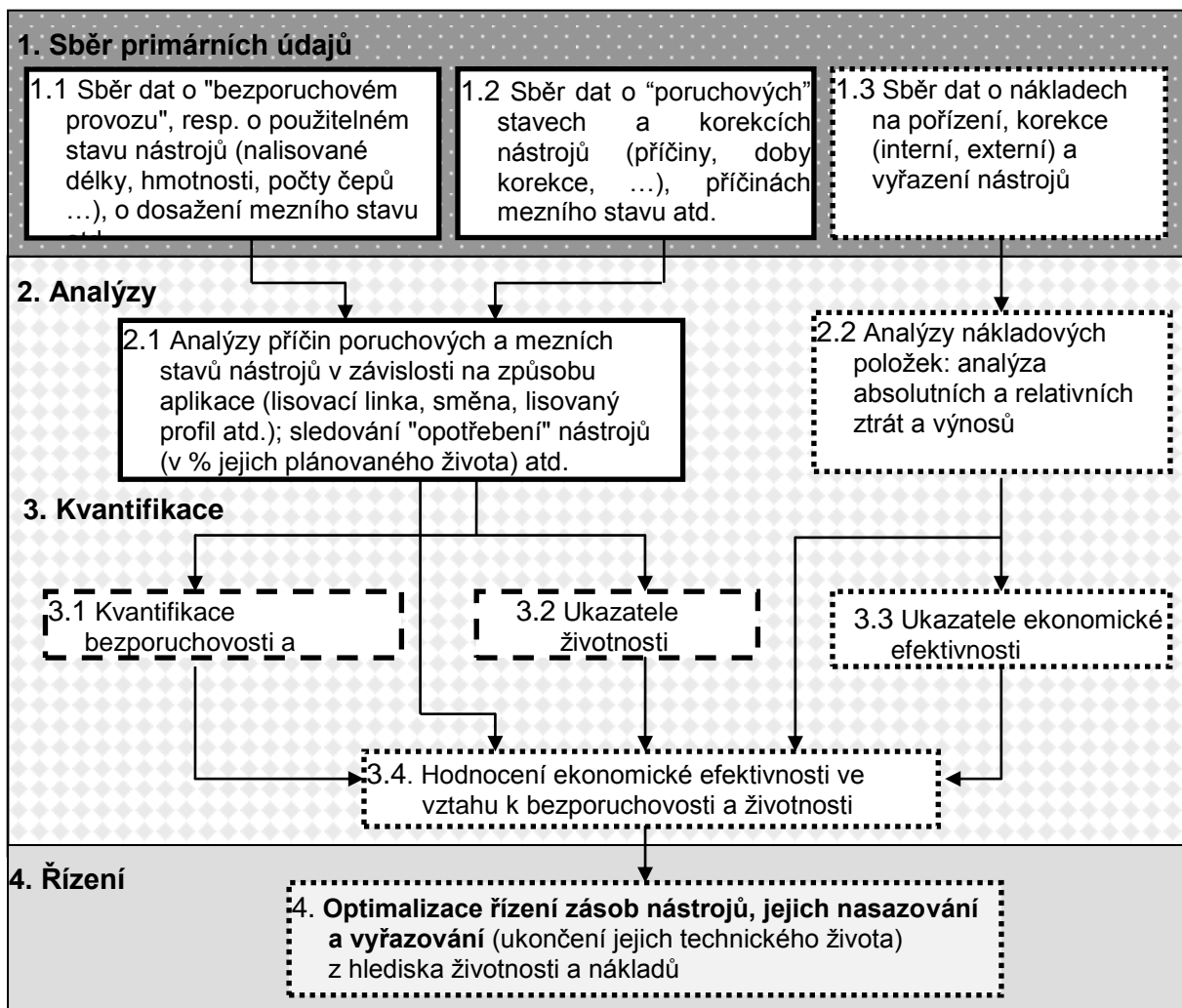
Obr. 1 - Karta lisovacího nástroje

2. **Záznamový list nasazení nástroje** (obr.2), který zachycuje průběh výrobního cyklu nástroje, vyplňuje se při každém nasazení nástroje a obsahuje informace o provedených operacích, jejich datech, o operátorech, kteří operace prováděli, o výrobním množství plánovaném i skutečném, o technologických parametrech, o nákladech a času spotřebovaném na údržbu a korekce (opravy) s podchyčením vztahu ke skupině nástrojů, v rámci skupin na typ stroje atd. pro definované podmínky jejich užití (včetně plánované preventivní údržby a opatření ke zlepšení). Charakterizuje stav nástroje po lisování i údržbě.

Konkrétní obsah obou prostředků sběru primárních dat, tj. karty nástroje a záznamového listu nasazení nástroje, byl vytvářen za aktivní spolupráce pracovníků podniku, a to tak, aby v budoucnosti umožňoval i další analýzy a hodnocení než jen ty, které jsou právě v současné době požadovány. Shrnutí navržené koncepce informačního systému zachycuje obr. 3, v němž silně vytažené obdélníky zachycují část, která byla softwarově realizována a začala být využívána.

A L D				ZÁZNAMOVÝ LIST NASAZENÍ NÁSTROJE	
Číslo záznamu: <input type="text"/>		Lis: <input type="text"/>			
OPERÁTOR		Korektor: <input type="text"/>		Lisář: <input type="text"/>	
POČET ČEPŮ		Plánovaný: <input type="text"/>		Skutečný: <input type="text"/> Délka čepu: <input type="text"/> m	
Povrch. úprava: <input type="text"/>		Dodavatel PÚ: <input type="text"/>			
Typ oprav: <input type="text"/>		Dosažená rychlost: <input type="text"/> m/min			
		Dosažená metrová hmotnost výrobku: <input type="text"/> kg/m			
DATUM		Lisování: <input type="text"/>		STAV PO OPERACI lisování: <input type="text"/> údržba: <input type="text"/>	
		Leštění: <input type="text"/>			
		Korekce: <input type="text"/>			
		Oprava: <input type="text"/>			
		Nitridace: <input type="text"/>			
NÁKLADY OPRAVA:		NÁKLADY KOREKCE:			
Náklady na opravu: <input type="text"/> Kč		Čas: <input type="text"/> min		Náklady: <input type="text"/> Kč	

Obr. 2 - Záznamový list nasazení nástroje



Obr. 3 - Schéma informačního systému sběru a zpracování dat pro hodnocení a řízení provozní spolehlivosti, životnosti a ekonomické efektivity lisovacích nástrojů

- 3.4 Analýza provozní spolehlivosti nástrojů pomocí proudu poruch

Ke sledování, studiu a hodnocení provozní bezporuchovosti (tj. bezporuchovosti opravovaných objektů) jednotlivých nástrojů, resp. skupin nástrojů byl využíván **proud poruch**, definovaný posloupností náhodných veličin $L_1, L_2, L_3 \dots$, kde L_1 je náhodná nástrojem nalisovaná délka do první poruchy, L_2 náhodná nalisovaná délka do 2. poruchy měřená od obnovy provozuschopnosti nástroje po 1. poruše atd. Studium a kvantitativní hodnocení bezporuchovosti nástrojů při užívání v provozu bylo pak založeno na práci s **empirickým proudem poruch $Z(L)$** , prezentovaným v jeho grafické podobě jako nespojitá lomená čára, zobrazující závislost kumulovaného (součtového) počtu poruch $\sum r_i$ na kumulovaných (součtových) hodnotách odpovídajících nalisovaných délek $\sum L_i$ [m], (resp. hmotností $\sum m_i$ [kg]) pro $i = 1, 2, 3 \dots$ po i -tém nasazení nástroje daného profilu. Empirické proudy poruch umožňují sledovat a analyzovat rozložení poruch **jednotlivých nástrojů** „v čase“ vyjádřené nalisovanými délkami, příp. hmotnostmi, neboť zachycují jejich poruchová chování v průběhu celého životního cyklu až do ukončení jejich technického života (tj. do jejich vyřazení).

Průběžná analýza empirického proudu poruch umožnila u jednotlivých nástrojů posoudit, v jaké etapě životního cyklu se nástroj právě nachází a jak se odchyluje jeho poruchové chování od obecně předpokládaného typického chování, vyjádřené tzv. „vanovou křivkou“ průběhu intenzity poruch $\lambda(t)$, tj. parametru proudu poruch $z(t)$. Z analýzy lze dále

identifikovat náhlé zhoršení spolehlivostního chování a na identifikovaný počátek náhlého zhoršení ihned navázat analýzu jeho příčin, navrhopvat a provádět zdůvodněná nápravná opatření, resp. v širším kontextu preventivní opatření, která by předcházela identifikovaným příčinám zvýšeného výskytu poruch. Východiskem k tomu je analyzovat příčiny vzniku poruch, a to zejména z hlediska, zda se jedná o poruchy z vnitřních nebo vnějších příčin.

Do **poruch z vnitřních příčin** jsou zahrnovány poruchy konstrukční (způsobené návrhem a konstrukcí), poruchy výrobní (mající původ v neshodě výrobního provedení), poruchy z poddimenzování (tj. způsobené tzv. slabostí, vnitřní nedokonalostí, která se projeví poruchou, jestliže je objekt vystaven namáhání v rámci stanovené způsobilosti) a poruchy způsobené stárnutím a/nebo opotřebením. Do **poruch z vnějších příčin** patří poruchy z nesprávného použití (způsobené používáním při namáhání/zatíženích překračující stanovenou způsobilost), poruchy z nesprávného zacházení způsobené nesprávným používáním nebo nedostatečnou péčí o objekt, např. údržbou, skladováním, manipulací apod.). Uvedená identifikace a odlišení příčin poruch vede k odlišným možnostem nápravných a preventivních opatření. Poruchy z vnitřních příčin určují tzv. inherentní (vlastní) spolehlivost, za níž má odpovědnost výrobce/dodavatel nástroje. Poruchám z vnějších příčin v důsledku způsobu užívání a zacházení v podmínkách konkrétního provozu by měla předcházet opatření v podniku. Naznačená analýza umožňuje odhalit, zda jsou potenciální vnitřní rezervy zvyšování spolehlivosti a životnosti nástrojů, nebo zda je nutné vyvinout úsilí směrem k výrobcí/dodavateli.

Empirický proud poruch nástroje, resp. skupiny nástrojů ve II. období typického průběhu intenzity poruch (parametru proudu poruch), kdy je funkce obnovy $Z(t)$ lineární funkcí času a tedy hustota obnov $z(t)$ konstantní a navíc její převrácená hodnota je střední doba mezi poruchami (tj. v daném případě střední nalisovaná délka mezi poruchami), umožňuje **odhad parametru proudu poruch**, resp. jeho převrácené hodnoty - **střední nalisované délky mezi poruchami** (tj. konkretizace ukazatele MTBF pro případ nástrojů). Pro uvedený předpoklad lze provést odhad proložením vyrovnávací přímky středy odpovídajících nalisovaných délek do i -té poruchy. Její směrnice je bodovým odhadem konstantního parametru proudu poruch, převrácená hodnota pak bodový odhad k danému okamžiku aktuální střední doby nalisované délky mezi poruchami daného nástroje. Během užívání jednotlivých nástrojů, resp. skupin nástrojů lze průběžným vyhodnocováním této hodnoty sledovat trend změny její hodnoty, provádět odhady střední nalisované délky v jednotlivých etapách atd.

V příloze je uvedena praktická ukázka pro konkrétní lisovací nástroj, který byl vyřazen (dosáhl mezního stavu). Z průběhu jeho empirického proudu poruch je patrné, že u něho nebylo zaznamenáno počáteční období (tj. období časných poruch) typického průběhu proudu poruch, což bylo na základě zkušeností pracovníků provozu vysvětleno skutečností, že před prvním nasazením nástroje probíhá zkoušení a "doladování" jeho technických parametrů, čímž je období "časných poruch" prakticky eliminováno. Současně v uvedeném konkrétním případě nebylo možné identifikovat ani závěrečné třetí období typického průběhu proudu poruch ("období dožívání"), z čehož vyplývá, že postupně se kumulující vnitřní změny nástroje v důsledku působení mechanismů opotřebením a stárnutí se v závěru technického života tohoto nástroje výrazně neuplatnily. To však obecně pro další nástroje a zejména pro skupiny nástrojů bude nutné ověřit analýzou zaznamenaných příčin dosažení jejich mezního stavu.

Z průběhu empirického proudu poruch nástroje 31044 např. vyplynulo, že při jeho nasazování by bývalo bylo vhodné věnovat zvýšenou pozornost období od počátku nasazení do 4. poruchy a od 9. do 12. poruchy, kdy došlo přechodně k výraznějšímu zhoršení jeho provozní spolehlivosti. V těchto obdobích by bylo při průběžném vyhodnocování vhodné hned podrobněji analyzovat příčiny vzniku poruch, a to zejména z hlediska, zda se jedná o poruchy z vnitřních nebo vnějších příčin.

4. Závěr

Zavedení a systematické využívání navrženého informačního systému umožnilo v podmínkách příslušných provozů podniku Alusuisse Děčín zejména:

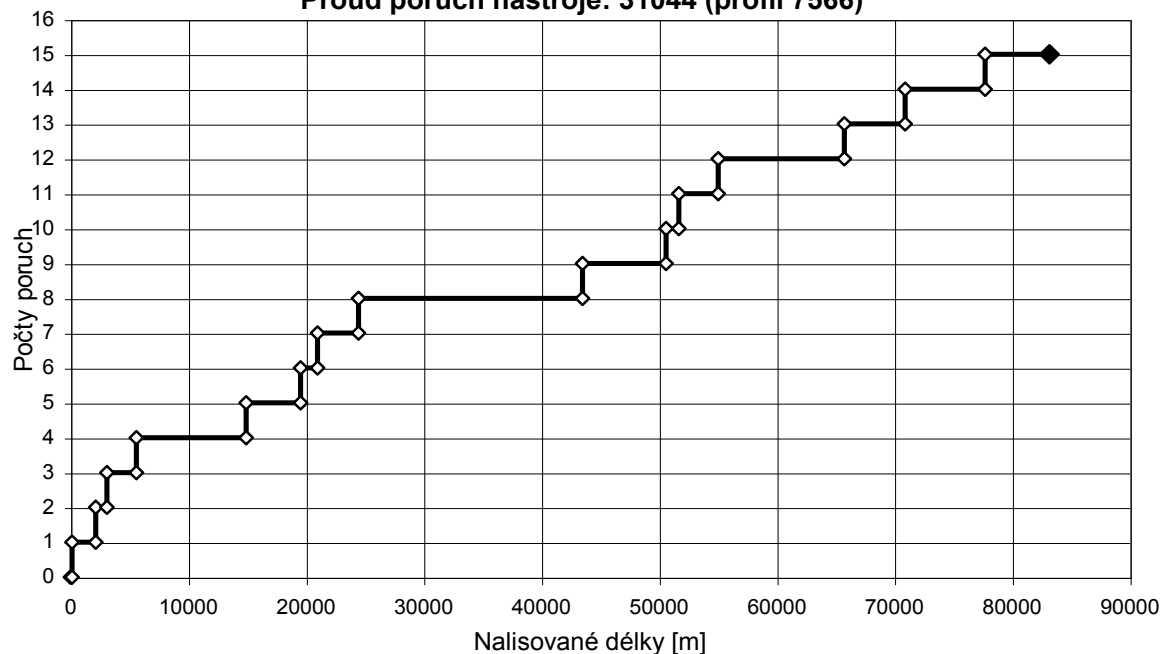
- ⇒ systematickou, přehledně prezentovanou, časově průběžnou evidenci a dokumentaci všech provozně technických a ekonomických parametrů nástrojů při jejich nasazování na různé zakázky (s prezentací v podobě přehledně a podle představ pracovníků podniku uspořádaných tabulek, grafů a diagramů),
- ⇒ průběžné sledování, analýzy a hodnocení dosahované provozní spolehlivosti a životnosti jednotlivých nástrojů a problémově vytvořených skupin nástrojů (lisovacích nástrojů je několik set!),
- ⇒ systematickou, průběžnou a vzájemně provázanou analýzu příčin vzniku prostojů a poruchových stavů nástrojů během jejich používání, příčin vzniku mezních stavů a to ve vzájemné vazbě, ve vazbě na podmínky užívání nástrojů ve výrobním procesu a náklady.

Systematické využívání těchto možností, které se budou dále rozvíjet se získávanými zkušenostmi pracovníků, umožní výrazně a trvale zvyšovat praktické přínosy v oblasti trvalého zlepšování jakosti procesů a dosahovat s ní úzce související vyšší ekonomickou efektivnost. Nezanedbatelným přínosem je výrazné zvyšování kvalifikace, odborné úrovně a zkušeností příslušných pracovníků.

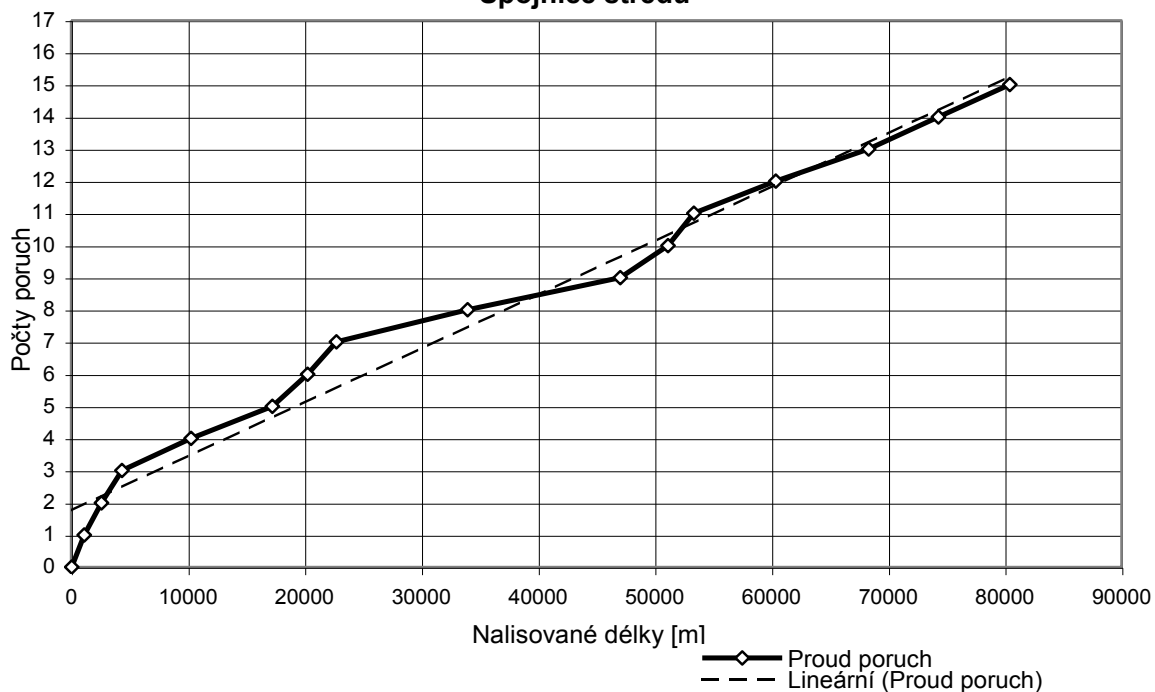
Literatura:

- [1] MYKISKA, A.: **Spolehlivost technických systémů**. (Skripta). Vydavatelství ČVUT, Praha 2000 (177 str.)
- [2] MYKISKA, A. - KRÁL, O. – FLÉGL, R.: **Životnost a spolehlivost nástrojů. Metodika sběru a hodnocení**. Výzkumná zpráva. Alusuisse Děčín - ISQ PRAHA, Praha 2001 (51 str.)

Proud poruch nástroje: 31044 (profil 7566)



Spojnice středů



Proud poruch nástroje: 31044							
Lú1(m)	LúStř(m)	Lú2(m)	Nú	Lú1(m)	LúStř(m)	Lú2(m)	Nú
126,083	1134,750	2143,417	1	51683,042	53351,792	55020,542	11
2143,417	2616,229	3089,042	2	55020,542	60382,328	65744,115	12
3089,042	4349,875	5610,708	3	65744,115	68328,823	70913,531	13
5610,708	10275,792	14940,875	4	70913,531	74306,656	77699,781	14
14940,875	17241,896	19542,917	5	77699,781	80434,214	83168,646	15
19542,917	20267,896	20992,875	6				16
20992,875	22726,521	24460,167	7				17
24460,167	33979,458	43498,750	8				18
43498,750	47053,188	50607,625	9				19
50607,625	51145,333	51683,042	10				20

OPTIMALIZACE POŽADAVKŮ NA SPOLEHLIVOST VOZIDEL Z HLEDISKA LCC A JEJÍ VYUŽITÍ V TECHNICKÉ PRAXI.

Ing. Aleš WEITER

- ÚVOD

Spolehlivost je nedílnou součástí jakosti, která je definována jako schopnost výrobku nebo služby uspokojit potřeby zákazníka. Z uživatelského hlediska je jakost vnímána především jako souhrn integrálně působících vlastností výrobku, daných jeho parametry určení (výkonností, funkcí, snadnou ovladatelností, hospodárností atd.), parametry spolehlivosti (životností, bezporuchovostí, snadnou udržitelností a opravitelností, pohotovostí v provozu atd.), případně ostatními vlastnostmi, které uživatel požaduje nebo přirozeně u vozidel očekává (bezpečný provoz, ergonomičnost, estetičnost, ekologičnost atd.).

Pojem spolehlivost v dnešním smyslu a jeho rozvoj v teorii spolehlivosti popsaném IEC je dílem převážně posledních desetiletí, i když spolehlivost výrobků bral člověk v úvahu po celou dobu své existence. Definice spolehlivosti se vyvíjela vzhledem k tomu, jak lidská společnost chápala problém spolehlivosti v různých oborech své činnosti. V současné době se hodnocení spolehlivosti stalo jednou z rozhodujících úloh vzhledem k rozvoji složitých soustav. Souběžně proniká se systémovými vědami od vojenské a kosmické techniky přes jaderný průmysl, energetiku, elektroniku do všech odvětví, v nichž vznikají složité rozsáhlé soustavy s mnoha prvky a vazbami, v nichž jediná porucha může vést k velkým lidským, ekologickým a materiálním ztrátám. Teorii spolehlivosti lze charakterizovat jako obecně technickou disciplínu jejímž předmětem je zkoumání spolehlivosti a životnosti objektů a to nezávisle na jejich charakteru a účelu.

Část teorie spolehlivosti, která se zpravidla označuje jako matematická, je nejvíce rozvinutou oblastí zkoumání spolehlivosti a v dnešní době se této oblasti věnuje nejvíce publikovaných prací. Spolehlivost sledovaných objektů vykazuje stochastickou povahu a proto je nutné pro její zjištění pracovat s pravděpodobností a matematickou statistikou. Popis chování zkoumaného objektu pomocí matematického modelu se jeví jako neefektivnější. Teorii spolehlivosti můžeme nazvat matematickou disciplínou i když problematika spolehlivosti zahrnuje mimo matematických modelů také:

- stránku fyzikální (zkoumání fyzikálních a fyzikálněchemických procesů, ovlivňující spolehlivost objektů)
- statistiku spolehlivosti (metody ke zpracování výsledků zkoušek a provozních údajů)
- technologii spolehlivosti (problematiku, která se týká technologických procesů, které vedou ke spolehlivým výrobkům)
- provoz a organizace spolehlivosti (soubor provozních a organizačních opatření, která zvyšují spolehlivost objektů)
- ekonomii spolehlivosti

V dnešní době vzrůstá význam spolehlivosti vozidel se zvyšující se materiální, finanční a časovou náročností vývoje techniky, hlavně z hlediska nákladů spojených se zavedením, provozem, údržbou a vyřazením techniky. Tyto náklady se v případě nízké spolehlivosti mohou enormně zvyšovat. Vzhledem k vynaloženým prostředkům na vývoj složitých technických systémů, je snaha o optimalizaci požadavků na spolehlivost za účelem

snížení celkových nákladů životního cyklu (LCC-Life Cycle Cost). Do popředí se dostává tzv. ekonomičnost spolehlivosti.

- 1. OBECNÁ SPECIFIKACE POŽADAVKŮ NA SPOLEHLIVOST VOZIDEL

Odborné a jednoznačné zadávání požadavků na spolehlivost vozidel, je významnou součástí návrhu a vývoje, protože právě v této etapě životního cyklu techniky jsou stanoveny základy spolehlivosti. Obecná koncepce zadávání požadavků, se řídí doporučeními IEC/TC 56 a respektuje důsledně systémový přístup k zabezpečování spolehlivosti výrobků z logiky procesu vzniku, provozu a zániku objektu. Celkový život objektu je možné rozdělit do šesti relativně samostatných etap:

1. etapa: Volba koncepce, definice objektu a stanovení cílových požadavků na spolehlivost.
2. etapa: Výzkumu a vývoje objektu.
3. etapa: Sériová výroba objektu.
4. etapa: Instalace objektu.
5. etapa: Provozu a údržby objektu.
6. etapa: Vypořádání a likvidace objektu.

V procesu aktivní tvorby spolehlivosti se v současnosti za nejdůležitější považují první dvě etapy, kdy se rozhoduje o koncepci spolehlivosti objektu, jeho budoucích vlastnostech a odbornou formulací požadavků se vytváří budoucí úroveň spolehlivosti. Jedny z dílčích požadavků na vozidlo jsou právě požadavky na spolehlivost. Mezi základní parametry pro popis spolehlivosti výrobků patří bezporuchovost, udržovatelnost, zajištěnost údržby a pohotovost. Při specifikaci požadavků na tyto dané vlastnosti výrobků vycházíme ze základních úvah, že musí:

- být realistické, posuzovatelné, nerozporné
- odpovídat současnému stavu technologie
- být jasné, plně srozumitelné, praktické
- vycházet ze vzájemné dohody mezi výrobcem a odběratelem
- ekonomicky zdůvodnitelné, přijatelné a dosažitelné

Je třeba zdůraznit, že by nemělo docházet k přehnanému specifikování požadavků. Všechny požadavky na spolehlivost techniky se mají vyjadřovat pokud možno kvantitativně, ale mohou se uvádět ve specifikacích i kvalitativně. Obecné předepisování a zadávání požadavků na spolehlivost se provádí v úplné formě, tak jak to doporučuje IEC. Pro zodpovědné posouzení úrovně plnění požadavků na spolehlivost, je pak třeba stanovit soubor objektivně měřitelných ukazatelů na její vyhodnocení. Všeobecně jsou ukazatele popsány literaturou [12], včetně jejich definicí a základních matematických vztahů. Mohou se používat i dodatečné ukazatele pro popis konkrétních objektů. Pro vhodné zadání požadavků na spolehlivost platí, že se zadávají v následujícím rozdělení:

- nomenklatura ukazatelů spolehlivosti popsána v literatuře [16]
- hodnoty ukazatelů spolehlivosti
- provozní podmínky objektu a podmínky prostředí, pro které ukazatele platí dle IEC (operační, prostředí)
- etapa života objektu, pro které ukazatele platí (prototyp, ověřovací série, sériová výroba, provoz)
- definici poruch a mezního stavu objektu
- metody určené k ověření požadavků na spolehlivost

Všeobecně se požadavky na spolehlivost určují několika možnými způsoby:

- pomocí odborného odhadu

- akceptováním požadavků odběratele
- využitím výsledků získaných ze sledování spolehlivosti obdobného objektu a převedením na nový objekt
- optimalizací hodnot ukazatelů dle definovaných kritérií (např. náklady životního cyklu)

- 2. OPTIMALIZACE POŽADAVKŮ NA SPOLEHLIVOST VOZIDEL

Optimalizací rozumíme metody, s jejichž pomocí lze optimalizovat určitý záměr při racionálním využití daných možností. Optimalizace je chápána jako souhrn opatření, které se realizují za účelem nalezení nejvhodnějších hodnot. Nelze však říct, že hodnoty musí být zákonitě maximální nebo minimální. Z logické úvahy plyne, že mají být optimální z hlediska vhodně volených a zdůvodnitelných kritérií optimalizace. Při hledání optimální hodnoty ukazatelů spolehlivosti je třeba zdůraznit, že většina rozhodnutí má v konečném důsledku vliv na celkové náklady životního cyklu vozidla. V dnešní době je jedním z hlavních cílů technicko-ekonomické optimalizace snížit tyto náklady. Za hlavní nástroje při zabezpečování tohoto strategického cíle se považují metody prediktivní analýzy a dále metody ověřování (demonstrace) spolehlivosti při použití matematického modelování.

- *Analýza nákladů životního cyklu*

Na základě všeobecně známých informací lze prohlásit, že při zvyšování úrovně spolehlivosti výrobku rostou náklady na jeho výzkum, vývoj a výrobu (pořizovací náklady), ale současně se snižují náklady na zabezpečování provozuschopného stavu výrobku v uživatelské sféře (vlastnické náklady). Je zřejmé, že při nízké úrovni spolehlivosti výrobku bude tento vztah opačný. Vzhledem k tomu, že výrobek má sloužit především uživateli, mělo by být prioritní uživatelské hledisko. Vedle toho však musí být respektováno též výrobní hledisko, takže optimální je, jestliže je i úroveň spolehlivosti většiny technických objektů výsledkem optimalizačního řešení, které zajišťuje minimalizaci celkových nákladů při stanovené úrovni výkonnosti a maximalizaci výkonnosti objektu při stanovených celkových nákladech.

Základním cílem analýzy nákladů životního cyklu je vyhodnocení nebo optimalizace nákladů životního cyklu vozidla při splnění specifikovaných požadavků na výkonnost, bezpečnost, bezporuchovost, udržovatelnost a jiné vlastnosti. Účelem je poskytnout vstupní údaje pro rozhodnutí činěná ve všech etapách životního cyklu vozidla. Aby bylo možné tyto náklady porovnávat, musí být vyjádřeny ve stejných jednotkách. U vozidel se používají různé druhy vyjádření celkových (měrných) nákladů (tj. celkové náklady, připadající na příslušnou jednotku dobu provozu vozidla např.: [Kč.Mh⁻¹], [Kč.litr spotřebovaného paliva⁻¹], [Kč.km⁻¹] apod. V tomto případě se nejvhodnějším řešením jeví použití matematického vyjádření měrných nákladů v Kč na 1 km průběhu vozidla [Kč.km⁻¹]. Matematické vyjádření měrných nákladů je možné psát jako podíl kumulativních nákladů C(t) v čase t.

$$c(t) = \frac{C(t)}{t} \quad (1)$$

- 2.1. Pořizovací náklady

Tuto nákladovou položku tvoří prodejní cena. Tato položka je důležitá, ale nikoliv nejvýznamnější vzhledem k tomu, že tvoří pouze část z celkových nákladů a v konečném důsledku může být i zanedbatelná. Ale mnohdy zvýšení pořizovacích nákladů může výrazně snížit náklady vlastnické. Pořizovací cena v Kč je výchozím kritériem pro ekonomický model nákladů, protože představuje jednorázový vklad do vozidla a lze ji vyjádřit takto:

$$C_{p\text{oř}} = \frac{C_{p\text{oř}}}{t_{v\text{yř}}} \quad (2)$$

kde značí:

$c_{p\text{oř}}$ – měrné náklady na pořízení vozidla [Kč.km⁻¹]

$C_{p\text{oř}}$ – celkové náklady na pořízení vozidla [Kč]

$t_{v\text{yř}}$ – doba provozu do vyřazení vozidla [km]

- 2.2. Vlastnické náklady

Do této nákladové položky lze zahrnout veškeré spotřební předměty vozidel, související s provozem a údržbou vozidla, zejména pohonné hmoty a maziva, preventivní a nápravnou údržbu, pneumatiky, akumulátorové baterie, různé druhy filtrů, čisticí potřeby, dálniční známky apod. Do této položky je třeba zahrnout i náklady na technické prohlídky, měření emisí a pojištění, které jsou u vozidel povinné z hlediska legislativy. Dále budou popsány pouze náklady na preventivní a nápravnou údržbu.

Náklady na preventivní a nápravnou údržbu vozidla

Do této položky zahrnujeme nejen náklady na náhradní díly (jejich standardizaci a unifikaci), ale i náklady spojené se školením dílenských specialistů, náklady na použití progresivních diagnostických přístrojů nutné pro údržbu a defektaci vozidla a materiálně technické zabezpečení jak stacionárních tak i mobilních dílenských prostředků. V případě, že se vozidla budou muset podrobovat v nějakém pravidelném intervalu kontrole u dodavatele je třeba započítat i náklady na pracnost v dodavatelském servisu. Celkem tyto náklady patří k nejdůležitějším, které v konečném důsledku ovlivňují celkové vlastnické náklady na vozidla. Mohou se lišit vzhledem k typům vozidel. Kritériem jsou náklady na provedení všech druhů preventivní a nápravné údržby v Kč na 1 km průběhu.

$$C_{\dot{U}} = C_{\dot{U}P} + C_{\dot{U}N} \quad (3)$$

kde značí:

$C_{\dot{U}}$ - měrné náklady na provedení preventivní a nápravné údržby [Kč.km⁻¹]

$C_{\dot{U}P}$ - měrné náklady na provedení preventivní údržby vozidla [Kč.km⁻¹]

$C_{\dot{U}N}$ - měrné náklady na provedení nápravné údržby vozidla [Kč.km⁻¹]

Preventivní údržba

K tomu, aby se technika udržovala v bezporuchovém stavu nám slouží preventivní údržba. Preventivní údržbou rozumíme údržbu prováděnou v předem stanovených intervalech nebo podle předepsaných kritérií se zaměřením na snížení pravděpodobnosti výskytu poruchy nebo k zamezení snížení funkční schopnosti objektu. Preventivní údržba je plánovaná a vozidla jsou dopravována do servisních zařízení za účelem pravidelného seřízení, promazání, výměny náplní atd. Potřebné plánování preventivní údržby se provádí na základě pokynů výrobce nebo dle potřeby uživatele. Náklady na provedení preventivní údržby zahrnují náklady na materiál, energii a potřebné lidské zdroje zabezpečující provedení preventivní údržby. Vzhledem k tomu, že vozidla podléhají různým druhům preventivní údržby, které se pohybují v různých cenových relacích je nutné použít přesnějšího matematického vyjádření.

$$C_{\text{ÚP}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{\text{ÚPi}} \left(\frac{t_{\text{vyř}}}{t_{\text{úi}}} - 1 \right)}{t_{\text{vyř}}} \quad (4)$$

kde značí:

$C_{\text{ÚPi}}$ – střední náklady na provedení preventivní údržby i -tého stupně [Kč]

$t_{\text{vyř}}$ – doba provozu do vyřazení vozidla [km]

$t_{\text{úi}}$ – střední doba mezi preventivními údržbami i -tého stupně [km]

i – počet stupňů preventivní údržby

Nápravná údržba

Nápravnou údržbou rozumíme vlastnost vozidla spočívající ve způsobilosti ke zjišťování příčin vzniku poruch a odstraňování jejich následků opravou. Do nákladů na provedení nápravné údržby je třeba zahrnout náklady na lokalizaci techniky a s tím spojenou dopravu do servisního zařízení, očištění techniky, odbornou defektaci, náklady na vlastní opravu (náklady na materiál, energii a potřebné lidské zdroje zabezpečující provedení nápravné údržby) a náklady na otestování po opravě. Vzhledem k tomu, že náklady na nápravnou údržbu nelze přesně predikovat vycházíme při jejich vyjádření ze středních hodnot.

Měrné náklady na provedení nápravné údržby vyjádříme vztahem:

$$C_{\text{ÚN}} = \frac{C_{\text{ÚN}}}{t_{\text{vyř}}} \quad (5)$$

kde značí:

$C_{\text{ÚN}}$ – měrné náklady na provedení nápravné údržby [Kč.km⁻¹]

$C_{\text{ÚN}}$ – celkové náklady na provedení nápravné údržby [Kč]

Celkové náklady na provedení nápravné údržby vyjádříme vztahem:

$$C_{\text{UN}} = \frac{t_{\text{vyř}}}{\text{MTBF}} \cdot C_{\text{stř}} \quad (6)$$

kde značí:

$C_{\text{stř}}$ – střední náklady na provedení nápravné údržby [Kč]

MTBF – střední doba provozu mezi poruchami [km]

(Mean operating time between failures)

Po dosazení vztahu (6) do vztahu (5) a matematické úpravě dostaneme výsledný vztah pro měrné náklady na provedení nápravné údržby:

$$C_{\text{ÚN}} = \frac{C_{\text{stř}}}{\text{MTBF}} \quad (7)$$

-

- 2.3. Náklady na vypořádání a likvidaci

V dnešní době se do popředí také stále více dostávají náklady na likvidaci po použití vozidla (ekologická likvidace nebo recyklace použitých materiálů) a tvoří s náklady pořizovacími a vlastnickými základní parametry pro popis nákladů životního cyklu.

$$c_L = \frac{C_L}{t_{\text{vř}}}$$
 (8)

kde značí:

c_L - měrné náklady na likvidaci vozidla [Kč.km⁻¹]

C_L - celkové náklady na likvidaci vozidla [Kč]

Z výše uvedených vztahů vyplývá, že:

$$c_c = c_{\text{poř}} + c_U + c_L$$
 (9)

kde značí:

c_c - celkové měrné náklady na pořízení, vlastnictví a likvidaci vozidla [Kč.km⁻¹]

- 2.4. Model nákladů na zabezpečení spolehlivosti

Z provedené analýzy lze naznačit možnosti optimalizace požadavků na spolehlivost vozidel, které jdou směrem:

- zvýšení bezporuchovosti a pohotovosti vozidel
- zvýšení garanční doby vozidel (mimo jiné i současný trend v Evropské Unii)
- zredukovaní intervalů údržby a oprav vozidel
- zvýšením bezpečnosti vozidel [17]

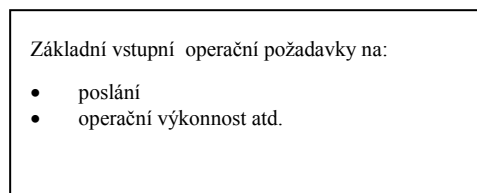
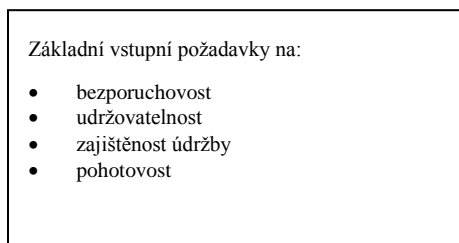
Pro model optimalizace požadavků na spolehlivost vozidel z hlediska LCC je třeba popsat jednotlivé závislosti úrovně spolehlivosti vozidla a výše uvedených nákladů nutných pro jejich zajištění. Prioritním zdrojem takových informací jsou převážně ekonomické rozborů z praxe. Musíme také brát v úvahu, že:

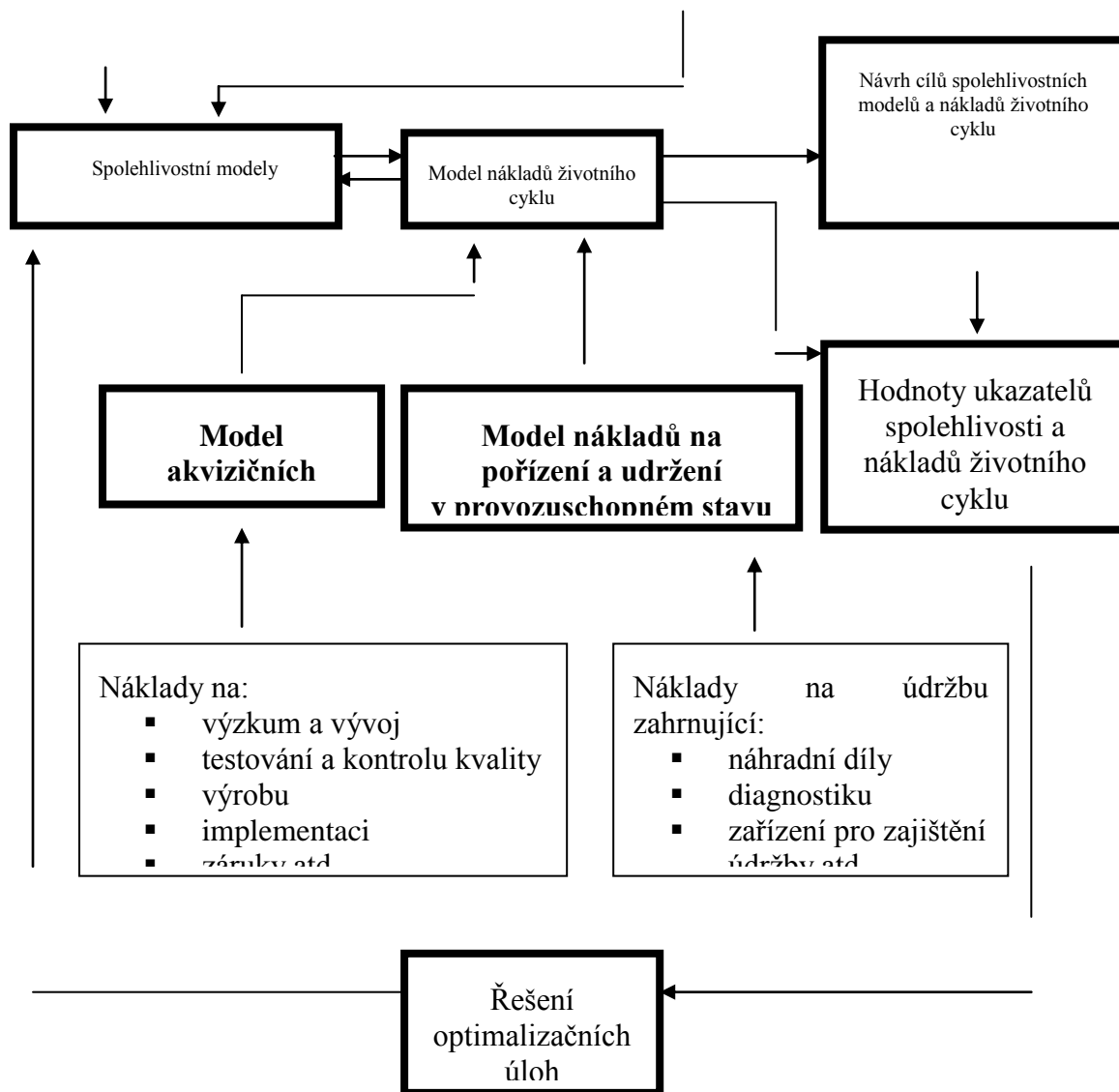
- přestože u výrobku, u kterého nejsou požadovány žádné spolehlivostní vlastnosti, se musí vynaložit určité prostředky na vývoj a výrobu
- nelze vyrobit zcela spolehlivý výrobek
- vyšší úroveň spolehlivosti vyžaduje vyšší náklady na vývoj a výrobu
- úroveň spolehlivosti a množství nákladů nutných na její zajištění je závislé na době provozu

- ZÁVĚR

Pro současný stav v oblasti optimalizace požadavků na spolehlivost vozidel lze konstatovat tyto zjednodušené závěry. Optimalizace požadavků na spolehlivost vozidel z ekonomického pohledu může v současnosti vyznívat právě tak nepříznivě jako příznivě, je-li poznamenána subjektivním přístupem hodnotitele, úrovní ekonomických poznatků, skupinovými zájmy a především, absentuje-li jednotný, exaktní výklad nástrojů a metod pro hodnocení ekonomické problematiky. Hlavním problémem většiny modelů optimalizace je odhad jednotlivých položek nákladů, vstupujících do všech konkrétních výpočtů. Vzhledem k omezenosti některých přírodních zdrojů je třeba prostředky na pokrytí životního cyklu vozidel investovat co nejehospodárněji.

Ukázka vazeb mezi jednotlivými složkami v řešené problematice je popsána v základním blokovém schématu, které je uvedeno na obr.1.





Obr. 1: Schéma vazeb při stanovení požadavků na spolehlivost s ohledem na minimalizaci

-

- POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BLISCHKE, W. R. and MURTHY D. N. P.: Reliability: Modeling, Prediction, and Optimization. New York: John Wiley 2000.
- [2] EBELING, E. CH.: Reliability and Maintainability Engineering. Mc Graw Hill 1996.
- [3] ELSAYED, A. E.: Reliability Engineering. New York: Addison-Wesley Publishing Co. 1996.
- [4] GARVEY, R. P.: Probability Methods for Cost Uncertainty Analysis. Marcel Dekker 2000.
- [5] HOLUB, R., VINTR, Z.: Základy spolehlivosti. Skripta VA Brno 2001.
- [6] HOLUB, R., VINTR, Z.: Aplikované techniky spolehlivosti. Část I. Specifikace požadavků na spolehlivost. Skripta VA Brno 2001.
- [7] HOLUB, R.: Zkoušky spolehlivosti vojenské techniky. Skripta VA Brno, 1994.
- [8] MACLEAN, L. H., LAVE, B. L.: A life-cycle model of an automobile. Environmental science&technology news, 1998.
- [9] SULLIVAN, W. G., BONTADELLI, J. A.; WICKS, E. M.: Engineering Economy. Prentice Hall 2000.
- [10] VINTR, Z.: Optimization of reliability requirements from manufacturers point of view. Reliability & Maintainability symposium, 1999.
- [11] ARMP - 4: Spojenecká publikace pro bezporuchovost a udržovatelnost - Směrnice pro tvorbu dokumentů NATO s požadavky na bezporuchovost a udržovatelnost. (Guidance for writing NATO reliability and maintainability requirements documents).
- [12] ČSN IEC 50 (191) - Spolehlivost a jakost služeb, kapitola 191-Mezinárodní elektrotechnický slovník.
- [13] ČSN IEC 300-3-1, Řízení spolehlivosti. Část 3: Návod k použití. Oddíl 1: Metody analýzy spolehlivosti: Metodický návod.
- [14] ČSN IEC 300-3-3: Management spolehlivosti, Část 3: Návod k použití, Oddíl 3: Náklady životního cyklu.
- [15] ČSN IEC 300-3-4, Management spolehlivosti. Část 3: Návod k použití. Oddíl 4: Pokyny ke specifikaci požadavků na spolehlivost.
- [16] ČSN 010606 -Spolehlivost v technice. Postup volby nomenklatury normovaných ukazatelů spolehlivosti.
- [17] VDA, Management jakosti v automobilovém průmyslu, Zabezpečování spolehlivosti u výrobců automobilů a dodavatelů, díl 1, 2002.
- [18] Internet:
 - <http://www.weibull.com>
 - <http://www.elsevier.com>
 - <http://www.reliasoft.com>