



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

MANAGEMENT SPOLEHLIVOSTI

DEPENDABILITY MANAGEMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Brlica

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Hana Opočenská

BRNO 2016



Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Pavel Brlica**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Hana Opočenská**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Management spolehlivosti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době nabývá na významu problematika spolehlivosti, která je nedílnou součástí kvality produktu. Spolehlivost tedy bývá jedním z podstatných činitelů konkurenceschopnosti produktu, neboť produkt provází po celou dobu jeho životního cyklu.

Cíle bakalářské práce:

Zpracujte rešerši z dané oblasti. Rozeberte vztah kvality a spolehlivosti, zaměřte se na systém managementu spolehlivosti.

Seznam literatury:

ČSN EN 60300-1 (2004): Management spolehlivosti - Část 1: Systémy managementu spolehlivosti. Český normalizační institut. Praha.

Mykiska, A. (2006): Bezpečnost a spolehlivost technických systémů. Vydavatelství ČVUT. Praha.

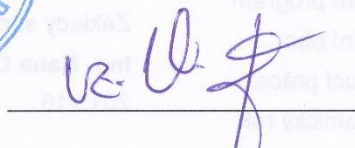
Novák, M., Šebesta, V. a Votruba, Z. (2001): Bezpečnost a spolehlivost systémů. Vydavatelství ČVUT. Praha.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015



doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá systémem managementu spolehlivosti. V teoretické části jsou definovány základní pojmy z oblasti spolehlivosti, je popsán vztah spolehlivosti vzhledem ke kvalitě a detailně rozebrán systém managementu spolehlivosti. V praktické části je uveden výpočet vybraných ukazatelů spolehlivosti a sestrojena vanová křivka reálného stroje.

ABSTRACT

Theme of this bachelor's thesis is dependability management. Theoretical part consist of basic definitions of dependability, it describes relationship between dependability and quality and analysis dependability management system. Practical part focus on calculation of dependability coefficients and construct a bathtub curve of a real machine.

KLÍČOVÁ SLOVA

Spolehlivost, systém managementu spolehlivosti, ukazatele spolehlivosti, životní cyklus produktu, vanová křivka.

KEYWORDS

Dependability, dependability management system, dependability coefficients, product life cycle, bathtub curve.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BRLICA, P. *Management spolehlivosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Hana Opočenská.

PODĚKOVÁNÍ

Za obětavou pomoc, cenné rady a připomínky při zpracování této bakalářské práce bych tímto rád poděkoval mé vedoucí bakalářské práce, Ing. Haně Opočenské.

Dále bych rád poděkoval firmě AB Komponenty za poskytnutá data pro řešení praktické části této práce.

Zvláštní poděkování patří mé rodině za podporu při mém studiu na vysoké škole.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Hany Opočenské a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. 5. 2016

.....

Pavel Brlica

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	SPOLEHLIVOST	17
2.1	Definice spolehlivosti	17
2.2	Technické normy z oblasti spolehlivosti	17
2.2.1	Rozdělení norem z oblasti spolehlivosti	18
2.2.2	Koncepce norem z oblasti managementu spolehlivosti.....	19
3	VZTAH MEZI KVALITOU A SPOLEHLIVOSTÍ.....	21
4	MANAGEMENT SPOLEHLIVOSTI.....	23
4.1	Spolehlivost v jednotlivých etapách životního cyklu produktu.....	23
4.1.1	Koncepce	24
4.1.2	Návrh a vývoj	24
4.1.3	Realizace.....	25
4.1.4	Provoz a údržba	25
4.1.5	Likvidace	25
4.2	Vanová křivka.....	25
4.3	Nástroje a prostředky managementu spolehlivosti	26
4.4	Systém managementu spolehlivosti.....	28
4.4.1	Odpovědnost managementu organizace	28
4.4.2	Management zdrojů	29
4.4.3	Realizace produktu	29
4.4.4	Měření, analýza a zlepšování.....	30
4.5	Zavádění certifikace ISO v podniku	30
5	UKAZATELE SPOLEHLIVOSTI.....	31
5.1	Normy pro ukazatele spolehlivosti	31
5.2	Vybrané ukazatele spolehlivosti objektů s nenulovou dobou do obnovy.....	35
6	APLIKACE UKAZATELŮ SPOLEHLIVOSTI.....	37
6.1	Představení firmy	37
6.2	Představení zkoumaného objektu	37
6.3	Výpočet vybraných ukazatelů spolehlivosti	38
6.4	Praktický význam vypočtených ukazatelů.....	39
6.5	Vanová křivka stroje Kitamura HX630i TGA.....	40
7	ZÁVĚR.....	41
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
9	SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ, SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	47
9.1	Seznam tabulek.....	47
9.2	Seznam obrázků.....	47
9.3	Seznam symbolů	48
9.4	Seznam zkratk.....	48

1 ÚVOD

Když v 18. století začala průmyslová revoluce, docházelo k nahrazování ruční výroby výrobou strojní. Používání strojů ve výrobě bylo zpočátku omezené, postupem času se však začaly uplatňovat častěji a i jejich využití již bylo širší. Docházelo k neustálému vylepšování, zvyšování výkonu či produktivity, ale zároveň byly tyto stroje stále složitější a obsahovaly více součástí náchylných k poruše. Tyto stroje již bylo potřeba seřizovat a pravidelně na nich provádět údržbu, aby byly schopné správně pracovat. Začalo se mluvit o spolehlivosti stroje a jeho schopnosti plnit požadovanou funkci po daný čas.

V dnešní době jsou stroje používány téměř ve všech odvětvích nejen technického, ale i například potravinářského či chemického průmyslu. Hlavní důvod jejich používání je zřejmý – zlevnění výroby, nahrazení ruční práce, zlepšení výsledné kvality produktu, zrychlení výrobních procesů, možnost nepřetržité práce, atd.

Požadavky na výslednou kvalitu produktu se neustále zvyšují, neboť zákazníci i celá společnost požadují bezpečný a spolehlivý produkt, který bude mít co nejmenší vliv na životní prostředí a bude dodán v přijatelné časové lhůtě. Proto byly vytvořeny normy, které se touto oblastí zabývají a určují doporučené postupy k dosažení požadovaných nároků na výrobek. A jelikož kvalita závisí z části i na spolehlivosti, byly vytvořeny normy zabývající se právě managementem spolehlivosti, který je zároveň i tématem této bakalářské práce.

2 SPOLEHLIVOST

Spolehlivost je nedílnou vlastností produktu a hraje významnou roli, neboť má vliv nejenom na náklady produktu, ale i na náklady vyplývající z vlastnictví a používání produktu po celý jeho životní cyklus. Ovlivňujeme ji aplikováním systému spolehlivosti ve všech etapách souvisejících se vznikem produktu, od návrhu až po výrobu. [14]

Navzdory obecnému povědomí o významu většiny v této práci uvedených pojmů je vhodné objasnit význam těch, které jsou pro toto téma klíčové a jsou nezbytné pro správné pochopení tématu. Největší prostor dostane definice spolehlivosti, která je hlavním tématem této práce.

2.1 Definice spolehlivosti

Norma ČSN EN 60300-1 Management spolehlivosti – Část 1: Systémy managementu spolehlivosti definuje spolehlivost jako „*souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a faktorů, které ji ovlivňují: bezporuchovosti, udržitelnosti a zajištění údržby*“. [5]

Norma ČSN EN 60300-1 ed. 2 Management spolehlivosti – Část 1: Návod pro management a použití obsahuje novou definici, popisující spolehlivost jako „*schopnost fungovat tak, jak je požadováno, a tehdy, když je to požadováno*“. [6]

Termínu spolehlivost ovšem můžeme rozumět v širším nebo užším pojetí. Výše uvedená definice je vyjádřením spolehlivosti v užším pojetí. V případě širšího pojetí definujeme spolehlivost jako „*stálost užitných vlastností objektu po stanovenou dobu a za stanovených podmínek užívání. V jednotlivých konkrétních případech se vyjadřuje „díličmi vlastnostmi“, jako životnost, skladovatelnost, bezporuchovost, udržitelnost, zajištění údržby, opravitelnost, preventivní údržba, diagnostikovatelnost a případně bezpečnost*“. [18]

Další z definic říká, že spolehlivost je schopnost výrobku zůstat funkční (plnit požadovanou funkci) po určitý čas a za daných provozních podmínek. Lze ji tedy zjednodušeně popsat jako vyjádření kvality na čase. [15]

Stejná norma jako v případě spolehlivosti definuje management spolehlivosti jako „*koordinované činnosti pro směřování a řízení organizace s ohledem na spolehlivost*“. [5]

Systém managementu spolehlivosti můžeme následně definovat jako „*systém managementu pro směřování a řízení organizace s ohledem na spolehlivost*“. [5]

2.2 Technické normy z oblasti spolehlivosti

Technická norma je veřejně dostupný dokument, který vyjadřuje určité parametry produktu (kvalitu, bezpečnost, zaměnitelnost, atd.) či výrobního postupu (s ohledem na ochranu životního prostředí, konkurenceschopnost a další). Normy nejsou závazné, jsou však doporučené a jejich používání bývá výhodné pro všechny zúčastněné strany. Výhoda certifikace firmy se projevuje zejména při účastnění se výběrových řízení, kde zadavatelé často uvádějí držení certifikátu jako jednu z podmínek pro účast v řízení. [3]

Normy ze spolehlivosti můžeme obecně rozdělit do několika kategorií, některé je ovšem možné zařadit do více než jedné skupiny: [16, 18]

- **Názvoslovné normy** – obsahují převážně definice pojmů a termínů.
- **Normy pro management spolehlivosti a jeho uplatňování** – obsahují popis systému managementu spolehlivosti, popis technik k analýze spolehlivosti.
- **Normy k udržovatelnosti zařízení** – popisují požadavky na udržovatelnost a diagnostické zkoušení, směrnice pro technickou dokumentaci.
- **Normy pro odhad a analýzu ukazatelů spolehlivosti** – obsahují návody pro sběr a práci s daty o bezporuchovosti, kvantifikaci ukazatelů spolehlivosti.
- **Normy pro ověřování a zjišťování hodnot ukazatelů spolehlivosti** – určují postupy a podmínky pro výpočty ukazatelů spolehlivosti.
- **Normy pro zlepšování ukazatelů spolehlivosti** – zabývají se zlepšením bezporuchovosti pomocí různých metod.

2.2.1 Rozdělení norem z oblasti spolehlivosti

Normy týkající se spolehlivosti vycházejí z normy ČSN IEC 50(191), která se zabývá názvoslovím této problematiky. Rozdělení těchto norem z oboru spolehlivosti je znázorněno na obr. 1.



Obr. 1) Rozdělení norem z oboru spolehlivosti [21]

2.2.2 Koncepce norem z oblasti managementu spolehlivosti

Jedná se o normy z oblasti spolehlivosti, konkrétně z oblasti managementu spolehlivosti: [21, 22]

ČSN EN 60300-1 MANAGEMENT SPOLEHLIVOSTI

Část 1: Systémy managementu spolehlivosti

Norma popisuje termíny a principy systémů managementu spolehlivosti a udává jeho strukturu. Řeší se zde spolehlivost ve všech etapách životního cyklu produktu a faktory, které spolehlivost ovlivňují.

ČSN EN 60300-2 MANAGEMENT SPOLEHLIVOSTI

Část 2: Směrnice pro management spolehlivosti

Norma udává návod a směrnice pro management spolehlivosti a technické procesy životního cyklu produktu. Určuje úkoly programu spolehlivosti.

ČSN EN 60300-1 ed. 2 MANAGEMENT SPOLEHLIVOSTI

Část 1: Návod pro management a použití

Jedná se o novou normu, která nahradí normy ČSN EN 60300-1 a ČSN EN 60300-2. Jde tedy o normu vzniklou aktualizací a sloučením norem z řady 60300. Tato norma již platí, k nahrazení za původní normy a jejich uvedení v neplatnost dojde 27. 6. 2017.

Norma se zabývá managementem spolehlivosti, udává jeho strukturu a zaobírá se také návodem a směrnicemi pro management spolehlivosti.

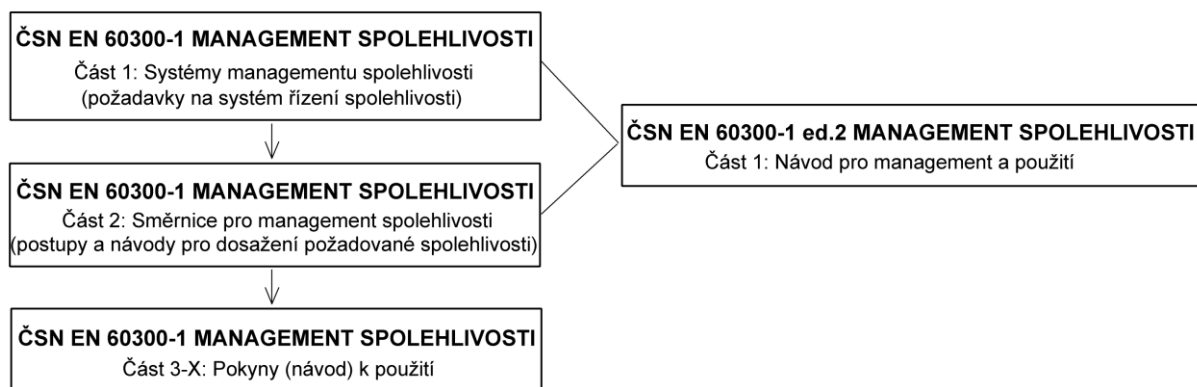
ČSN EN 60300-3-X MANAGEMENT SPOLEHLIVOSTI

Část 3-X: Pokyn (návod) k použití

Jedná se o pokyny a návody k práci s těmi faktory, které ovlivňují požadovanou úroveň produktu, konkrétně se jedná o:

- techniky analýzy spolehlivosti,
- sběr dat z provozu,
- analýzu nákladů životního cyklu,
- specifikaci požadavků na spolehlivost,
- podmínky při zkouškách bezporuchovosti a principy statistických testů,
- analýzu rizik technologických systémů,
- udržitelnost,
- údržbu zaměřenou na bezporuchovost,
- integrovanou logistickou podporu,
- údržbu a její zajištění,
- inženýrství spolehlivosti systémů,
- směrnice pro specifikaci služeb zajištění údržby.

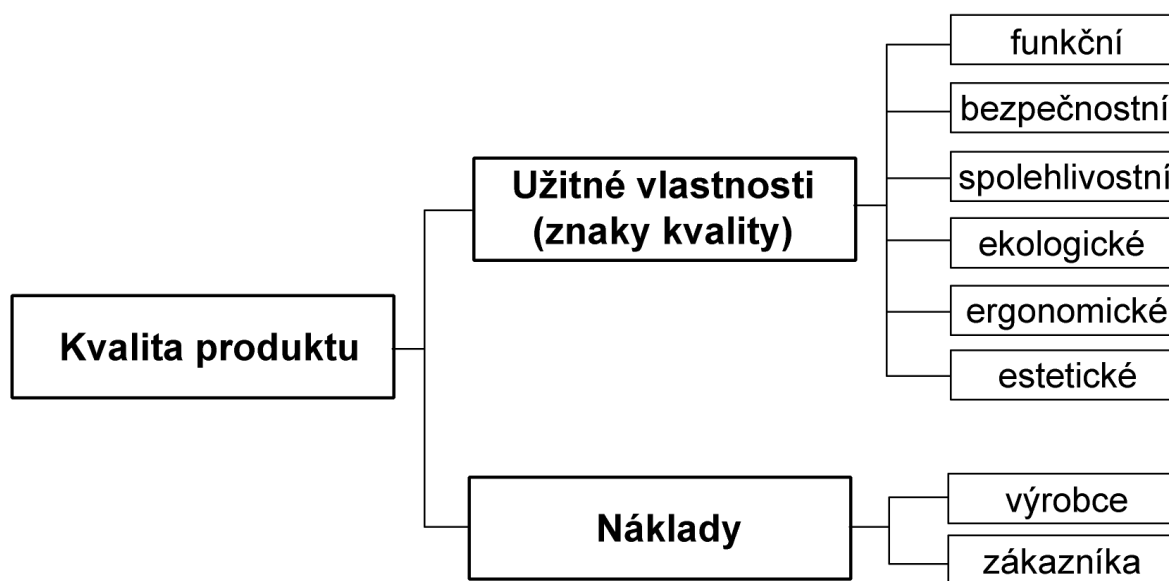
Koncepci výše uvedených norem zjednodušeně ukazuje obrázek č. 2.



Obr. 2) Koncepce norem týkajících se managementu spolehlivosti [21]

3 VZTAH MEZI KVALITOU A SPOLEHLIVOSTÍ

Většina společností dnes již má pozici manažera kvality zodpovědného za poskytování výrobků či služeb odpovídající úrovně, která je specifikována v rámci managementu kvality. Dosáhnout odpovídající kvality lze například řízením či kontrolou příslušných procesů (např. procesů spojených s výrobou). I přes to, že spolehlivost je velmi významná složka kvality, tak normy z oblasti kvality se přímo spolehlivostí v podstatě nezabývají. [14]



Obr. 3) Co vše ovlivňuje kvalitu produktu [18]

Z obrázku č. 3 je patrné, které znaky ovlivňují výslednou kvalitu. Obecně můžeme tyto znaky rozlišit na: [13, 18]

- **Kvantitativní znaky (kardinální)** – znaky, které můžeme kvantifikovat a určit jejich hodnoty např. měřením. Mohou být:
 - **Diskrétní** – nabývají pouze určitých hodnot – např. počet poruch, počet vadných výrobků apod.
 - **Spojitě** – takové znaky nabývají hodnoty z určitého intervalu – např. výkon, spotřeba apod.
- **Kvalitativní znaky** – znaky, které můžeme rozlišit vzájemným srovnáním a které dále dělíme na:
 - **Ordinální (uspořadatelné)** – určujeme u nich pořadí dle velikosti, ale neznáme rozdíly mezi jednotlivými hodnotami – např. dražší nebo levnější, vyšší nebo nižší apod.
 - **Nominální (jmenné)** – určujeme, zda jsou stejné nebo rozdílné, ale opět neznáme rozdíly mezi hodnotami – např. určování druhů barev, druhů materiálů apod.

Jak již bylo napsáno, spolehlivost je velmi významná složka mající vliv na celkovou kvalitu. V praxi se ovšem s kvantitativními požadavky na spolehlivost téměř npracuje a v podnicích velmi často chybí inženýři spolehlivosti, kteří by se mohli zabývat managementem spolehlivosti. To se děje nejen z důvodu časové a finanční náročnosti na práci se získanými daty a jejich zpracováním, ale také z důvodu neurčení požadavků na spolehlivost samotnými zákazníky či tržními souvislostmi (pasivním očekáváním zákazníka). Dále je problémem nedostatek prostředků pro rozvoj managementu spolehlivosti, chybějící laboratoře a s tím související nedostatek laboratorních a provozních zkoušek a také nedostatek specialistů zabývajících se přímo spolehlivostí. [1, 14]

Spolehlivost je velmi důležitým prvkem při rozhodování – ovlivňuje totiž náklady produktu, výkonnost a další. Při důrazu na efektivní provoz zákazníci často hledají přístroj bezporuchový a udržovatelný. Údržba přitom ovlivňuje výslednou spolehlivost a je tedy nutné dbát na její zajištění.

Co si ovšem máme představit pod pojmem spolehlivý produkt? Od spolehlivého produktu očekáváme, že si zachová své původní vlastnosti a funkčnost, tj. stejné vlastnosti jako při koupi po dlouhou dobu. I proto lze spolehlivost popsat jako „*vyjádření kvality v závislosti na čase*“. [1]

Zde je vhodné poznamenat, že rozlišujeme: [16, 18]

- **Specifikovanou (požadovanou) spolehlivost** – vymezí spolehlivost, včetně jejich požadavků a podmínek.
- **„Vprojektovanou“ spolehlivost** – spolehlivost uvažovaná a zahrnutá do návrhu a konstrukce projektu.
- **Inherentní spolehlivost** – je vlastností produktu, měří se v laboratorních podmínkách. Nejsou do ní zahrnuty negativní vlivy provozních podmínek.
- **Provozní spolehlivost** – spolehlivost stejného produktu, která se ovšem měří v reálném provozu a uvažuje tak vliv provozu a údržby, lze ji tedy také použít k určení výkonnosti a účinnosti údržby.

Z toho plyne, že je důležité „vkonstruovat“ bezporuchovost a udržovatelnost již při návrhu produktu a následně zajistit požadovanou údržbu v provozu. Tyto kroky je tedy třeba rozložit do jednotlivých etap životního cyklu produktu. [14]

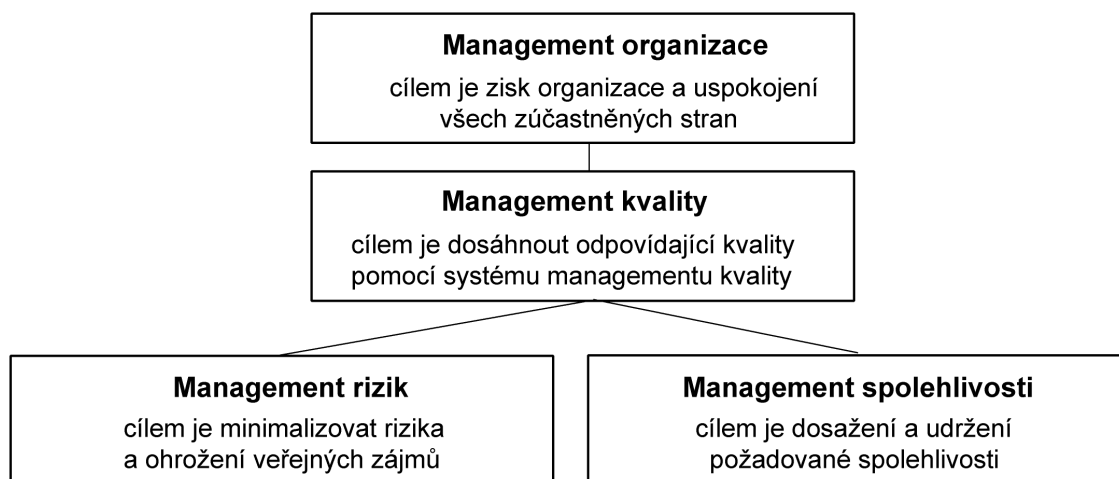
S managementem spolehlivosti se již začíná pracovat například v oblastech automobilového či leteckého průmyslu. Většinou se tak děje v důsledku tlaku zákazníků, zejména zahraničních, na spolehlivost nebo z iniciativy manažera kvality, který začleňuje nástroje managementu spolehlivosti do procesů souvisejících s návrhem a výrobou a organizuje vzdělávací procesy v dané oblasti. [14]

4 MANAGEMENT SPOLEHLIVOSTI

Nejdříve je vhodné uvést, že management obecně je proces řízení a koordinace zdrojů (lidí) tak, aby bylo efektivně dosaženo daných cílů. Často je úkolem managementu zajistit společnou práci jednotlivců na daném úkolu a vhodné rozdělení jednotlivých pracovních úloh na řešení daného problému. Mezi jednotlivé funkce managementu patří například funkce plánování, řízení, rozhodování, organizování či kontrolování. [15, 20]

Mezi rozhodující charakteristiky manažerského prostředí patří kromě pružné podnikové politiky také vhodná volba strategie, koncentrace na klíčové oblasti podnikání a vhodné organizační uspořádání a schopnost managementu reagovat na různé situace. [15]

Pokud tedy chceme vyrábět kvalitní, bezpečné a spolehlivé produkty, je nutné se zabývat v rámci řízení podniku a managementu kvality také managementem rizik a spolehlivosti, jak lze vidět na obrázku č. 4.



Obr. 4) Vztah managementu spolehlivosti a rizik vůči managementu kvality a celkovému managementu organizace [9]

4.1 Spolehlivost v jednotlivých etapách životního cyklu produktu

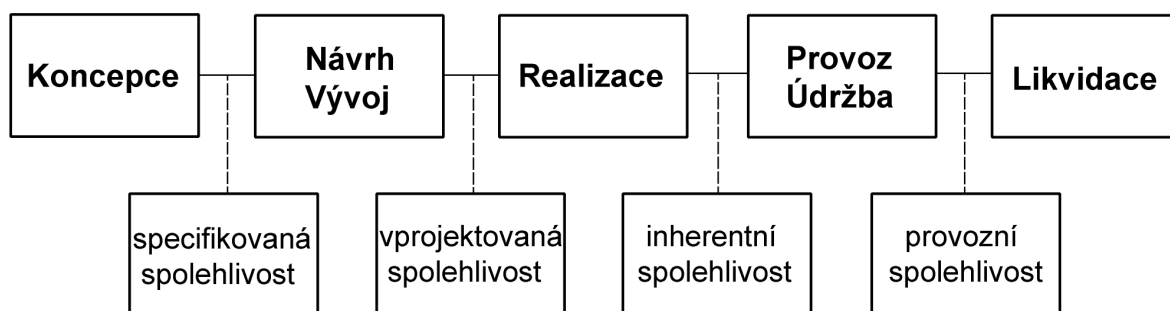
Spolehlivostní disciplíny jsou uplatňovány ve všech životních etapách produktu, přičemž životní cyklus můžeme definovat dle normy ČSN EN 13306 Údržba – Terminologie údržby jako „řadu etap, kterými objekt prochází od etapy koncepce a stanovení požadavků po vypořádání (likvidaci)“. [4]

Konkrétně se jedná o: [15, 18, 19]

- **Koncepci** (specifikaci) požadavků na zařízení, jeho výkonnost, spolehlivost a životnost – tzv. specifikovaná spolehlivost.
- **Návrh a vývoj** parametrů zařízení, podmínek bezporuchovosti a udržitelnosti, tzv. „vprojektování“ spolehlivosti.
- **Realizaci** (výrobu) – zadání poptávky, výběr a instalaci zařízení – zde se pracuje s inherentní spolehlivostí.

- **Provoz a údržbu** – kolaudaci zařízení a jeho uvedení do trvalého provozu, vzhledem k různým provozním podmínkám u různých zákazníků zde mluvíme o provozní spolehlivosti.
- **Likvidaci** – vypořádání se s nefunkčním nebo nepoužívaným strojem.

Návaznost jednotlivých etap s konkrétním typem spolehlivosti zachycuje obrázek č. 5.



Obr. 5) Členění životních cyklů [18]

4.1.1 Koncepce

Etapa koncepce se skládá ze: [18]

- stanovení koncepce zabezpečování spolehlivosti,
- analýzy dosažitelnosti požadovaných hodnot.

Stanovení koncepce zabezpečování spolehlivosti spočívá ve volbě ukazatelů spolehlivosti (tj. nomenklatury ukazatelů spolehlivosti) a stanovení jejich číselných hodnot. To umožňuje vymezit spolehlivost výrobku a požadavků, které má splňovat. Získáme tak ukazatele spolehlivosti pro dané parametry a podmínky používání. [18, 19, 26]

Analýza dosažitelnosti požadovaných hodnot se provádí z hledisek: [18, 26]

- požadavků na bezporuchovost, životnost, udržovatelnost, diagnostikovatelnost a udržovatelnost,
- požadavků na zabezpečení kvality včetně požadavků na kvalitu subdodávek,
- schopnosti všech zúčastněných stran zajistit odpovídající podmínky.

Této etapě je nutno věnovat zvýšenou pozornost, neboť rozhodnutí a případné chyby v této době životního cyklu produktu mají převážný vliv na výsledný produkt a jejich zpětné odstranění je finančně i časově náročné. [18]

4.1.2 Návrh a vývoj

V této etapě je důležité „vkonstruovat“ získané a požadované hodnoty ukazatelů spolehlivosti při současném využití poznatků o spolehlivosti předchozích generací a jejich součástí, vytváří se technická dokumentace. Pomocí metod kvalitativních a kvantitativních analýz spolehlivosti je testován prototyp. [18, 19, 26]

4.1.3 Realizace

Jde o realizaci (výroba a instalace) inherentní spolehlivosti (ta odpovídá „vprojektované“ spolehlivosti) a výrobu reálného produktu. Velmi důležité je dodržení všech požadavků uvedených v technické dokumentaci během výroby. [18, 19, 26]

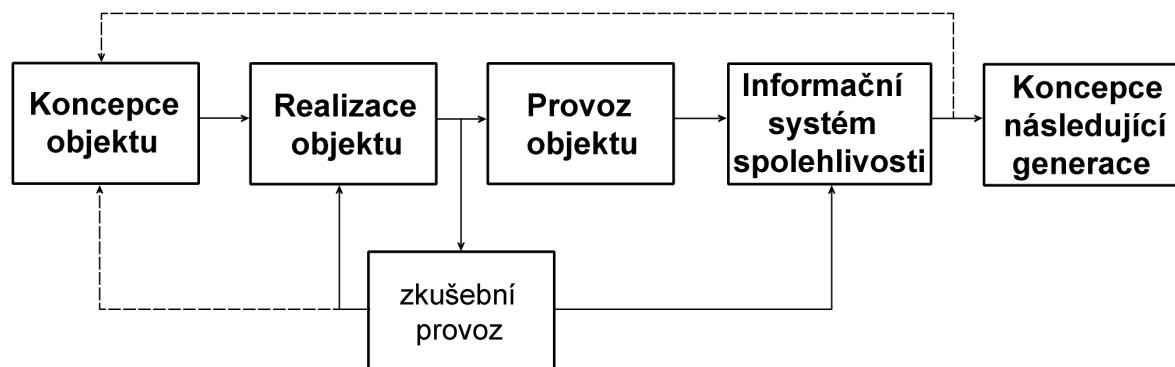
4.1.4 Provoz a údržba

Produkt je v provozu a má zajištěnou dostatečnou údržbu. Při provozu mluvíme o provozní spolehlivosti, lišící se od spolehlivosti inherentní uvažováním reálného provozu, který zahrnuje vliv provozu a údržby. Je nutné vyškolení zákazníka ohledně údržby, podání informací o preventivní údržbě apod. Dochází zde také ke sběru dat z provozu a jejich následnému vyhodnocování. [18, 19, 26]

4.1.5 Likvidace

Po ukončení provozu je produkt zlikvidován či demontován. Je možné provést analýzu opotřebení pro další vývoj a zlepšení spolehlivosti nového produktu. [26]

K úspěšnému řešení problematiky spolehlivosti je tedy nutné zabývat se všemi uvedenými etapami ve vzájemné souvislosti, neboť na sebe navazují a ovlivňují se. To vyžaduje systémový přístup k problému ve všech životních etapách výrobku, jak lze vidět na obrázku č. 6.



Obr. 6) Schéma systémového přístupu k řešení problematiky spolehlivosti [18]

4.2 Vanová křivka

Rozdělit životní cyklus objektu lze i jinak. Jednu z možností nabízí vanová křivka, která rozděluje životní cyklus výrobku na 3 etapy.

Vanová křivka, která dostala svůj název podle svého tvaru, se používá pro znázornění intenzity poruch v závislosti na čase. Vanová křivka se obvykle dělí na tři části: [2, 17, 25]

- **I. zóna – období časných poruch** – v této zóně dochází k rychlému poklesu intenzity poruch. Vysoká četnost je zpočátku způsobena záběhem, při kterém se projevují poruchy způsobené chybami při výrobě, montáži nebo návrhu objektu.
- **II. zóna – období normálního provozu** – jedná se o dlouhé období, které také nazýváme obdobím normálního užití. Výrobek je používán ke svému účelu s přibližně

konstantním výskytem poruch. K poruchám dochází převážně z vnějších příčin, nevyskytuje se opotřebení ovlivňující vlastnosti objektu.

- **III. zóna – období stárnutí** – dochází k růstu intenzity poruch vlivem stárnutí materiálu a opotřebení. Po překročení únosné intenzity poruch dochází k odstavení a vyřazení objektu z provozu.

U některých objektů může chybět období časných poruch. To se děje hlavně v případech, kdy je objekt kontrolován a testován přímo u výrobce. Může také chybět období stárnutí – to se může stát v případě, je-li objekt vyřazen z provozu dříve, než se projeví růst intenzity poruch vlivem stárnutí. Vanová křivka je znázorněna na obrázku č. 7, kde $\lambda(t)$ značí intenzitu poruch v závislosti na čase a t je čas. [2]



Obr. 7) Vanová křivka a její části [15]

4.3 Nástroje a prostředky managementu spolehlivosti

Stejně jako u managementu kvality, i zde leží odpovědnost na vedení organizace při realizaci managementu spolehlivosti. Management spolehlivosti se uplatňuje zejména formou analýz spolehlivosti a přezkoumáváním a následnou reakcí na získané výsledky včetně přijetí opatření k nápravě nevyhovujících ukazatelů spolehlivosti. [18]

V závislosti na složitosti výrobku, časových a finančních možnostech, objemu výroby nebo požadovaných vlastnostech výrobku jsou patrné odlišnosti v přístupu k řešení spolehlivosti a komplikovanost řešení.

Pro uplatnění managementu spolehlivosti se používají různé nástroje a prostředky, včetně jejich kombinací. Jejich použití je vhodné převážně při vývoji nových či rozsáhlých změnách současných produktů nebo zapracování nedostatků, které vyplynou z analýzy spolehlivosti. Tyto nástroje a prostředky jsou uvedeny níže. [18]

Program spolehlivosti

Je promítnut do všech životních etap výrobku. Je zde uvedena organizační struktura, odpovědnosti a postupy užívané v organizaci při řízení a zabezpečování spolehlivosti. [18]

Plán spolehlivosti

Dokument, ve kterém jsou ustanoveny činnosti pro dosažení požadované spolehlivosti pro konkrétní výrobek. Jedná se vlastně o program spolehlivosti aplikovaný přímo na konkrétní typ výrobků. [18]

Přezkoumání

Je prováděno nezávislou stranou téměř ve všech životních etapách výrobku. Jedná se o proces zhodnocení návrhu a hledání nedostatků, které by mohly nepříznivě ovlivnit výslednou spolehlivost, bezpečnost nebo bezporuchovost a tím kvalitu výrobku. Je to tedy proces zdokonalovací, jehož hlavním úkolem je prověření práce vývojového týmu. [18]

Analýzy spolehlivosti

Jedná se o analýzu funkční struktury, poruchových a mezních stavů vzhledem k bezpečnosti i životnosti a sestavení plánu preventivní údržby. V předvýrobních etapách slouží k návrhu hodnot ukazatelů spolehlivosti, během životních etap provozu se jedná o určení, případně ověření ukazatelů spolehlivosti. [18]

Stanovení nákladů životního cyklu

Při návrhu nového výrobku hraje velkou roli poměr nákladů vzhledem k výsledné spolehlivosti a životnosti. Pro optimalizaci těchto nákladů se používá postupu stanovení nákladů životního cyklu. Tento postup je vhodné aplikovat do všech životních etap výrobku. Náklady pak dělíme na: [18]

- **pořizovací náklady** – náklady vlastníka výrobku na zisk produktu,
- **vlastnické náklady** – náklady vlastníka výrobku vyplývající z provozu a údržby produktu.

Pokyny k udržovatelnosti zařízení

Řízení udržovatelnosti a zajištěnost údržby hrají velkou roli ve výsledné spolehlivosti výrobku. Řešení spočívá v určení nároků na udržovatelnost a sestavení příslušných programů. [18]

Zkoušky spolehlivosti a sběr dat

Oproti ostatním parametrům výrobku, které jsou většinou měřitelné, jako například rozměry nebo výkon, jsou ukazatele spolehlivosti pouze pravděpodobnostní předpovědi. Ty vycházejí ze zkoušek spolehlivosti, které se provádějí v období vývoje a jejich skutečné hodnoty lze určit až během provozu na základě dlouhodobého sběru dat a jejich statistického zpracování. [18]

Program růstu bezporuchovosti

Jedná se o postupné zlepšování všech ukazatelů bezporuchovosti. Cílem je odhalit slabá místa a příčiny poruch, které se následně odstraní. Jde tedy o neustálé vylepšování výrobku tak, aby se dosáhlo co nejnižší pravděpodobnosti vzniku poruch. [18]

Třídění namáháním pro zlepšení bezporuchovosti

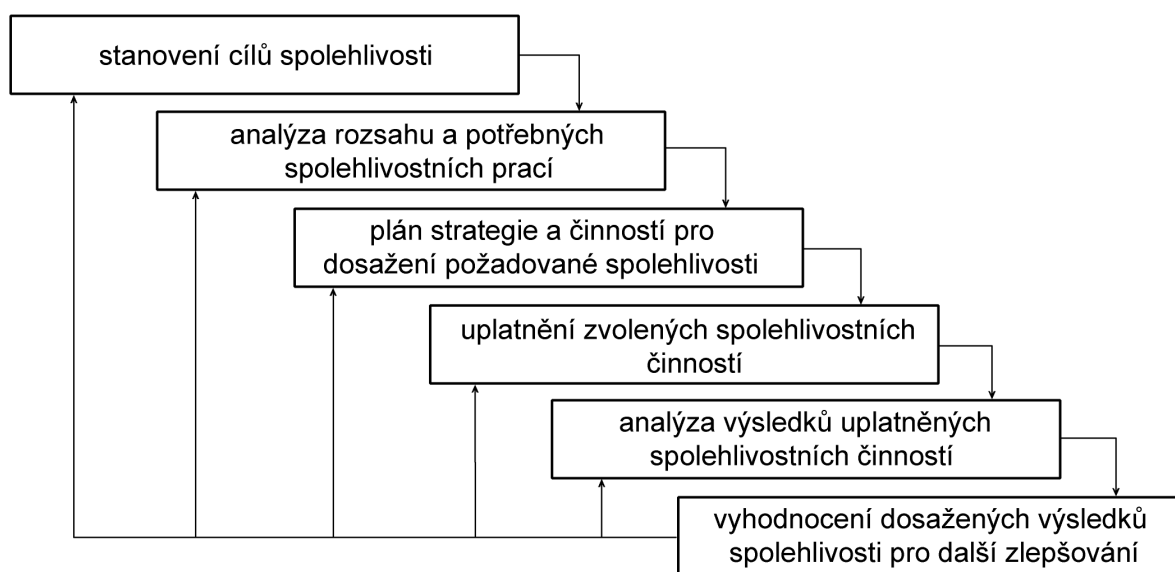
Princip spočívá v namáhání výrobku tak, jako by byl v provozu. Provádí se u objektů, které mohou obsahovat skryté nedokonalosti, které se vlivem namáhání projeví tak, že vedou ke vzniku poruchy. [18]

Využití uvedených nástrojů managementu spolehlivosti se doporučuje zejména při vývoji nových produktů nebo podstatných změnách současného výrobku při řešení neuspokojivých výsledků z předchozí analýzy výrobku. [18]

4.4 Systém managementu spolehlivosti

Norma ČSN EN 60300-1 Management spolehlivosti, část 1: Systémy managementu spolehlivosti obsahuje velmi obecný postup aplikace managementu spolehlivosti. Je zde velká podobnost s normou ČSN EN ISO 9001 Systémy managementu kvality - Požadavky. Mezi hlavní cíle patří dosažení požadované spolehlivosti, zajištění potřeb zákazníka a pomoc při vypracování plánu spolehlivosti pomocí procesů, které lze aplikovat u všech organizací a ve všech etapách životního cyklu produktu. [5, 19]

Jak již bylo zmíněno, systém managementu spolehlivosti je nedílnou součástí celkového managementu organizace a měl by být dokumentován. Jednotlivé kroky pro management spolehlivosti včetně jejich doporučené posloupnosti jsou uvedeny na obrázku č. 7.



Obr. 8) Jednotlivé kroky managementu spolehlivosti a jejich posloupnost [5]

Obecně se doporučuje pro udržování a rozvoj managementu spolehlivosti dodržovat tyto body: [5]

- identifikace potřebných spolehlivostních činností,
- stanovení cílů spolehlivosti a naplánování životních etap produktu,
- zajištění uplatnění spolehlivostních činností,
- určení kritérií a metod pro posuzování spolehlivosti,
- poskytnutí zdrojů a informací, analýza dosažených výsledků,
- udržování obchodních vztahů pro dosažení spokojenosti zákazníka.

4.4.1 Odpovědnost managementu organizace

Je nutné, aby byly určeny funkce managementu organizace vztahující se ke spolehlivosti. Vedení organizace by navíc mělo obstarat pravidelné přezkoumávání systému managementu spolehlivosti pro zajištění jeho efektivity a vhodnosti. Mezi hlavní úkoly vedení patří: [5, 19]

- zajistit **stanovení a splnění očekávání zákazníka** ohledně spolehlivosti a s tím související komunikaci mezi společností a zákazníkem,
- **implementace managementu spolehlivosti** do celkového managementu organizace jako součást managementu kvality,
- **plánování a promítnutí požadavků na spolehlivost** do celkového plánu managementu, přičemž spolehlivost má být klíčovým faktorem při rozhodování zákazníka,
- **vymezení odpovědnosti a pravomocí** týkající se spolehlivosti v organizaci.

4.4.2 Management zdrojů

Organizace má určit a poskytnout zdroje pro uplatnění a udržování systému managementu spolehlivosti, k jeho zlepšování a s tím související rostoucí spokojenosti zákazníka. Zaměstnanci, kteří se zapojují do projektů souvisejících se spolehlivostí, by měli být odborně vyškoleni. Organizace má poskytnout vhodné pracovní prostředí motivující zaměstnance k neustálému zlepšování a vzdělávání se. Má také zajistit odpovídající infrastrukturu pro dosažení požadavků na spolehlivost, například odpovídající vybavení a pomůcky na pracovištích, vhodný software pro vyhodnocování výsledků a dat z analýzy a údržby atd. [5, 19]

4.4.3 Realizace produktu

Při realizaci se vychází z plánu spolehlivosti pro daný produkt. Při plánování realizace je také třeba určit: [5, 19]

- **cíle spolehlivosti** daného produktu,
- **metody a procesy pro zajištění požadované spolehlivosti** i vzhledem k technologickým omezením,
- způsob **ověření** příslušných **ukazatelů spolehlivosti**,
- způsob **dokumentace** o spolehlivosti.

Vzhledem k postavení vůči zákazníkovi je nutné zvolit vhodnou obchodní strategii, zákonné požadavky a podmínky používání tak, aby bylo možné jejich splnění. Důležitá je také zpětná vazba zákazníka ohledně spolehlivosti produktu pro zlepšování dalších generací a samozřejmě i odpovídající dokumentace. [5, 19]

V období návrhu a vývoje produktu jsou vstupy a výstupy návrhu přezkoumávány a přijímají se vhodná řešení všech spolehlivostních problémů s ohledem na náklady životního cyklu produktu. [5, 19]

Důležité je také vhodná volba dodavatelů subdodávek tak, aby dodávané produkty odpovídaly sjednaným kritériím a jejich ověření, pokud je to nutné. Komunikace se subdodavatelem je žádaná z důvodu sdílení informací o spolehlivosti dodávaného nebo prodávaného výrobku. [5, 19]

Řízení procesů výroby a služeb má být plánováno pro řízení spolehlivosti. Je žádoucí provádět zkoušky spolehlivosti ve všech etapách montáže a instalace produktu. Zkoušení spolehlivosti je prováděno pomocí měřících zařízení a přístrojů. Tato zařízení i algoritmy pro posuzování spolehlivosti musí být kalibrována pro možnost srovnání vzhledem k zavedeným normám. [5, 19]

4.4.4 Měření, analýza a zlepšování

Pro zlepšování systému managementu spolehlivosti je nutné zaznamenávat, měřit a analyzovat spolehlivost svých produktů. Z tohoto důvodu je vhodné: [5, 19]

- zajistit zpětnou vazbu od zákazníka,
- ověřovat efektivnost plánu spolehlivosti,
- měření spolehlivosti produktu v jednotlivých životních etapách.

Organizace by dále měla stanovit procesy pro: [5, 19]

- **Řízení neshodných produktů** – tj. pro produkty s častým výskytem poruch, předčasným opotřebením atd. Ty je potřeba rozpoznat a přijmout příslušná opatření v managementu spolehlivosti.
- **Sběr a analýzu dat** – data je třeba zpracovat a využít, aby byly zjištěny informace o spokojenosti zákazníka, spolehlivosti dodavatelů, aktuálních trendech apod.

4.5 Zavádění certifikace ISO v podniku

Zavádění certifikátu ISO v podniku je finančně i časově náročná činnost. Zisk certifikátu je výhodný zejména proto, že ve většině výběrových řízení je jeho držení nutnou podmínkou pro účast v řízení. Navíc čím dál více podniků požaduje po svých obchodních partnerech jeho vlastnění. Certifikaci provádí příslušné orgány, které mají oprávnění k provádění certifikace od Českého institutu pro akreditaci, případně od zahraničních akreditačních orgánů. [27]

Náklady jsou tvořeny převážně samotnou certifikací, školením zaměstnanců, využitím poradenských služeb pro zpracování příslušné dokumentace a nákupem odborné literatury a norem. Ovšem i po zisku certifikace je nutné počítat s náklady na poradenské služby, provádění auditů a udržování a další vzdělávání a školení zaměstnanců. [27]

Co se týká časové náročnosti, ta závisí převážně na velikosti firmy a časových možnostech zaměstnanců, na způsobu a formě zavádění (ta závisí na volbě ohledně využití poradenské činnosti odborné firmy). [27]

5 UKAZATELE SPOLEHLIVOSTI

Ukazatele obecně jsou nástroje, které umožňují popis náhodných jevů a procesů. V případě ukazatelů spolehlivosti tedy charakterizují spolehlivost objektů a s jejich pomocí můžeme kvantitativně vyjádřit vlastnosti určující spolehlivost, případně požadavky na ni. Vychází přitom z teorie pravděpodobnosti a statistiky. [10, 25]

Běžně jsou používány celé řady ukazatelů spolehlivosti, jejichž výběr závisí na typu zkoumaného objektu, jeho používání a provozních podmínkách. Obecně můžeme ukazatele spolehlivosti rozdělit na: [10]

- **funkce charakterizující** rozdělení pravděpodobnosti sledované náhodné proměnné,
- **číselné charakteristiky** rozdělení pravděpodobnosti sledované náhodné proměnné.

5.1 Normy pro ukazatele spolehlivosti

Ukazatele spolehlivosti řeší dvě aktuálně platné normy: [10]

- **ČSN IEC 50(191)** Mezinárodní elektrotechnický slovník.
Kapitola 191: Spolehlivost a akost' služeb.
- **ČSN EN 61703** Matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a zajištění údržby.

Problémem výše uvedených norem je jejich nesoulad v důsledku použití odlišné terminologie, rozdílného značení ukazatelů a v některých případech i odlišné definice. [10]

Norma ČSN IEC 50(191) rozděluje ukazatele spolehlivosti podle jednotlivých složek spolehlivosti na: [8]

- Ukazatele pohotovosti:
 - funkce okamžité pohotovosti,
 - součinitel střední pohotovosti,
 - střední doba použitelného stavu,
 - součinitel (ustálené) pohotovosti,
 - a další.
- Ukazatele bezporuchovosti:
 - pravděpodobnost bezporuchového provozu,
 - střední intenzita poruch,
 - střední doba do první poruchy,
 - střední doba mezi poruchami,
 - a další.
- Ukazatele udržovatelnosti a zabezpečení údržby:
 - pravděpodobnost doby aktivní údržby,
 - střední intenzita opravy,
 - střední doba opravy,
 - střední pracnost údržby,
 - a další.

Tyto složky spolehlivosti, podle kterých jsou pojmenovány jednotlivé skupiny ukazatelů spolehlivosti ve výše uvedené normě, je vhodné definovat pro jejich lepší pochopení.

Pohotovost je normou ČSN EN 13306 Údržba – Terminologie údržby definována jako „*schopnost objektu být ve stavu schopném fungovat tak, jak je požadováno, a tehdy, když je to požadováno, v daných podmínkách, za předpokladu, že jsou zajištěny nezbytné vnější zdroje*“. [4]

Bezporuchovost je ve stejné normě popsána jako „*schopnost objektu vykonávat požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu*“. [4]

Udržovatelnost je potom vyjádřena jako „*schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo být vrácen do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy a zdroje*“. [4]

Norma ČSN EN 61703 rozděluje ukazatele spolehlivosti dle typu objektů, ke kterým se vztahují. Některé ukazatele jsou přitom použitelné i pro více typů objektu, jejich výpočet je ovšem odlišný a závislý na typu objektu. Tato norma je tedy dělí na: [7]

- Neopravované objekty:
 - pravděpodobnost bezporuchového provozu,
 - okamžitá intenzita poruch,
 - střední intenzita poruch,
 - střední doba do poruchy.
- Opravované objekty s nulovou dobou do obnovy:
 - pravděpodobnost bezporuchového produktu,
 - okamžitý parametr proudu poruch,
 - střední doba provozu mezi poruchami,
 - střední doba do poruchy,
 - a další.
- Opravované objekty s nenulovou dobou do obnovy:
 - pravděpodobnost bezporuchového produktu,
 - střední parametr proudu poruch,
 - součinitel střední pohotovosti,
 - střední doba opravy,
 - a další.

Dále budeme využívat rozdělení a definice ukazatelů spolehlivosti, které jsou uvedeny v normě ČSN EN 61703.

Ke kvantifikaci ukazatelů spolehlivosti se pro zjednodušení výpočtů používají tyto matematické modely: [7]

- **náhodná proměnná** – pro neopravované objekty,
- **prostý proces obnovy** – pro opravované objekty s nulovou dobou do obnovy,
- **prostý střídavý proces** obnovy – pro opravované objekty s nenulovou dobou do obnovy.

Platí zde předpoklady, které je nutno respektovat, aby nedošlo k nesprávnému použití matematických výrazů jednotlivých ukazatelů. Mezi nejdůležitější předpoklady patří: [7]

- objekt je buď v použitelném, nebo nepoužitelném stavu,
- na počátku je objekt tak dobrý, jako kdyby byl nový,
- preventivní údržba a plánované zásahy se neuvažují.

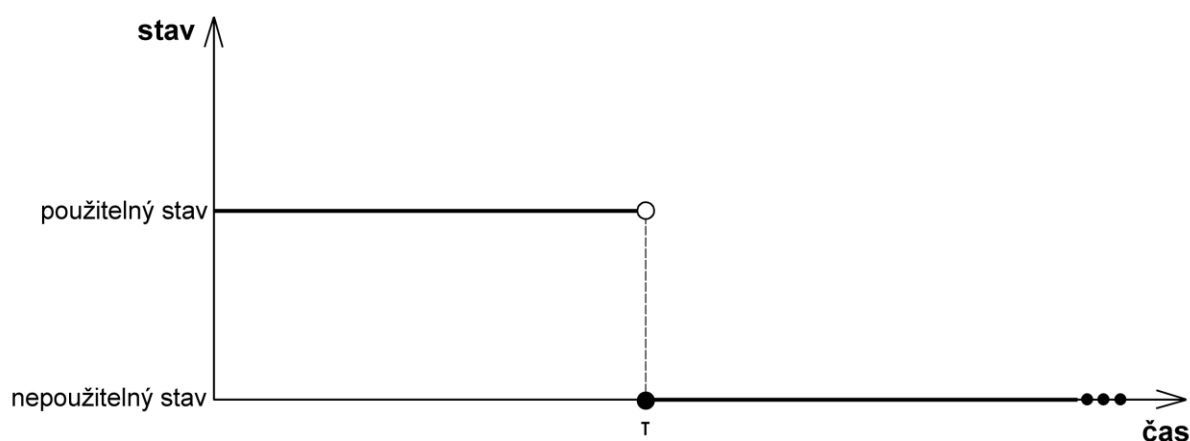
Dále je vhodné uvést, že při přechodu z použitelného do nepoužitelného stavu se jedná o poruchu a při přechodu z nepoužitelného stavu do použitelného stavu se jedná o obnovu. Po každé obnově se uvažuje, že je objekt jako nový. [4]

Definice právě uvedených pojmů jsou obsaženy v normě ČSN EN 13306. Ta popisuje **použitelný stav** jako „stav objektu charakterizovaný skutečností, že objekt může vykonávat požadovanou funkci za předpokladu, že vnější zdroje, jsou-li požadovány, jsou poskytovány“ a **nepoužitelný stav** jako „stav objektu charakterizovaný buď poruchovým stavem, nebo možnou neschopností vykonávat požadovanou funkci během preventivní údržby“. [4]

Již zmíněná norma obsahuje i definici poruchy a obnovy.

Porucha je popsána jako „ukončení schopnosti objektu vykonávat požadovanou funkci“ a **obnova** jako „jev, kdy objekt po poruchovém stavu opět získá schopnost plnit požadovanou funkci“. [4]

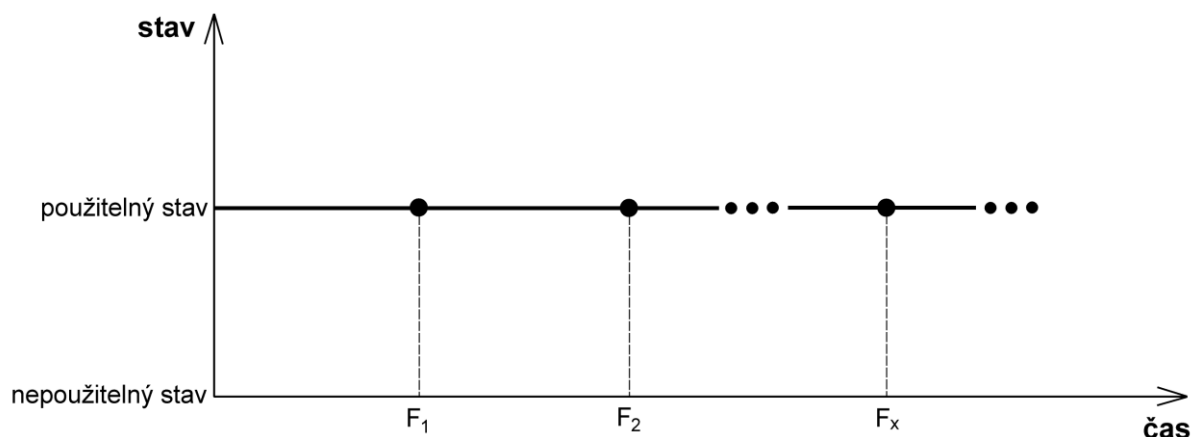
Jak lze vidět na obrázku č. 9, neopravovaný objekt je v použitelném stavu do doby, než dojde k poruše. Poté se objekt stává nepoužitelným.



Obr. 9) Znázornění stavů neopravovaného objektu [7]

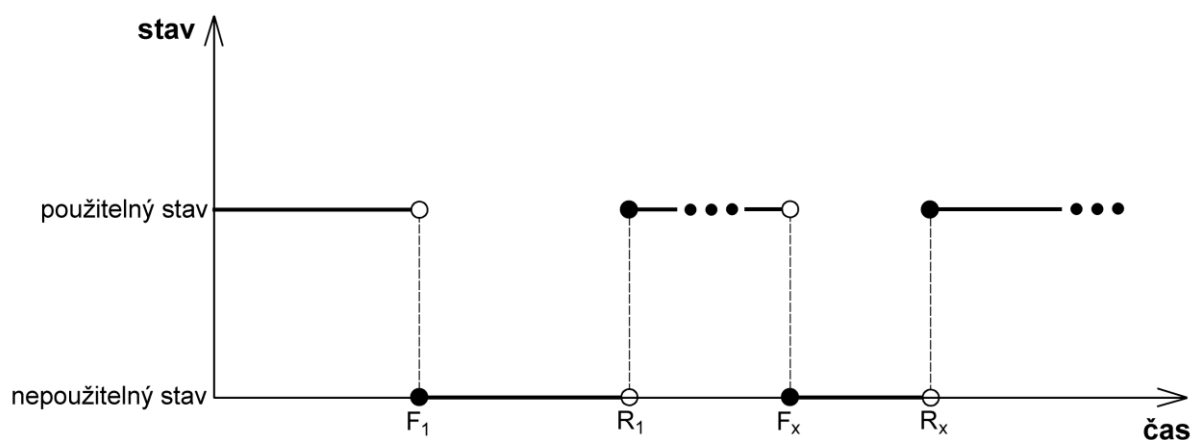
τ – doba do poruchy

Obrázek č. 10 znázorňuje stavy opravovaných objektů, u kterých je doba do obnovy zanedbatelná. Objekt tedy uvažujeme jako ve stále použitelném stavu.



Obr. 10) Znázornění stavů opravovaného objektu s nulovou dobou do obnovy [7]
 $F_1, F_2, \dots, F_x$ – porucha

Znázornění stavů opravovaného objektu s nenulovou dobou do obnovy znázorňuje obrázek č. 11. Při vzniku poruchy se objekt dostává do nepoužitelného stavu, ve kterém setrvává do doby, než dojde k jeho obnově. Poté je opět ve stavu použitelném.



Obr. 11) Znázornění stavů opravovaného objektu s nenulovou dobou do obnovy [7]
 $F_1, \dots, F_x$ – porucha, $R_1, \dots, R_x$ – obnova

Popsat všechny ukazatele, definovat je a uvést pravidla a vzorce pro jejich výpočty by bylo značně obsáhlé a mimo rámec této práce. Tyto ukazatele jsou navíc uvedeny v příslušné normě, a tak by zde byl jejich podrobný popis nadbytečný. Proto budou uvedeny pouze ty, které se dále využijí v praktické části této práce. Jelikož se tato práce bude v praktické části zabývat opravovaným objektem s nenulovou dobou do obnovy, budou zde uvedeny pouze příslušné ukazatele spolehlivosti, tedy ukazatele spolehlivosti pro opravované objekty s nenulovou dobou do obnovy.

5.2 Vybrané ukazatele spolehlivosti objektů s nenulovou dobou do obnovy

Střední doba mezi poruchami

Značení: T_S

Stanoví se jako aritmetický průměr všech dob bezporuchového provozu od dokončení opravy do výskytu následující poruchy, přičemž se do této doby nezahrnuje doba opravy. Platí tedy vztah č. 1. [7, 12]

$$T_S = \frac{t_p}{k_F} \quad (1)$$

kde:

t_p je celková doba provozu stroje,

k_F je celkový počet poruch stroje za dané časové období.

Intenzita poruch

Značení: λ

Intenzita poruch udává frekvenci poruch za dané časové období a vypočítá se dle vztahu č. 2. [12]

$$\lambda = \frac{1}{T_S} \quad (2)$$

kde:

T_S je střední doba mezi poruchami

Pravděpodobnost bezporuchového provozu

Značení: $R(t_1, t_2)$

kde $0 \leq t_1 < t_2$

Ukazatelem bezporuchovosti rozumíme funkci či číselnou hodnotu pro popis rozdělení pravděpodobnosti dané veličiny. Ukazatel pravděpodobnosti bezporuchového provozu vyjadřuje, s jakou pravděpodobností může objekt plnit svou funkci v časovém intervalu $t_1 - t_2$. Obecně jej můžeme vyjádřit dle vztahu č. 3. [7, 10]

$$R(t_1, t_2) = R(t_2) + \int_0^{t_1} R(t_2 - t)v(t)dt \quad (3)$$

kde:

$R(t_2)$ představuje pravděpodobnost přežití do doby t_2 ,

druhý člen rovnice představuje pravděpodobnost obnovy po poruše v čase t ($t < t_1$) a pravděpodobnost přežití do doby t_2 ,

$v(t)$ je okamžitý parametr proudu obnov objektu, tedy $v(t) \cdot \Delta t$ je pravděpodobnost, že obnova objektu nastane během intervalu $(t, t + \Delta t)$.

V případě konstantního průběhu intenzity poruch stroje má náhodná veličina exponenciální průběh rozdělení pravděpodobnosti a platí vztah č. 4. [10, 25]

$$R(t_1, t_2) = \exp(-\lambda \cdot \Delta t) \quad (4)$$

kde:

t_1 je počátek sledování,

t_2 je konec sledované doby,

λ je intenzita poruch,

Δt je doba sledování.

Střední doba do poruchy

Značení: MTTF

Střední doba do poruchy vyjadřuje očekávanou dobu do poruchy a ta je vyjádřena vztahem č. 5. [7, 10]

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (5)$$

Pro exponenciální rozdělení dob do poruchy uvažujeme vztah č. 6. [7]

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (6)$$

6 APLIKACE UKAZATELŮ SPOLEHLIVOSTI

V praktické části této práce bude proveden výpočet některých ukazatelů spolehlivosti reálného objektu.

6.1 Představení firmy

V roce 2001 vznikla v Brně sídlící firma AB komponenty, která se zabývá výrobou dílců a komponent pro strojírenský a elektrotechnický průmysl. V roce 2003 došlo v této společnosti k modernizaci, během které byl obnoven výrobní park, firma získala certifikaci ISO 9001 (systém managementu kvality) a ISO 14001 (systém ochrany životního prostředí). Ve stejném roce navíc začala vyvážet své produkty i mimo Českou republiku. Nyní disponuje rozsáhlým vybavením pro CNC obrábění kovů a zpracování plechů, včetně následných povrchových úprav. Logo firmy je zobrazeno na obrázku č. 12. [23]



Obr. 12) Logo firmy AB komponenty [23]

6.2 Představení zkoumaného objektu

Zkoumaným objektem je víceosé horizontální obráběcí centrum, stroj Kitamura HX630i TGA, který je znázorněn na obrázku č. 13. Do firmy byl zakoupen a uveden do provozu v roce 2014.



Obr. 13) Kitamura HX630i TGA [11]

Základní parametry stroje jsou uvedeny v tabulce č. 1. [24]

Tab 1) Parametry stroje Kitamura HX630i TGA

Kitamura HX630i TGA				
Velikost stolu	Počet os	Otáčky vřetena	Výkon vřetena	Zásobník
630×630 mm	4	35–12000 min ⁻¹	30 kW	45 nástrojů

V celé společnosti jsou pečlivě vedeny záznamy o údržbě jednotlivých strojů. Firma AB komponenty poskytla data z údržby všech svých strojů za období 2013–2016, která byla roztříděna. Pro účel práce byl vybrán právě již představený stroj Kitamura HX630i TGA, který jevil za dané období nejvíce poruch. Pro záznamy poruch a řízení údržby a výroby je používána kombinace programů Excel, DSB Manufacturing Manager a Microsoft Dynamics AX.

Seřízení stroje je prováděno přibližně každé dva dny. Jednou za tři měsíce je provedena preventivní prohlídka stroje, při které dochází ke kontrole kuličkových šroubů a vedení, vyčištění shrnovacích krytů, kontrole bezpečnostních prvků, kontaktů a snímačů a k promazání stroje.

Záznam poruch stroje lze vidět v tabulce č. 2. Od poslední zaznamenané poruchy byl objekt až do února 2016 bez poruchy.

Tab 2) Záznam poruch stroje Kitamura HX630i TGA

Poruchy stroje Kitamura HX630i TGA	
Datum poruchy	Popis poruchy
13. 5. 2014	oprava instalace přívodu elektrické energie a odsávání pracovního prostoru
20. 5. 2014	oprava výměny násad
20. 5. 2014	opravy výměny nástrojů
28. 8. 2014	montáž nového krytování
26. 9. 2014	oprava instalace elektrické energie pro filtrování chladicí kapaliny
13. 11. 2014	oprava instalace osvětlení prostoru zásobníku nástrojů a zapojení ventilátoru zásobníku nástrojů
27. 2. 2015	výměna poškozeného snímače dotykové sondy
28. 4. 2015	oprava dopravníku třísek
11. 5. 2015	oprava výměny nástrojů

6.3 Výpočet vybraných ukazatelů spolehlivosti

Jelikož jednotlivé ukazatele již byly definovány, lze přejít rovnou k výpočtům vybraných ukazatelů. Předpokládáme konstantní průběh intenzity poruch stroje a tedy exponenciální průběh rozdělení pravděpodobnosti.

Střední doba mezi poruchami

Pro výpočet střední doby mezi poruchami použijeme již uvedený vztah č. 1. Jestliže uvažujeme: celkovou dobu provozu stroje $t_p = 1,75$ roku,

celkový počet poruch stroje $k_F = 9$, potom

$$T_S = \frac{t_p}{k_F} = \frac{1,75}{9} = 0,1944 \text{ [rok]}$$

Intenzita poruch

Intenzita poruch se vypočítá jako převrácená hodnota střední doby mezi poruchami T_S a dle vztahu č. 2 tedy platí:

$$\lambda = \frac{1}{T_S} = \frac{1}{0,1944} = 5,143 \text{ [poruch za rok]}$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu

Jako sledované období uvažujeme květen 2014 – únor 2016, tedy

$t_1 = V/2014$,

$t_2 = II/2016$ a potom podle vztahu č. 4:

$$R(t_1, t_2) = \exp(-\lambda \cdot \Delta t)$$

$$R(V/2014, II/2016) = \exp(-5,143 \cdot 1,75) = 1,234 \cdot 10^{-4} [-]$$

Střední doba do poruchy

Střední dobu do poruchy určíme ze vztahu 5:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{5,143} = 0,1944 \text{ [rok]}$$

6.4 Praktický význam vypočtených ukazatelů

Výše byly vypočteny uvedené ukazatele spolehlivosti. Co ale znamenají?

Střední doba mezi poruchami určuje průměrnou dobu, po kterou objekt funguje mezi dvěma po sobě jdoucími poruchami. Tedy pozorovaný stroj pracuje mezi poruchami v průměru 0,19 roku, což přibližně odpovídá 69 dnům.

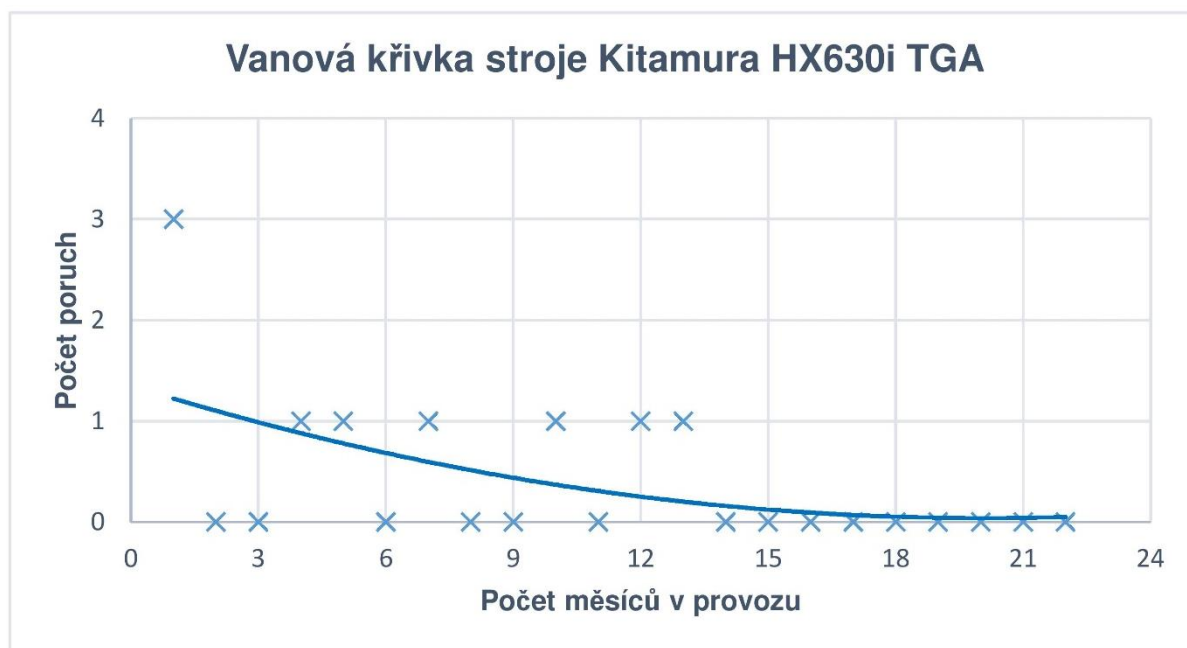
Intenzita poruch udává frekvenci, s jakou se poruchy na objektu vyskytují za určitý čas. V případě zkoumaného objektu se tedy vyskytne přibližně 5 poruch ročně.

Pravděpodobnost bezporuchového provozu je bezrozměrná veličina, která udává, s jakou pravděpodobností bude stroj ve sledovaném období bez poruchy. U námi pozorovaného objektu potom bude pravděpodobnost, že se na stroji nevyskytne za dané doby žádná porucha $1,234 \cdot 10^{-4}$

Střední doba do poruchy je průměrná doba, za kterou nastane nová porucha po poruše předchozí a v podstatě lze pouze o jinou formulaci střední doby mezi poruchami. Vychází tedy stejně jako střední doba mezi poruchami, tj. 0,19 roku, neboli přibližně 69 dní.

6.5 Vanová křivka stroje Kitamura HX630i TGA

Z dat uvedených v tabulce č. 2 byla sestrojena vanová křivka, kterou lze vidět na obrázku č. 14.



Obr. 14) Vanová křivka pro stroj Kitamura HX630i TGA

Poskytnutá data zaznamenávají stroj od jeho uvedení do provozu v květnu 2014 až do února 2016.

Z výše uvedené vanové křivky lze vyčíst, že po uvedení stroje do provozu byl zpočátku častý výskyt poruch, což odpovídá I. zóně v teoretickém průběhu, nazývané také jako období časných poruch. Stroj je zde v záběhu a projevují se poruchy způsobené při výrobě, návrhu nebo při montáži objektu. Výskyt poruch ovšem rychle klesá a stroj se dostává do II. zóny, nazývané jako období normálního provozu, kdy je výskyt poruch přibližně konstantní.

Jelikož je stroj v provozu teprve necelé dva roky, ještě nedospěl do fáze stárnutí, kdy roste intenzita poruch až k nepřijatelné mezí.

7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat rešeršní studii na téma management spolehlivosti. V úvodu práce byly uvedeny definice základních pojmů, které s tímto tématem úzce souvisí, příslušné normy zabývající se danou problematikou a jejich rozdělení a vzájemný vztah. Dále byl rozebrán vztah mezi kvalitou a spolehlivostí, kde bylo objasněno, proč je nutné se spolehlivostí zabýrat. Velká část práce byla následně věnována managementu spolehlivosti, s čímž souvisí pojmy jako například životní etapy výrobku nebo systém managementu spolehlivosti. Poslední kapitola v teoretické části této práce se zabývala ukazateli spolehlivosti. S těmito bylo následně počítáno v praktické části pro stroj Kitamura HX630i TGA.

Při výpočtu ukazatelů spolehlivosti v praktické části byla jako podklad pro výpočet použita data z údržby, které poskytla firma AB Komponenty. Do jejich výpočtu byla zahrnuta i doba, kdy se stroj tzv. zabíhal. Pokud bychom uvažovali pouze období po zaběhnutí, byly by hodnoty ukazatelů jiné, a to příznivější vzhledem k popisu spolehlivosti stroje.

Z poskytnutých dat byla také sestrojena vanová křivka. Zkoumaný stroj projevoval zpočátku větší počet poruch, což souvisí s již zmíněným zaběhnutím stroje. Poté se ale výskyt poruch rychle ustálil a během posledních devíti měsíců se na stroji žádná porucha nevyskytla. To souvisí i s faktem, že je stroj pravidelně seřizován a udržován, což vede k eliminaci nepříznivých jevů, které krom nákladů na opravu stroje přinášejí i finanční ztráty v důsledku prostojů. Nyní se tedy stroj nachází v období s přibližně konstantním výskytem poruch.

Vypočítané hodnoty ukazatelů spolehlivosti lze využít například při plánování údržby, konstrukce vanové křivky může sloužit pro odhad životnosti stroje nebo jako podklad k vývoji dalších generací.

Jak již bylo řečeno, spolehlivostí je nutno se zabývat během celého životního cyklu objektu, od etap návrhu až po likvidaci. Zásah do spolehlivosti objektu je navíc jednodušší, levnější a rychlejší v prvotních životních etapách objektu, tedy při etapách koncepce a návrhu. A protože platí, že spolehlivost je nedílnou součástí kvality výrobku, tak má velký vliv na výslednou kvalitu produktu. S tím také souvisí spokojenost zákazníka, který má na kupovaný produkt určité požadavky.

Management spolehlivosti je řízen příslušnými normami a pro jeho efektivní uplatnění je nutné jeho neustálé přezkoumávání, což je úkolem managementu organizace. V následujících letech bude vhodné prosadit management spolehlivosti ve firmách, což se nyní příliš nedaří. To se děje nejen z důvodu nedostatku odborníků v této oblasti, ale i kvůli nevelkému zájmu firem. Přitom pro konkurenceschopnost ostatním firmám v oboru je nezbytné vyrábět stále kvalitnější a spolehlivější výrobky, které zákazníci požadují. Kvalitní a spolehlivé výrobky, které můžou dlouhou dobu vykonávat svou funkci, mají také menší dopad na životní prostředí.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Bez spolehlivosti není jakosti: materiály z 33. setkání odborné skupiny pro spolehlivost: Praha, listopad 2008: sborník přednášek.* 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 978-80-02-02104-9.
- [2] BRIŠ, Radim, LITSCHMANNOVÁ, Martina. *Statistika II.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1482-7.
- [3] Co je to technická norma? Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [online]. © 2016 [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/co-je-to-technicka-norma->
- [4] ČSN EN 13306. *Údržba – Terminologie údržby.* Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [5] ČSN EN 60300-1. *Management spolehlivosti – Část 1: Systémy managementu spolehlivosti.* Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [6] ČSN EN 60300-1 ed 2. *Management spolehlivosti - Část 1: Návod pro management a použití.* Praha: Český normalizační institut, 2015.
- [7] ČSN EN 61703. *Matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a zajištěnosti údržby.* Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [8] ČSN IEC 50(191). *Medzinárodný elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spôľahlivosť a akosť služieb.* Bratislava: Československý inštitút technickej normalizácie a akosti, 1993.
- [9] HAMMER, Miloš. *Management spolehlivosti.* [prezentace z přednášky]. © 2014 [cit. 2016-04-12].
- [10] HOLUB, Rudolf, VINTR, Zdeněk. *Spolehlivost letadlové techniky (elektronická učebnice)* [online]. Brno, 2001 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://lu.fme.vutbr.cz/files/SpolehlivostLetadloveTechniky.pdf>

- [11] Horizontal machining center KITAMURA Mycenter HX630i TGA for Sale. GMV [online]. 24.4.2016 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.gvmacchine.com/new-machine-tools/sell-horizontal-machining-center-KITAMURA-Mycenter-HX630i-TGA-1071>

- [12] HUSÁK, Miroslav. *12. Spolehlivost systémů* [online prezentace]. [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/x34ezs/prednasky/12%20Spolehlivost%20systemu.pdf>

- [13] KARPÍŠEK, Zdeněk. *Matematika IV.* 4., přeprac. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014, 171 s. ISBN 978-80-214-4858-2.

- [14] LEGÁT, Václav, STÁVEK, Martin. Vztah mezi kvalitou a spolehlivostí. *Časopis KVALITA* [online]. 8.5.2014 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.casopiskvalita.eu/clanky/rocnik-2014/1-2014/vztah-mezi-kvalitou-a-spolehlivosti>

- [15] LEGÁT, Václav. *Management a inženýrství údržby.* 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2013. ISBN 978-80-7431-119-2.

- [16] *Management spolehlivosti v průmyslových aplikacích: materiály z 55. semináře odborné skupiny pro spolehlivost: Brno, červen 2014.* 1. vyd. Brno: Univerzita obrany, 2014. ISBN 978-80-7231-965-7.

- [17] MASHKOV, Viktor, FIŠER, Jiří. *Samokontrola a samodiagnostika na systémové úrovni.* Lviv: Ukrainian Academic Press, 2010. ISBN 978-966-322-169-4.

- [18] MYKISKA, Antonín. *Bezpečnost a spolehlivost technických systémů.* Vyd. 2. přeprac. V Praze: Vydavatelství ČVUT, 2004, 206 s. ISBN 80-01-02868-2.

- [19] *Normy z oblasti managementu spolehlivosti a rizik: Materiály z 24. setkání odborné skupiny pro spolehlivost* [online]. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Spolehlivost/Sborniky/24_Normy_management_spolehlivosti_rizik.pdf

- [20] OBST, Otto. *Základy obecného managementu*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2006. ISBN 80-244-1365-5.
- [21] PELANTOVÁ, Věra, FUCHS, Pavel. *Řízení jakosti a spolehlivosti*. [online]. © 2009 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3278437>
- [22] Podrobné vyhledávání v normách. *ČSN online pro jednotlivě registrované uživatele* [online]. © 2016 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <https://csnonline.unmz.cz/vyhledavani.aspx>
- [23] Profil. *AB komponenty* [online]. © 2016 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.abkomponenty.cz/profil>
- [24] Technologie obrábění – NC technika. *AB komponenty* [online]. © 2016 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.abkomponenty.cz/technologie-obrabeni-nc-technika/>
- [25] VROŽINA, Milan, DAVID, Jiří. *Spolehlivost a diagnostika* [CD-ROM]. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2595-3.
- [26] YANG, Guangbin. *Life cycle reliability engineering*. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, © 2007. ISBN 0471715298.
- [27] Zavedení a certifikace normy ISO 9001. *Info-Kvalita.cz* [online]. © 2004-2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: http://www.info-kvalita.cz/iso_9001_zavedeni_a_certifikace

9 SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ, SYMBOLŮ A ZKRATEK

9.1 Seznam tabulek

Tab 1)	Parametry stroje Kitamura HX630i TGA.....	38
Tab 2)	Záznam poruch stroje Kitamura HX630i TGA	38

9.2 Seznam obrázků

Obr. 1)	Rozdělení norem z oboru spolehlivosti	18
Obr. 2)	Koncepce norem týkajících se managementu spolehlivosti	20
Obr. 3)	Co vše ovlivňuje kvalitu produktu.....	21
Obr. 4)	Vztah managementu spolehlivosti a rizik vůči managementu kvality a celkovému managementu organizace	23
Obr. 5)	Členění životních cyklů	24
Obr. 6)	Schéma systémového přístupu k řešení problematiky spolehlivosti	25
Obr. 7)	Vanová křivka a její části	26
Obr. 8)	Jednotlivé kroky managementu spolehlivosti a jejich posloupnost.....	28
Obr. 9)	Znázornění stavů neopravovaného objektu	33
Obr. 10)	Znázornění stavů opravovaného objektu s nulovou dobou do obnovy	34
Obr. 11)	Znázornění stavů opravovaného objektu s nenulovou dobou do obnovy	34
Obr. 12)	Logo firmy AB komponenty	37
Obr. 13)	Kitamura HX630i TGA	37
Obr. 14)	Vanová křivka pro stroj Kitamura HX630i TGA	40

9.3 Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
λ	[poruch za rok]	intenzita poruch
v	[-]	okamžitý parametr proudu obnov
τ	[rok]	doba do poruchy
F_x	[-]	porucha
k_F	[-]	celkový počet poruch stroje za dané období
MTTF	[rok]	střední doba do poruchy
$R(t_1, t_2)$	[-]	pravděpodobnost bezporuchového provozu
R_x	[-]	obnova
t	[rok]	čas
t_p	[rok]	celková doba provozu stroje
T_s	[rok]	střední doba mezi poruchami

9.4 Seznam zkratk

Zkratka	Význam
CNC	Computer Numerical Control – číslicové řízení počítačem
ČSN	česká technická norma
EN	evropská norma
IEC	International Electrotechnical Commission – mezinárodní elektrotechnická komise
ISO	International Organization for Standardization – mezinárodní organizace pro normalizaci