



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

TEORIE ÚDRŽBY A SPOLEHLIVOST

THEORY OF MAINTENANCE AND RELIABILITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MAREK NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MILOŠ HAMMER CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Marek Novák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Teorie údržby a spolehlivost

v anglickém jazyce:

Theory of maintenance and reliability

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době nabývá na významu problematika spolehlivosti technických systémů. Pro technickou praxi je zvláště důležitá i otázka údržby, která se spolehlivostí úzce souvisí.

Cíle bakalářské práce:

Zpracujte rešerši z dané oblasti, soustřeďte se na teorii údržby a rozeberte vliv údržby na spolehlivost technických systémů. V rámci možností se pokuste uvedené objasnit i na vybraném konkrétním technickém systému ze strojírenské praxe.

Seznam odborné literatury:

1. MYKISKA, Antonín. Bezpečnost a spolehlivost technických systémů. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006, 206 s. Učební texty ČVUT v Praze. Fakulta strojní. ISBN 80-01-02868-2.
2. NOVÁK, M.; ŠEBESTA, V.; VOTRUBA, Z. Bezpečnost a spolehlivost systémů. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2001, 150 s. Učební texty ČVUT v Praze. Fakulta dopravní. ISBN 80-01-02331-1.
3. FAMFULÍK, J.; MÍKOVÁ, J.; KRYŽÁNEK, R.. Teorie údržby. 1. vydání. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2007, 121 s. Učební texty VŠB - TU Ostrava. ISBN 978-80-248-1509-1.
4. VOŠTOVÁ, V.; HELEBRANT, F.; JEŘÁBEK, K. Provoz a údržba strojů. 1. vydání. Praha: vydavatelství ČVUT Praha, 2002. 124 s. ISBN 80-01-02531-4.
5. HELEBRANT, František. Technická diagnostika a spolehlivost, IV. Provoz a údržba strojů. 1. vydání. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. 130 s. ISBN 978-80-248-1690-6.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 26.11.2013




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


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na teorii údržby a spolehlivost. Otázka údržby a spolehlivosti je velmi důležitá při provozu strojů, zařízení atd. a její řešení může vést ke snížení provozních nákladů. V práci jsou popsány základní pojmy související s teorií údržby a spolehlivosti. Je také mimo jiné popsán postupný vývoj systémů údržby. V závěru je uveden příklad ze strojírenské praxe s jeho rozбором a zhodnocením.

KLÍČOVÁ SLOVA

Údržba, spolehlivost, provoz, bezporuchovost, optimalizace nákladů, systémy údržby.

ABSTRACT

The Bachelor thesis is focused on theory of maintenance and reliability. Question of maintenance and reliability is very important during service machine and it can be helpful to reduce operating costs. In the Bachelor thesis are describes basics terms asociated with the theory of maintenance and reliability. Also it provides information about gradual evolution of maintenance systems. In the last part is an examle of engeneering practice with summary and evaluation of an example.

KEY WORDS

Maintenance, reliability, service, reliability, optimalization of costs, maintenance systems.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVÁK, Marek. *Teorie údržby a spolehlivost*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 48 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloš Hammer, CSc..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Teorie údržby a spolehlivost vypracoval samostatně s využitím odborné literatury uvedené v seznamu pod vedením doc. Ing. Miloše Hammera, CSc..

V Brně dne

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji doc. Ing. Miloši Hammerovi, CSc. za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval firmě Edwards s.r.o. za poskytnuté podklady k příkladu ze strojírenské praxe.

OBSAH

Úvod	9
1 Základní termíny údržby dle normy ČSN EN 13 306	10
2 Začlenění problematiky údržby do spolehlivosti.....	12
3 Obecné principy zajišťování spolehlivosti	14
3.1 Vymezení a obecná východiska.....	14
3.1.1 Obecný postup analýz spolehlivosti	22
3.2 Přehled a charakteristika technik analýz spolehlivosti	24
3.3 Stručná charakteristika vybraných metod a postupů	26
4 Provozní spolehlivost	29
4.1 Údržba a zajištění údržby	30
5 Systémy údržby	35
5.1 Systém údržby po poruše	35
5.2 Systém plánovaných preventivních oprav (PPO)	35
5.3 Systém diferencované proporcionální péče (DIPP)	36
5.4 Systém diagnostické údržby	37
5.5 Systém prognostické údržby	38
5.6 Systém automatizované údržby	38
5.7 Systém produktivní údržby (TPM)	39
6 Příklad ze strojírenské praxe	42
Závěr	45
Seznam použitých zdrojů.....	46
Seznam obrázků.....	47
Seznam tabulek.....	48

Úvod

S počátkem vývoje a stále častějším používáním strojů, zařízení, technických systémů atd., se začala formovat a vyvíjet údržba. Za počátek vývoje údržby lze považovat období páry a parních lokomotiv. Zde byla prováděna údržba obsluhou stroje, která měla dobrou znalost okamžitého technického stavu stroje. Dále byla výhodou potřeba malého počtu specializovaných pracovníků na údržbu. Z dnešního pohledu se jedná o systém po poruše, který byl sice schopen zajistit tehdy přiměřenou bezpečnost, ale rozhodně už ne bezporuchovost.

Systémy údržby se dále zdokonalovaly podle potřeby nově přichozích strojů, zařízení, technických systémů atd. Údržba je neodmyslitelnou součástí spolehlivosti. Práce je zaměřena na teorii údržby a spolehlivost.

Dnešní úroveň údržby je velice propracovaná s podporou predikce životního cyklu jednotlivých komponent. Správným sestavením metodik údržby je možno podpořit tvorbu zisku produkovaného hmotným majetkem a prodloužit dobu života hmotného majetku (LCC – Life Cycle Cost) firmy.

1 Základní termíny údržby dle normy ČSN EN 13 306

Údržba

Kombinace všech technických, administrativních a manažerských opatření během životního cyklu objektu zaměřených na jeho udržení ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci. [5]

Management údržby

Všechny manažerské činnosti, které určují cíle, strategie a odpovědnosti údržby a jejich uplatnění takovými prostředky, jako je plánování údržby a zlepšování činností a ekonomie údržby. [5]

Cíl údržby

Cíl je přidělený a přijatý pro činnosti údržby.

POZNÁMKA Tyto cíle mohou zahrnovat například pohotovost, snížení nákladů, kvalitu produktu, ochranu životního prostředí, bezpečnost, ochranu hodnoty majetku. [5]

Strategie údržby

Metoda managementu používaná k dosažení cílů údržby. [5]

Plán údržby

Strukturovaný a dokumentovaný soubor úkolů, do něhož se zahrnují činnosti, postupy, zdroje a časové plánování nutné k provádění údržby. [5]

Požadovaná funkce

Funkce, kombinace funkcí nebo úplná kombinace všech funkcí objektu, které se považují za nezbytné pro poskytování dané služby.

POZNÁMKA 1 Do poskytování dané služby může být též zahrnuta ochrana hodnoty majetku.

POZNÁMKA 2 Daná služba může být vyjádřena nebo předpokládána a v některých případech může být nižší, než je uvedeno ve specifikacích původního návrhu. [5]

Spolehlivost

Schopnost fungovat tak, jak je požadováno, a tehdy, když je to požadováno.

POZNÁMKA 1 Mezi charakteristiky spolehlivosti se zahrnují pohotovost a faktory, které ji ovlivňují (bezporuchovost, stavitelnost, udržitelnost, zajištění údržby), a v některých případech životnost, hospodárnost, integrita, bezpečnost, zabezpečení a podmínky používání.

POZNÁMKA 2 Spolehlivost se používá popisně jako nadřazený termín pro charakteristiky kvality produktu nebo služby, které se vztahují k času. [5]

Zajištění údržby

Schopnost údržbářské organizace mít správné zajištění údržby na nezbytném místě k provedení požadované činnosti údržby, když je požadována. [5]

Provoz

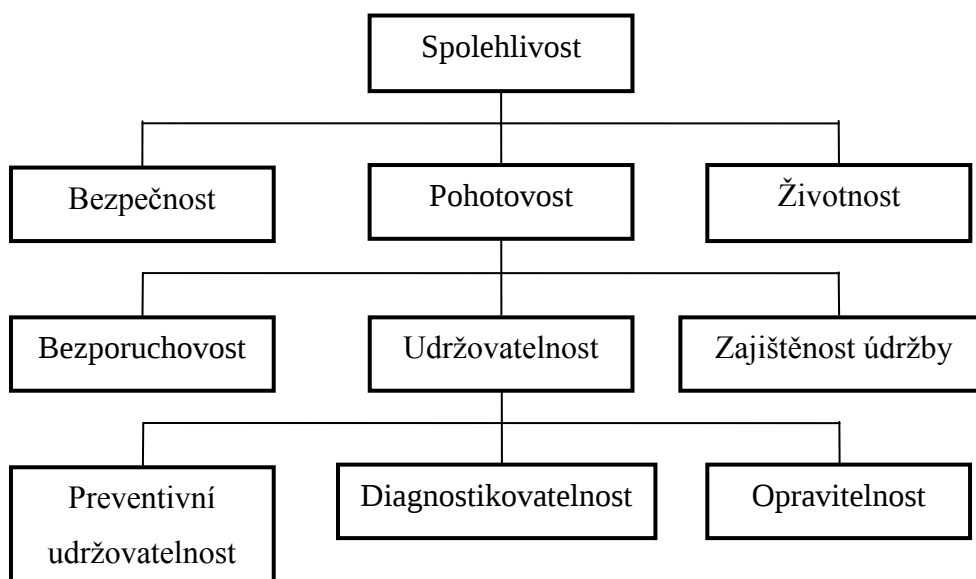
Kombinace všech technických, administrativních a manažerských opatření, jiných než jsou zásahy údržby, které vedou k používání objektu. [5]

Objekt (entita)

Část, součást, přístroj, subsystém, funkční jednotka, zařízení nebo systém, které je možné individuálně popsat a kterými je možné se individuálně zabývat.

2 Začlenění problematiky údržby do spolehlivosti

Spolehlivost chápeme jako funkční stálost zařízení danou kombinací souboru specifikovaných vlastností viz. obr.2-1.



Obr. 2-1 Spolehlivost – funkční stálost zařízení [4]

Spolehlivost se zohledňuje již při období návrhu na výrobu výrobku a dále přes všechny následující etapy vývoje, konstrukce, projektu, užívání až po ukončení funkčnosti výrobku. [4]

Spolehlivost výrobních zařízení velmi ovlivňuje požadavky na údržbu. Znalost spolehlivosti je potřebná pro celkovou obnovu výrobních zařízení, dále je nezbytná pro optimalizaci zálohování, nezbytná pro optimalizaci preventivní údržby. Ukazatele spolehlivosti jsou mírou výkonnosti a účinnosti údržby. [4]

Východiskem pro řešení problematiky spolehlivosti je vyjádření kritéria ztráty spolehlivosti plnit požadované funkce, tj. kdy nastane porucha. V případě kvantitativního vyjádření spolehlivosti je nutno pro jednotlivé specifikované dílčí vlastnosti zvolit jejich kvantitativní míry = ukazatele, přitom je třeba je třeba zařízení rozdělit na neopravované (neobnovované) a opravované (obnovované). [4]

V praxi je pojem spolehlivost často zužován na pohotovost, což je jen jedno z měřítek spolehlivosti. [4]

Spolehlivost ovlivňují především dvě dílčí spolehlivostní vlastnosti: bezporuchovost a udržitelnost. Co omezuje a snižuje bezporuchovost (co bylo zanedbáno nebo opomenuto), to musí dohnat udržitelnost a naopak. [4]

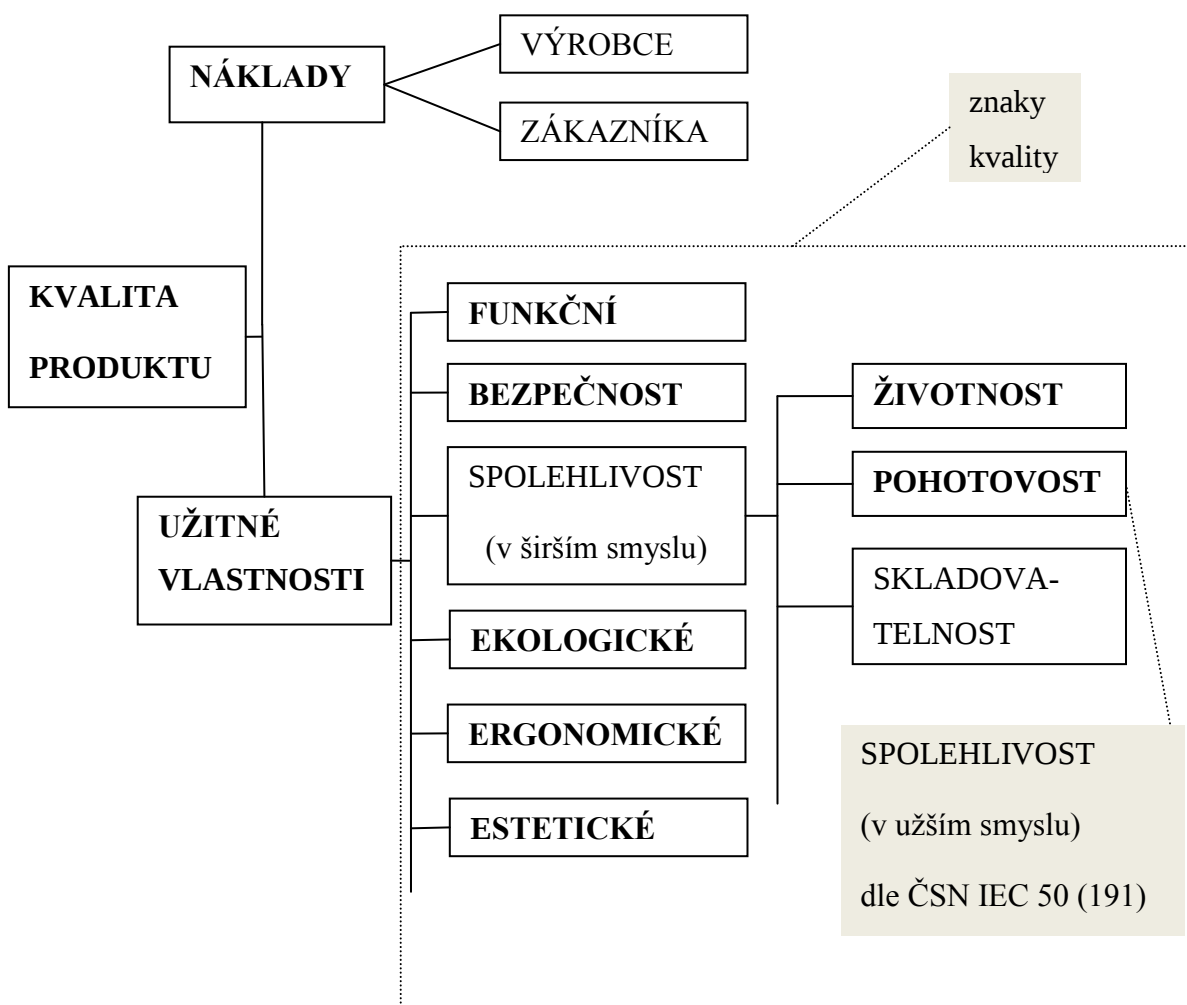
Tab. 2-1 Definice spolehlivosti a dílčích vlastností [4]

Spolehlivost (reliability)	Obecný termín vyjadřující stálost funkčních a dalších vlastností zařízení (výrobku) během jeho používání za stanovených podmínek.
Provozní spolehlivost (operational reliability)	Schopnost objektu plnit požadovanou funkci v době svého požadovaného provozního využití, tj. v jaké míře je spolehlivý, tj. pravděpodobnost, že provozně využívané zařízení bude plnit svoji funkci.
Pohotovost (availability)	Schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadovanou funkci v daných podmínkách, v daném požadovaném okamžiku nebo intervalu, za předpokladu splnění požadovaných vnějších podmínek = % část kalendářního fondu, po kterou je zařízení schopno plnit svou funkci.
Udržitelnost (maintainability)	Schopnost zařízení v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v souladu s předepsanými podmínkami.
Zajištěnost údržby (maintenance support)	Schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu podle dané koncepce.
Opravitelnost (repairability)	Způsobilost objektu ke zjištění příčin jeho poruchy a fyzickým zásahem (opravou) obnovení jeho požadované funkce.
Preventivní udržitelnost (preventive maintainability)	Schopnost zařízení v daných podmínkách používání setrvat ve stavu, v němž může plnit požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v souladu s předepsaným časovým plánem v předepsaném rozsahu.
Diagnostikovatelnost	Schopnost zařízení k využití diagnostických přístrojů (vestavěných i samostatných) a metod pro sledování, zjištění a lokalizaci poruchových stavů a degračních změn provozních parametrů.
Bezporuchovost (reliability)	schopnost objektu plnit (bez poruchy) požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém období.
Životnost (durability)	Schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách používání a údržby do mezního stavu, který lze charakterizovat ukončením užitečného života, nevhodností z důvodů ekonomických, technických nebo jinými závažnými faktory.

3 Obecné principy zajišťování spolehlivosti

3.1 Vymezení a obecná východiska

Z hlediska obecné definice kvality ve smyslu schopnosti uspokojovat splnění požadavků jsou dominantní vlastnosti - znaky kvality - funkčnost, bezpečnost a spolehlivost viz. obr. 3-1.[1]



Obr. 3-1 Vyjádření kvality produktu pomocí znaků kvality a nákladů [1]

Požadavky na spolehlivost se obecně předpokládají (např. zvyklost nebo běžná praxe organizací, jejich zákazníků a dalších zainteresovaných stran) nebo jsou stanoveny smluvními vztahy, ale v řadě případů jsou závazné, vyplývající z právních předpisů. Poslední případ se týká zejména bezpečnosti (vprojektované, inherentní, provozní), kdy

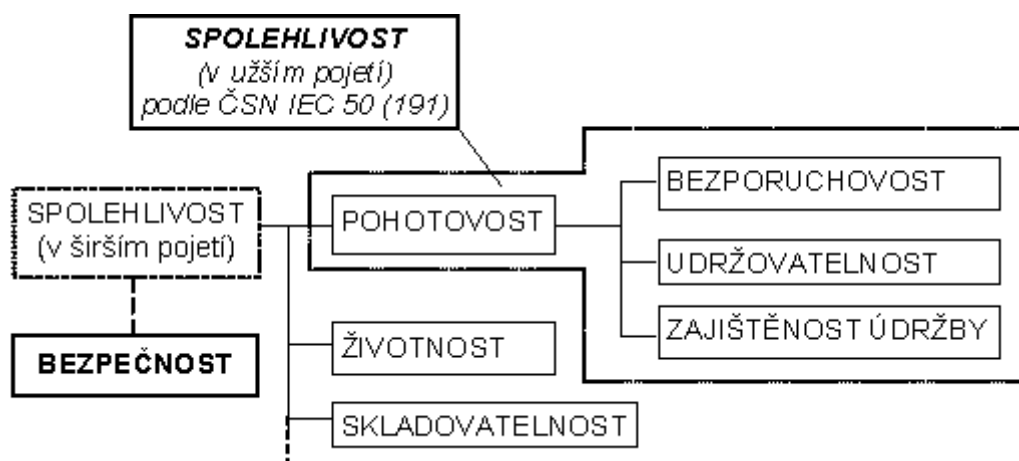
stát pomocí právních předpisů formuluje požadavky na výrobky (produkty), procesy a systémy, aby chránil své obyvatelstvo tak, aby míra rizika poškození zdraví osob, životního prostředí nebo materiálních ztrát (tj. ohrožení tzv. veřejných oprávněných zájmů) byla omezena na přijatelnou úroveň. [1]

Obsah termínu spolehlivost se vyvíjel a v současné době je nejčastěji chápán v širším a užším pojetí. [1]

Spolehlivost v širším pojetí je chápána jako stálost užitných vlastností (funkčních, ekologických, ergonomických atd.) objektu po stanovenou dobu a za stanovených podmínek užívání. Takto obecně chápáná spolehlivost v širším pojetí se v jednotlivých konkrétních případech vyjadřuje “díličními vlastnostmi” – životností, bezporuchovostí, udržitelností, zajištěností údržby, skladovatelností, provozní bezpečností atd. a jejich kombinacemi, např. pohotovostí, operační pohotovostí, technickým využitím apod. Viz. obr. 3-2. [1]

Spolehlivost v užším pojetí podle norem ČSN EN ISO 9000 a ČSN IEC50(191) je definována jako souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které je ovlivňují: bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby.

Terminologická poznámka: Názvoslovná norma ČSN IEC 50(191) z oblasti přednostně používá termín objekt (entita), definovaný jako jakákoliv část, součást, zařízení, část systému, funkční jednotka, přístroj nebo systém, s kterým je možné se individuálně zabývat. Objekt se může skládat z hardwaru, softwaru nebo obojího a mohou do něho být zahrnuti i lidé. V národní poznámce se v normě uvádí, že v praxi se používají i termíny výrobek, vzorek, jednotka a předmět. V dalším textu bude upřednostněn termín objekt, příp. výrobek (produkt) ve výše uvedeném významu. [1]



Obr. 3-2 Vymezení spolehlivosti v širším a užším pojetí [6]

Je třeba zdůraznit, že vymezení spolehlivosti objektů je vždy úzce vázáno na vymezení jejich požadovaných funkcí pro stanovené podmínky užívání a stanovenou dobu. Dále lze obecně říci, že spolehlivost se zabývá studiem, kvalitativními i kvantitativními charakteristikami a ovlivňováním těch znaků kvality, které se mění časem (s dobou užívání, provozu), a celým souborem konstrukčních, technologických a provozních opatření, která schopnost plnit požadované funkce v čase ovlivňují. To se zjednodušeně vyjadřuje, že „spolehlivost se zabývá kvalitou v čase“, resp., že „spolehlivost je kvalita v čase“. [1]

Obecným východiskem řešení problematiky spolehlivosti objektů je vyjádřit ztrátu jejich schopnosti plnit požadované funkce při jejich užívání a následků, které to vyvolává (tj. výskyt poruchy, kritické poruchy, mezního stavu apod.), a to ze stanovených podmínek a po předpokládanou nebo stanovenou dobu. Proto odpovědnost ve vztahu k spolehlivosti není jen záležitost výrobců, ale je sdílena i na zákazníky, což lze rámcově a stručně shrnout takto:

- **Výrobce** obecně zodpovídá za stanovení požadavků na spolehlivost pro stanovené podmínky a dobu užívání, jejich “vkonstruování” (“vprojektování”) do návrhu či projektu, dále za inherentní životnost, bezporuchovost atd. realizovanou během výrobních etap, za stanovení politiky údržby a podstatnou měrou zajištěnost údržby (jak po poruše, tak preventivní).
- **Zákazník** má obecně odpovědnost především za dodržování stanovených podmínek užívání, tj. zejména provozních podmínek (zatížení, namáhání, podmínky prostředí), za zacházení (kvalifikovanost údržby apod.), za zajištění provádění preventivní údržby

a podle okolností sdílí či přejímá odpovědnost za údržbu po poruše a zajištění údržby v podmínkách organizace. [1]

Problematika spolehlivosti je nedílnou a velmi důležitou **součástí péče o kvalitu** a realizaci „obecné“ péče o kvalitu v organizacích má společnou:

- **“manažerskou”** stránku – stanovení cílů a pro jejich realizaci v organizaci nezbytné vymezení odpovědností a pravomocí, procesů, postupů, zdrojů atd.,
- **“technickou”** stránku – stanovení konkrétních metod, postupů a technik používaných v podmínkách organizace,
- nutnost **řešit** problematiku spolehlivosti **během celého životního cyklu**. [1]

K dosažení požadované optimální spolehlivosti je proto nutné se v rámci managementu organizace, resp. managementu kvality systematicky zabývat managementem spolehlivosti pro zabezpečení spolehlivosti, což schematicky vyjadřuje obr. 3-3. **Management spolehlivosti se v organizacích uplatňuje** pro všechny činnosti a procesy podél smyčky kvality, resp. **pro všechny etapy životního cyklu výrobků**. [1]



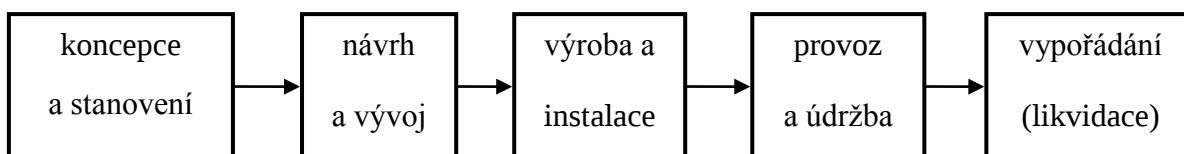
Obr. 3-3 Hierarchické uspořádání managementu organizace, kvality, rizik a spolehlivosti [6]

Členění životního cyklu výrobků na pět etap podle norem ČSN IEC je na obr. 3-4. Obsahem jednotlivých etap obecně je:

- stanovení potřeby výrobku a specifikace požadavků na výrobek, včetně požadavků na spolehlivost,
- vytvoření projektového či konstrukčního řešení hardwaru a/nebo softwaru výrobku, navazující návrh a dokumentace podrobné specifikace jeho výroby (resp.

programování) včetně zpracování další dokumentace výrobku, jako jsou instrukce k použití a údržbě; z pohledu spolehlivosti, to vše s využitím přiměřených technik, postupů a nástrojů inženýrství spolehlivosti; v případě sériové výroby včetně zhotovení vývojového modelu (prototypu) a ověření znaků spolehlivosti atd.,

- vlastní výroba a/nebo sestavení (montáž) výrobku, kopírování softwaru apod., doprovázené zkoušením s validací znaků kvality a spolehlivosti,
- instalace a uvedení do provozu a posuzováním a prokázáním bezporuchovosti a udržitelnosti,
- provoz výrobku (tj. jeho používání ke stanovenému účelu), zahrnující zejména zajišťování podmínek provozu a údržby s průběžným sběrem a zpracováním dat s posuzováním dosahované výkonnosti a provozní spolehlivosti,
- po ukončení etapy provozu a údržby vyjmutí výrobku z místa používání, jeho vyřazení z provozu s následnou demontáží a zničením, nebo je-li to požadováno, jeho uložení v chráněném prostředí. [1]



Obr. 3-4 Členění životního cyklu výrobku na pět etap podle norem ČSN IEC [1]

Vedle uvedených společných stránek s obecnou problematikou péče o kvalitu **má řešení problematiky spolehlivosti** svá výrazná **specifika**: spolehlivost výrobku nelze vytvořit a měřit “přímo” jako jeho funkční, ekologické a další znaky kvality, ale nepřímo tak, že během celého životního cyklu výrobku je nutno vytvářet předpoklady a podmínky, aby jejich specifikované požadované úrovně bylo při užívání výrobku dosahováno s dostatečnou jistotou. Jako další specifika lze uvést:

- relativně **složitější vymezení** zejména spolehlivosti; navíc v posledních letech došlo k určité změně ve vymezení termínu spolehlivost a životnost,

- **obtížnější kvantifikace**, protože sledovanými veličinami jsou náhodné veličiny, jejich poslušnosti apod.; je tedy nutné využívat aparát teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky se všemi důsledky, které z toho vyplývají,
- pravděpodobnostní a statistický charakter hodnocení spolehlivosti vyžaduje **informační systém** se systematickým a dlouhodobým sběrem, zpracováním a využíváním dat. [1]

Závěrem je nutné zdůraznit, že pohotovost, bezporuchovost, udržitelnost, zajištěnost údržby, životnost, skladovatelnost atd. patří mezi základní znaky kvality a požadavky na ně bývají často specifikovány jako klíčové, protože mají významný vliv na:

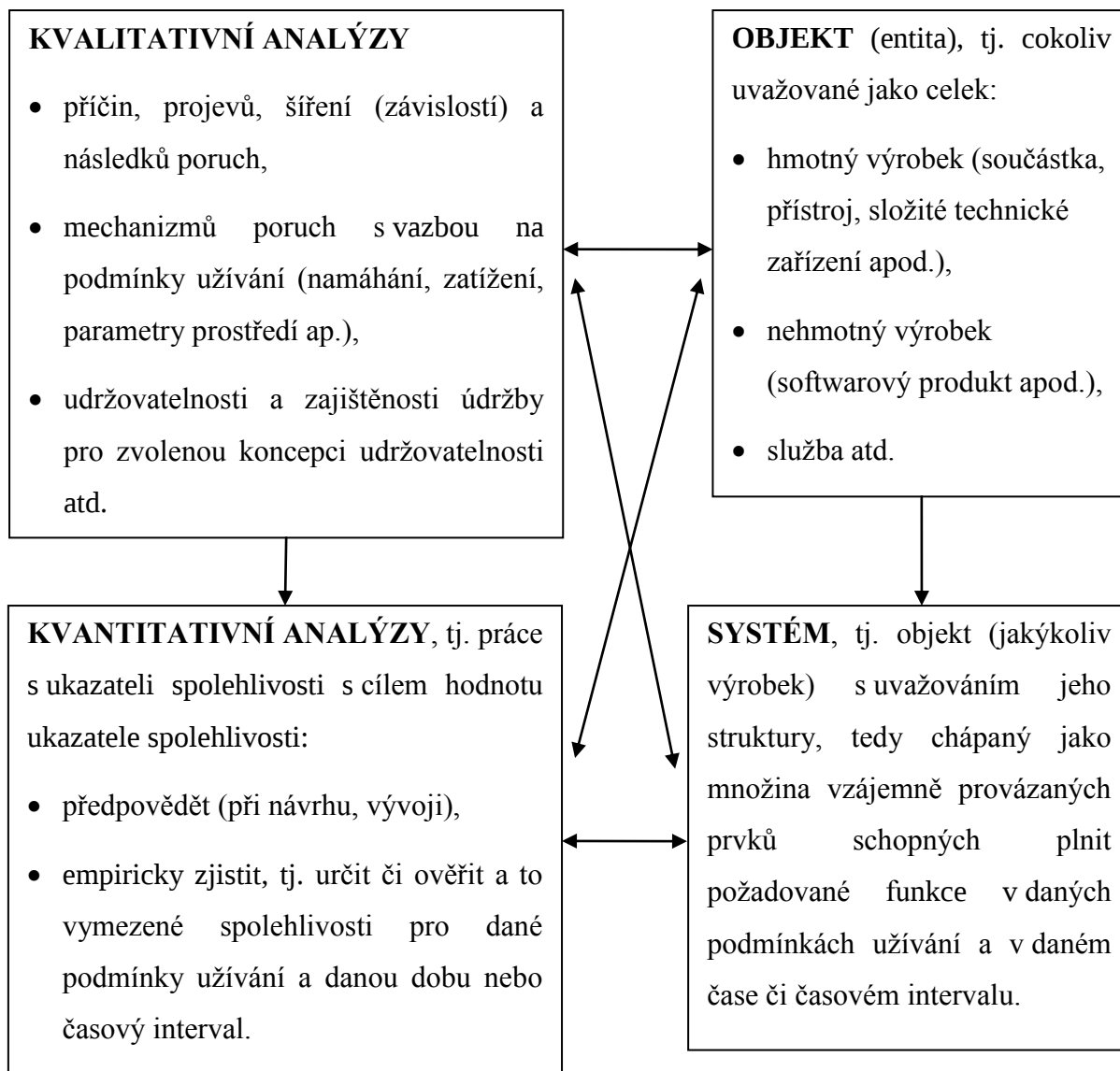
- celkovou schopnost výrobku uspokojovat uživatele,
- provozní náklady, náklady na údržbu při jeho využívání, případné sankce za nedodržování požadavků na ztráty způsobené jeho provozuneschopností (nedisponibilitou) atd. [1]

V mnoha případech bývají počáteční náklady podstatným činitelem, který ovlivňuje volbu zákazníka-uživatele; ty jsou však pouze částí celkových nákladů vyplývajících z vlastnictví výrobku. Náklady na provoz a údržbu mohou být podstatně sníženy, je-li výrobek navržen tak, aby měl vyšší bezporuchovost a byl snadno udržitelný, což vyžaduje od výrobce zpravidla vyšší náklady na vývoj a výrobu, které se pak projevují ve vyšší ceně – a tedy pořizovacích nákladech uživatele. Zkušenosti však ukazují, že náklady na údržbu (preventivní a po poruše) mohou značně převýšit původní pořizovací náklady. [1]

Připomeňme ještě, že analýzy spolehlivosti objektů mají dva vzájemně se prolínající přístupy viz. obr. 3-5:

- **kvalitativní**, spočívající ve studiu a zkoumání druhů, příčin, závislostí, projevů a následků poruch s návaznou analýzou možností, jak jim předcházet nebo odstraňovat jejich následky, ev. i příčiny; je nutné zdůraznit, že v předvýrobních etapách životního cyklu jde o analýzy potenciálně možných druhů poruch, jejich příčin, závislostí a následků,
- **kvantitativní**, kdy spolehlivostní vlastnosti vyjadřované pomocí ukazatelů umožňují u navrhovaného (ale i realizovaného) systému stanovit jeho spolehlivostní úroveň v závislosti na ukazatelích spolehlivosti jeho prvků a vhodnou alternativou návrhu

dosáhnou předem požadované specifikované úrovně; **v předvýrobních etapách**, kdy systém fyzicky neexistuje, mají všechny výsledky charakter **výpovědí**. [1]



Obr. 3-5 Schéma možností aplikace analýz spolehlivosti [1]

Predikční a iterační charakter výpočtů

Používají-li se v předvýrobních etapách kvantitativní analýzy, využívají se za situace, kdy systém fyzicky neexistuje. Odhady ukazatelů spolehlivosti fyzicky již existujících objektů lze získávat statistickými metodami ze zkoušek spolehlivosti, což je obecně možné u objektů na nižší úrovni funkční složitosti (součástky, jednodušší obvody, moduly, bloky,

přístroje apod.), z nichž jsou pak navrhovány a vytvářeny různé složitější systémy se vzájemně odlišnými funkcemi. Kvantitativní hodnocení v období jejich návrhu lze provádět pouze výpočty s využitím aparátu teorie pravděpodobnosti a **výsledky mají** výše zmíněný **predikční charakter**, tj. **charakter předpovědi**. Jde o předvídání spolehlivosti dříve, než je systém realizován, instalován a uveden do provozu. Jejich význam spočívá mimo jiné v tom, že umožňují budoucím uživatelům poskytnout předem určité záruky, že systém bude vyhovovat stanoveným specifikacím na spolehlivost. [1]

V období, kdy systém fyzicky neexistuje, lze údaje o ukazatelích spolehlivosti navrženého systému podložit pouze uvedenými predikčními výpočty. Aby prezentace těchto předpovědí byla správná a úplná, musí obsahovat řadu dalších údajů, které definují předpoklady, za nichž výpočty ukazatelů byly provedeny.

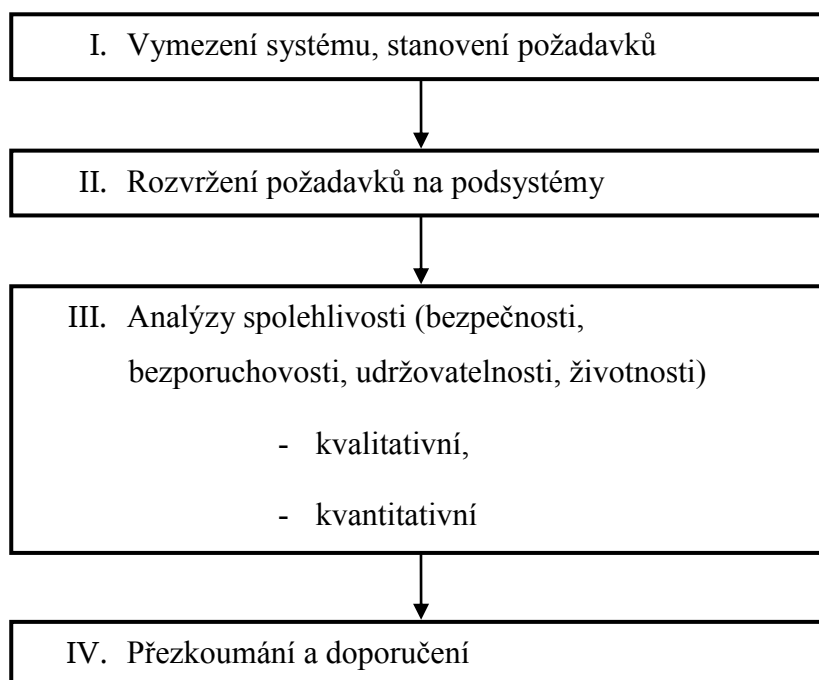
Pozn.: Z tohoto pohledu predikční výpočty poskytují informace o tom, jakých hodnot ukazatelů spolehlivosti může být dosaženo při provozu systému, budou-li splněny uvažované předpoklady. To se někdy označuje jako jejich informativní charakter. [1]

Předpovědi ukazatelů bezporuchovosti, udržitelnosti, pohotovosti, ale rovněž životnosti systému jsou obecně výsledkem poměrně složitějšího vícestupňového procesu. Aby byl k dispozici dostatek informací pro posouzení nejen prezentovaných výsledků, ale i principů a prostředků, jimiž byly získány, je nutné k vlastním číselným výsledkům uvádět poměrně rozsáhlý soubor informací [1]

Dalším typickým rysem výpočtů ukazatelů spolehlivosti systémů v období jejich návrhu je jejich **iterační charakter**: řešení je zpočátku založeno na relativně malém množství informací, analýzy a výpočty mají nejdříve jen charakter výchozích orientačních odhadů, umožňujících posoudit dosažitelnost zadaných hodnot pro různé varianty návrhů technického řešení za současného posouzení jejich ekonomické efektivity. S postupem vývoje či projektu systému se informovanost zvyšuje, avšak možnosti změn v technickém, konstrukčním a algoritmickém řešení na základě zpřesněných analýz spolehlivosti jsou stále obtížnější a nákladnější. Proto podrobné hodnocení spolehlivosti je účelné provádět v etapě postupného upřesňování návrhu s přechodem ke konečné struktuře projektovaného systému. [1]

3.1.1 Obecný postup analýz spolehlivosti

Základním nástrojem hodnocení spolehlivosti systémů jsou různé techniky analýz spolehlivosti. Analýzy spolehlivosti se provádějí v etapě specifikace požadavků a volby koncepce systému a pak zejména v etapě návrhu a vývoje, ale i v etapě provozu, a to na různých úrovních a stupních rozkladu systému na prvky. Výsledky analýz se využívají pro porovnání výsledků se specifikovanými požadavky, umožňují vyhodnotit kvalitativní charakteristiky a odhadnou ukazatele životnosti, bezporuchovosti, udržitelnosti, pohotovosti atd., které popisují předpovězené dlouhodobé provozní chování systému pro stanovené podmínky užívání. [1]



Obr. 3-6 Schéma obecného postupu analýzy spolehlivosti (podle ČSN IEC 300-3-1) [1]

Obecný postup analýzy spolehlivosti zahrnuje **čtyři základní kroky** (obr. 3-6), jsou-li možné a aktuální. V jednotlivých krocích se řeší tyto jednotlivé dílčí úkoly:

I. Vymezení systému a stanovení požadavků:

- vymezí se požadavky na analyzovaný systém, na jeho provozní režimy a funkční vztahy k vyšším úrovním a sousedním systémům nebo procesům,

- vymezí se jeho spolehlivost a vypracuje se seznam všech požadavků na životnost, pohotovost, bezporuchovost, udržitelnost atd., na jeho charakteristiky a vlastnosti včetně podmínek prostředí a provozu a požadavků na údržbu,

Pozn.: Požadované hodnoty ukazatelů spolehlivosti systémů se stanoví např.:

- z normativně - legislativních podkladů (v letectví, jaderné energetice, v oblasti ochrany životního prostředí),
- z ekonomických analýz nákladů na životní cyklus, tj. celkových nákladů na vývoj, výrobu a provoz, které jsou optimální z hlediska přínosů a ztrát při návrhu, realizaci a provozu,
- z tzv. “úrovně spolehlivosti standardní v daných podmínkách a souvislostech”;
- vymezí se porucha systému a určí se kritéria poruch a podmínky založené na funkční specifikaci systému, očekávaných následků poruch (rozlišní poruch systému na kritické, podstatné a nepodstatné, na trvalé a občasné atd.). [1]

II. Rozvržení požadavků na podsystémy (bloky, komponenty):

pokud se požadují číselné výsledky, doporučuje se požadavky založené na předběžném návrhu rozvrhnout na požadavky na jeho podsystémy, bloky, prvky apod.; k tomu je nezbytné provést rozklad systému na prvky, při němž se respektují hlediska, že prvky:

- tvoří dílčí ucelené konstrukční nebo funkční části minimálně o řád jednodušší,
- jsou dodávány subdodavateli,
- podléhají jako celky obnově.

Pozn.: Rozklad bývá často hierarchický, čemuž odpovídá používaná terminologie: podsystémy, moduly, prvky, součástky. Pro kvantitativní analýzy systému musí být prvky zvoleného rozkladu popsány známými nebo odhadnutými ukazateli spolehlivosti. [1]

III. Analýzy spolehlivosti:

systém se analyzuje s využitím zvolených metod a postupů (tj. technik) analýz spolehlivosti a závažných dat o výkonnosti:

- **kvalitativní analýzy** zahrnují analýzu funkční struktury systému a stanovení druhů poruchových stavů, mechanismů poruch, příčin, projevů a následků poruch systému a součástí, analýzy udržitelnosti jednotek, určení možných strategií údržby a oprav, bezporuchovosti atd.,
- **kvantitativních analýz:** určí se referenční data, která se budou používat, a provedou se číselná vyhodnocení spolehlivosti, analýzy kritičnosti a citlivosti součástí, vyhodnotí se možná zlepšení vlastností systému využitím nadbytečných dílčích struktur, vlivem strategie údržby atd. [1]

IV. Přezkoumání a doporučení (hodnocení splnění požadavků a nápravných opatření):

analyzuje se, zda jsou požadavky na spolehlivost splněny a zda alternativní návrhy mohou ekonomicky efektivně zvýšit spolehlivost.

Na základě zvážení účelu a významnosti jednotlivých kroků uvedeného obecného postupu analýzy a zhodnocení možností, výhod a nedostatků jednotlivých metod se provede jejich výběr; většinou se jednotlivé metody analýzy vzájemně doplňují. [1]

3.2 Přehled a charakteristika technik analýz spolehlivosti

Po vymezení systému, popisu jeho požadované funkce, podmínek provozu a prostředí užívání se pro definovaná kritéria poruchy volí vhodná reprezentace funkce systému z hlediska jeho vymezené spolehlivosti a sestavuje se **spolehlivostní model systému**, kterým se rozumí grafické znázornění, matematický či jiný popis struktury systému, vyjadřující vztah mezi touto strukturou a spolehlivostními vlastnostmi systému v daných podmínkách použití. [1]

Analýzy poruch systému se provádějí dvěma přístupy:

- **deduktivně**, tj. shora dolů;
- **induktivně**, tj. zdola nahoru

Techniky analýz spolehlivosti lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

- postupy a metody **vyvinuté speciálně pro analýzu spolehlivosti** používané zejména pro předpověď, přezkoumání a zlepšování bezporuchovosti, udržitelnosti a pohotovosti; jejich přehled a využití pro jednotlivé úkoly popsaného postupu obecné analýzy spolehlivosti shrnuje podle ČSN IEC 60300-3-1 tab. 3-1; mnohé z těchto metod jsou podrobněji popsány v jednotlivých samostatných normách ČSN IEC,
- obecné inženýrské metody a postupy analýz, které se využívají také pro analýzy spolehlivosti, např. Paretova analýza, analýza příčina-následek, analýza metodou konečných prvků, studie udržitelnosti, metoda odlehčení a volby dílů, metody nežádoucích obvodů, analýza nejhoršího případu, simulační modelování kolísání, inženýrství bezporuchovosti softwaru, systém záznamů o poruchách a jejich

analýzy a opatření k nápravě; jejich charakteristiky lze nalézt v normě IEC 60300-3-1. [1]

Tab. 3-1 Použitelnost vybraných metod analýzy spolehlivosti [1]

Název a značení metod	Rozvržení požadavků na spolehlivost	Kvalitativní analýza	Kvantitativní analýza	Přezkoumání a doporučení	Norma IEC
Předpověď intenzity poruch	Použitelná pro sériové systémy bez redundance	Možná pro analýzu strategie údržby	Výpočet intenzit poruch a MTTF elektrotechnických zařízení a součástek	Podpůrná	IEC 61709
Analýza stromu poruch/poruchových stavů FTA	Použitelná, není-li chování systému silně závislé na čase nebo pořadí	Kombinace poruchových stavů	Výpočet bezporuchovosti pohotovosti systémů a relativních příspěvků podsystémů k nepohotovosti systému	Použitelná	IEC 61025
Analýza stromu událostí - ETA	Možná	Posloupnosti poruch	Výpočet intenzity poruch	Použitelná	
Analýza blokového diagramu bezporuchovosti BRD	Použitelná pro systémy s nezávislými bloky	Cesty úspěchu (dosažení funkceschopného stavu)	Výpočet bezporuchovosti a pohotovosti systémů	Použitelná	IEC 61078
Markovova analýza - MA	Použitelná	Posloupnosti poruch	Výpočet bezporuchovosti a pohotovosti systémů	Použitelná	IEC 61165
Analýza Petriho sítí	Použitelná	Posloupnosti poruch	Pro poskytování popisu systému pro MA	Použitelná	
Analýza druhů a důsledků poruch - FMEA (FMECA)	Použitelná pro systémy, v nichž ovládají jednotlivé nezávislé poruchy	Důsledky poruch		Použitelná	IEC 60812
Studie HAZOP	Podpůrná	Příčiny a důsledky odchylek	Nepoužitelná	Podpůrná	IEC 61078
Analýza bezporuchové činnosti člověka - HRA	Podpůrná	Dopad výkonnosti člověka na provoz systému	Výpočet pravděpodobnosti chyb při plnění úkolů člověkem	Podpůrná	
Analýza namáhání - pevnost	Nepoužitelná	Použitelná jako prostředek pro zabránění vzniku poruchových stavů	Výpočet bezporuchovosti pro (elektro) mechanické součásti	Podpůrná	
Pravdivostní tabulka pro analýzu funkční struktury - TTM	Nepoužitelná	Možná	Výpočet bezporuchovosti a pohotovosti systémů	Podpůrná	IEC 61078
Statistické metody bezporuchovosti	Možná	Dopad poruchových stavů	Kvantitativní odhad bezporuchovosti s nejistotami	Podpůrná	
Pozn.: <u>použitelná</u> znamená, že metoda je použitelná a doporučena, <u>možná</u> znamená, že metodu lze pro daný úkol použít, ale ve srovnání s jinými metodami má určité nevýhody, <u>podpůrná</u> znamená, že metoda jako samostatná není použitelná pro celý úkol.					

Obecně k volbě a použití metod analýz spolehlivosti

Je nutné zdůraznit, že při kvantitativních analýzách se ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti atd. vztahují, pokud není uvedeno jinak, vždy k poruchám, které mají za následek **trvalý poruchový stav** systému, tj. poruchový stav, který trvá, dokud není provedena údržba po poruše. Hodnoty ukazatelů bezporuchovosti vztažené k tomuto trvalému poruchovému stavu např. při využívání zálohování jsou velmi vysoké, např. střední doba do poruchy při zálohování s obnovou jsou řádově v desítkách a statisících hodin. Vedle poruch s následkem trvalého poruchového stavu však vznikají zejména u elektronických a počítačových systémů i **přechodové poruchové stavy**, vyvolané občasnými poruchami, např. jako důsledek přepnutí na záložní prvek apod., které vyvolávají krátkodobé narušení provozuschopnosti systému. Tyto přechodné poruchové stavy trvají omezenou dobu, po jejímž uplynutí nabude systém opět schopnost plnit požadovanou funkci, aniž by byla provedena jakákoliv činnost údržby po poruše. Hodnoty ukazatelů bezporuchovosti vztažené i na tyto poruchové stavy jsou podstatně nižší, mnohdy až o dva řády.

*Pozn.: Rozlišování trvalých a přechodných poruchových stavů při stále častějším používání elektronických prvků a systémů, pro něž je právě vznik i přechodných poruchových stavů charakteristický, je aktuální a nezbytné. **Přechodné poruchové stavy**, u nichž není ani nutné, ale ani možné odstraňovat příčiny jejich vzniku, **vyžadují odstranit jejich následky**. Je proto nutné věnovat pozornost spíše než hodnotám ukazatelů, vztažených k přechodným poruchovým stavům, opatření provedeným pro potlačení jejich následků. [1]*

3.3 Stručná charakteristika vybraných metod a postupů

Analýza druhů poruch a jejich důsledků (FMEA – Failure/Fault Mode and Effects Analysis) – kvalitativní metoda analýzy bezporuchovosti s induktivním přístupem (“zdola nahoru”), jejímž obsahem je stádium potenciálně možných druhů poruch (např. materiálů, součástek, zařízení), které mohou existovat v každé části systému, a určování a vyhodnocování možných důsledků každého druhu poruchy na nejbližší vyšší funkční úrovni systému. Opakování tohoto postupu vede k eventuálnímu zjištění všech jednotlivých možných druhů poruch systému. Je použitelná pro analýzu systémů až s několika tisíci prvky/součástek, neumožňuje zpracovávat zálohované struktury, kombinace a závislosti událostí ani komplexní strategii údržby. [1]

Analýza druhů, důsledků a kritičnosti poruch (FMECA - Failure/Fault Mode, Effects and Criticality Analysis) – analýza potenciálně možných druhů a důsledků poruch s uvažováním pravděpodobnosti jejich výskytu a uspořádáním podle stupně závažnosti poruch; závažnost důsledků je posuzována podle specifikované stupnice. FMECA je rozšířením metody FMEA, které ji zpravidla předchází. Použitelnost metody je obdobná jako u metody FMEA. [1]

Analýza stromu poruch (FTA - Failure/Fault Tree Analysis) – deduktivní (“shora dolů”) analýza prováděna ve tvaru stromu poruch k určení druhů poruch částí systému nebo vnějších jevů nebo jejich kombinací, které by mohli vést k stanovenému druhu poruchy systému. Pro vymezenou tzv. vrcholovou událost (např. kritická porucha systému) se zjišťují všechny možné příčiny nebo druhy poruch na nejbližší funkční úrovni systému. Takto se postupuje až na požadovanou nejnižší úroveň systému, kdy příčinami jsou obvykle druhy poruch součástek. Výsledky analýzy se zobrazují jako strom poruch, který pak může být základem kvantitativní analýzy. Je použitelná pro analýzu systémů až s několika tisíci prvky/součástek, umožňuje zpracovávat i zálohované struktury, částečně i kombinace a závislosti událostí, neumožňuje zpracovávat komplexní strategii údržby. [1]

Analýza stromu událostí (ETA – Event Tree Analysis) – kombinovaná induktivně deduktivní analýza s výraznějším uplatněním induktivního přístupu: vychází se ze studia možných stavů součástí nebo jiných účinků na analyzovanou nežádoucí událost systému, výsledek se zobrazuje pomocí stromu událostí. Na kvalitativní část analýzy navazuje kvantitativní analýza, pokud lze všem možným stavům přiřadit pravděpodobnosti jejich nastání. Používá se v kombinaci s metodou FTA: metoda FTA se používá k analýze příčin a ETA k analýze následků výchozí události. Je použitelná pro analýzu systémů s počtem prvků jen do několika desítek (cca do 50), umožňuje zpracovávat zálohované struktury, neumožňuje zpracovávat komplexní strategii údržby. [1]

Studie provozuschopnosti (HAZOP – HAZard and Operability study) – je podobný tvůrčí proces rozpoznávání a zkoumání problémů s nebezpečím a provozuschopností navrhovaných systémů typu složitějších technických zařízení, původně vyvinutý pro chemický průmysl. Zabývá se zjišťováním potenciálních odchylek, označovaných jako “vodící slova”, od cíle projektu, zkoumáním jejich možných příčin a posuzováním jejich následků. Základní vodící slova jsou: „ŽÁDNÝ, NENÍ ŽÁDNÝ, NEBO NE“, „VYŠŠÍ“, „NIŽŠÍ“, „A TAKÉ, JAKOŽ I, A ROVNĚŽ“, „ČÁSTEČNĚ“, „OBRÁCENÝ, ZPĚTNÝ“, „JINÝ NEŽ“, případně dodatečná vodící slova se vztahem ke stanovenému času, pořadí

nebo posloupnosti: „PŘEDČASNÝ“, „ZPOŽDĚNÝ“, „PŘED“ a „PO“. Studii provádí vždy tým. Postup vypracování studie obecně zahrnuje **čtyři základní kroky**:

- stanoví se rozsah, cíle, odpovědnosti a sestaví se tým,
- vypracuje se plán studie, shromáždí se potřebná data, sestaví se časový plán,
- při vlastním zkoumání se provede rozdělení systému na části a postupně se pro jednotlivé zvolené části stanoví cíl projektu, pomoci vodících slov se u každého prvku zjišťují odchylky, rozpoznávají se následky a příčiny a posuzuje se, zda jde o významný problém; dále se rozpoznávají možné mechanismy ochrany, detekce a indikace, hledají se a posuzují možná opatření k nápravě nebo alespoň ke zmírnění; vše se na závěr odsouhlasí,
- zkoumání se zaznamenávají, schválí se dokumentace a vypracuje se zpráva o studii; sleduje se, jak jsou navržené činnosti uplatňovány, a na závěr se zpracuje závěrečná zpráva.

Nejvhodnější aplikace studie HAZOP je v pozdějších etapách podrobného návrhu nových systémů nebo provádění změn existujících zařízení. [1]

4 Provozní spolehlivost

Úvodem připomeňme, že životnost, bezporuchovost, udržitelnost, pohotovost, skladovatelnost atd. patří mezi základní znaky kvality výrobků, které významně ovlivňuje jejich celkovou schopnost uspokojovat uživatele/zákazníky, protože mimo jiné podstatně ovlivňují náklady na údržbu preventivní a po poruše, ztráty způsobené provozuneschopností (nedisponibilitou) atd. [1]

V krátkosti si připomeňme pojem provozní spolehlivost. Rozumí se spolehlivost fyzicky zhotovených systémů, pro něž v této kapitole bude používán termín výrobek, ve stanovených nebo simulačně vytvořených podmínkách. Výrobky mohou být nejrůznější funkční složitosti (složitá technická zařízení, technické systémy, podsystémy, moduly, bloky, výrobní linky atd.). [1]

Řešení problematiky provozní spolehlivosti spočívá v jejím sledování, hodnocení a řízení a má svou stránku manažerskou, ekonomickou a technickou. Vyžaduje v období užívání výrobků sledovat a hodnotit jejich skutečně dosahovanou spolehlivost, tj. schopnost plnit požadované funkce při užívání ke stanovenému účelu ve stanovených podmínkách a po stanovenou dobu. Výsledky sledování a hodnocení je pak nutné průběžně využívat k “řídícím” zásahům s cílem dosáhnout s maximální ekonomickou efektivností požadovanou nebo maximální úroveň spolehlivosti (bezporuchovosti, pohotovosti atd.). [1]

Významnou okolností určující provozní spolehlivost jsou pro každý výrobek stanovené **podmínky užívání**. Uživatel výrobku má **odpovědnost** zejména za zajištění předepsaného způsobu užívání, podmínek prostředí, stanovených pravidel pro obsluhu (tj. způsobu zacházení a kvalifikace obsluhy) a za realizaci koncepce údržby. [1]

Mimořádnou úlohu pro zajištění provozní spolehlivosti má **udržovatelnost a zajištěnost údržby**, realizovaná stanovenou **koncepcí údržby**, která popisuje vztahy mezi místy údržby, stupni rozčlenění výrobku (objektu) a stupni údržby, které mají být pro jeho údržbu použity. [1]

Odpovědnost za řešení a zajištění systému údržby při provozu výrobků **sdílejí** jeho **výrobce/dodavatel** a uživatel (a to nejen v případě hmotných výrobků, jako jsou např. výrobní linky, stroje, technická zařízení, přístroje apod., ale i softwaru, služeb atd.). Významná část **odpovědnosti** spočívá **na výrobcích** či dodavatelích, kteří pro své výrobky

jako součást podmínek jejich užívání musí nejen stanovit koncepci údržby (preventivní i po poruše), ale jsou odpovědní i za zajištěnost údržby, tj. schopnosti poskytovat zdroje požadované k údržbě. Uživatel si pak zpravidla zajišťuje preventivní údržbu a méně náročné opravy sám, avšak podle koncepce údržby zpracované výrobcem. [1]

Obecně platí, že požadavky na spolehlivost výrobků, a tedy i na jejich udržovatelnost a zajištěnost údržby, mají význam, jestliže je lze prokázat, jestliže lze ověřit jejich plnění a z jejich případného neplnění vyvozovat důsledky, tj. opatření k nápravě, postihy apod. Sledování a hodnocení skutečně dosahované úrovně bezporuchovosti, udržovatelnosti, zajištěnosti údržby, pohotovosti atd. již fyzicky realizovaných a provozovaných výrobků při současném zjišťování skutečných podmínek užívání je nedílnou součástí managementu spolehlivosti v rámci systému kvality, příp. programu nebo plánu spolehlivosti. [1]

Systémové a koncepční řešení problematiky hodnocení spolehlivostních vlastností výrobků ve skutečných (příp. simulovaných) podmínkách užívání vyžaduje návrh a realizaci potřebného sběru, přenosu, zpracování a využívání dat pomocí **informačního systému spolehlivosti**, který musí být realizován v návaznosti na informační systém organizace (podniku). V současné době je jeho praktická realizace téměř nemyslitelná bez využití prostředků výpočetní techniky, vhodného softwaru a v řadě případů i s nutností automatického měření. [1]

4.1 Údržba a zajištěnost údržby

Historický vývoj údržbových systémů je možné dobře sledovat v souvislosti se vznikem železniční dopravy. V okamžiku, kdy byla uvedena do provozu první parní lokomotiva, vznikl problém s její údržbou. Jednoduchost tehdejšího systému údržby nebyla zapříčiněna „jednoduchostí“ konstrukce parní lokomotivy, ale mírou tehdejšího poznání vědy, techniky a zkušeností s každodenním provozem. Existovala úzká vazba mezi vozidlem a obslužným personálem, ten lokomotivu nejen řídil, ale i udržoval. V situaci nízké intenzity využívání vozidel měl tento systém nesporné výhody, např. dobrou znalost okamžitého technického stavu stroje, potřebu malého počtu specializovaných pracovníků na údržbu. Z dnešního pohledu se jedná o systém po poruše, který byl sice schopen zajistit tehdy přiměřenou bezpečnost, ale rozhodně už ne bezporuchovost. [1]

Analýzy, hodnocení, zjišťování a řízení udržovatelnosti a zajištěnost údržby souběžně s bezporuchovostí jsou nedílnými součástmi řešení problematiky spolehlivosti. Jak již bylo

zdůrazněno, je nutné řešit ve všech etapách životního cyklu výrobku. Řešení problematiky udržovatelnosti a zajištění údržby v užším významu spočívá v určování a hodnocení nároků na udržovatelnost, požadavků na dosahování a ověřování cílů udržovatelnosti, sestavení a provádění příslušných programů atd., včetně vyvolaných nákladů. Metodické návody řešení naznačených a celé řady dalších problémů analýz, hodnocení, řízení a zabezpečování udržovatelnosti údržby jsou obsahem **norem ČSN EN 60300**. [1]

Obecným východiskem řízení a zabezpečování bezporuchovosti a udržovatelnosti mohou být např. programy bezporuchovosti a udržovatelnosti a/nebo plány bezporuchovosti a udržovatelnosti. Podle ČSN IEC 50 (191) je **program bezporuchovosti a udržovatelnosti** dokumentovaný soubor časově plánovaných činností, prostředků a jevů, které slouží k vytvoření organizační struktury, odpovědností, postupů, činností, způsobilostí a prostředků, které ve svém souhrnu zajišťují splnění daných požadavků na bezporuchovost a udržovatelnost, vázané pro danou smlouvu, návrh, projekt nebo konstrukci. Podstatou programů udržovatelnosti tedy je spojovat v průběhu celé doby technického života výrobku systematicky a logicky všechny činnosti týkající se jeho udržovatelnosti a jejich propojení s ostatními technickými činnostmi, včetně jejich úplného dokumentování. **Plán bezporuchovosti a udržovatelnosti** je pak dokument vyjadřující specifické pracovní techniky, prostředky a činnosti, nezbytné pro zajištění splnění daných požadavků na bezporuchovost a udržovatelnost, závazných pro danou smlouvu nebo návrh nebo projekt nebo konstrukci. [1]

Podstatou kvalitního hodnocení, jak je řešena **problematika udržovatelnosti a zajištění údržby**, lze spatřovat v hodnocení toho:

- jak návrh, konstrukční, projekční, programové řešení ovlivňuje a vytváří nízké nároky na objem preventivní údržby a ulehčuje vykonávání oprav; obsahem je posouzení, přezkoumání apod., jak jsou řešeny:
 - snadností udržování v použitelném stavu **preventivní údržbou**, daná např. délkou intervalů pro operace preventivní údržby, nenáročnosti a malou pracností seřizovacích a údržbářských operací, malými požadavky na kvalifikaci údržbářů, nízkými náklady na údržbu; u strojírenských výrobků pak dále např. nízkými požadavky na mazání, počtem mazacích míst, dobrou přístupností maznic, hrdel a zátek, sortimentem maziv, apod.,

- **diagnostikovatelnost** (zabudované konektory, vestavěné diagnostické prostředky, vypracované diagnostické postupy, náročnost demontážních a diagnostických operací, dostupnost a náročnost diagnostických prostředků, nízké náklady na diagnostiku apod.),
 - **opravitelnost** (snadná vyměnitelnost součástí, modulů a bloků to zejména s nižší životností nebo bezporuchovostí, maximální využití technické normalizace, unifikace a dědičnosti návrhu, umístění bezpečných úchyty pro zvedací zařízení, označení správné montážní polohy součástí, modulární a snadno vyměnitelné uspořádání elektronických systémů, srozumitelné dílenské příručky, dostupné náhradní díly, nízké požadavky na kvalifikaci opravářů, malá pracnost a nízké náklady na opravy atd.);
 - jak je řešena problematika **servisní logistiky**, tj. komplexu provozních opatření a prostředků pro zajištění údržby, mezi něž náleží zejména:
 - technická dokumentace (technické příručky, software, apod.),
 - zkušebnictví diagnostická a údržbářská zařízení,
 - zásobování náhradními díly a materiálem,
 - objekty a jejich vybavení pro vykonávání údržbářské a opravárenské činnosti (optimální síť opravárenských servisů a distribuční síť náhradních dílů a materiálů).
- [1]

Při stanovení a hodnocení **požadavků na udržovatelnost** se doporučuje vycházet z podmínek provozu a podmínek údržby, které vymezují koncepci údržby a které je nutné brát v úvahu při analýze vyrobiteľnosti výrobku a odhadech celoživotních nákladů, z požadavků na bezporuchovost, příp. životnost výrobku a jeho komponent a z finančních možností (zejména jejich omezení).

K hodnocení **provozních podmínek** patří zejména hodnocení:

- podmínek, jimiž působí vnější prostředí na výrobek při provozu a dále vnější prostředí, které ovlivňuje údržbu,
- prostředků ke zjištění potřeby údržby (detekce a lokalizace poruch, stanovení jejich příčin),

- omezené přístupnosti při údržbě a možností a podmínek demontáže výrobku na dílčí části při údržbě, podmíněné např. místem a úrovní opravy, kvalifikací a výcvikem opravářů apod.

K hodnocení **materiálně technického zajištění údržby** náleží hodnocení organizace poskytující údržbu (její umístění, počet jejích pracovníků a jejich výcvik) a prostředků údržby, které již byly zavedeny, resp. pružnosti při zavádění nových prostředků. [1]

Plánování údržby a její zajištění (včetně zajištění nezbytných prostředků) vyžadují analyzovat, hodnotit a řešit tyto dílčí okruhy problémů:

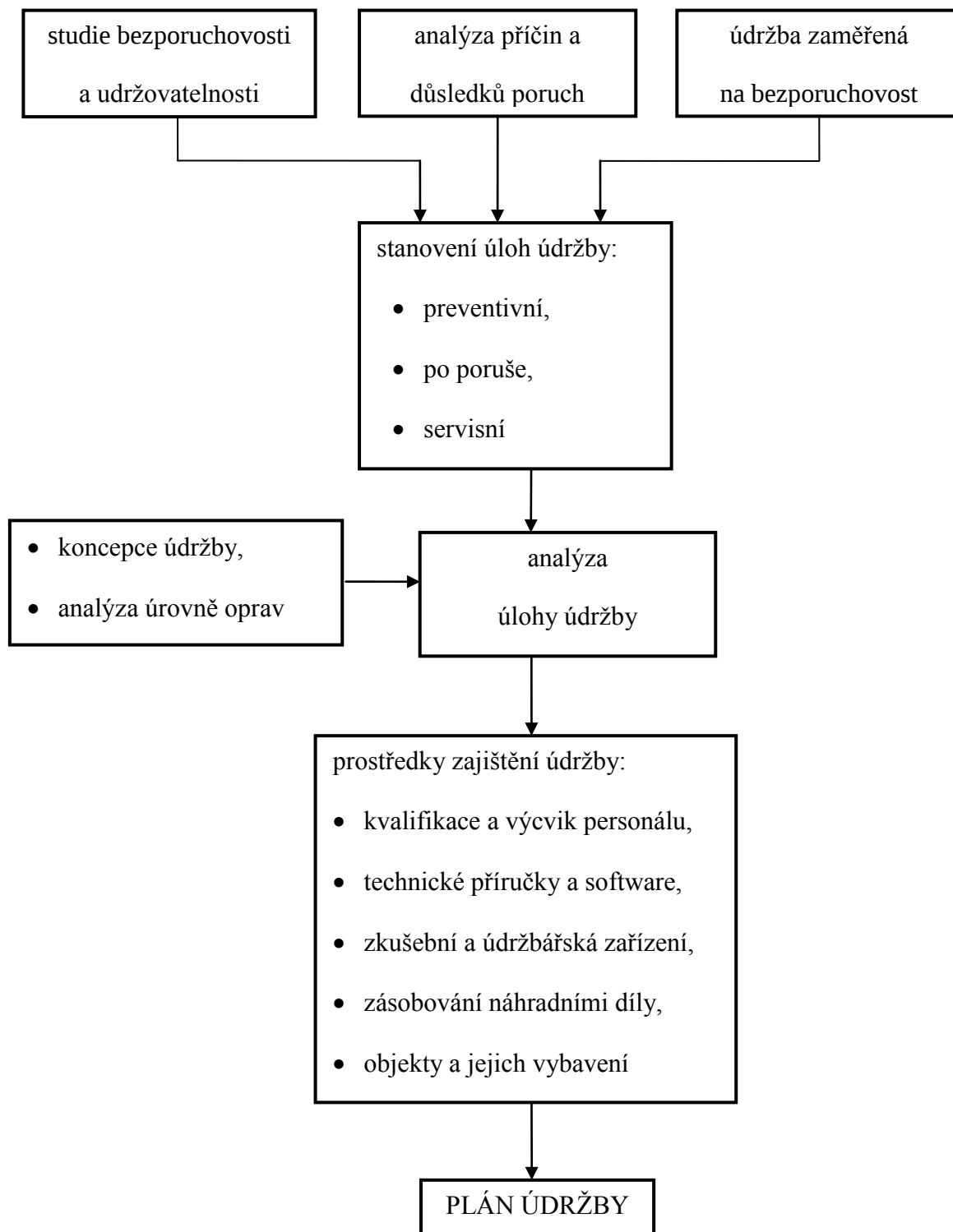
- vypracovat koncepci údržby, začlenit požadavky na údržbu a její zajištění do specifikace pro vývoj a návrh systému,
- stanovit dopad návrhu udržitelnosti systému do požadavků na zajištěnost údržby s následnou optimalizací koncepce údržby,
- definovat požadavky na zajištěnost údržby a plán údržby,
- specifikovat nezbytné prostředky.

Výrobce nebo dodavatel musí připravit podklady pro sestavení koncepce údržby a pro sestavení plánu údržby výrobku. **Koncepce údržby** se zabývá těmi charakteristikami návrhu, výroby a montáže výrobku nebo jeho částí, které lze považovat za samostatné z hlediska jejich zkoumání, zkoušení apod. a které ovlivňují jeho schopnost vyhovět daným požadavkům na využití a údržbu během jeho užitečného života. Tato schopnost se zpravidla vyjadřuje dobou trvání údržbových činností, požadavky na údržbu a její zajištěnost apod. [1]

V rámci podmínek jednotlivých organizací po stanovení úkolů údržby (preventivní, po poruše, servisní), analýz úkolů údržby a zhodnocení prostředků zajištěnosti údržby se vypracovává **plán údržby**, který definuje celkové prostředky údržby a jejich zajištění s cílem dosáhnout provozní požadavky při optimálních nákladech na životní cyklus, a **plán jeho zajištění** v provozních podmínkách (prostředí) z hlediska:

- kritérií pro výběr útvarů a stupňů údržby,
- záměrů a požadavků na základní zajištěnost údržby (logistika),
- kritérií pro kontrolní a zkušební zařízení.

Obsedný postup vypracování plánu údržby schematicky zachycuje obr. 4-1.



Obr. 4-1 Schematický postup vypracování plánu údržby [1]

5 Systémy údržby

Nové přístupy vedoucí ke splnění cílů a úkolů údržby vyvolávají strategické a koncepční změny, které vedou ke klasifikaci údržbářských systémů do základních vývojových etap (generací) údržby. Je nespornou pravdou, že na toto rozdělení existují v základě dva názory. Jeden, který uvádí následující vývoj systémů – po poruše, preventivních výměn, údržba podle skutečného stavu. Druhý názor vystihující jednotlivé etapy vývoje systémů údržby je rozdělen následovně. [3]

5.1 Systém údržby po poruše

Prostředky výroby jsou provozovány bez velkých nároků a nákladů na údržbu, resp. bez údržbářských zásahů většího rozsahu až do doby poruchy nebo havárie. Daná koncepce je naprosto nevhodná a znemožňuje jakékoliv zavedení systémového řešení údržby. Lze využívat pouze u absolutně nedůležitých zařízení, které nenaruší svým výpadkem výrobní proces. Shrňme-li, tak je možno uvést:

- opravy po poruše s pouhým následným odstraněním,
- neexistuje a je nemožný plánovitý a systémový přístup,
- forma inspekce je postavena na zkušenostech obsluhy. [3]

5.2 Systém plánovaných preventivních oprav (PPO)

Po uplynutí předem stanoveného časového cyklu (většinou určován požadavky výroby, tzv. technické režimy apod.) se provádí plánovaná preventivní prohlídka a plánovaná preventivní oprava. [3]

Rozhodujícím ukazatelem je zde cyklus oprav a prohlídek, definovaný jako časový interval mezi pořízením zařízení a generální opravou. [3]

V provozní praxi je znám nejčastěji pod označením PPO, který začíná formou tzv. týdenních oprav, pokračuje přes čtvrtletní opravy (revize), pololetní opravy a roční opravy k uzavření cyklu generální opravou. [3]

Tento systém údržby bývá v různých odvětvích označován i jako:

- **Systém údržby podle časových plánů**
- **Systém po preventivní prohlídce**
- **Systém standardních periodických oprav**
- **Systém preventivních periodických oprav [3]**

Daný systém je velmi nákladný, není optimální, neboť je založen na pevném časovém cyklu bez ohledu na objektivní technický stav udržovaného objektu. Výhodou je plánovité odstavení, které vytváří technologické odstávky k řešení výrobních problémů, většina řešených otázek údržby je postavena na empirii a intuici, takže pořád chybí cesta objektivizace technického stavu. [3]

Shrneme-li, tak je možno uvést:

- systém oprav a inspekce je postaven na pravidelných časových cyklech bez ohledu na skutečný technický stav,
- existuje evidence o provozu a provozních podmínkách,
- už existuje forma řízení údržby a sledování její ekonomičnosti. [3]

5.3 Systém diferencované proporcionální péče (DIPP)

Stroje a zařízení žádného výrobního subjektu netvoří homogenní soubor, ale dílčí soubory různého významu, různých vlastností, různé vprojektované životnosti, různé provozního zatížení, různého časového využití apod., což zákonitě vedlo k diferencovanému přístupu k provádění údržby. [3]

Takže se stanovuje:

- stupeň složitosti strojů,
- stupeň technické úrovně,
- technický stav na základě zjevných znaků opotřebení,
- úroveň opravitelnosti (rozsah, náročnost a možnost) údržby,

tn. plánování a stanovení údržbářských procesů už probíhá na určitém základě všeobecně známých intenzifikačních faktorů (diferenciace, preventivnost, plánovitost, komplexnost, proporcionalita, interaktivnost), v zahraniční literatuře bývá také označována jako:

- **Produktivní údržba** (což je pravdivé z pohledu dané doby, ne z dnešního pohledu na problém)

Shrneme-li opět formou odrážek:

- řízení údržby na základě nákladů a poruchovosti,
- existuje zpětná vazba mezi provozem a konstrukcí,
- v zahraničí označována jako produktivní. [3]

5.4 Systém diagnostické údržby

Tento systém údržby je první, který respektuje skutečný technický stav objektivizovaný metodami technické diagnostiky. Stroje a zařízení jsou odstavovány pouze tehdy, když dosáhly mezní fáze opotřebení, či překročily meze přípustné tolerance. Metodami technické diagnostiky detekujeme poruchu, lokalizujeme místo možného defektu a specifikujeme druh defektu. Diagnostická měření jsou prováděna formou kontrolně inspekční činnosti v časových cyklech, na objednávku nebo monitorováním. [3]

Tento systém údržby je tedy kvalitativně novým systémem údržby, postaveným na údržbě stojů a zařízení podle jejich skutečného technického stavu objektivně zjišťovaného metodami technické diagnostiky. Dosti často se setkáváme s označením odvozeným od mezního stavu měřeného diagnostického parametru tzv.:

- **Mezní údržba**

Jestliže opětovně shrneme, tak je možno uvést:

- kvalitativně nová generace údržby postavená na skutečném technickém stavu objektivizovaném použitím metod technické diagnostiky,
- dosti často označována jako mezní údržba. [3]

5.5 Systém prognostické údržby

Uvedený systém údržby logicky navazuje na předchozí systém diagnostické údržby, resp. je jeho pokračováním naměřených diagnostických parametrů není využito pouze k vyhodnocení momentálního technického stavu, ale na základě trendů je prováděna predikce (prognóza) určení tzv. zbytkové životnosti diagnostikovaného objektu, resp. čas do následné nutné opravy. Vlastní zbytková životnost je určována trendovou analýzou, analytickým měřicím systémem, resp. pomocí expertních systémů. Tento systém údržby vyžaduje dokonalou měřicí přístrojovou techniku z oblasti tenké diagnostiky, tzn. představuje pokrokový systém údržby po stránce technické, která je zde použita k objektivizaci kontrolně inspekční činnosti a prognóze technického stavu udržovaného objektu. Tento systém údržby umožňuje výrazně zdokonalit řízení údržby v souladu s požadavky výroby, resp. sladit odstávky technologické s odstávkami pro údržbu a samozřejmě předcházet haváriím se všemi následnými důsledky. [3]

Často se setkáváme s označením daného systému jako:

- **Systém údržby podle skutečného stavu**

Do následného shrnutí můžeme tedy uvést:

- metod technické diagnostiky a naměřených diagnostických parametrů je využito k prognóze určení zbytkové životnosti,
- objektivizovaná kontrolně inspekční činnost metodami technické diagnostiky,
- umožňuje řízení údržby v souladu s požadavky výroby,
- umožňuje předcházení haváriím.

V některé literatuře pro systém nacházíme označení:

- **Eliminační údržba (od eliminace poruch) [3]**

5.6 Systém automatizované údržby

Úvodem je nutno podotknout fakt, že řízení údržby se svojí složitostí, umocněnou neurčitostí budoucího stavu udržovaných prostředků a protichůdným požadavkem minimalizace nákladů na údržbu při maximálním výkonu údržby jako celku, se blíží

hranicím lidských možností. Z těchto důvodů je nutné mluvit o vytvoření subsystému řízení údržby relativně uzavřeném v systému řízení výroby. [3]

Tento systém řízení údržby umožňuje řízení údržby v reálném čase a bývá funkčně dekomponován do několika základních modulů a častěji než o systému automatizované údržby se mluví o informačních systémech pro řízení údržby. Je určitě zřejmé, že řízení údržby v této podobě není možné bez podpory výpočetní techniky, a že daný systém můžeme nejčastěji nalézt v literatuře pod označením – Informační systém k řízení údržby v reálném čase. [3]

Ve stručném shrnutí je možno uvést:

- komplexnost při řízení údržby s podporou výpočetní techniky (computerizace údržby),
- řízení údržby v reálném čase. [3]

5.7 Systém produktivní údržby (TPM)

TPM (Total Productive Maintenance) je anglickou zkratkou pro produktivní provozování strojů a zařízení a můj svůj původ v Japonsku ve společnosti Toyota (obdoba TQM – totální péče o kvalitu). [3]

Základní koncepce TPM je postavena na těchto principech:

- maximalizace celkové účinnosti a výkonnosti zařízení snižováním tzv. šesti velkých ztrát (poruchy, chod na prázdno, neshodné výrobky, seřizování, snížená výtěžnost, ztráty najížděním),
- zlepšení stávající koncepce údržby,
- rozvíjení autonomní údržby výrobními pracovníky,
- zvyšování dovednosti a znalosti prostřednictvím týmové práce a motivace pracovníků,
- kontinuální zlepšování zařízení (organizačně apod.). [3]

Vlastní ztráta účinnosti zařízení (porucha) nastává často pouze proto, že není odstraněna základní příčina problému, neboť tlak výroby a další omezení brání důkladnému prozkoumání, což vede k myšlence „všichni jsou zodpovědní za tento stroj,

zařízení a proces“ a my sami tedy určujeme nejlepší způsob provozování, údržby a jejich podpory. [3]

Následně je možno již uvést, že klíčovým cílem TPM je tedy pomoci výrobním dělníkům a údržbářům, zlepšit výkonnost zařízení a strojů výroby a pracovat v odpovídajícím prostředí (čistota, úhlednost apod.). Takže potom nacházíme v literatuře, že TPM se snaží o nulový počet poruch, nulový počet nedostatků, nulový počet nehod, nulové množství prachu a nečistot.

Shrneme-li opět, tak TPM je:

- komplexní strategií, nástrojem, který umožňuje a podporuje zlepšování stavu zařízení za účelem maximalizace efektivity a kvality výroby,
- vedeno výrobním procesem, který bere výrobu a údržbu jako rovnocenné partnery,
- netypickou investicí, investicí do znalostí pracovníků a do organizačních systémů, resp. pomocí používané definice „TPM je soubor aktivit vedoucích k provozování strojního parku v optimálních podmínkách a ke změně pracovního systému, který udržení těchto podmínek zajišťuje.“. [3]

Zajisté by se našly některé drobné odlišnosti ve formulaci cílů, ale určitě existuje velmi dobrý soulad v základních principech, tak můžeme uvést, že do této generace údržby můžeme zařadit údržbu v literatuře označovanou jako:

- **Proaktivní údržba**

- soustřeďuje se na příčiny a ne na symptomy opotřebení,
- prostředek pro dosažení úspor, zvýšení účinnosti a výkonnosti nedosažitelných konvenčními metodami údržby,
- znečištění je příčinou číslo jedna řady poruch zařízení,
- prvním, striktním krokem implementace této údržby je kontrola znečištění mazacích a hydraulických kapalin atd.

Shrneme-li uvedené v této kapitole, tak můžeme uvést, že základní strategie a koncepce údržby v dnešních podmínkách je definovatelná následovně:

CÍL – je dán potřebou takového režimu péče o hmotný majetek, který poskytuje skutečný objektivní obraz a je nápomocen zlepšit celkovou efektivnost zařízení, řeší problémy údržby strojů a zařízení jednou provždy včetně dopadu na produktivitu.

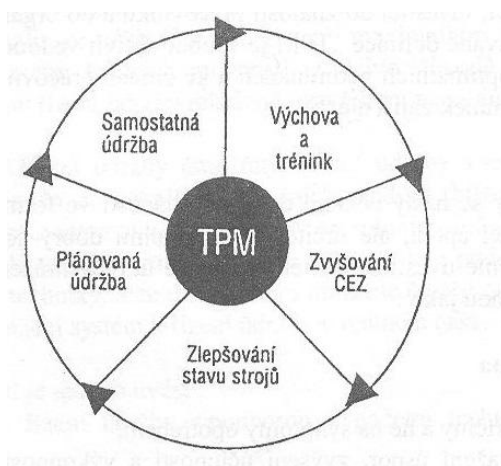
FILOZOFIE A STRATEGIE – je postavena na pojetí údržby jako celopodnikového problému, který pomocí souboru aktivit vedoucích k provozování strojů a zařízení za optimálních podmínek a změně pracovního systému, tyto podmínky zajišťuje, což zahrnuje:

- maximalizaci efektivity výrobního zařízení,
- celopodnikový systém údržby postavený na preventivním, produktivním a proaktivním zlepšováním technického stavu,
- údržba se jako taková musí prolínat celým technickým životem,
- údržba zahrnuje každého jednotlivce v podniku od vrcholového managementu až po posledního pracovníka,
- údržba vyžaduje podporu a aktivitu výrobních týmů, sounáležitost se zařízením.

KONCEPCE – je postavena na pilířích systému údržby TPM – obr. 5-1 a řešitelná pomocí následujících základních nástrojů:

- změna postojů pracovníka,
- zvyšování kvalifikace a dovedností pracovníků z hlediska údržby strojů a zařízení,
- měření a zvyšování efektivity každého zařízení v rámci dynamického zlepšování procesů,
- implementace plánovitých přístupů k údržbě ve střediscích údržby,
- aktivit výrobních týmů formou autonomní (samostatné) údržby, čímž se stávají aktivními partnery údržby,

při dodržení zásady postupu řešení pomocí dílčích kroků. [3]



Obr. 5-1 Základní pilíře systému údržby TPM [3]

CEZ – Celková efektivita zařízení (někdy také CUZ – Celková účinnost zařízení) anglicky OEE (Overall Equipment Effectiveness)

6 Příklad ze strojírenské praxe

Předmětem příkladu bude CNC obráběcí centrum od společnosti Makino typu A88 zobrazeno na obr. 6-1.



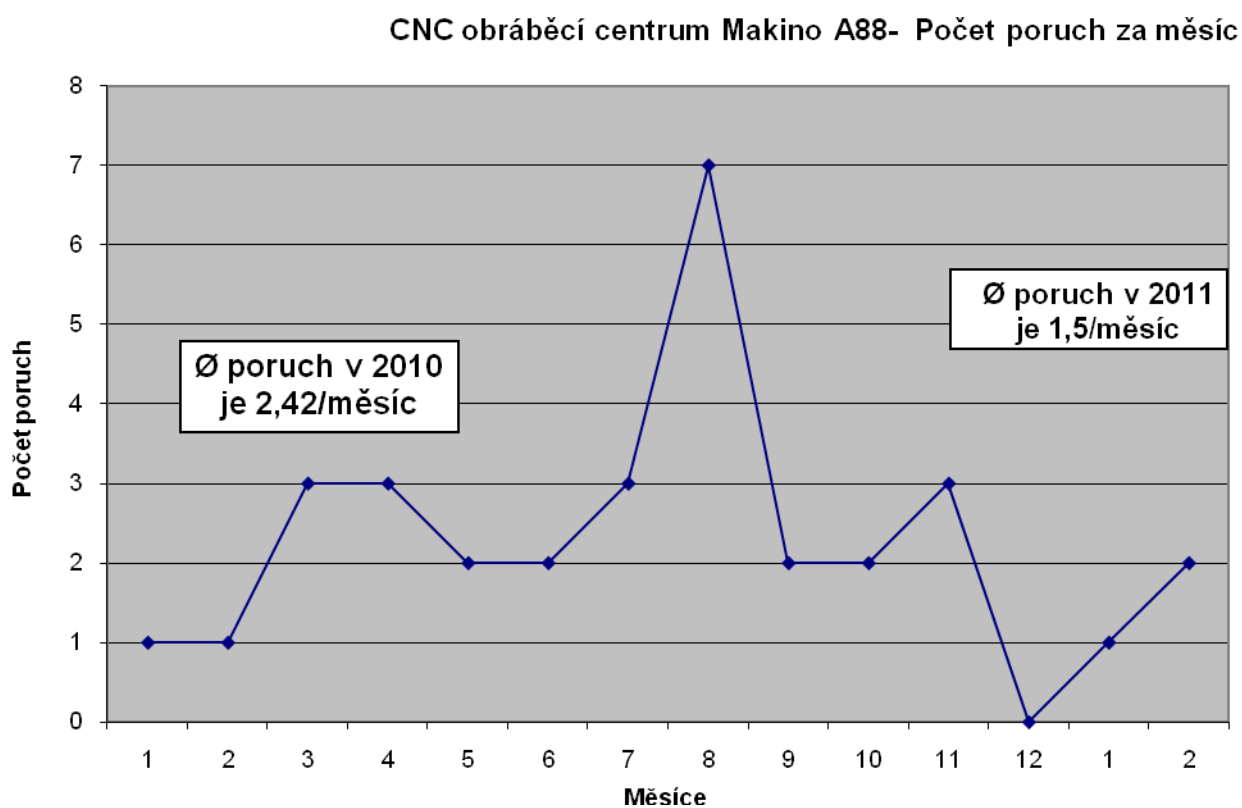
Obr. 6-1 CNC Obráběcí centrum

U stroje byly sledovány počty poruch v roce 2010 a první dva měsíce v roce 2011. Data z analýzy jsou graficky znázorněna na obr. 6-2. Typy těchto poruch a jejich doba odstranění (provozuneschopnosti) jsou graficky znázorněny na obr. 6-3.

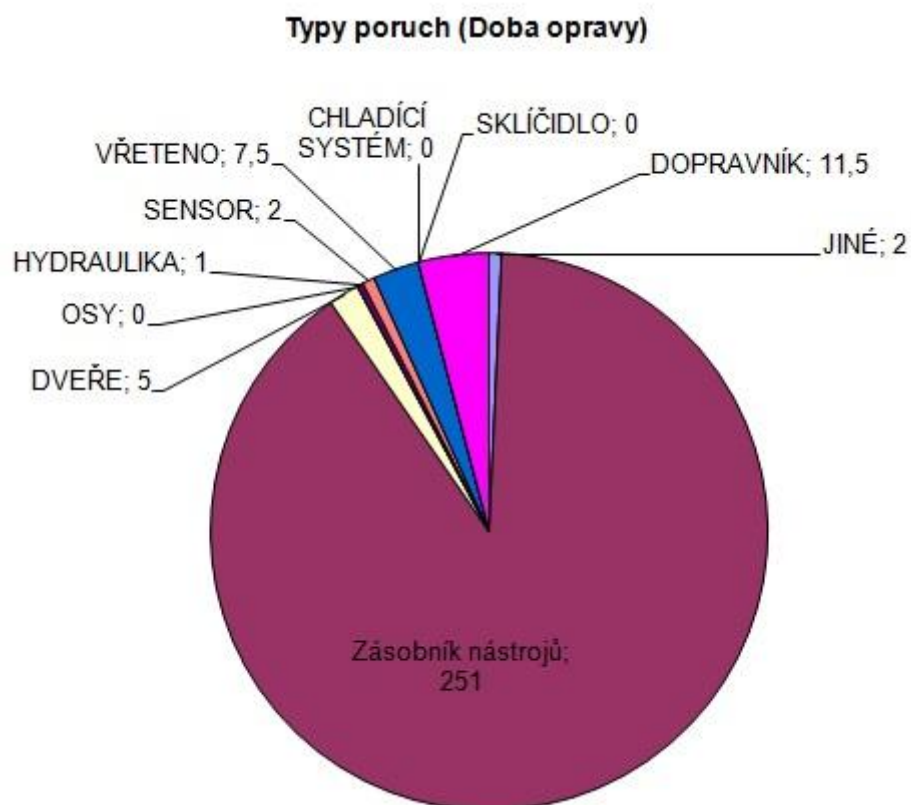
Jejich odstranění bylo provedeno údržbou po poruše. Na strojích je prováděna preventivní údržba s různou četností pro jednotlivé komponenty stroje. U každého stroje je záznam o preventivní údržbě vyplněn pracovníkem údržby a tyto záznamy byly následně zapsány do softwaru údržby značky IBM Maximo. Použití softwaru údržby spadá do světové logiky systému CMMS (Computer Management Maintenance System).

Pro zlepšení spolehlivosti stroje a snížení nákladů na údržbu je nutné dodržovat zásady systému produktivní údržby TPM :

- maximalizace celkové účinnosti a výkonnosti zařízení snižováním tzv. šesti velkých ztrát,
- zlepšení stávající koncepce údržby,
- rozvíjení autonomní údržby výrobními pracovníky,
- zvyšování dovedností a znalostí prostřednictvím týmové práce a motivace pracovníků.



Obr. 6-2 Počet poruch CNC obráběcího centra



Obr. 6-3 Typy poruch s počtem hodin odstávek

Z grafu je patrné, že nejvíce poruch je zapříčiněno zásobníkem nástrojů. Tento jev je dosažen častou výměnou nástrojů což způsobuje kolize podavače nástrojů s vřetenem. Výměnu nástrojů mezi řezy je nutno provádět v co nejkratším čase, aby byla co největší produktivita stroje a proto nastávají kolize způsobené rychlou výměnou nástrojů.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zpracovat rešerši na téma teorie údržby a spolehlivosti. V práci byly popsány základní termíny související s teorií údržby a spolehlivosti. Dále byly popsány důležité analýzy potřebné k provádění patřičných úkonů údržby, obecné principy zajišťování spolehlivosti a obecné postupy analýz. Údržba a spolehlivost je neodmyslitelnou součástí provozu strojů, zařízení, technických systémů atd., bez kterých již nelze efektivně provozovat tyto stroje, zařízení, technické systémy atd.

Pro správné provádění údržby je nutné zvolit vhodný systém údržby, který vede i ke zvýšení efektivity produkce a spolehlivosti zařízení. Postupný vývoj systémů údržby a jejich popis s možným použitím byl popsán v bakalářské práci.

V příkladu bylo uvedeno názorné zobrazení počtu poruch (v daném měsíci) a jejich typy při provozu CNC obráběcího centra za sledované období. Na CNC obráběcím centru byly provedeny údržby po poruše v nejkratším možném čase pro minimalizaci ztrát z důvodů odstávek a cílem optimálních nákladů na údržbu. Tyto údržby po poruše mohou znamenat velké finanční nároky pro společnost z důvodu dlouhodobé odstávky CNC obráběcího centra. Pro výrobu tato odstávka znamená narušení produkce - výrobního toku.

Při správném nastavení systémů údržby (prognostické, diagnostické atd.) lze optimalizovat náklady potřebné pro údržbu s vysokou zárukou spolehlivosti (produktivita, poruchovost atd.). V opačném případě při nesprávném nastavení údržby může dojít k vynaložení neúměrně velkých finančních prostředků, v mnoha případech větších než samotné pořizovací náklady stroje. Na levnějších a tudíž nespolehlivých strojích je pravděpodobnost vyšších nákladů za údržbu větší než u dražších strojů.

Z praktického příkladu je patrné a provozovatel potvrdil, že CNC obráběcí centrum bylo udržováno a servisováno předepsanými metodami od výrobce, ale provoz a analýza poruch vypracována softwarem pro údržbu IBM Maximo potvrdila, že bylo nutno přepracovat body a frekvenci preventivních údržeb. Výsledky byly konzultovány s výrobcem a to vedlo ke změně bodů preventivní údržby a frekvenci preventivních údržeb. Zde lze názorně pozorovat, že je velmi důležitá spolupráce zákazníka s výrobcem při řešení údržby daného výrobku. Z grafu je patrné, že tyto úpravy systému údržby měly pozitivní vliv na spolehlivost CNC obráběcího centra. V roce 2011 byl průměr poruch v daném měsíci jedna a půl poruchy. Data o analýze a údržbě byla poskytnuta společností Edwards s.r.o. se sídlem v Lutíně, zabývající se výrobou vakuových čerpadel.

Seznam použitých zdrojů

- [1] MYKISKA, Antonín. *Bezpečnost a spolehlivost technických systémů*. 1. Vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006, 206 s. Učební texty ČVUT v Praze. Fakulta strojní. ISBN 80-01-02868-2.
- [2] FAMFULÍK, J.; MÍKOVÁ, J.; KRYŽÁNEK, R.. *Teorie údržby*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007, 121 s. Učební texty VŠB-TU Ostrava. ISBN 978-80-248-1509-1.
- [3] VOŠTOVÁ, V.; HELEBRANT, F.; JEŘÁBEK, K. *Provoz a údržba strojů*. 1. Vydání. Praha: vydavatelství ČVUT Praha, 2002. 124 s. ISBN 80-01-02531-4.
- [4] MYKISKA, A.; LEGÁT, V.; VINTR, Z. *Provozní spolehlivost výrobních zařízení*. Praha: ČSPÚ – Česká společnost pro údržbu, 187 s.
- [5] ČSN EN 13306: 2011 *Údržba - Terminologie údržby*. 2011. Praha: Český normalizační institut, 2011. 52 s.
- [6] MYKISKA, Antonín. *Analýza, hodnocení a ošetření rizik pro zajištění bezpečnosti produktů*. [online]. 26.2.2005 [cit. 13.5.2014]. Dostupné z: <<http://www.risk-management.cz/index.php?cat2=1&clanek=9>>

Seznam obrázků

Obr. 2-1 Spolehlivost – <i>funkční stálost zařízení</i> [4].....	12
Obr. 3-1 <i>Vyjádření kvality produktu pomocí znaků kvality a nákladů</i> [1]	14
Obr. 3-2 <i>Vymezení spolehlivosti v širším a užším pojetí</i> [6].....	16
Obr. 3-3 <i>Hiearchické uspořádání managementu organizace, kvality, rizik a spolehlivosti</i> [6]	17
Obr. 3-4 <i>Členění životního cyklu výrobku na pět etap podle norem ČSN IEC</i> [1].....	18
Obr. 3-5 <i>Schéma možností aplikace analýz spolehlivosti</i> [1]	20
Obr. 3-6 <i>Schéma obecného postupu analýzy spolehlivosti (podle ČSN IEC 300-3-1)</i> [1]..	22
Obr. 4-1 <i>Schematický postup vypracování plánu údržby</i> [1]	34
Obr. 5-1 <i>Základní pilíře systému údržby TPM</i> [3].....	41
Obr. 6-1 <i>CNC Obráběcí centrum</i>	42
Obr. 6-2 <i>Počet poruch CNC obráběcího centra</i>	43
Obr. 6-3 <i>Typy poruch s počtem hodin odstávek</i>	44

Seznam tabulek

Tab. 2-1 <i>Definice spolehlivosti a dílčích vlastností</i> [4]	13
Tab. 3-1 <i>Použitelnost vybraných metod analýzy spolehlivosti</i> [1]	25