

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2007

Jan Bezr



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: B2612 - Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802R022 - Informatika a logistika

**Určení pohotovosti vstřikovacího stroje
v Cadence Innovation k.s.**

**Determination availability of injection machine
in Cadence Innovation k.s.**

Bakalářská práce

Autor:	Jan Bezr
Vedoucí práce:	Ing. Josef Chudoba
Konzultant:	Ing. Jan Kamenický
	Ing. Jaroslav Zajíček

V Liberci 18. 5. 2007



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Katedra modelování procesů

Akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Jan Bezr**

studijní program: B 2612 - Elektrotechnika a informatika

obor: 1802R022 - Informatika a logistika

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona o vysokých školách č.111/1998 Sb. určuje tuto bakalářskou práci:

Název tématu:

Určení pohotovosti vstřikovacího stroje v Cadence Innovation k.s.

Zásady pro vypracování:

1. Na základě vstupních dat o poruchách a výrobního schématu vstřikovacího stroje zjistěte intenzitu poruch jednotlivých komponent.
2. Navrhněte opatření pro eliminaci poruch na základě hodnocení ekonomické efektivnosti preventivní údržby.
3. Na základě zjištěných skutečností vytvořte plán údržby jednotlivých částí vstřikovacího stroje.
4. Zjistěte pohotovost systému.



Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran

Seznam odborné literatury:

[1] Fuchs P., Vališ D., Chudoba J., Kamenický J., Zajíček J.: *Řízení spolehlivosti*, skripta Liberec 2006

[2] Fuchs P., Vališ D., Chudoba J., Kamenický J., Zajíček J.: *Bezporuchovost a životnost, techniky analýzy bezporuchovosti*, učební text Liberec 2005

[3] Šor J. B.: *Statistické metody analýzy a kontroly jakosti a spolehlivosti*, SNTL Praha, 1965

[4] ČSN IEC 60605-4 (01 0644), 2002

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Chudoba**

Konzultant: **Ing. Jan Kamenický**

Ing. Jaroslav Zajíček

Zadání bakalářské práce: **23. 10. 2006**

Termín odevzdání bakalářské práce: **18. 5. 2007**

L.S.

.....
Vedoucí katedry

.....
Děkan

V Liberci dne 23. 10. 2006



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 18. 5. 2007

Podpis:



Bakalářská práce byla vytvořena v rámci spolupráce Technické univerzity v Liberci a Cadence Innovation k.s. s podporou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, projekt číslo 1M06047 - Centrum pro jakost a spolehlivost výroby.

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefu Chudobovi za jeho kvalitní, odborné, obětavé a vstřícné vedení, dále Ing. Pavlu Ságlovi za přínosné připomínky a v neposlední řadě také Ing. Pavlu Fuchsovi, Csc. a zaměstnancům firmy Cadence Innovation k.s.



Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou spolehlivosti, konkrétně bezporuchovostí a pohotovostí a implementuje tyto prvky do výrobního podniku.

Práce nabízí nutný matematický (pravděpodobnostní a statistický) základ, dále představuje základní metody, které lze použít pro analýzu spolehlivosti, definuje a aplikuje použitou metodu blokového diagramu bezporuchovosti pro analýzu základních ukazatelů bezporuchovosti a pohotovosti popsání výrobního systému vstřikovacích strojů společnosti Cadence Innovation k.s. a pomocí metody RCM pojednává o údržbě.

Klíčová slova: spolehlivost, bezporuchovost, pohotovost, šnekový vstřikovací stroj, Cadence Innovation k.s., střední doba do poruchy, střední doba do obnovy, intenzita poruch, intenzita obnov, blokový diagram bezporuchovosti, údržba, preventivní údržba, údržba zaměřená na bezporuchovost

Abstract

This bachelor thesis engaged in dilemma of dependability, in the concrete about reliability and availability and apply them to manufacturing corporation.

The thesis offers mathematical (probability and statistics) principle, represent basics methods, which can be used for analysis of dependability, definite and apply used method of reliability block diagram for analysis basics indicators of reliability and availability described manufacturing system of screw injection machine in Cadence Innovation company and treat about maintenance using RCM method.

Keywords: dependability, reliability, availability, screw injection machine, Cadence Innovation k.s., mean time to failure, mean time to restoration, failure rate, restoration rate, reliability block diagram, maintenance, preventive maintenance, reliability centred maintenance



Obsah

Prohlášení.....	5
Poděkování	6
Abstrakt.....	7
Obsah	8
Úvod	11
1. Definice	12
1.1 Abecední seznam použitých termínů	12
1.2 Seznam použitých značek a zkratek.....	15
2. Úvod do spolehlivosti	16
2.1 Základní metody analýzy bezporuchovosti	17
2.2 Základní ukazatele spolehlivosti - rozdělení náhodné veličiny	19
2.2.1 Distribuční funkce $F(t)$	19
2.2.2 Hustota pravděpodobnosti $f(t)$	20
2.2.3 Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$	20
2.2.4 Intenzita poruch $\lambda(t)$	21
2.2.5 Intenzita obnov $\mu(t)$	22
2.2.6 Exponenciální rozdělení	22
2.3 Ukazatele bezporuchovosti a pohotovosti.....	23
2.3.1 Střední doba do poruchy $MTTF$	23
2.3.2 Střední doba do obnovy $MTTR$	23
2.3.3 Funkce okamžité pohotovosti $A(t)$	24
2.3.4 Asymptotická pohotovost A	24
3. Základní typy zapojení systémů	26
3.1 Sériové zapojení	26
3.2 Paralelní zapojení.....	27
3.3 Zapojení m z n	28
3.4 Sérioparalelní zapojení.....	29
3.5 Blokový diagram bezporuchovosti	31



4.	Popis analyzovaného systému	33
4.1	Princip vstřikování termoplastů	33
4.2	Šnekový vstřikovací stroj	34
4.3	Vstřikovací cyklus.....	35
5.	Analýza parametrů spolehlivosti systému	37
5.1	Technické parametry vstřikovacích strojů.....	37
5.1.1	Uzavírací jednotka	38
5.1.2	Vstřikovací jednotka	38
5.1.3	Definované okolní podmínky dané výrobcem.....	38
5.2	Aplikace modelu bezporuchovosti.....	38
5.3	Vstupní data	39
5.3.1	Karta stroje.....	39
5.4	Popis a počet poruch.....	40
5.5	Výpočty parametrů spolehlivosti.....	41
5.6	Pohotovost A a střední doba do poruchy $MTTF$ systému jako celku	43
5.7	Zhodnocení výsledků	43
5.8	Zálohování vstřikovacích strojů	44
5.8.1	Střední pohotovost	46
6.	Údržba.....	48
6.1	Typy údržby	48
6.1.1	Preventivní údržba	48
6.1.2	Údržba po poruše	48
6.1.3	Prediktivní (předpovídaná) údržba	48
6.2	Údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM).....	49
6.2.1	Náklady.....	49
6.2.2	MEI - index efektivnosti údržby	49
6.2.3	Teoretický příklad.....	50
7.	Závěr	52
8.	Literatura	53



Seznam tabulek

Tab. 1 - Údaje jednotlivých vstřikovacích strojů

Tab. 2 - Výpočet parametrů pro jednotlivé funkční bloky (po zaokrouhlení)

Tab. 3 - Výpočet parametrů pro jednotlivé vstřikovací stroje (po zaokrouhlení)

Seznam obrázků

Obr. 1 - Průběh distribuční funkce $F(t)$

Obr. 2 - Hustota pravděpodobnosti $f(t)$

Obr. 3 - Funkce bezporuchového provozu $R(t)$

Obr. 4 - Průběh funkce okamžité pohotovosti $A(t)$

Obr. 5 - Sériové zapojení

Obr. 6 - Paralelní zapojení

Obr. 7 - Zapojení m z n

Obr. 8 - Zdvojení systému

Obr. 9 - Zdvojení bloků systému

Obr. 10 - Schéma šnekového vstřikovacího stroje

Obr. 11 - Vstřikovací cyklus

Obr. 12 - Blokový diagram bezporuchovosti vstřikovacího stroje

Seznam příloh

Příloha 1 - Karty stroje



Úvod

Hlavním cílem této bakalářské práce je zjistit z poskytnutých údajů ukazatele spolehlivosti systému vstřikovacích strojů společnosti Cadence Innovation k.s.

Jedná se o tyto ukazatele:

- Střední doba do poruchy $MTTF$
- Intenzita poruch λ
- Střední doba do obnovy $MTTR$
- Intenzita obnov μ
- Pohotovost A
- Nepohotovost U

Výchozím bodem byly konstrukční podklady a podklady o poruchách a provedené údržbě - konkrétně technická dokumentace vstřikovacího stroje od výrobce ENGEL AUSTRIA GmbH a tzv. karty stroje z provozu Cadence Innovation k.s.

Práce obsahuje spolehlivostní základ (viz kapitola 2.1 a 3) a matematický aparát (viz kapitola 2.2 a 2.3), který je nutný k pochopení problematiky jako celku a bez něhož by následná analýza ukazatelů spolehlivosti nebyla možná.

Systém je nejprve popsán z pohledu jeho hlavní funkce a dále rozdělen na jednotlivé funkční bloky, k čemuž byla použita metoda blokového diagramu bezporuchovosti (viz kapitola 3.5). Z blokového diagramu bezporuchovosti vychází aplikace nabídnutého matematického aparátu pro zjištění ukazatelů spolehlivosti.

V kapitole 4 je uveden nezbytný popis vstřikovacího stroje, který je následně v kapitole 5 analyzován. Zjištění ukazatelů spolehlivosti probíhalo jak pro systém jako celek, tak i pro jednotlivé dílčí funkční bloky vstřikovacího stroje.

Dalším cílem je nabídnutí základního pohledu na systém údržby a jeho ekonomickou efektivitu, k čemuž je použita metoda RCM (viz kapitola 6.2) a z ní vyplývající index efektivnosti údržby MEI (viz kapitola 6.2.2).



1. Definice

1.1 Abecední seznam použitých termínů

Analýza - obecně podrobné vyšetřování jakéhokoliv celku, které se provádí pro porozumění povahy tohoto celku nebo pro stanovení jeho podstatných rysů a vlastností

Bezporuchovost - schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu

Časový interval - část časové stupnice vymezená a popsána dvěma danými časovými okamžiky

Doba do obnovy - časový interval, během něhož je objekt v nepoužitelném stavu z vnitřních příčin z důvodů poruchy

Doba do poruchy - celková doba provozu objektu od okamžiku jeho prvního uvedení do použitelného stavu až do poruchy nebo od okamžiku obnovy do příští poruchy

Doba opravy - část doby aktivní údržby po poruše, během níž se na objektu provádějí opravárenské operace

Doba provozu - časový interval, během něhož je objekt v provozu

Funkce okamžité nepohotovosti $U(t)$ - pravděpodobnost, že objekt není ve stavu schopném plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu, za předpokladu, že jsou zajištěny požadované vnější prostředky

Funkce okamžité pohotovosti $A(t)$ - pravděpodobnost, že objekt je ve stavu schopném plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu, za předpokladu, že jsou zajištěny požadované vnější prostředky

Intenzita obnov $\mu(t)$ - limita poměru podmíněné pravděpodobnosti, existuje-li, že zásah údržby po poruše skončí v časovém intervalu $(t, t + \Delta t)$, k délce tohoto časového intervalu Δt , jestliže Δt se blíží nule, za podmínky, že tato operace neskončila do začátku časového intervalu



Intenzita poruch $\lambda(t)$ - limita poměru podmíněné pravděpodobnosti, existuje-li, že časový okamžik T vzniku poruchy objektu leží v daném časovém intervalu $(t, t + \Delta t)$ k délce časového intervalu Δt , jestliže Δt se blíží nule, za podmínky, že na začátku časového intervalu je objekt v použitelném stavu

Kumulovaná doba - součet dob trvání charakterizovaných určitými podmínkami v daném časovém okamžiku

Model bezporuchovosti - matematický model odhadu používaný k předpovědi nebo k odhadu ukazatelů bezporuchovosti objektu

Objekt - jakákoliv část, součást, zařízení, část systému, funkční jednotka, přístroj nebo systém, s kterým je možné se individuálně zabývat. Objekty se jinak nazývají např. funkční blok, komponenta, součástka apod.

Obnova - jev, kdy objekt po poruchovém stavu opět získá schopnost plnit požadovanou funkci

Oprava - část údržby po poruše, při níž se na objektu provádějí ruční operace

Pohotovost - schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu

Porucha - ukončení schopnosti objektu plnit požadovanou funkci

Poruchový stav - stav objektu charakterizovaný neschopností plnit požadovanou funkci, kromě neschopnosti během preventivní údržby nebo jiných plánovaných činností nebo způsobený nedostatkem vnějších prostředků

Požadovaná funkce - funkce nebo kombinace funkcí objektu, které jsou považovány za nezbytné pro zajišťování dané služby

Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ - pravděpodobnost, že objekt může plnit požadovanou funkci v daných podmínkách v daném časovém intervalu

Provoz - stav, kdy objekt plní požadovanou funkci

Provozuschopný stav - stav objektu charakterizovaný schopností plnit požadovanou funkci

Součinitel asymptotické nepohotovosti U - limita funkce okamžité nepohotovosti



(existuje-li), pro účely modelování, jestliže se doba blíží k nekonečnu

Součinitel asymptotické pohotovosti A - limita funkce okamžité pohotovosti (existuje-li), pro účely modelování, jestliže se doba blíží k nekonečnu

Spolehlivost¹ - souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují: bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby

Střední doba do obnovy $MTTR$ - průměrná nebo očekávaná doba potřebná k opravě zařízení

Střední doba do poruchy $MTTF$ - střední hodnota doby provozu objektu do první poruchy, určená jako aritmetický průměr dob mezi poruchami. Očekávaná doba do poruchy

Systém - funkční celek, který se dělí na dílčí komponenty. Souhrn vzájemně spjatých prvků určený k plnění předepsaných funkcí

Udržitelnost - schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy a prostředky

Údržba - kombinace všech technických a administrativních činností, včetně činnosti dozoru, zaměřených na udržení objektu ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, v němž může plnit požadované funkce

Ukazatel - funkce nebo hodnota používaná pro popis náhodné proměnné nebo náhodného procesu

Záloha - existence více než jednoho prostředku v objektu pro plnění požadované funkce

Zajištěnost údržby - schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu podle dané koncepce údržby

Definice převzaty z [1].

¹ Pojem spolehlivost se používá pouze pro obecný nekvantitativní popis



1.2 Seznam použitých značek a zkratek

λ	intenzita poruch pro exponenciální rozdělení
$\lambda(t)$	intenzita poruch
μ	intenzita obnov pro exponenciální rozdělení
$\mu(t)$	intenzita obnov
$\hat{A}$	střední pohotovost
A	součinitel asymptotické pohotovosti
$A(t)$	funkce okamžité pohotovosti
$F(t)$	distribuční funkce
$f(t)$	hustota pravděpodobnosti
MEI	index efektivnosti údržby
$MTBF_{NO}$...	střední doba mezi poruchami neudržovaného objektu
$MTBF_{UO}$...	střední doba mezi poruchami udržovaného objektu
$MTTF$	střední doba do poruchy
$MTTR$	střední doba do obnovy
N_F	následky poruchy ve finančním ohodnocení
N_{PU}	náklady na preventivní údržbu
$R(t)$	pravděpodobnost bezporuchového provozu
r	počet poruch
t_{pi}	doba bezporuchového provozu zařízení
t_{oi}	doba obnov provozuschopnosti zařízení (oprav)
U	součinitel asymptotické nepohotovosti
$U(t)$	funkce okamžité nepohotovosti



2. Úvod do spolehlivosti

Rozvoj spolehlivosti lze datovat od počátku 50. let 20. století, tedy do období, kdy probíhal rychlý rozvoj mnoha technických odvětví (elektronika, letectví a kosmonautika, jaderná energetika atd.). Matematickým základem teorie spolehlivosti je matematická statistika a teorie pravděpodobnosti. V současné době je teorie spolehlivosti značně propracovaná a běžně aplikovaná v nejrůznějších odvětvích výroby a ostatních lidských činnostech.

Spolehlivost v širším pojetí je chápána jako komplexní vlastnost, vyjadřující obecnou schopnost objektu zachovávat funkční a další požadované funkce v čase a za stanovených podmínek. V jednotlivých konkrétních případech se pak takto obecně chápána spolehlivost vyjadřuje konkrétními dílčími vlastnostmi, jako je např.:

- Životnost
- Bezpečnost
- Pohotovost
- Diagnostikovatelnost
- Bezporuchovost
- Udržovatelnost
- Opravitelnost

Aplikace spolehlivosti mají silně mezioborový charakter a jsou směřovány zejména do těchto oblastí:

- *Jakost výrobků a služeb:*
 - o Návrh zařízení s požadovanou úrovní spolehlivosti
 - o Ověřování spolehlivosti vyrobeného zařízení - zkoušky spolehlivosti
 - o Řízení procesů rozhodujících pro jakost produktů - management spolehlivosti
- *Ekonomika:*
 - o Optimalizace nákladů souvisejících se spolehlivostí



- Hodnocení ekonomických rizik spojených s náhodnými poruchami zařízení
 - Management ekonomických rizik
- *Bezpečnost:*
 - Pravděpodobnostní hodnocení možných bezpečnostních rizik a hrozeb plynoucích z náhodných poruch technických zařízení
 - Management bezpečnostních rizik

Pro provádění systematické a reprodukovatelné analýzy spolehlivosti systému je nezbytné používat jednotné postupy. Pro daný konkrétní případ či situaci je nutno zvolit vhodnou analytickou metodu nebo metody, které umožňují:

- Modelovat a hodnotit spolehlivostní problémy v širokém rozsahu
- Provádět přímou, systematickou, kvalitativní a kvantitativní analýzu
- Předpovědět číselné hodnoty ukazatelů spolehlivosti

K poskytnutí těchto výsledků slouží řada metod analýzy bezporuchovosti.

2.1 Základní metody analýzy bezporuchovosti

Žádná jednotlivá metoda není natolik dostačující, aby zvládla vyčerpávajícím způsobem popsat všechny složité modely konkrétního systému. V praxi se můžeme setkat zejména s následujícími metodami:

- *Metoda výpočtů bezporuchovosti z dílů (PC)* - indukativní metoda vhodná k odhadu přibližné intenzity poruch systému. Poskytuje předpověď bezporuchovosti systému na přijatelné úrovni přesnosti. Používá se v etapě návrhu výrobku, kdy o výrobku nejsou žádné informace
- *Analýza metodou pravdivostní tabulky* - využita tehdy, pokud je třeba zjistit logickou vazbu poruch mezi komponentami. Metoda je jednoduchá, vždy použitelná, názorná a lehce interpretovatelná
- *Logický blokový diagram (LBD)* - je základem pro blokové diagramy bezporuchovosti. Diagram vytváří grafický model systému a znázorňuje vazby mezi jednotlivými prvky systému



- *Metoda blokového diagramu bezporuchovosti (RBD)* - znázorňuje blokové schéma pro jeden nebo více způsobů fungování složitého objektu (systému). Vyjadřuje grafickou reprezentaci bezporuchovosti systému a logické vazby jednotlivých komponent. Používá se pro předpověď hodnot ukazatelů bezporuchovosti, příp. pohotovosti.

Podrobný popis metody je v kapitole 3.5 a bližší informace viz [2, 9, 10]

- *Metoda stromu poruchových stavů (FTA)* - deduktivní metoda (založena na logickém vyvozování, úvaze), znázorňující logické vazby mezi vrcholovou událostí a mezi příčinami vzniku této události
- *Strom událostí (ETA)* - grafický logický model, který identifikuje a kvantifikuje iniciační (vyvolávající poruchu) události. Používá se jako nadstavba deduktivní metody FTA
- *Markova analýza (MA)* - slouží k zjišťování dynamických parametrů pohotovosti a bezporuchovosti systému. Využívá se především u systému se složitou strategií údržby
- *Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA)* - strukturovaná kvalitativní analýza, která slouží k identifikaci způsobu poruch systémů, jejich příčin a důsledků
- *Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch (FMECA)* - jedná se o rozšíření metody FMEA o odhad kritičnosti důsledků poruch a pravděpodobnosti jejich nastoupení
- *Údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM)* - metoda pro zavedení programu preventivní údržby, který umožní účelně a účinně dosáhnout požadované úrovně jak bezpečnosti, tak i pohotovosti zařízení
- *Studie nebezpečí a provozuschopnosti (HAZOP)* - týmový proces podrobného rozpoznávání problémů týkajících se nebezpečí a provozuschopnosti. Zabývá se rozpoznáváním potenciálních odchylek od cíle projektu, zkoumáním jejich možných příčin a hodnocením jejich důsledků

Další metody viz [9, 10].



2.2 Základní ukazatele spolehlivosti - rozdělení náhodné veličiny

Základním východiskem kvantitativního hodnocení spolehlivosti (bezporuchovosti, pohotovosti a udržitelnosti) je skutečnost, že většina vlastností sledovaných objektů má pravděpodobnostní, resp. statistický charakter.

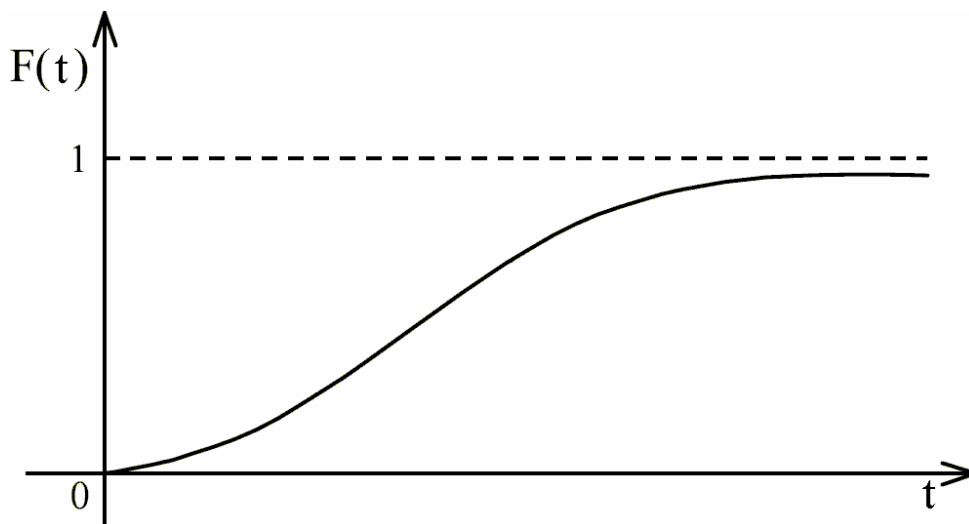
Ukazatele spolehlivosti, jako kvantitativní míry těchto vlastností, jsou tedy náhodného charakteru a úzce souvisejí s rozdělením pravděpodobnosti náhodné proměnné. Proto je zde uvedeno několik základních informací z oblasti teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky, nutných pro orientaci v dané problematice.

Základními ukazateli se v pravděpodobnostním pojetí spolehlivosti rozumí funkce nebo hodnota používaná pro popis náhodné proměnné nebo náhodného procesu.

Bližší informace lze najít v [9, 10, 16].

2.2.1 Distribuční funkce $F(t)$

Nejčastěji se pro popis náhodné proměnné používá distribuční funkce $F(t)$. V teorii spolehlivosti distribuční funkce $F(t)$ představuje pravděpodobnost poruchy výrobku v čase t .



Obr. 1: Průběh distribuční funkce $F(t)$



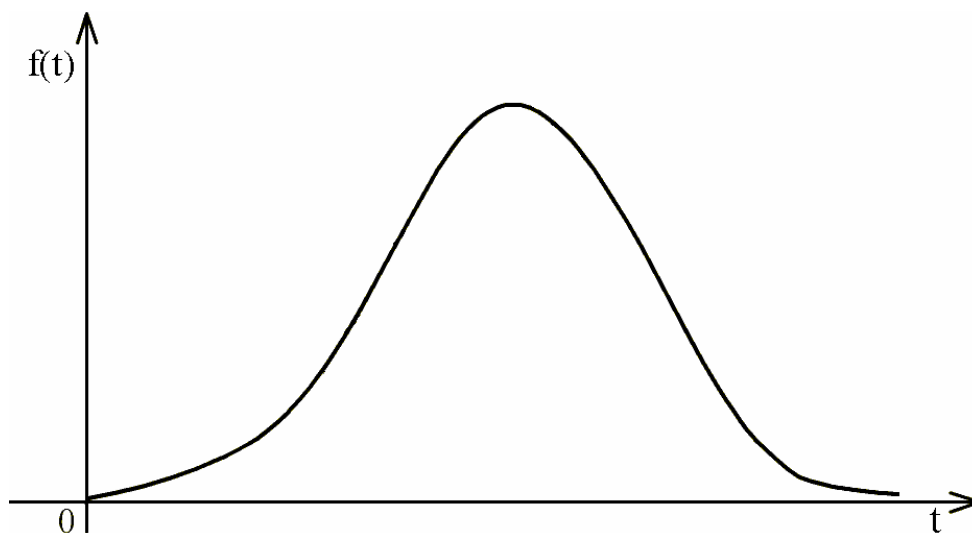
Z průběhu funkce je patrné, že distribuční funkce $F(t)$ je neklesající, $0 \leq F(t) \leq 1$ a její limity jsou: $\lim_{t \rightarrow -\infty} F(t) = 0$ a $\lim_{t \rightarrow +\infty} F(t) = 1$ ².

2.2.2 Hustota pravděpodobnosti $f(t)$

Pomocí hustoty pravděpodobnosti $f(t)$ je specifikován zákon spojitě náhodné veličiny a získáme ji jako derivaci distribuční funkce: $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$

Vlastnosti hustoty pravděpodobnosti $f(t)$: funkce je nezáporná ($f(t) \geq 0$);

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = 1; \lim_{t \rightarrow -\infty} f(t) = 0; \lim_{t \rightarrow +\infty} f(t) = 0$$



Obr. 2: Hustota pravděpodobnosti $f(t)$

2.2.3 Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ ³ je jeden ze základních ukazatelů bezporuchovosti a udává pravděpodobnost, že objekt může plnit požadovanou funkci

² V teorii spolehlivosti se předpokládá, že čas je vždy nezáporný ($t \geq 0$)

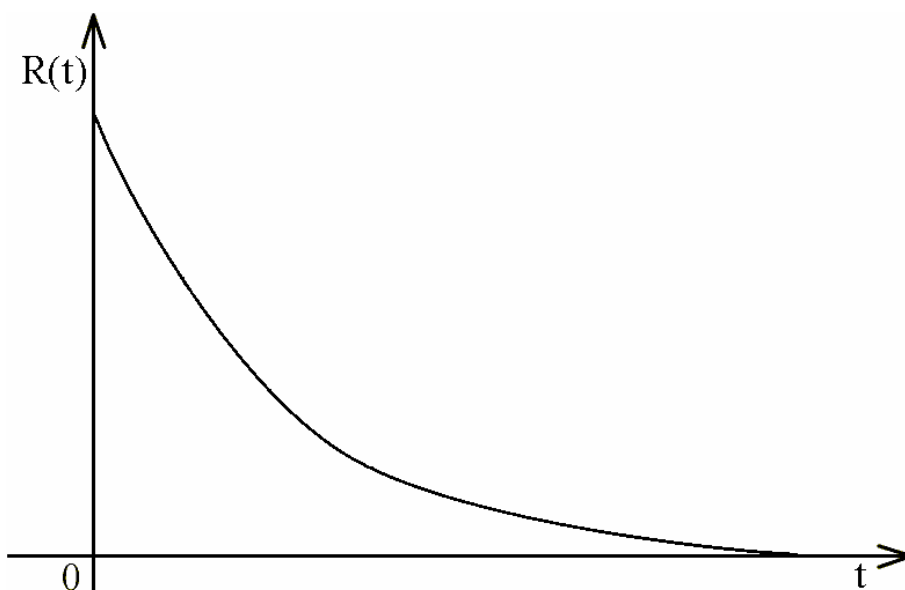
³ Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ jinak též nazýváme jako funkce spolehlivosti



v daných podmínkách a v daném časovém intervalu (pravděpodobnost, že se výrobek do času t neporouchá).

Hodnoty funkce bezporuchového provozu $R(t)$ leží v uzavřeném intervalu $\langle 0,1 \rangle$ a funkce je nerostoucí.

Nejsnadněji se vypočítá jako doplněk distribuční funkce: $R(t) = 1 - F(t)$



Obr. 3: Funkce bezporuchového provozu $R(t)$

2.2.4 Intenzita poruch $\lambda(t)$

Představuje pravděpodobnost, že se výrobek porouchá v intervalu $(t, t + \Delta t)$ za předpokladu, že na začátku intervalu byl výrobek v provozuschopném stavu a délka časového intervalu je jednotková.

Intenzita poruch $\lambda(t)$ násobená časovým intervalem Δt představuje podmíněnou pravděpodobnost, že se výrobek v časovém intervalu $(t, t + \Delta t)$ porouchá (za předpokladu, že na začátku intervalu byl v provozuschopném stavu) a lze ji vypočíst z následujícího vztahu:



$$\lambda(t) = \frac{\frac{dF(t)}{dt}}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{\int_t^{\infty} f(t)dt} = -\frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)}$$

2.2.5 Intenzita obnov $\mu(t)$

Okamžitá intenzita obnov $\mu(t)$ představuje limitu poměru podmíněné pravděpodobnosti, že zásah údržby po poruše skončí v časovém intervalu $(t, t + \Delta t)$, k délce tohoto časového intervalu Δt , jestliže Δt se blíží nule, za podmínky, že tato operace neskončila do začátku časového intervalu.

Při platnosti exponenciálního rozdělení (intenzitu oprav μ lze téměř vždy popsat exponenciálním rozdělením) je to převrácená hodnota střední doby do obnovy $MTTR$:

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

Intenzita obnov μ je též někdy nazývána jako intenzita oprav a patří mezi základní ukazatele udržitelnosti.

2.2.6 Exponenciální rozdělení

Exponenciální rozdělení využíváme především kvůli konstantní intenzitě poruch a intenzitě obnov pro snadné určení parametrů ze známých dat. Pro jeho aplikaci je potřebné znát pouze počet poruch r a celkovou kumulovanou dobu provozu všech komponent t_{pi} . Exponenciální rozdělení se používá u vysoce spolehlivých zařízení, které vykazují malé množství poruch.

Pro exponenciální rozdělení se dají odvodit následující vztahy:

Intenzita poruch: $\lambda = konst.$

Intenzita obnov: $\mu = konst.$

Hustota pravděpodobnosti: $f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$

Distribuční funkce: $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$



2.3 Ukazatele bezporuchovosti a pohotovosti

Výběr vhodných ukazatelů spolehlivosti se řídí podle potřeby vhodně kvantifikovat určitou vlastnost výrobku (či služby) a opírá se o soubor norem používaných ve spolehlivosti.

V technické praxi se nejčastěji používají zde uvedené ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti a udržitelnosti a pro nás je nejdůležitější jejich popsání pro exponenciální rozdělení.

2.3.1 Střední doba do poruchy $MTTF$

Střední doba do poruchy $MTTF$ je ukazatel střední doby, během níž bude systém nepřetržitě pracovat ve specifikovaných mezích za stanovených podmínek. Bodový odhad střední doby do poruchy $MTTF$ může být odhadnut jako podíl jednotek doby užívání (např. pracovní hodiny) během stanoveného časového období a za stanovených podmínek k počtu poruch r v tomto časovém období. Bodový odhad střední doby do poruchy $MTTF$ je základním ukazatelem bezporuchovosti.

Použitím exponenciálního rozdělení získáme vztah $MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{\sum t_{pi}}{r}$, kde $\sum t_{pi}$ je celková kumulovaná doba bezporuchového provozu zařízení a r je počet poruch.

2.3.2 Střední doba do obnovy $MTTR$

Střední doba do obnovy $MTTR$ je průměrná nebo očekávaná doba potřebná k opravě zařízení. Bodový odhad střední doby do obnovy se získá jako podíl celkové doby provádění údržby po poruše k celkovému počtu zásahů údržby po poruše během daného časového období.

Střední doba do obnovy $MTTR$ je skoro vždy výrazně kratší, než střední doba do poruchy $MTTF$ a pro exponenciální rozdělení se vypočte jako:

$$MTTR = \frac{\sum t_{oi}}{r} = \frac{1}{\mu}, \quad \text{kde } \sum t_{oi} \text{ je celková kumulovaná doba obnov}$$

provozní schopnosti zařízení (oprav) a r je počet poruch.

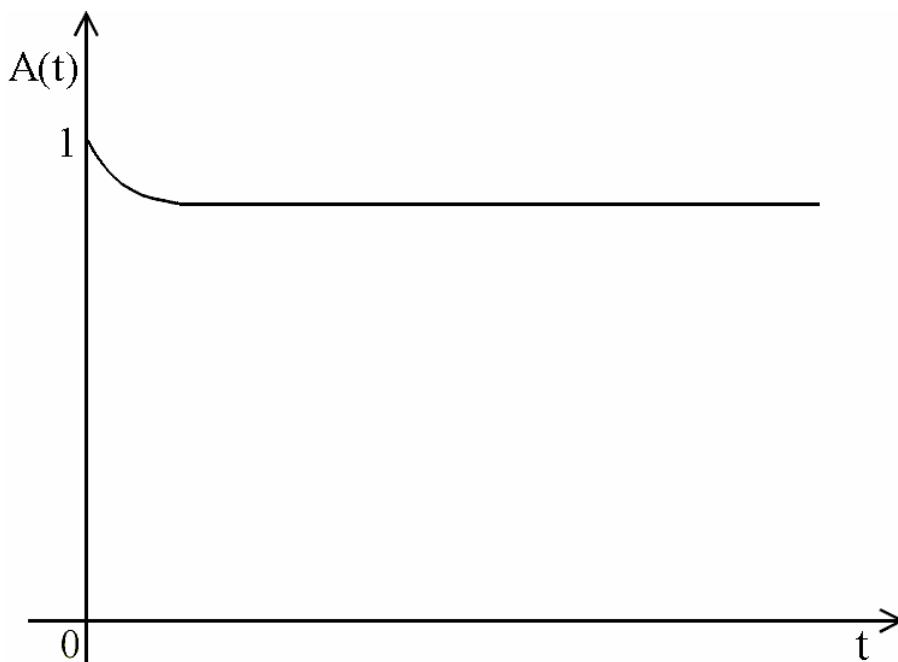


2.3.3 Funkce okamžité pohotovosti $A(t)$

Funkce okamžité pohotovosti $A(t)$ udává vlastnost objektu být ve stavu schopném plnit požadovanou funkci v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu, za předpokladu, že jsou zajištěny požadované vnější prostředky.

Funkce okamžité pohotovosti $A(t)$ je funkce omezená v intervalu $\langle 0,1 \rangle$ a často je blízká hodnotě 1. Zjednodušeně lze uvést, že funkce okamžité pohotovosti $A(t)$ udává, s jakou pravděpodobností bude výrobek fungovat, pokud je známo, kdy byl uveden do provozu.

Doplňkem této funkce je funkce okamžité nepohotovosti: $U(t) = 1 - A(t)$



Obr. 4: Průběh funkce okamžité pohotovosti $A(t)$

2.3.4 Asymptotická pohotovost A

Obecně se dá asymptotická pohotovost A vyjádřit jako ustálená hodnota pohotovosti. Asymptotická pohotovost A je limita okamžité pohotovosti $A(t)$,



jestliže se čas t blíží k nekonečnu a existuje pouze pro exponenciální rozdělení doby do poruchy a obnovy výrobku.

Asymptotická pohotovost A má nejjednodušší výpočtové vztahy a u většiny případů je ve shodě s realitou. Pomocí Laplaceovy transformace lze odvodit následující vztah:

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Je evidentní, že s rostoucím časem se funkce blíží k ustálené (asymptotické) hodnotě.

Obdobný vztah lze získat i pro asymptotickou nepohotovost U :

$$U = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{MTTR}{MTTF + MTTR}$$

Pro naše výpočty asymptotické pohotovosti A je nejdůležitější následující vztah:

$$A = \frac{\sum t_{pi}}{\sum t_{pi} + \sum t_{oi}}, \text{ kde } \sum t_{pi} \text{ je kumulovaná doba bezporuchových provozů}$$

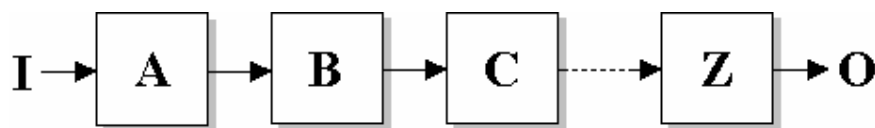
zařízení a $\sum t_{oi}$ je kumulovaná doba obnov provozuschopnosti zařízení (oprav).



3. Základní typy zapojení systémů

Systémy lze rozdělit do tří základních zapojení, z jejichž kombinací mohou vzniknout jakákoliv další odvozená složitější zapojení. Obecně se dá říci, že mezi vstupní a výstupní bránou procházejí cesty těmi kombinacemi bloků, které musí být provozuschopné, má-li systém fungovat. Pod pojmem blok si lze představit určitou část systému, funkční celek atp.

3.1 Sériové zapojení



Obr. 5: Sériové zapojení

$A, B, C \dots Z$ jsou bloky, které dohromady tvoří sledovaný sériově zapojený systém, kde I je vstupní brána a O výstupní brána.

V případě sériového zapojení porucha na jednom bloku vyvolá poruchu celého systému. Porucha libovolného bloku systému ovšem nezpůsobí změnu pravděpodobnosti poruchy jakéhokoliv jiného bloku systému (tzv. statistická nezávislost systému - porucha libovolného bloku nesmí způsobit změnu pravděpodobnosti poruchy jakéhokoliv jiného bloku systému). Systém tedy je v provozuschopném stavu pouze tehdy, jestliže všechny jeho komponenty (bloky) jsou provozuschopné.

Pravděpodobnost bezporuchového provozu systému $R_s(t)$ je pravděpodobnost, že systém bude vykonávat požadovanou funkci za daných podmínek pro daný časový interval a pro sériové zapojení se vypočte ze vztahu:

$$R_s(t) = R_A(t) \cdot R_B(t) \cdot R_C(t) \cdots R_Z(t), \quad \text{kde} \quad R_A(t) \dots R_Z(t) \quad \text{jsou} \quad \text{jednotlivé}$$

pravděpodobnosti bezporuchových provozů všech bloků tvořících systém. Tyto pravděpodobnosti se získají na základě poskytnutých informací o poruchových stavech systému.



Okamžitá pohotovost systému $A_S(t)$ je dána vztahem:

$$A_S(t) = A_A(t) \cdot A_B(t) \cdot A_C(t) \cdots A_Z(t)$$

Oba vzorce lze zobecnit pro exponenciální rozdělení:

$$R_S(t) = e^{-\lambda_A(t)t} \cdot e^{-\lambda_B(t)t} \cdot e^{-\lambda_C(t)t} \cdots e^{-\lambda_Z(t)t} = e^{-(\lambda_A(t) + \lambda_B(t) + \lambda_C(t) + \cdots + \lambda_Z(t))t} \quad \text{kde } \lambda_i(t) \text{ je}$$

intenzita poruch jednotlivých komponent vyjadřující pravděpodobnost, že u jednoho neopravitelného zařízení (bloku) bude porucha v časovém intervalu $(t, t + \Delta t)$, za předpokladu, že v čase t byl objekt v provozuschopném stavu.

Lze ji vypočíst z obecného vztahu:

$$\lambda(t) = -\frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)}$$

Celková intenzita poruch sériového systému je pak dána součtem jednotlivých intenzit poruch:

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= -\frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} = -\frac{-(\lambda_A(t) + \lambda_B(t) + \lambda_C(t) + \cdots + \lambda_Z(t)) \cdot e^{-(\lambda_A(t) + \lambda_B(t) + \lambda_C(t) + \cdots + \lambda_Z(t))t}}{e^{-(\lambda_A(t) + \lambda_B(t) + \lambda_C(t) + \cdots + \lambda_Z(t))t}} = \\ &= \lambda_A(t) + \lambda_B(t) + \lambda_C(t) + \cdots + \lambda_Z(t) \end{aligned}$$

A konečně obecný výpočet pro pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

3.2 Paralelní zapojení

U paralelních zapojení vyvolá poruchu celého systému až porucha všech záložních prvků. Paralelní zapojení lze charakterizovat následujícími základními matematickými vztahy.

Pravděpodobnost poruchy:

$$F_S(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t)$$

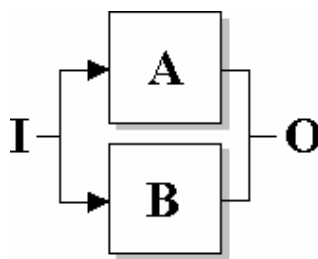


Pravděpodobnost poruchy pro příklad z obr. 6:

$$F_S(t) = F_A(t) \cdot F_B(t)$$

Obecný vztah pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R_S(t)$:

$$R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t))$$



Obr. 6: Paralelní zapojení

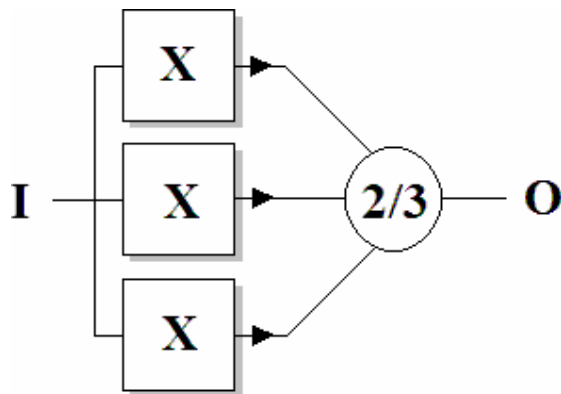
Pro příklad z obr. 6 je pravděpodobnost bezporuchového provozu $R_S(t)$:

$$R_S(t) = R_A(t) + R_B(t) - R_A(t) \cdot R_B(t)$$

3.3 Zapojení m z n

Často je nezbytné modelovat takové systémy, ve kterých je úspěšný stav definován takovým způsobem, že je nutné paralelně spojit m z n jednotek, pro úspěšný stav systému.

Na obr. 7 porucha jedné komponenty nevyvolá poruchu systému, porucha dvou či více jednotek již uvede celý systém do neprovozného stavu.



Obr. 7: Zapojení m z n

Při vyjadřování pravděpodobnosti bezporuchového stavu systému je nutno použít již složitějších matematických výrazů. Obecně platí, že pokud může bezporuchovost systému představovat n stejných paralelně řazených jednotek, kde je pro úspěšný stav systému požadováno m z n jednotek, potom je pravděpodobnost bezporuchového provozu systému $R_S(t)$ dána vztahem (za předpokladu shodné pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$ pro každý blok):

$$R_S(t) = \sum_{r=0}^{n-m} \binom{n}{r} \cdot R(t)^{n-r} \cdot (1 - R(t))^r$$

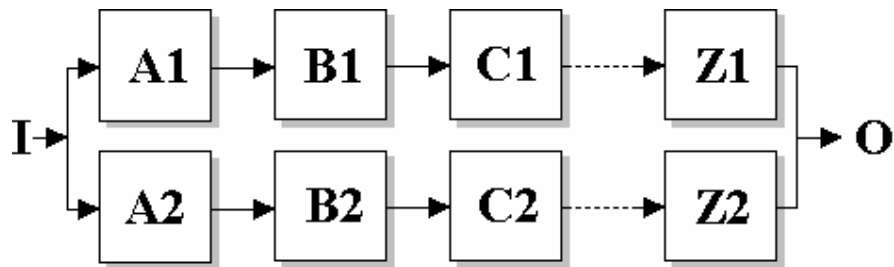
Pro příklad z obr. 7 tedy vyplývá:

$$R_S(t) = R(t)^3 + 3 \cdot R(t)^2 \cdot (1 - R(t)) = 3 \cdot R(t)^2 - 2 \cdot R(t)^3$$

3.4 Sérioparalelní zapojení

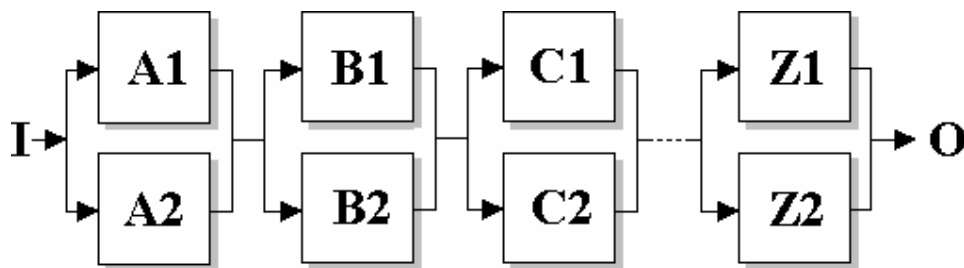
Pokud porucha jednoho prvku nebo bloku neovlivňuje funkci systému podle definice poruchového stavu, jsou zapotřebí různé typy blokových diagramů.

Jestliže je ve výše uvedeném případě (obr. 5) celý řetězec zdvojen (zálohován), potom je blokový diagram takový, jaký je uveden na obr. 8.



Obr. 8: Zdvojení systému

Pokud je však v řetězci zdvojen každý blok, je blokový diagram takový, jak zobrazuje obr. 9.



Obr. 9: Zdvojení bloků systému

Vyhodnocením zapojení na obr. 9 (častější zapojení) dostáváme základní vztah pro pravděpodobnost poruchy $F_S(t)$:

$$F_S(t) = F_{A1}(t) \cdot F_{A2}(t) + F_{B1}(t) \cdot F_{B2}(t) + F_{C1}(t) \cdot F_{C2}(t) + \dots + F_{Z1}(t) \cdot F_{Z2}(t)$$

Odtud plyne pravděpodobnost bezporuchového provozu systému $R_S(t)$:

$$R_S(t) = (R_{A1}(t) + R_{A2}(t) - R_{A1}(t) \cdot R_{A2}(t)) \cdot (R_{B1}(t) + R_{B2}(t) - R_{B1}(t) \cdot R_{B2}(t)) \cdot \\ \cdot (R_{C1}(t) + R_{C2}(t) - R_{C1}(t) \cdot R_{C2}(t)) \dots (R_{Z1}(t) + R_{Z2}(t) - R_{Z1}(t) \cdot R_{Z2}(t))$$



3.5 Blokový diagram bezporuchovosti

Blokový diagram bezporuchovosti (RBD - Reliability Block Diagram) je model bezporuchovosti, který poskytuje grafickou reprezentaci bezporuchovosti systému a vyjadřuje logickou vazbu jednotlivých komponent, potřebných pro fungování systému. Ukazuje logické spoje (funkčních) prvků nezbytných pro úspěšný (bezporuchový) stav systému.

Systém (či jeho jednotlivé dílčí komponenty) se může nacházet ve dvou základních stavech: provozuschopném nebo poruchovém. Má se za to, že systém je v kterémkoliv časovém okamžiku právě v jednom z těchto dvou stavů.

Základním předpokladem konstrukce modelu bezporuchovosti systému je řádné porozumění jednotlivým druhům provozu systému. Systémy často vyžadují více než jednu definici poruchových stavů - jednotlivé poruchové stavy je třeba definovat a vypracovat jejich seznam. Při konstrukci RBD diagramu se mohou uplatnit různé metody kvalitativní analýzy. Je proto nutné stanovit definici poruchového stavu systému.

Úspěšný stav systému závisí na jedné nebo více poruchách systému. Ve znakovém vyjádření se nerozlišuje mezi přerušením, zkratem, nebo jiným druhem poruchového stavu (je však možné jejich číselné vyhodnocení).

Dále je třeba stanovit podmínky provozního prostředí, v němž systém pracuje a stanovit vztah mezi kalendářním časem, provozní dobou a cykly vypnuto/zapnuto. Dá se totiž předpokládat, že postup zapínání a vypínání zařízení (např. pravidelné preventivní kontroly) sám o sobě nezvyšuje poruchovost. Proto je třeba brát v úvahu pouze skutečnou dobu provozu zařízení.

Samotné vytváření diagramu probíhá volbou definice úspěšného stavu systému. Dalším krokem je rozdělení systému do bloků zařízení, které odráží logické chování systému tak, aby každý z bloků byl statisticky nezávislou jednotkou a co největší (zahrnoval co nejvíce komponent systému). Ve stejné době nemá žádný blok obsahovat (dovoluje-li to situace) žádné zálohy. Jednotlivé bloky se mohou dále dělit a mohou být postupně znázorněny jinými RBD diagramy (tzv. redukce systému). Nejmenší úroveň dělení systému definuje tým zabývající se analýzou bezporuchovosti.

Následujícím krokem je definování poruchových stavů systému a konstrukce



blokového diagramu, který spojí bloky a vytvoří tzv. „cestu úspěšného stavu“.

Je důležité poznamenat, že blokový diagram bezporuchovosti nepředstavuje nezbytně způsob, jakým jsou fyzicky propojeny komponenty přímo na sledovaném zařízení.



4. Popis analyzovaného systému

Společnost Cadence Innovation k.s. se zabývá výrobou, vývojem a dodávkou plastových výrobků a systémů pro automobilový průmysl, jako jsou např. lakované nárazníky, obložení nárazníků, přístrojové desky, mřížky chladiče, obložení a výplně dveří, kryty airbagů, kabinové moduly atd., které vyrábí např. pro firmy Škoda Auto a.s. (modely Roomster, Octavia, Octavia RS, Fabia, Fabia RS, Superb), Audi (Q7, A4, A3, TT), Opel (Corsa), Suzuki (Shift, SX4, Ignis), koncern TPCA (Toyota Peugeot Citroën Automobile - modely Toyota Aygo, Peugeot 107, Citroën C1) a další.

Vstřikováním se vyrábějí plastové výrobky, které mají charakter samostatného dílce nebo se po zkompletování stávají součástí většího celku, např. nárazníky, skupinové svítlny osobních automobilů, středové panely, přístrojové desky apod. Všechny výrobky se vyznačují vysokou rozměrovou přesností.

Vstřikování plastů je typické pro velkosériovou a hromadnou výrobu (řádově desetitisíce kusů ročně) a představuje jednu z nejdůležitějších technologií zpracování termoplastů. Je to proces diskontinuální (nespojité, nesouvislý) a cyklický.

4.1 Princip vstřikování termoplastů

Vstřikováním plastů se rozumí způsob tváření, při kterém je dávka roztaveného granulátového plastu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek.

Plast v podobě granulí se nasype do násypky, z níž je odebírán otáčejícím se šnekem, který jej dopravuje do tavicí komory vyhřívané elektrickými odporovými pásy. Zde plast taje a jako tavenina je šnekem vstříknut do dutiny formy, kterou zcela naplní a zaujme přesně její tvar.

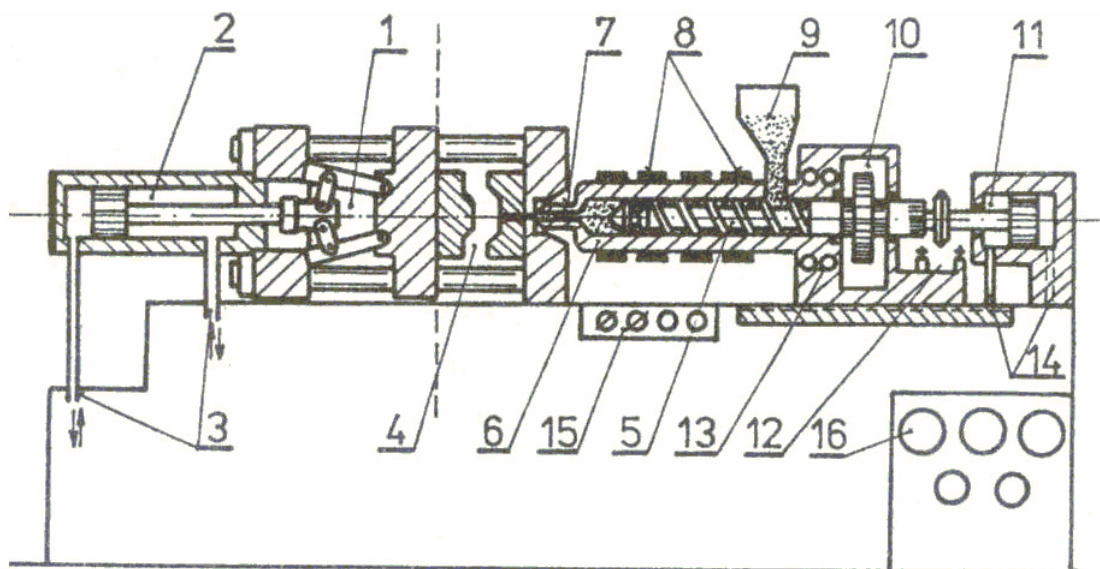
Forma je kovová a je chlazená protékající kapalinou na teplotu 30 až 80 °C. Hmota předává do formy teplo a ochlazením ztuhne. Potom se forma otevře a výrobek je z formy vyjmut nebo je vyhozen vyhazovacími kolíky. Na to se forma opět uzavře a celý cyklus se opakuje.



4.2 Šnekový vstřikovací stroj

Zařízení pro vstřikování plastů sestává z vlastního vstřikovacího stroje a z regulační a řídicí soustavy. Samotný vstřikovací stroj má dvě na sobě závislé jednotky - vstřikovací a uzavírací jednotku.

Úkolem vstřikovací jednotky je zajistit správné dávkování granulátu, jeho plastifikaci, vstříknutí roztavené taveniny do formy, provedení dotlaku a zajištění dalších pohybů tavící komory, tj. její odsunutí a přisunutí k formě. Uzavírací jednotka stroje zajišťuje pevné uzavření vstřikovací formy během plnění a všechny pohyby nutné k vyhození hotového výrobku z formy.



Obr. 10: Schéma šnekového vstřikovacího stroje

- | | |
|---|---|
| 1 - kloubový uzavírací mechanismus | 2 - hydraulický válec s pístem |
| 3 - přívod a odvod kapaliny od čerpadla | 4 - vstřikovací forma |
| 5 - šnek | 6 - tavící forma |
| 7 - tryska tavící komory | 8 - odporové topení |
| 9 - násypka | 10 - hydraulický motor |
| 11 - hydraulický válec s pístem pro axiální pohyb šneku | 12 - koncové spínače pro nastavení pohybu šneku |
| 13 - chladicí kanály | 14 - přívod hydraulické kapaliny |
| 15 - ovládací panel | 16 - regulace hydraulického systému stroje |



4.3 Vstřikovací cyklus

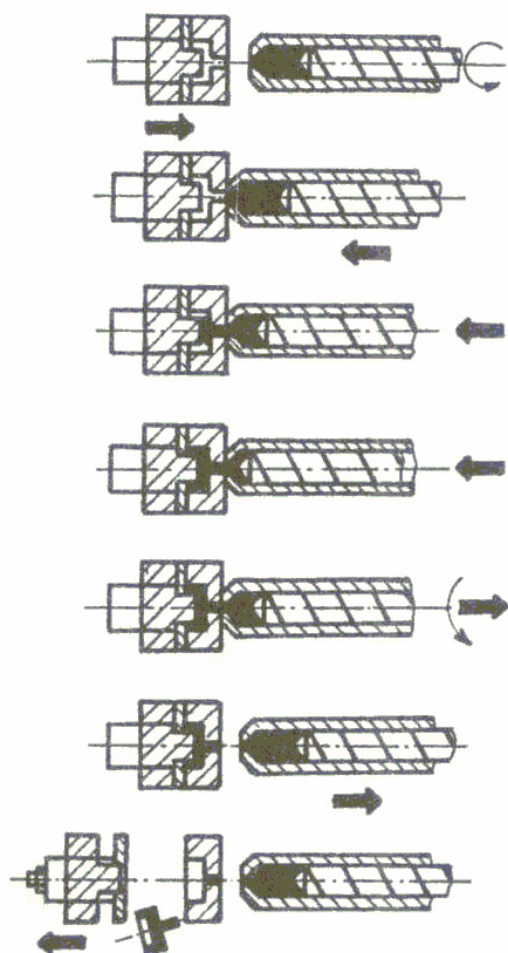
Pro zhotovení výrobku je nutno zajistit sled přesně za sebou jdoucích operací, které tvoří vstřikovací cyklus.

Na počátku je dutina formy prázdná a forma je otevřená. Stroj dostane impuls k zahájení vstřikovacího cyklu. Forma se přisune, uzavře a uzamkne. Poté se přisune tavící komora k formě, do pohybu se dává také šnek v tavící komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb (ve směru osy), neotáčí se a působí jako píst.

Jakmile hmota vstoupí do dutiny formy, předá formě teplo a hmota chladne. To trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku. Dalším krokem cyklu je doba plastifikace. Plastifikací se rozumí příprava materiálu (roztavení termoplastu) pro vstříknutí do formy, tzn. roztavení granulátu a jeho homogenizace. Plastifikace se provádí v tavící komoře, ve které je otočně a posuvně uložen plastifikační šnek. Šnek se začne otáčet, nabírá pod násypkou granulovanou hmotu, plastifikuje jí a vtlačuje do prostoru před čelem šneku.

Otáčivý pohyb šneku se zastaví a následuje odsunutí plastifikační jednotky od formy. Po dokonalém zchladnutí se forma otevře a výstřik se z formy vyhodí vyhazovacími kolíky. Vstřikovací cyklus je u konce.

Ilustrace vstřikovacího cyklu je zobrazena na obr. 11 a bližší informace o vstřikovacím cyklu lze nalézt v [13, 14, 15].



1. uzavření formy

2. přisunutí vstřikovací jednotky

3. plnění dutiny formy

4. dotlačování

5. plastifikace

6. odsunutí plastifikační jednotky

7. otevření formy, vyhození výstřiku

Obr. 11: Vstřikovací cyklus



5. Analýza parametrů spolehlivosti systému

Vstřikovací stroj společnosti Cadence Innovation k.s. bylo nutno pro analýzu a výpočet střední doby do poruchy $MTTF$, intenzity poruch λ , střední doby do obnovy $MTTR$, intenzity oprav μ , pohotovosti A a nepohotovosti U rozdělit na jednotlivé dílčí komponenty, k čemuž byla použita analytická metoda analýzy spolehlivosti, konkrétně metoda blokového diagramu bezporuchovosti (viz kapitola 3.5).

Blokový diagram bezporuchovosti byl aplikován na dva typy vstřikovacích strojů společnosti Cadence Innovation k.s., typového označení ES 2550/400HL (ES2550/600HL) a VC 1800/300 Tech. od výrobce ENGEL AUSTRIA GmbH, jejichž technické parametry jsou si velmi podobné. Tyto typy strojů patří do kategorie malých vstřikovacích strojů, vyznačujících se menší uzavírací silou v řádu několika tisíc kN.

Vlivem podobnosti vstřikovacích strojů (jejich technických parametrů) mohl sběr dat proběhnout pro všechny sledované stroje zároveň a výsledky jsou sjednoceny tak, jako by se jednalo o jediný vstřikovací stroj.

Tento postup byl zvolen v důsledku minimálního počtu poruch jednotlivých vstřikovacích strojů, který by při aplikaci pouze na jediný vstřikovací stroj vedl k poměrně velké statistické odchylce spolehlivosti systému a tím k nepřesným či zkreslujícím výsledkům.

5.1 Technické parametry vstřikovacích strojů

Zařízení se skládá ze tří základních částí:

- Vstřikovací jednotky
- Uzavírací jednotky
- Ovládacích a řídicích prvků

První dva jmenované prvky jsou specifikovány následujícími technickými parametry a systém jako celek je definován okolními provozními podmínkami, danými výrobcem (technické parametry byly získány z [18]).



5.1.1 Uzavírací jednotka

Uzavírací síla 4000 kN

Otevírací rozsah 955 mm

Rozpětí vyhazovače jader 250 mm

Síla vyhazovače jader 83 kN

5.1.2 Vstřikovací jednotka

Průměr šneku 70 mm

Maximální zdvihový objem ... 1193 cm³

Maximální otáčky šneku 262 ot./min.

Vstřikovací tok 350 cm³/s

Tlak vstřiku 1820 bar

Délka zdvihu trysky 650 mm

Síla trysky 110 kN

5.1.3 Definované okolní podmínky dané výrobcem

Pro správnou funkci zařízení je nutno dodržet výrobcem předepsané pracovní podmínky, konkrétně se jedná o:

- Okolní teplotu vzduchu v rozmezí +10 °C až +40 °C
- Vlhkost nekondenzovaného vzduchu v rozmezí 20 % až 80 %
- Maximální nadmořskou výšku 1000 m n. m.
- Elektromagnetická kompatibilita musí odpovídat směrnici EU (89/336/EWG)

5.2 Aplikace modelu bezporuchovosti

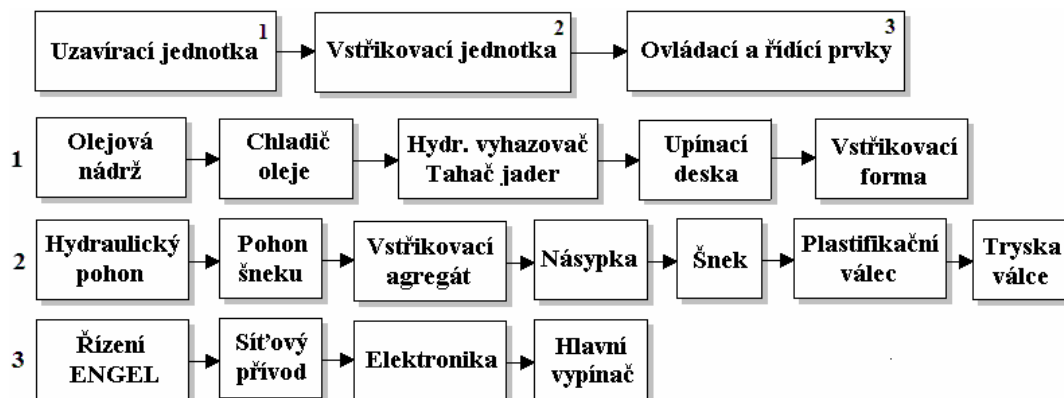
Zařízení bylo rozděleno pomocí metody blokového diagramu bezporuchovosti (viz kapitola 3.5) na jednodušeji analyzovatelný model, složený ze tří základních bloků - uzavírací jednotky, vstřikovací jednotky a ovládacích a řídicích prvků, které se dále dělí pomocí sériového zapojení na další bloky.

Pro analýzu systému bylo použito sériové zapojení z důvodu, že jednotlivé dílčí



komponenty systému nejsou zálohovány a porucha kteréhokoliv bloku vyřadí celý stroj z provozu (viz kapitola 3.1).

Po prostudování technické dokumentace výrobce vstřikovacího stroje [18], literatury [13, 14, 15] a po prováděných konzultacích se zaměstnanci společnosti Cadence Innovation k.s. vznikl následující model bezporuchovosti.



Obr. 12: Blokový diagram bezporuchovosti vstřikovacího stroje

5.3 Vstupní data

Vstupní data byla získána pro 6 výrobních vstřikovacích strojů, jejichž pořadová čísla dle značení společnosti Cadence Innovation k.s. jsou - stroj č. 91, 92, 93, 94, 95 a 96. Údaje o poruchách byly získány z tzv. karty stroje a na jejich základě se stanovují parametry spolehlivosti systému.

5.3.1 Karta stroje

Karta stroje poskytuje základní údaje o poruchách a preventivních prohlídkách stroje v daném časovém intervalu.

Karta stroje obsahuje:

- Pořadové číslo stroje a karty
- Datum poruchy
- Druh poruchy a její odstranění



- Časový údaj o době zarážky (prostoje) v hodinách
- Podpis opravujícího

V kartě stroje jsou zahrnuty též preventivní prohlídky stroje a preventivní údržba stroje - tyto zarážky se v této kapitole pro analýzu spolehlivosti nezahrnují, poněvadž se jedná o plánované odstávky, zatímco porucha je neplánovaná.

Preventivním prohlídkám a plánované údržbě se věnuje kapitola 6.

Karty stroje jsou v příloze 1.

5.4 Popis a počet poruch

Z poskytnutých karet stroje bylo možné vyčíst následující údaje a rozdělit jednotlivé stroje podle kritérií, jež shrnuje tab. 1. Jedná se o tyto údaje:

- *Časový interval*, po který byl stroj v provozu - od 1. srpna 2004 do června 2006
- *Celková doba provozu stroje* - kumulovaná doba provozu strojů ve dnech a v hodinách (sloupec t_{pi})
- *Celková doba v poruše* - kumulovaná doba oprav strojů v hodinách (sloupec t_{oi})
- *Celkový počet poruch* na jednotlivých strojích (sloupec r)

Tyto údaje byly zjištěny a rozděleny pro každý ze vstřikovacích strojů (viz tab. 1).

Pro celkovou dobu provozu t_{pi} , celkovou dobu v poruše t_{oi} a celkový počet poruch r byl vypočten součet těchto hodnot přes všechny stroje (součet hodnot časů a poruch všech strojů - $\sum t_{pi}$, $\sum t_{oi}$ a $\sum r$), který se stal základem pro následné výpočty základních parametrů spolehlivosti systému jako celku (viz tab. 1).

Sledované časové rozmezí, po které byly stroje v provozu, je vypočteno na základě skutečnosti, že ve společnosti Cadence Innovation k.s. je pracovní doba pět dní v týdnu (pondělí až pátek) a provoz je na tři osmihodinové směny, tzn. 120 pracovních hodin za týden (480 pracovních hodin za měsíc).

Pro zjednodušení je navíc uvažováno, že rok má 52 pracovních týdnů, kdy dva z těchto týdnů je celozávodní dovolená a do součtu časů se nezapočítávají. Z tohoto předpokladu vyplývá, že kalendářní rok má 6000 pracovních hodin.



Tab. 1: Údaje jednotlivých vstřikovacích strojů

Stroj č.	V provozu od	V provozu do	Pracovních dní	t_{pi} [h]	t_{oi} [h]	r [l]
91	1. 8. 2004	18. 6. 2006	462	11088	16	8
92	1. 8. 2004	3. 6. 2006	452	10848	9,5	3
93	1. 8. 2004	4. 6. 2006	452	10848	19	9
94	1. 8. 2004	4. 6. 2006	452	10848	24,5	10
95	1. 8. 2004	9. 4. 2006	430	10320	22,5	8
96	1. 8. 2004	14. 6. 2006	460	11040	46	17
Celkem - Σ	-	-	2708	64992	137,5	55

5.5 Výpočty parametrů spolehlivosti

K jednotlivým funkčním blokům, získaným z blokového diagramu bezporuchovosti (viz obr. 12), byly přiděleny na základě údajů z karet stroje (viz kapitola 5.3.1) počty poruch, kdy porucha byla přidělena právě tomu bloku, ke kterému porucha nejbližší náleží (na základě konzultací s pracovníky společnosti Cadence Innovation k.s.).

Rozdělení podle blokového diagramu bezporuchovosti vlastně zidealizuje celý systém tak, že např. dvě rozdílné poruchy na stejném bloku systému jsou přiřazeny právě tomu bloku, kterému nejbližší náleží, což je nejlépe patrné např. z tohoto konkrétního příkladu: výměna ventilu chlazení oleje a výměna tlakového olejového filtru chlazení byla přiřazena bloku chladič oleje.

Na základě získaných časových údajů a počtů poruch pro jednotlivé funkční bloky systému byl vypočten bodový odhad střední doby do poruchy $MTTF$, bodový odhad intenzity poruch λ , bodový odhad střední doby do obnovy $MTTR$, bodový odhad intenzity oprav μ , pohotovost A a z ní vyplývající nepohotovost U podle následujících vztahů (viz kapitoly 2.2 a 2.3):

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \frac{\sum t_{pi}}{r} & \lambda &= \frac{1}{MTTF} & MTTR &= \frac{t_{oi}}{r} \\
 \mu &= \frac{1}{MTTR} & A &= \frac{\sum t_{pi}}{\sum t_{pi} + \sum t_{oi}} & U &= 1 - A
 \end{aligned}$$

Výsledky přehledně shrnuje tab. 2.



Tab. 2: Výpočet parametrů pro jednotlivé funkční bloky (po zaokrouhlení)

Blok	r [1]	t_{oi} [h]	MTTF [h]	λ [$10^{-6} \cdot h^{-1}$]	μ [h^{-1}]	MTTR [h]	A [1]	U [10^{-3}]
Chladič oleje	11	24,5	5908	170	0,45	2,2	0,999623	0,377
Násypka	7	27,5	9300	110	0,25	3,9	0,999578	0,422
Šnek	4	12	16000	60	0,33	3,0	0,999813	0,187
Hydraulický pohon	12	19,5	5400	190	0,62	1,6	0,999699	0,301
Plastifikační válec	5	13	13000	80	0,38	2,6	0,999800	0,200
Tryska válce	7	12	9300	110	0,58	1,7	0,999816	0,184
Vstřikovací agregát	7	16	9300	110	0,44	2,3	0,999754	0,246
Řízení ENGEL	2	13	32500	300	0,15	6,5	0,999800	0,200
Celkem	55	137,5	1182	1130		2,5	0,9979	2,1

Blokový diagram bezporuchovosti uvedený na obr. 12 obsahuje ve skutečnosti více bloků, než kolik jich je uvedeno v tab. 2. V tab. 2 a při výpočtech jsou zahrnuty pouze ty bloky systému, u kterých v daném časovém intervalu došlo k poruše. Ostatní bloky mají počet poruch $r = 0$ a tudíž pro ně nelze vypočíst střední dobu do poruchy $MTTF$, intenzitu poruch λ , střední dobu do obnovy $MTTR$, intenzitu obnov μ , pohotovost A ani nepohotovost U .

Případné začlenění těchto bloků do výpočtu parametrů spolehlivosti je samozřejmě možné, ale v tomto případě na nich nebyla evidována žádná porucha a výsledky analýzy tím nejsou nijak ovlivněny či zkresleny. Neznamená to ovšem, že jsou tyto bloky zbytečné, nepotřebné či nadbytečné.

Výpočet bodového odhadu střední doby do poruchy $MTTF$, bodového odhadu intenzity poruch λ , střední doby do obnovy $MTTR$, bodového odhadu intenzity obnov μ , pohotovosti A a nepohotovosti U probíhal jak pro jednotlivé funkční bloky systému zvlášť (viz tab. 2), tak i pro jednotlivé vstřikovací stroje (viz tab. 3).

Tab. 3: Výpočet parametrů pro jednotlivé vstřikovací stroje (po zaokrouhlení)

Stroj č.	MTTF [h]	λ [$10^{-6} \cdot h^{-1}$]	μ [h^{-1}]	MTTR [h]	A [1]	U [10^{-3}]
91	1400	700	0,485	2,06	0,99856	1,44
92	3600	300	0,345	2,90	0,99913	0,87
93	1200	800	0,456	2,19	0,99825	1,75
94	1100	900	0,399	2,51	0,99775	2,25
95	1300	800	0,366	2,73	0,99782	2,18
96	650	1550	0,372	2,69	0,99585	4,15



5.6 Pohotovost A a střední doba do poruchy $MTTF$ systému jako celku

Důležitým parametrem systému, který je nutno zjistit, je celková pohotovost A a celková střední doba do poruchy $MTTF$. Jejich výpočet probíhal na základě matematického základu z kapitoly 2.3.2 a 2.3.3.

Ze vztahu $A = \frac{\sum t_{pi}}{\sum t_{pi} + \sum t_{oi}}$, kde $\sum t_{pi}$ je kumulovaná doba bezporuchových provozů zařízení a $\sum t_{oi}$ kumulovaná doba oprav zařízení (viz tab. 1), byla vypočtena celková pohotovost systému, dosahující hodnoty **0,9979**, resp. nepohotovost systému (doplněk pohotovosti) $U = 1 - A = 2,1 \cdot 10^{-3}$.

Bodový odhad celkové střední doby do poruchy $MTTF$ je vyjádřením celkové doby provozu systému t_{pi} ku celkovému počtu poruch r . Bodový odhad celkové střední doby do poruchy tedy po dosazení hodnot do vzorce $MTTF = \frac{\sum t_{pi}}{r}$ dosahuje po zaokrouhlení hodnoty **1200 hod.**

5.7 Zhodnocení výsledků

Systém jako celek byl v provozu celkem 2708 dní, tzn. 64 992 pracovních hodin (viz kapitola 5.4) během nichž nastalo celkem 55 poruch s celkovou dobou v poruše 137,5 hod. Velikost sledovaného časového intervalu (celková doba provozu systému) je dostatečně velká k tomu, aby výsledky výpočtů parametrů spolehlivosti nabývaly kontrolovatelných statistických odchylek a dostatečné přesnosti.

Vypočtené výsledky vykazují skutečnost, že systém jako celek vykazuje vysokou míru spolehlivosti, což dokazuje celková pohotovost systému, dosahující hodnoty $A = 0,9979$. Střední doba do poruchy $MTTF$ dosáhla hodnoty 1200 hod., čímž je vyjádřeno, že porucha na některém ze vstřikovacích strojů nastane v průměru (po zaokrouhlení) jednou za 49 pracovních dní.

V případě jednotlivých vstřikovacích strojů výsledky vyjadřují skutečnost, že žádný ze vstřikovacích strojů se výrazně neodlišuje od vypočtených hodnot ostatních vstřikovacích strojů. Pouze vstřikovací stroj s pořadovým číslem 96 vykazuje nejnižší hodnoty střední doby do poruchy, která je poloviční oproti ostatním vstřikovacím strojům.



Ve srovnání s ostatními stroji mohla být takto velká odchylka způsobena poměrně vysokým počtem poruch při zavedení vstřikovacího stroje do provozu (na začátku sledovaného období). Mohlo se tudíž jednat o přechodové poruchy na stroji, zaviněné např. chybnou instalací stroje v podniku. Zpětné dohledání důsledků takového výkyvu je poměrně náročnou záležitostí.

Na druhou stranu vstřikovací stroj s pořadovým číslem 92 vykazuje nejvyšší střední dobu do poruchy $MTTF$, která je $2,5 \times$ vyšší než u ostatních vstřikovacích strojů.

Nejhorší parametry, co se jednotlivých funkčních bloků systému týče, vykazují bloky hydraulický pohon a chladič oleje, jejichž střední doba do poruchy $MTTF$ dosahuje 6000 hodin, kdežto u ostatních bloků jsou tyto hodnoty dvakrát až třikrát vyšší.

5.8 Zálohování vstřikovacích strojů

Často vídanou skutečností v provozní praxi bývá, že všechny vstřikovací stroje nejsou vytíženy na 100 % jejich možné výrobní kapacity, ale např. pouze na 80 % (např. 5 strojů v provozu a jeden je nevyužit).

Použitím matematických vztahů z kapitoly 2, 3 a propojením problematiky se zapojením modelu m z n (viz kapitola 3.3) lze odvodit následující vztah:

$$A(t) = \sum_{r=0}^{n-m} \binom{n}{r} \cdot A(t)^{n-r} \cdot (1 - A(t))^r, \text{ pomocí něhož vznikly následující názorné vztahy,}$$

vyjadřující hodnoty pohotovosti pro případy, že je:

6 strojů v provozu:

$$A_6 = \binom{6}{0} \cdot A_i^6 = 1 \cdot 0,9979^6 = 0,9874 \Rightarrow U_6 = 1 - A_6 = 0,0126$$

Z tohoto výsledku je patrné, že s pravděpodobností 98,74 % jsou v provozuschopném stavu všechny stroje a s pravděpodobností 1,26 % dojde na některém ze šesti strojů k poruše a tím k možnému zpoždění výroby.

Se stoupajícím počtem strojů v záloze se hodnota pohotovosti blíží stále více k jedné (100 %) a nepohotovost klesá k nule.

5 strojů v provozu, 1 nevyužit:



$$A_5 = \binom{6}{0} \cdot A_i^6 + \binom{6}{1} \cdot A_i^5 \cdot U_i = 0,987 + 6 \cdot 0,9979^5 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} = 0,999934$$

$$\Rightarrow U_5 = 1 - A_5 = 6,65 \cdot 10^{-5}$$

Další výsledky jsou již spíše teoretické, nežli prakticky použitelné.

4 stroje v provozu, 2 nevyužity:

$$A_4 = \binom{6}{0} \cdot A_i^6 + \binom{6}{1} \cdot A_i^5 \cdot U_i + \binom{6}{2} \cdot A_i^4 \cdot U_i^2 = 0,987 + 0,0124 + 15 \cdot 0,9979^4 \cdot (0,0021)^2 =$$

$$= 0,99999981 \Rightarrow U_4 = 1 - A_4 = 1,87 \cdot 10^{-7}$$

3 stroje v provozu, 3 nevyužity:

$$A_3 = \binom{6}{0} \cdot A_i^6 + \binom{6}{1} \cdot A_i^5 \cdot U_i + \binom{6}{2} \cdot A_i^4 \cdot U_i^2 + \binom{6}{3} \cdot A_i^3 \cdot U_i^3 = 0,987 + 0,0124 +$$

$$+ 6,55 \cdot 10^{-5} + 20 \cdot 0,9979^3 \cdot 0,0021^3 = 0,9999999970$$

$$\Rightarrow U_3 = 1 - A_3 = 2,97 \cdot 10^{-10}$$

2 stroje v provozu, 4 nevyužity:

$$A_2 = \binom{6}{0} \cdot A_i^6 + \binom{6}{1} \cdot A_i^5 \cdot U_i + \binom{6}{2} \cdot A_i^4 \cdot U_i^2 + \binom{6}{3} \cdot A_i^3 \cdot U_i^3 + \binom{6}{4} \cdot A_i^2 \cdot U_i^4 =$$

$$= 0,987 + 0,0124 + 6,55 \cdot 10^{-5} + 1,84 \cdot 10^{-4} + 15 \cdot 0,9979^2 \cdot 0,0021^4 =$$

$$= 0,9999999999975 \Rightarrow U_2 = 1 - A_2 = 2,52 \cdot 10^{-13}$$

1 stroj v provozu, 5 nevyužitých:

$$A_1 = \binom{6}{0} \cdot A_i^6 + \binom{6}{1} \cdot A_i^5 \cdot U_i + \binom{6}{2} \cdot A_i^4 \cdot U_i^2 + \binom{6}{3} \cdot A_i^3 \cdot U_i^3 + \binom{6}{4} \cdot A_i^2 \cdot U_i^4 +$$

$$+ \binom{6}{5} \cdot A_i \cdot U_i^5 = 0,987 + 0,0124 + 6,55 \cdot 10^{-5} + 1,84 \cdot 10^{-4} + 2,9 \cdot 10^{-10} +$$

$$+ 6 \cdot 0,9979 \cdot 0,0021^5 = 1$$

0 strojů v provozu, 6 nevyužitých:



$$\begin{aligned}
 A_0 = & \binom{6}{0} \cdot A_i^6 + \binom{6}{1} \cdot A_i^5 \cdot U_i + \binom{6}{2} \cdot A_i^4 \cdot U_i^2 + \binom{6}{3} \cdot A_i^3 \cdot U_i^3 + \binom{6}{4} \cdot A_i^2 \cdot U_i^4 + \\
 & + \binom{6}{5} \cdot A_i \cdot U_i^5 + \binom{6}{6} \cdot U_i^6 = 0,987 + 0,00124 + 6,55 \cdot 10^{-5} + 1,84 \cdot 10^{-4} + \\
 & + 2,9 \cdot 10^{-10} + 2,44 \cdot 10^{-13} + 1 \cdot 0,0021^6 = 1
 \end{aligned}$$

Z výše vypočtených jednotlivých výsledků je patrné, že s rostoucím počtem nevyužitých vstřikovacích strojů prudce roste pohotovost celého systému a již např. čtyři pracující vstřikovací stroje a dva nevyužitá zajišťují velmi vysokou míru pohotovosti.

V praxi to znamená, že v případě výpadku některého ze vstřikovacích strojů může být vyjmuta vstřikovací forma ze stroje, který je v poruše a může být nainstalována do stroje, který je nevyužitý. Instalace vstřikovací formy do náhradního (záložního) vstřikovacího stroje je otázkou několika desítek minut a tudíž výroba a dodávka zákazníkovi není téměř ohrožena (za předpokladu zajištění okolních provozních podmínek) a nabízí se zde tudíž určitý možný prostor pro navýšení ekonomické efektivnosti využívání vstřikovacích strojů.

5.8.1 Střední pohotovost

Z níže uvedeného matematického vztahu je možno vypočítat střední pohotovost $\hat{A}$ tak, že v čitateli je součet pohotovostí všech strojů, vynásobený daným časovým intervalem, po který byl stroj v provozu, podělený celkovou dobou provozu. Člen v čitateli zlomku tedy vyjadřuje dobu, po kterou se systém (vstřikovací stroje) bude nacházet v provozuschopném stavu.

$$\hat{A} = \frac{\sum_{i=0}^n T_i \cdot A_i}{\sum T}$$

Takto získaná střední pohotovost může vstupovat do další, např. ekonomické, analýzy systému a může napomoci ke zjištění, jaká pohotovost je ekonomicky nejvýhodnější či nejefektivnější, než kdybychom pracovali s pohotovostmi jednotlivých samostatných vstřikovacích strojů.

Vysoká úroveň pohotovosti (blížíci se jedné) sebou nese vyšší náklady na udržení



této pohotovosti. Její zajištění vnáší do problematiky další možné náklady pro výrobce. Jedná se např. o zvýšení počtu výrobních strojů a z ní vyplývající zvýšení počtu personálu jak na provoz, tak údržbu zařízení, zvýšené fixní náklady na prostory atp. Na druhé straně je tím zajištěna velká pravděpodobnost vyrobení výrobní dávky, provozuschopnosti a zajištění vysoké pohotovosti systému.

To samo o sobě ještě nezajišťuje např. zaručení splnění termínu dodávky zákazníkovi, za jehož nesplnění by hrozily velké sankce či penále, ale napomáhá odstranit možné komplikace v části výrobního procesu, který jako celek zajišťuje splnění služby zákazníkovi s co nejoptimálnějšími náklady pro výrobce.



6. Údržba

Obecně je údržbou myšlena kombinace všech technických a administrativních činností, včetně činnosti dozoru, zaměřených na udržení objektu ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci.

6.1 Typy údržby

6.1.1 Preventivní údržba

Preventivní údržbou je myšlena údržba, prováděná v předem určených časových intervalech nebo podle předepsaných kritérií a zaměřená na snížení pravděpodobnosti poruchy nebo degradace fungování objektu. Preventivní údržba je zaměřena na předcházení (prevenci) poruch.

Pravidelné provádění preventivní údržby napomáhá zajistit co největší provozuschopnost systému (případně objektu) a omezuje na minimum riziko náhlých a neočekávaných poruch.

6.1.2 Údržba po poruše

Údržba po poruše je údržba prováděná po zjištění poruchového stavu a zaměřená na uvedení objektu do stavu, v němž musí plnit požadovanou funkci. Údržba po poruše má opodstatnění především u menších částí zařízení, které jsou zálohované nebo je malá pravděpodobnost jejich poruchy, popř. u těch, jejichž porucha není pro daný sledovaný systém důležitá.

6.1.3 Prediktivní (předpovídaná) údržba

Předpovídaná údržba je údržba podle stavu, prováděná na základě předpovědi odvozené z analýzy a vyhodnocení významných parametrů degradace objektu. Zajišťuje, že zařízení může být odstaveno dříve, než dojde k jeho těžkému poškození. Výrobní proces může být modifikován tak, aby se prodloužila životnost.



6.2 Údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM)

Metoda RCM (Reliability Centred Maintenance) je založena na základě vypracování takového programu údržby zařízení, který bude ekonomicky optimální.

Je to metoda pro zavedení programu preventivní údržby, který umožní účelně a účinně dosáhnout požadované úrovně jak bezpečnosti (pro pracovníky, životní prostředí atd.), tak i pohotovosti zařízení.

Metodu lze využívat ke zjišťování použitelných a efektivních požadavků na preventivní údržbu pro zařízení podle bezpečnostních, provozních a ekonomických důsledků zjistitelných poruch a podle mechanismu degradace, způsobujícího tyto poruchy. Konečným výsledkem metody je posouzení nutnosti provádění konkrétních úkolů údržby.

6.2.1 Náklady

Do problematiky vstupují dva rozhodující druhy nákladů: náklady spojené s poruchou a náklady spojené s údržbou (a z nich vystupující celkové náklady).

Poruchy mohou ovlivnit provoz, jakost produktu, bezpečnost, službu zákazníkovi, životní prostředí, čas dodávky atd. a každá porucha vyžaduje určitou (mnohdy proměnnou) dobu na opravu a je ekonomicky vyčíslitelná (tzv. náklady spojené s poruchou).

Na druhé straně vstupují náklady spojené s údržbou, vyjadřující, kolik by stála preventivní údržba zařízení.

Z toho logicky vyplývá: jestliže jsou jednotkové náklady na preventivní údržbu (náklady spojené s údržbou) nižší, než náklady spojené s poruchou, vyplatí se nám preventivní údržbu provádět a je pro nás údržba ekonomicky výhodná a zajímavá. V opačném případě je pro nás výhodnější preventivní údržbu neprovádět a raději opravovat vzniklé poruchy.

6.2.2 MEI - index efektivnosti údržby

Tento index udává, zda-li se vyplatí na zařízení provádět preventivní údržbu či nikoliv.

$$\text{Získáme jej ze vztahu } MEI = \frac{\frac{N_F}{MTBF_{NO}} - \frac{N_F}{MTBF_{UO}}}{N_{PU}}, \text{ kde:}$$



- N_F jsou následky poruchy ve finančním ocenění
- N_{PU} náklady na preventivní údržbu
- $MTBF_{NO}$ je střední doba mezi poruchami neudržovaného objektu
- $MTBF_{UO}$ je střední doba mezi poruchami udržovaného objektu

Mohou nastat tři typy výsledků:

- $MEI > 1$... údržba je ekonomicky efektivní
- $MEI \approx 1$... o údržbě je potřeba rozhodnout
- $MEI < 1$... údržba není ekonomicky efektivní

Vypočtení indexu efektivnosti údržby pro analyzovaný systém ani jednotlivé dílčí části vstřikovacího stroje společnosti Cadence Innovation k.s. není možné z poskytnutých údajů provést, poněvadž nejsou známy náklady na preventivní údržbu N_{PU} a náklady na odstranění poruchy N_F (následky poruchy ve finančním ohodnocení), bez nichž dále postupovat nelze.

Tyto údaje jsou ovšem zaměstnanci Cadence Innovation k.s. schopni jednoduchou analýzou, sledováním či výpočtem zjistit a po získání potřebných údajů je možno efektivnost údržby dále rozvinout např. v navazující diplomové práci.

6.2.3 Teoretický příklad

Aplikaci a použitelnost metody RCM lze názorně demonstrovat na dvou teoretických příkladech, kde jeden ukazuje, kdy je vhodné provádět preventivní údržbu a druhý, kdy je výhodnější provádět opravu vzniklé poruchy a preventivní údržbu neprovádět.

1. Preventivní údržba není ekonomicky efektivní

Necht':

- N_F jsou následky poruchy ve finančním ocenění a dosahují hodnoty 10 000 Kč
- $MTBF_{NO}$ je střední doba mezi poruchami neudržovaného objektu a je 1200 hod.
- $MTBF_{UO}$ je střední doba mezi poruchami udržovaného objektu a je 1800 hod.



- N_{PU} jsou náklady na preventivní údržbu a dosahují hodnoty 50 000Kč/rok (tzn. přibližně 6Kč/hod.)

Dosazením hodnot do vzorce určíme výslednou hodnotu indexu MEI:

$$MEI = \frac{\frac{N_F}{MTBF_{NO}} - \frac{N_F}{MTBF_{UO}}}{N_{PU}} = \frac{\frac{10000}{1200} - \frac{10000}{1800}}{6} = \frac{2,77}{6} = 0,46$$

$MEI < 1$ a tudíž se při těchto hodnotách nákladů nevyplatí preventivní údržbu provádět.

2. Preventivní údržba je ekonomicky efektivní

Modifikací předchozího příkladu a upravením hodnoty následků poruchy ve finančním ohodnocení N_F na hodnotu např. 35 000Kč (mnohdy bývají tyto náklady velice vysoké, poněvadž v sobě zahrnují např. nesplnění termínu zákazníkovi a tím vyvstávající dodatečné náklady či případné pokuty či penále) již vyjde, že údržba je ekonomicky efektivní ($MEI > 1$).

$$MEI = \frac{\frac{N_F}{MTBF_{NO}} - \frac{N_F}{MTBF_{UO}}}{N_{PU}} = \frac{\frac{35000}{1200} - \frac{35000}{1800}}{6} = \frac{9,72}{6} = 1,62$$

Použitá metoda RCM je tímto vlastně využita jako předstupeň ke strukturované kvantitativní analýze FMEA či FMECA, která slouží k identifikaci způsobů poruch systémů, jejich příčin, důsledků a případně kritičnosti.



7. Závěr

Bakalářská práce čtenáře nejprve seznámila se základním pojetím spolehlivosti, nabídla matematický pravděpodobnostní a spolehlivostní aparát, definovala použitou metodu analýzy bezporuchovosti a metody zapojení systémů. Bez znalosti a uvedení těchto základních údajů by nebylo možné v následné analýze systému pokračovat.

Hlavní náplní práce bylo určení základních ukazatelů bezporuchovosti jak u systému vstřikovacích strojů ve společnosti Cadence Innovation k.s., tak i u jednotlivých komponent vstřikovacího stroje. Konkrétně se jedná o střední dobu do poruchy $MTTF$, intenzitu poruch λ , střední dobu do obnovy $MTTR$, intenzitu obnov μ , pohotovost A a nepohotovost U , což bylo pomocí metody blokového diagramu bezporuchovosti zanalyzováno.

Systém jako celek vykazuje vysokou míru pohotovosti, dosahující hodnoty 0,9979 (tzn., že s pravděpodobností 99,79% je systém v provozuschopném stavu) a střední doba do poruchy je 1200 hod. (tzn. porucha na některém ze vstřikovacích strojů nastane v průměru jednou za 49 pracovních dní).

V případě jednotlivých funkčních bloků je nejporuchovějším blokem blok hydraulický pohon a chladič oleje, jejichž střední doba do poruchy je dvakrát až třikrát nižší, než u ostatních bloků a ve srovnání s ostatními bloky vstřikovacího stroje jsou to nejvíce opravované prvky.

Zvýšení pohotovosti systému názorně ukazuje možné zálohování vstřikovacích strojů, analyzované pro všechny základní kombinace provozu vstřikovacích strojů (v provozu, v prostoji), z něhož je jasné patrné, že již např. dva vstřikovací stroje v prostoji vysoce zvýší pohotovost celého systému.

Problematika údržby ukazuje základní pohled na možné optimalizování prováděných preventivních prohlídek a zvýšení jejich ekonomické efektivnosti, k čemuž byla využita metoda RCM. V této problematice se tato bakalářská práce může stát vhodným základem např. pro navazující diplomovou práci.



8. Literatura

- [1] ČSN IEC 50(191) (01 0102):1993, *Mezinárodní elektrotechnický slovník, kapitola 191: Spolehlivost a jakost služeb*, Český normalizační institut, Praha, 1993, 109 stran
- [2] ČSN IEC 1078 (01 0677):1993, *Metody analýzy spolehlivosti, metoda blokového diagramu bezporuchovosti*, Český normalizační institut, Praha, 1993, 20 stran
- [3] ČSN IEC 60605-4 (01 0644):2002, *Zkoušení bezporuchovosti zařízení - Část 4: Statistické postupy pro exponenciální rozdělení*, Český normalizační institut, Praha, 2002, 30 stran
- [4] ČSN IEC 60300-3-11 (01 0690):1999, *Management spolehlivosti - Část 3-11: Návod k použití - Údržba zaměřená na bezporuchovost*, Český normalizační institut, Praha, 1993, 50 stran
- [5] ČSN IEC 300-3-1 (01 0690):1993, *Řízení spolehlivosti - Část 3: Návod k použití, oddíl 1: Metody analýzy spolehlivosti, metodický návod*, Český normalizační institut, Praha, 1993, 14 stran
- [6] ČSN IEC 1165 (01 0691):1996, *Použití Markovových metod*, Český normalizační institut, 1996, Praha, 21 stran
- [7] ČSN IEC 1025 (01 0676):1994, *Analýza stromu poruchových stavov*, Český normalizační institut, 1994, Praha, 14 stran
- [8] NUREG - 0492, *Fault Tree Handbook*, U. S. Nuclear regulatory commission, 1981
- [9] Fuchs, P., *Využití spolehlivosti v provozní praxi*, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 76 stran
- [10] Fuchs P., Vališ D., Chudoba J., Kamenický J., Zajíček J., *Bezporuchovost a životnost: Techniky analýzy bezporuchovosti*, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2005, 300 stran



- [11] Bezr J., Kužel J., *Ročníkový projekt: Hodnocení provozu technického zařízení*, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2006, 15 stran
- [12] <http://www.fm.vslib.cz/~kmo/czech/veda/spolehlivost/>
- [13] *Využití technologie vstřikování plastů ve strojírenství*, Dům techniky ČSVTS, České Budějovice, 1988, 270 stran
- [14] Kolouch, J., *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1986, 230 stran
- [15] Krebs, J., *Teorie zpracování nekovových materiálů*, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2001, 250 stran
- [16] Šor, J. B., *Statistické metody analýzy a kontroly jakosti a spolehlivosti*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1965
- [17] Fuchs P., *Přehled norem se vztahem ke spolehlivosti využitelných pro energetiku*, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2006, 29 stran
- [18] Technická dokumentace ENGEL
- [19] Hrabák, J., *Spolehlivost energetických zařízení*, Institut výchovy českých energetických závodů, Pardubice, 1981, 190 stran