

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 397

ISSN 1213-4198

thesis
?
IS

Ing. Jana Bauerová

**Analýza provozní spolehlivosti
a technická diagnostika
obráběcích systémů**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
Fakulta strojního inženýrství
Ústav strojírenské technologie

Ing. Jana Bauerová

**ANALÝZA PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI A TECHNICKÁ
DIAGNOSTIKA OBRÁBĚCÍCH SYSTÉMŮ**

**ANALYSE OF OPERATING DEPENDABILITY AND TECHNICAL
DIAGNOSTICS OF MACHINING SYSTEMS**

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Technologie obrábění
Školitel: Doc. Ing. Jaroslav PROKOP, CSc., VUT FSI v Brně
Oponenti: Doc. Ing. Jiří Perníkář, CSc.
Doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.
Datum obhajoby: 23. 11. 2006

KLÍČOVÁ SLOVA

Spolehlivost, analýza prvků obráběcího systému, analýza obráběcího systému, ukazatele provozní spolehlivosti, normální rozdělení a neznámé rozdělení sledované veličiny, model analýzy dat

KEY WORDS

Dependability, analysis of machining system particular component, index of operating dependability, known division and unknown division of observed data, model of data analysis

MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE

Disertační práce je uložena na oddělení vědy a výzkumu fakulty strojního inženýrství v Brně, Technická 2, 616 69 Brno

OBSAH

OBSAH.....	3
ÚVOD.....	5
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY SPOLEHLIVOSTI	5
1.1 Spolehlivost.....	5
2 PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST	8
3 IDENTIFIKACE OBRÁBĚCÍCH SYSTÉMŮ Z HLEDISKA PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI	8
4 ANALÝZA PRVKŮ OBRÁBĚCÍHO SYSTÉMU Z HLEDISKA PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI	9
4.1 Obráběcí stroj.....	9
4.2 Řezný nástroj.....	10
4.3 Polotovar	10
4.4 Analýza řezného prostředí	10
5 UKAZATELE SPOLEHLIVOSTI.....	11
5.1 Ukazatele bezporuchovosti	11
5.2 Ukazatele udržovatelnosti a zajištění údržby	12
5.3 Ukazatele pohotovosti.....	12
6 UKAZATELE PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI OBRÁBĚCÍCH STROJŮ.....	14
6.1 Analýza doby používání obráběcího stroje z hlediska kvantifikace jeho provozní spolehlivosti	14
6.2 Kvantifikace ukazatelů spolehlivosti obráběcích strojů při normálním rozdělení.....	16
6.3 Kvantifikace ukazatelů spolehlivosti obráběcích strojů při neznámém rozdělení	18
7 MODEL ANALÝZY DAT	20
7.1 Cíl modelu analýzy dat	20
7.2 Oblast použití modelu analýzy dat.....	20
7.3 Přínos modelu analýzy dat	21
7.4 Princip modelu analýzy dat.....	21
7.5 Popis modelu vyhodnocení dat	22
7.6 Výstupní data z modelu.....	22
8 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI MODELU	22
8.1 Kroky ověření funkčnosti modelu.....	23
8.2 Zhodnocení funkčnosti modelu.....	23
ZÁVĚR.....	24
POUŽITÁ LITERATURA	27
CURRICULUM VITAE	29
ABSTRACT	30

ÚVOD

Základní pojem, který poslední dobou nabývá na důležitosti je spolehlivost, jako schopnost plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase dle stanovených podmínek. Spolehlivost je přitom chápána jako jedna z vlastností ovlivňující jakost objektu. Je proto důležité věnovat pozornost managementu spolehlivosti, managementu rizik a metodám analýzy rizik a spolehlivosti.

Obráběcí systém je účelové seskupení výrobních strojů a zařízení, průmyslových robotů a manipulátorů a zařízení operační manipulace. Spolehlivost obráběcího systému jako celku je dána součtem spolehlivostí jednotlivých prvků daného systému.

Je zřejmé, že poměr vlivu jednotlivých vybraných prvků na spolehlivost obráběcího systému jako celku je různý. Spolehlivost obráběcího stroje však velmi výrazně ovlivňuje provozní spolehlivost obráběcího systému, proto je mu dále věnována náležitá pozornost.

Jako výchozí ukazatele provozní spolehlivosti jsou zpracovány doby provozu mezi poruchami a doby opravy realizované za určitou vyhodnocovanou dobu používání, kvantifikací při normálním rozdělení a při neznámém rozdělení sledované veličiny.

Využitím statistických zákonitostí je vytvořen model analýzy dat, který na základě znalosti historie provozu stroje dokáže určit dobu optimální údržby. K tomu využívá výpočet ukazatelů spolehlivosti. K ověření funkčnosti modelu analýzy dat byla použita reálná data získaná z praxe.

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY SPOLEHLIVOSTI

1.1 SPOLEHLIVOST

Výchozím krokem řešení problematiky bezpečnosti a spolehlivosti technického objektu je vymezení chápání jeho spolehlivosti z hlediska bezpečnosti identifikace a posouzení rizik nebezpečných událostí, které by mohly hrozit. Spolehlivost je jednou z nejpodstatnějších vlastností utvářejících jakost objektu. Informace o spolehlivosti může být rozhodujícím činitelem při rozhodování mezi konkurenčními výrobky, při plánování preventivní údržby, zajišťování potřebného počtu náhradních dílů atd. Spolehlivost celku je dána spolehlivostí jeho částí.

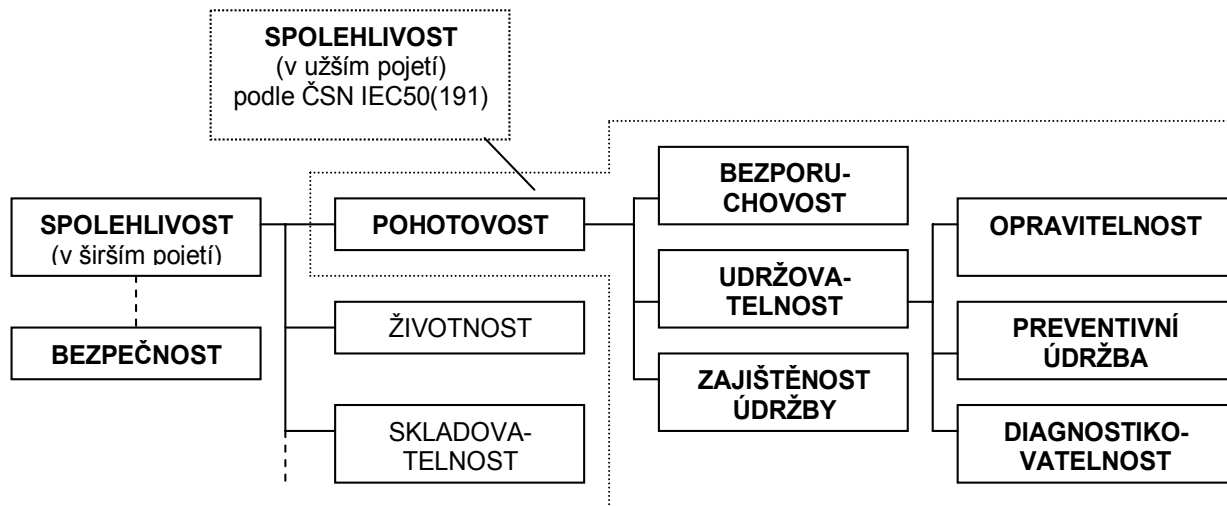
Zabezpečování spolehlivosti je třeba chápat jako systémový problém. Program spolehlivosti je nedílnou součástí systému jakosti. Zahrnuje všechny fáze životního cyklu objektu od plánování po provoz a případnou likvidaci.

Spolehlivost jako takovou nemůžeme změřit a prokázat v okamžiku předávání objektu, zjistí se až po určité době provozu. Můžeme ji pouze předpovídat na základě informací o spolehlivosti stejných objektů nebo na základě výpočtu vycházejícího ze spolehlivosti jednotlivých dílů.

Obsah termínu spolehlivost se vyvíjel a v současné době je nejčastěji chápán v širším a užším pojetí. 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 chápaná spolehlivost v širším pojetí se v jednotlivých konkrétních případech vyjadřuje dílčími vlastnostmi jako životností, bezporuchovostí, udržitelností, zajištěností údržby, skladovatelností, provozní bezpečností atd. a jejich kombinacemi, např. pohotovostí, technickým využitím apod.

Spolehlivost v užším pojetí je definována jako souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ovlivňují bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby.



Obr. 1. Vymezení spolehlivosti

1.1.1 Dílčí vlastnosti spolehlivosti

Vysvětlení pojmů dle lit. [30]:

Bezpečnost - vlastnost objektu při plnění požadovaných funkcí být ve stavu, ve kterém je riziko ohrožení zdraví, života osob, životního prostředí nebo poškození majetku omežováno na přijatelnou úroveň.

Pohotovost - schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadovanou funkci v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo intervalu, za předpokladu, že jsou zajištěny požadované vnější podmínky.

Životnost - schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách používání a údržby do mezního stavu, který lze charakterizovat ukončením užitečného života, nevhodnosti z důvodů ekonomických, technických, nebo jinými závažnými faktory.

Skladovatelnost - vlastnost obráběcího stroje vyjádřená jeho schopností zachovávat provozuschopný stav po dobu skladování a přepravy při dodržení předepsaných podmínek.

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

Udržitelnost - schopnost objektu v daných podmínkách setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci.

Zajištěnost údržby - schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat dle požadavků v daných podmínkách (vztahující se jak na vlastní objekt, tak na podmínky používání i údržby) prostředky potřebné pro údržbu podle dané koncepce údržby.

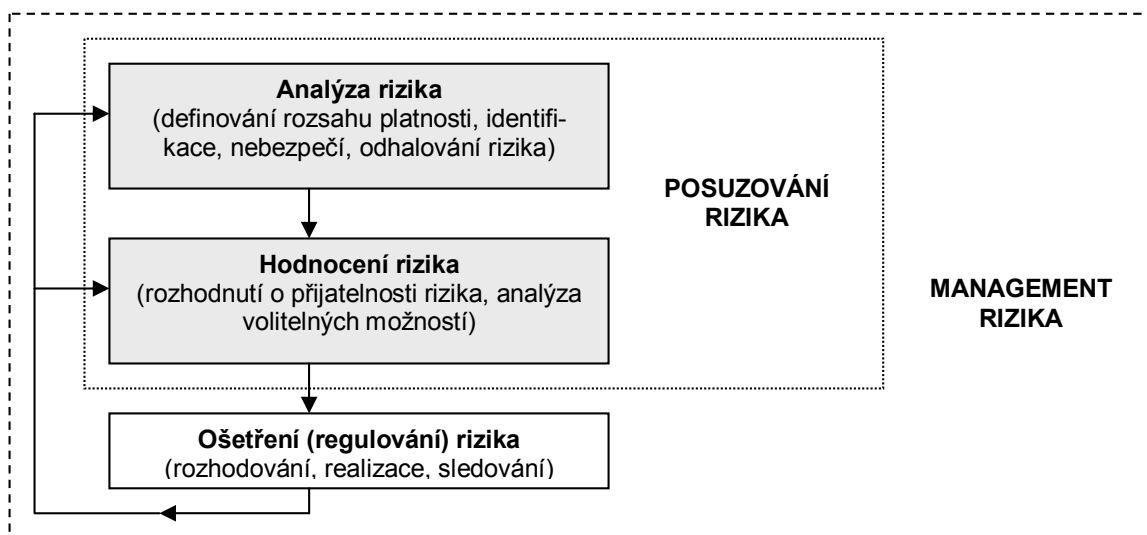
Opravitelnost - vlastnost obráběcího stroje vyjadřující způsobilost ke zjišťování příčin vzniku poruch a odstraňování jejich následků opravou. Kvantifikuje se pravděpodobností provedení opravy v daném časovém intervalu, střední dobou opravy.

Preventivní údržba - údržba prováděná v předem určených intervalech nebo podle předepsaných kritérií a zaměřená na snížení pravděpodobnosti poruchy nebo degradace fungování objektu.

Diagnostika - (technická diagnostika) je činnost zabývající se metodami a prostředky zjišťování technického stavu objektů, aby bylo možno vyvodit závěry o potřebě údržby, opravy nebo výměny nebo o další možné době provozu. Diagnostika se provádí v rámci preventivní i regresivní údržby.

Problematika bezpečnosti a spolehlivosti je nedílnou a velmi důležitou součástí péče o jakost a s realizací „obecné“ péče o jakost v organizacích má společnou:

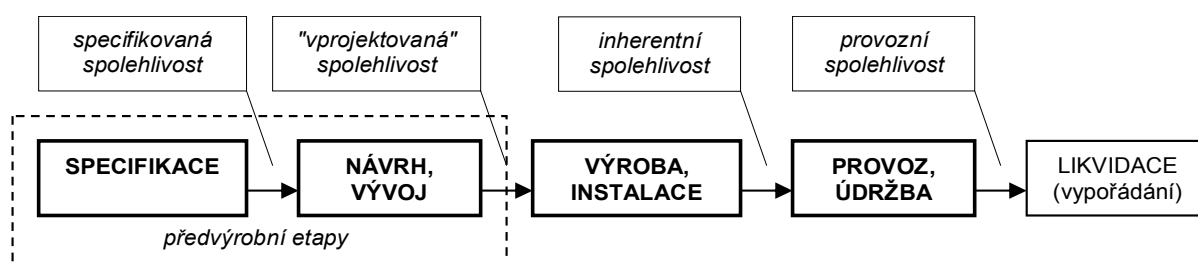
- "manažerskou" stránku - stanovení cílů a pro jejich realizaci v organizaci nezbytné vymezení odpovědností a pravomocí, procesů, postupů, zdrojů atd.,
- "technickou" stránku - stanovení konkrétních metod, postupů a technik používaných v podmínkách organizace,
- nutnost řešit problematiku bezpečnosti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



Obr. 2. Uspořádání managementu organizace v souvislosti s jakostí a spolehlivostí

K dosažení požadované bezpečnosti a optimální spolehlivosti je proto nutné se v rámci managementu organizace, resp. managementu jakosti systematicky zabývat managementem rizik pro zajištění bezpečnosti a managementem spolehlivosti pro

zabezpečení spolehlivosti, což schematicky vyjadřuje obr. 3. Management rizik a management spolehlivosti se v organizacích uplatňuje pro všechny činnosti a procesy podél smyčky jakosti, resp. pro všechny etapy životního cyklu výrobků.



Obr. 3. Spolehlivost v etapách životního cyklu výrobků

2 PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST

Pod pojmem provozní spolehlivost rozumíme spolehlivost objektu (výrobku) ve stanovených provozních podmínkách. V užším smyslu se provozní spolehlivost vztahuje k bezporuchovosti, udržitelnosti, pohotovosti a zajištěnosti údržby v běžném provozu při užívání ke stanovenému účelu za stanovených podmínek.

Řešení problematiky provozní spolehlivosti spočívá v jejím sledování, hodnocení a řízení a má svou stránku manažerskou, ekonomickou, motivační 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.).

Významnou okolností určující provozní spolehlivost jsou pro každý výrobek stanovené podmínky užívání. Uživatel (provozovatel) 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.

Mimořádnou úlohu při zajištění provozní spolehlivosti má udržitelnost 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.

3 IDENTIFIKACE OBRÁBĚCÍCH SYSTÉMŮ Z HLEDISKA PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI

Obráběcí systém je soubor prvků, účelně spojený v celek, jehož funkcí je dosažení požadovaného stavu obrobku v požadované kvalitě. Mezi tyto prvky patří obráběcí stroje, nástroje, prostředí, manipulátory, podavače, roboty, dopravníky atd.

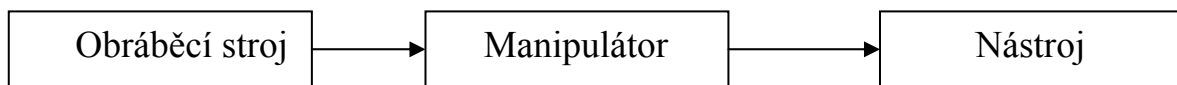
Spolehlivost obráběcího systému je obecná vlastnost, spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování provozních parametrů v daných mezích.

Spolehlivost celého systému je přitom dána součtem spolehlivostí jednotlivých prvků.

$$S_s = f(S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n) \quad (3.1)$$

kde S_s - spolehlivost obráběcího systému
 S_i - spolehlivost prvku i
 n - počet prvků obráběcího systému.

Z hlediska řešené problematiky se považuje obráběcí systém za obnovovaný systém, v němž jednotlivé prvky patří mezi obnovované objekty, se sériovým uspořádáním prvků, tj. v případě poruchy systém nemůže pokračovat a čeká na opravu. Příklad takového uspořádání je na obr. 4.



Obr. 4. Příklad sériového uspořádání prvků obráběcího systému

Tato práce bude zaměřena zejména na obráběcí stroj a prvky s ním bezprostředně souvisejícími, mezi které patří:

- řezný nástroj
- polotovary
- řezné prostředí

4 ANALÝZA PRVKŮ OBRÁBĚCÍHO SYSTÉMU Z HLEDISKA PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI

Obráběcí proces se realizuje v obráběcím systému, který lze obecně členit na subsystemy obráběcích strojů, řezných nástrojů, manipulačních prostředků a obráběcího prostředí. Objektem obráběcího procesu je obrobek, respektive obrobené plochy v uvažovaném obráběcím procesu realizovatelné.

4.1 OBRÁBĚCÍ STROJ

Spolehlivost obráběcího stroje je definována jako obecná vlastnost, spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených podmínek.

Spolehlivostní údaje a ukazatele jsou významným indikátorem jakosti obráběcího stroje a nezbytným nástrojem pro řízení hospodárného provozu strojů. V oblasti obnovy strojů jsou důležité především pro určování optimálních okamžiků údržeb, diagnostiky, oprav, výměn a jejich optimálního rozsahu. Ve zpětné vazbě jsou stanovením optimálního okamžiku obnovovací činnosti ovlivněny a zpřesněny spolehlivostní veličiny a ukazatele. Tedy výsledné ukazatele a konečný efekt procesu obnovy obráběcího stroje jsou přímo závislé na jeho úrovni spolehlivosti a naopak.

4.2 ŘEZNÝ NÁSTROJ

Nástroj patří mezi další složky obráběcího systému, které významně ovlivňují spolehlivost celého systému. Při poruše nástroje (např. otupení, vylomení části břitu, atd.) dojde k poruše celého systému, což má za následek nežádoucí prostoje. Důležitý je stav jeho funkční části – břitu, jímž je materiál nejdříve deformován a poté oddělen formou třísky.

Doba trvání řezného procesu, která koresponduje s provozuschopným stavem břitu nástroje se označuje jako trvanlivost. Je to doba, po kterou je nástroj schopen efektivně plnit požadované funkce, které jsou identifikovatelné příslušnými parametry. Trvanlivost je tedy určena intervalem mezi nasazením nástroje do řezného procesu a vznikem poruchy, kterou končí provozuschopný stav nástroje.

Jako kritérium vzniku poruchy resp. ukončení provozuschopného stavu nástroje se mohou diagnostikovat parametry opotřebení břitu, drsnost povrchu obrobené plochy, úchylka rozměru obrobené plochy, velikost řezné síly apod. V technologické praxi se velmi často trvanlivost vztahuje ke kritériu opotřebení břitu nástroje.

4.3 POLOTOVAR

Spolehlivost polotovaru také velmi úzce souvisí se spolehlivostí celého obráběcího systému. Materiál polotovaru má své specifické vlastnosti, které mohou v jeho objemu kolísat (např. tvrdost) a tím mohou zapříčinit poruchu. Porucha může být také způsobena velkými přídavky na obrábění apod. Proto je nutné i této problematice věnovat náležitou pozornost.

4.4 ANALÝZA ŘEZNÉHO PROSTŘEDÍ

Proces řezání probíhá v určitém prostředí, přirozeném (vzduch) nebo umělém (kapaliny, plyny, mlha). Řezné prostředí také ovlivňuje spolehlivost obráběcího procesu, při nedodržení předepsaného optimálního řezného prostředí by mohlo dojít k nežádoucí poruše (např. přehřívání stroje, zadření apod.).

Řezné prostředí podle svých vlastností ovlivňuje ekonomické, energetické a kvalitativní parametry řezného procesu. Volba optimálního řezného prostředí může zvýšit např. hospodárny úběr materiálu o 20 – 100%.

Řezné prostředí ovlivňuje hlavně procesy, probíhající na stykových plochách břitu. Menší vliv má řezné prostředí na proces tvoření třísky, tj. na proces primárních plastických deformací. Řezné prostředí ovlivňuje čistotu stykových míst břitu s třískou a plochou řezu a snižuje jejich teplotu, čímž ovlivňuje intenzitu sekundárních plastických deformací.

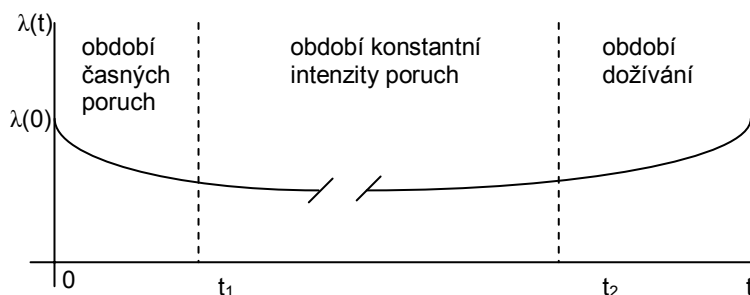
Vliv řezného prostředí lze především spatřovat v jeho působení na velikost hodnoty součinitele tření, jehož změna způsobuje i změnu silových poměrů v oblasti tvoření třísky, což vede i k určitému vlivu řezného prostředí na velikost primárních deformací.

5 UKAZATELE SPOLEHLIVOSTI

Ukazatele spolehlivosti jako kvantitativní míry vymezených dílčích vlastností spolehlivosti (např. bezporuchovosti, bezpečnosti, životnosti) nebo jejich kombinací (např. pohotovosti, operační pohotovosti) jsou popisem pravděpodobnostního chování příslušných náhodných veličin nebo jejich posloupností. Mohou to však být i kvalitativní ukazatelé.

5.1 UKAZATELE BEZPORUCHOVOSTI

Pravděpodobnost bezporuchového provozu – pravděpodobnost, že objekt může plnit požadovanou funkci v daných podmínkách v daném časovém intervalu $\langle t_1, t_2 \rangle$, *Intenzita poruch* - rámcovým východiskem pro analytické vyjádření ukazatelů bezporuchovosti pomocí vhodného standardního zákona rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny "doby do poruchy" je pro mnoho technických objektů na základě dlouhodobých zkušeností charakteristický průběh intenzity poruch $\lambda(t)$ uvedený na obr. 5.



Obr. 5. Charakteristický průběh intenzity poruch $\lambda(t)$ - tzv. "vanová křivka"

- Obrazně se tento průběh nazývá "vanová křivka" a jsou pro něj typická tři období:
- interval $\langle 0, t_1 \rangle$, tzv. období časných poruch, kdy intenzita poruch klesá a tedy bezporuchovost souboru objektů se zlepšuje;
 - interval $\langle t_1, t_2 \rangle$, tzv. období konstantní intenzity poruch, nazývané též období normálního provozu, kdy je hodnota intenzity poruch přibližně konstantní, tj. $\lambda(t) = \lambda = \text{konst.}$ Poruchy objektů v tomto období jsou způsobovány náhodným mechanismem s ustálenými vlastnostmi.
 - interval $\langle t_2, \infty \rangle$, příp. $\langle t_2, T \rangle$, tzv. období dožívání, kdy intenzita poruch s časem roste v důsledku trvale narůstajícího působení mechanismů stárnutí, opotřebení a koroze.

Parametr proudu poruch – pracuje s jeho okamžitou nebo střední hodnotou v intervalu $\langle t_1, t_2 \rangle$.

Střední doba do první poruchy – očekávaná doba do první poruchy, střední hodnota doby provozu objektu do první poruchy.

Střední doba do poruchy – očekávaná doba do poruchy.

Střední doba mezi poruchami – očekávaná doba mezi poruchami.

Střední doba provozu mezi poruchami – očekávaná doba provozu mezi poruchami.

5.2 UKAZATELE UDRŽOVATELNOSTI A ZAJIŠTĚNOSTI ÚDRŽBY

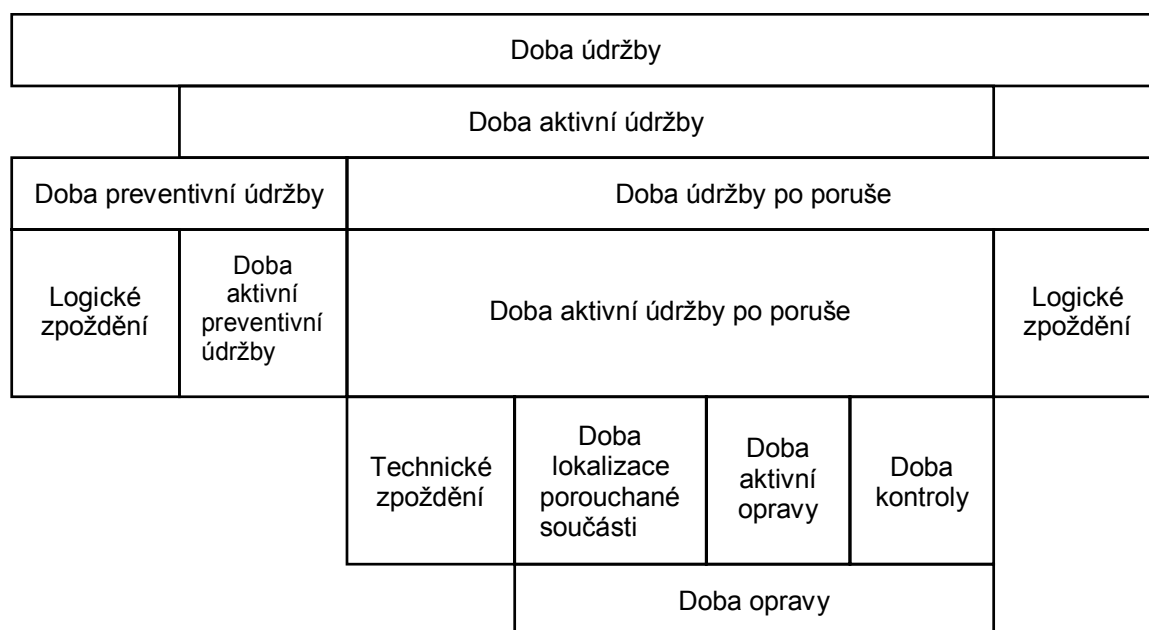
Udržovatelnost je jednou z dílčích vlastností objektu. S udržovatelností souvisí následující pojmy.

Údržba - je kombinace všech technických a administrativních činností včetně činnosti dozorování, zaměřených na udržení objektu ve stavu nebo navrácení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci; může být plánovaná (preventivní údržba prováděná se stanoveným časovým plánem) nebo neplánovaná diagnostická (prováděná po získání údajů o stavu objektu); členění doby údržby podle lit. [30] je na obr. 6.

Aktivní údržba - údržba bez logických zpoždění.

Preventivní údržba - údržba prováděná v předem určených intervalech nebo podle předepsaných kritérií a zaměřená na snížení pravděpodobnosti poruchy nebo degradace fungování objektu (např. čištění, mazání).

Údržba po poruše - údržba prováděná po zjištění poruchového stavu a zaměřená na uvedení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci.



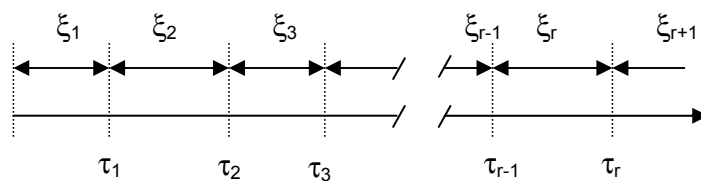
Obr. 6. Členění doby údržby

5.3 UKAZATELE POHOTOVOSTI

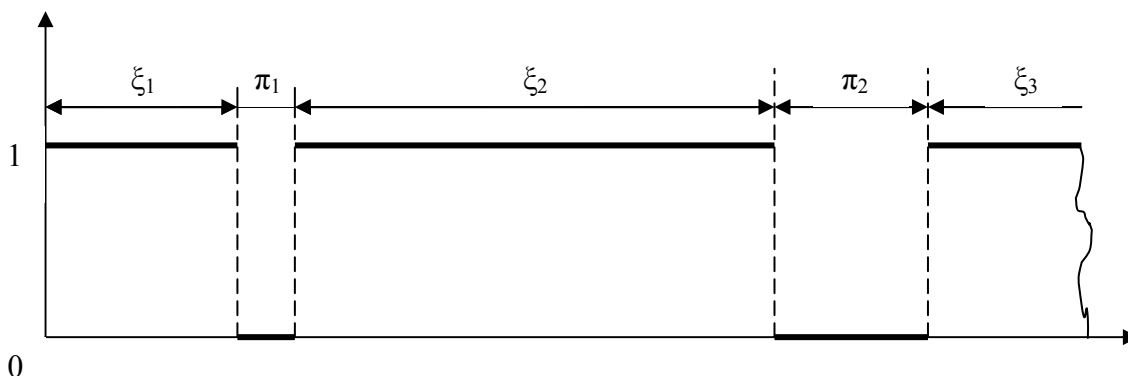
Podstatně složitější je kvantitativní hodnocení pohotovosti (tj. spolehlivosti v užším slova smyslu), kterou ovlivňují činitelé bezporuchovost, udržovatelnost a zajištěnost údržby (druhé dva činitele zahrnují preventivní údržbu, údržbu po poruše včetně logistických, administrativních a technických zpoždění). Vychází se tedy z hodnocení bezporuchovosti a udržovatelnosti opravovaných objektů a zajištěnosti údržby (a obecně i zajištěnosti vnějších podmínek).

Pravděpodobnostním modelem pro kvantitativní hodnocení pohotovosti je *obecný proces obnovy*, který vyjadřuje úplný cyklus činností opravovaných objektů, tj.

střídající se posloupnosti jevů ξ_i ; dob provozu mezi poruchami a následných jevů π_i ; dob obnovy provozuschopnosti. Kvantitativní hodnocení pak obvykle vychází z předpokladů o charakteru a vlastnostech náhodných veličin ξ_i , $i = 1, 2, \dots$



Obr. 7. Vztah mezi náhodnými veličinami τ a ξ



Obr. 8. Schéma obecného procesu obnovy

Po vzniku poruchy opravovaného objektu následuje obnova jeho funkčních schopností v souladu s příslušnými technickými podmínkami.

V rámci této práce se uvažuje pouze doba provozu a doba obnovy prvku. Ostatní složky doby používání daného prvku (doba, ve které není provoz požadován, organizační prostoje, doba údržby, apod.) jsou z dalších úvah vypuštěny. Předpokládá se přitom, že během těchto ostatních složek doby používání se vlastnosti uvažovaného prvku nemění.

Chování daného prvku v čase lze popsat náhodným procesem:

$$\{M(t), 0 \leq t < \infty\} \quad (5.1)$$

$M(t)$ – obecný proces obnovy v čase t .

Realizace uvedeného náhodného procesu je:

$$M(t) = 1 \text{ nebo } 0 \quad (5.2)$$

$M(t) = 1$... prvek je v provozu

$M(t) = 0$... prvek v obnově.

Předpokládáme přitom, že v okamžiku $t = 0$ je daný objekt v provozu a plynule v poruchovém prostoji (je opravován) až do okamžiku jeho první obnovy.

Popsaný náhodný proces se nazývá obecný proces obnovy.

6 UKAZATELE PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Specifikace ukazatelů spolehlivosti obráběcích strojů závisí na rozsahu a identifikaci příslušných složek vyhodnocované doby používání. Ukazatele provozní spolehlivosti obráběcích strojů se vztahují k hodnotám sledovaných veličin v průběhu provozního nasazení. Tyto veličiny mají vesměs charakter spojitých náhodných veličin a jako s takovými se s nimi pracuje. Metodika postupu závisí na tom, zda je nebo není známé rozdělení vyhodnocované veličiny.

V rámci této práce jsou charakterizovány vybrané ukazatele spolehlivosti obráběcích strojů, vztažené k době provozu mezi poruchami a k době opravy po poruše.

Střední doba provozu mezi poruchami \bar{t}_{pmp} (MTBF)

Očekávaná doba provozu obráběcího stroje mezi poruchami. Stanoví se aritmetickým průměrem naměřených dob provozu mezi poruchami v konkrétních provozních podmínkách.

Střední doba opravy \bar{t}_o (MRT)

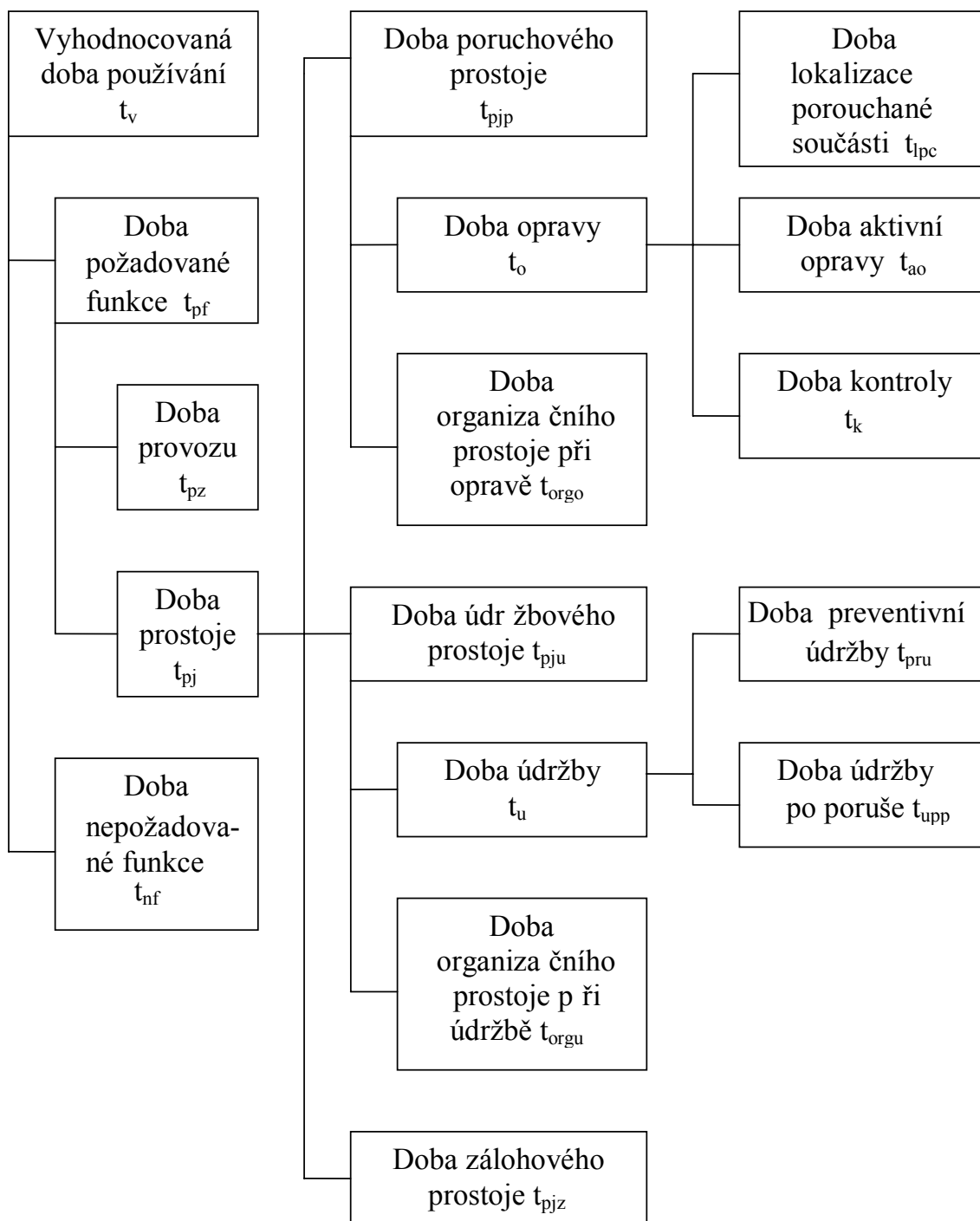
Očekávaná doba opravy obráběcího stroje. Vyjadřuje střední hodnotu časového intervalu od začátku opravy do okamžiku obnovy bezvadnosti nebo provozuschopnosti stroje. Vyčíslí se jako aritmetický průměr zjištěných dob opravy v daných provozních podmínkách.

6.1 ANALÝZA DOBY POUŽÍVÁNÍ OBRÁBĚCÍHO STROJE Z HLEDISKA KVANTIFIKACE JEHO PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI

Doba používání je kalendářní doba provozu stroje včetně případných přestávek od začátku provozu do okamžiku vzniku mezního stavu, při němž začátek provozu i mezní stav jsou definovány v technických podmínkách.

Ve smyslu uvedené definice může být doba používání relativně dlouhá. Pro standardní obráběcí stroj např. 10 i více roků, pro CNC obráběcí stroj 5 i více roků. Při praktické analýze lze pracovat s vyhodnocovanou dobou používání, během které se identifikují příslušné složky. Takovou vyhodnocovanou dobou používání může být např. 1 rok.

Vyhodnocovaná doba používání se člení do různé hloubky v závislosti na požadavcích a záměrech zkoumání. Možnost členění vyhodnocované doby používání obráběcího stroje je znázorněno na obr. 9., kde se pracuje s kumulativními hodnotami jednotlivých složek.



Obr. 9. Členění vyhodnocované doby používání obráběcího stroje

Člení se podle různých požadavků a záměrů zkoumání. Pro případ obráběcích strojů budeme používat následující členění:

Základní rozdělení **doby používání** t_v :

Doba požadované funkce t_{pf} - časový interval, během něhož je požadováno, aby byl obráběcí stroj schopen plnit požadovanou funkci (např. směna, prac. den)

Doba provozu t_{pz} – časový interval, během něhož je obráběcí stroj v provozu. Během provozu plní požadované funkce.

Doba prostoje t_{pj} – časový interval, během něhož je obráběcí stroj v prostoji

Doba poruchového prostoje t_{pjp} - doba, po kterou stroj v důsledku poruchy není schopen plnit požadovanou funkci podle technických podmínek

Doba údržbového prostoje t_{pju} - doba, po kterou se provádí údržba podle technických podmínek

Doba zálohového prostoje t_{piz} - doba, po kterou je stroj v provozuschopném stavu, avšak není požadováno, aby funkci plnil (nezajištění mat. nebo náradí, nepřítomnost obsluhy atd.)

Doba nepožadované funkce t_{nf} - časový interval, během něhož není požadováno, aby byl obráběcí stroj schopen plnit požadovanou funkci (např. nepracovní dny, nepracovní směny v pracovních dnech).

6.2 KVANTIFIKACE UKAZATELŮ SPOLEHLIVOSTI OBRÁBĚCÍCH STROJŮ PŘI NORMÁLNÍM ROZDĚLENÍ

Normální rozdělení sledované veličiny se uplatní zejména v těch případech, kdy převažuje náhodný charakter provozních vlivů a kdy systematicky proměnné vlivy jsou během provozu hodnocených obráběcích strojů korigovány nebo eliminovány.

Hypotéza normálního rozdělení uvažované náhodné veličiny může být ověřena vhodným testem normality.

Dále uvedený postup je zpracován pro případ, kdy nejsou známy parametry normálního rozdělení sledovaných veličin a proto se pracuje s příslušnými odhady.

6.2.1 Ukazatele vztažené k době provozu mezi poruchami

Výchozí údaje pro kvantifikaci příslušných ukazatelů spolehlivosti jsou pro uvažovaný případ zjištěné hodnoty dob provozu mezi poruchami $t_{pmp1}, t_{pmp2}, \dots, t_{pmpi}, \dots, t_{pmpn}$. Tyto veličiny se z hlediska dalšího statistického zpracování považují za náhodný výběr z normálně rozděleného základního souboru, který charakterizují jeho parametry:

μ - střední hodnota doby provozu mezi poruchami

σ - směrodatná odchylka doby provozu mezi poruchami

V rozsahu řešené problematiky se specifikují následující vybrané ukazatele:

- odhad střední hodnoty doby provozu mezi poruchami
- konfidenční interval střední hodnoty doby provozu mezi poruchami
- statistický toleranční interval doby provozu mezi poruchami

Odhad střední hodnoty doby provozu mezi poruchami

Odhad střední hodnoty doby provozu mezi poruchami \bar{t}_{pmp} se kvantifikuje jako výběrový průměr z vyšetřených hodnot $t_{pmp1}, t_{pmp2}, \dots, t_{pmpi}, \dots, t_{pmpn}$:

$$\bar{t}_{pmp} = \frac{1}{n} \sum_i t_{pmpi} \quad (6.1)$$

Konfidenční interval střední hodnoty doby provozu mezi poruchami

Odhad střední hodnoty doby provozu mezi poruchami \bar{t}_{pmp} je sám o sobě také náhodnou veličinou. V souvislosti s touto skutečností se určí dvoustranný nebo jednostranný konfidenční interval pro střední hodnotu doby provozu mezi poruchami. Meze konfidenčního intervalu limitují skutečnou velikost střední hodnoty doby provozu mezi poruchami s určitou předem zvolenou pravděpodobností.

Dvoustranný konfidenční interval střední hodnoty doby provozu mezi poruchami je ohraničen mezemi, pro které platí :

$$P(m_{D2} < \mu < m_{H2}) = 1 - \alpha \quad (6.2)$$

- m_{D2}, m_{H2} - dolní, horní mez dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty doby provozu mezi poruchami
 μ - střední hodnota doby provozu mezi poruchami
 $1 - \alpha$ - konfidenční úroveň

Jednostranné konfidenční intervaly střední hodnoty doby provozu mezi poruchami jsou ohraničeny mezemi, pro které platí :

$$P(m_{D1} < \mu) = 1 - \alpha \quad (6.3)$$

$$P(\mu < m_{H1}) = 1 - \alpha \quad (6.4)$$

- m_{D1}, m_{H1} - dolní, horní mez jednostranného konfidenčního intervalu střední hodnoty doby provozu mezi poruchami

Meze konfidenčních intervalů střední hodnoty doby provozu mezi poruchami se vyčíslí na základě odhadu střední hodnoty \bar{t}_{pmp} a odhadu směrodatné odchylky \bar{s} dle vztahů :

$$m_{D2} = \bar{t}_{pmp} - t_{1-\alpha/2; n-1} \frac{\bar{s}_{pmp}}{\sqrt{n}} \quad (6.5)$$

$$m_{H2} = \bar{t}_{pmp} + t_{1-\alpha; n-1} \frac{\bar{s}_{pmp}}{\sqrt{n}} \quad (6.6)$$

$$m_{D1} = \bar{t}_{pmp} - t_{1-\alpha; n-1} \frac{\bar{s}_{pmp}}{\sqrt{n}} \quad (6.7)$$

$$m_{H1} = \bar{t}_{pmp} + t_{1-\alpha; n-1} \frac{\bar{s}_{pmp}}{\sqrt{n}} \quad (6.8)$$

- $t_{1-\alpha/2; n-1}$ - $1-\alpha/2$ - kvantil Studentova t rozdělení pro $(n-1)$ stupňů volnosti
 $t_{1-\alpha; n-1}$ - $1-\alpha$ - kvantil Studentova t rozdělení pro $(n-1)$ stupňů volnosti
 \bar{s}_{pmp} - odhad směrodatné odchylky doby provozu mezi poruchami

Odhad směrodatné odchylky doby provozu mezi poruchami se vyčíslí dle vztahu :

$$\bar{s}_{pmp} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_i (t_{pmp_i} - \bar{t}_{pmp})^2} \quad (6.9)$$

Velikost dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty doby mezi poruchami se označí symbolem I_{m2} a vyjádří jako rozdíl příslušných mezí :

$$I_{m2} = m_{H2} - m_{D2} = 2 \cdot t_{1-\alpha, n-1} \frac{\overline{S_{pmp}}}{\sqrt{n}} \quad (6.10)$$

Statistický toleranční interval doby provozu mezi poruchami

Je to takový interval, pro který existuje pevná pravděpodobnost vyjádřená konfidenční úrovní $(1-\alpha)$, že pokryje alespoň podíl p souboru, z něhož pochází náhodný výběr. Statistický toleranční interval se stanoví jako dvoustranný nebo jednostranný.

Meze statistického tolerančního intervalu doby mezi poruchami se vyčíslí na základě závislostí:

$$L_{i2} = \overline{t}_{pmp} - k_2 \cdot \overline{S}_{pmp} \quad (6.11)$$

$$L_{s2} = \overline{t}_{pmp} + k_2 \cdot \overline{S}_{pmp} \quad (6.12)$$

$$L_{i1} = \overline{t}_{pmp} - k_1 \cdot \overline{S}_{pmp} \quad (6.13)$$

$$L_{s1} = \overline{t}_{pmp} + k_1 \cdot \overline{S}_{pmp} \quad (6.14)$$

L_{i2}, L_{s2} - dolní, horní mez dvoustranného statistického tolerančního intervalu doby provozu mezi poruchami

L_{i1}, L_{s1} - dolní, horní mez jednostranného statistického tolerančního intervalu doby provozu mezi poruchami

k_2, k_1 - součinitel pro meze dvoustranného, jednostranného statistického tolerančního intervalu doby provozu mezi poruchami

Hodnoty součinitelů k_2, k_1 závisí na počtu měření n , na zvoleném podílu základního souboru p , který stanovené meze mají pokrýt a na zvolené konfidenční úrovni $(1-\alpha)$.

Velikost dvoustranného statistického tolerančního intervalu doby provozu mezi poruchami l_2 se vyjádří jako rozdíl příslušné horní a dolní meze :

$$l_2 = L_{s2} - L_{i2} = 2 k_2 \cdot \overline{S}_{pmp} \quad (6.15)$$

6.2.2 Ukazatele vztažené k době opravy

Kvantifikace je obdobná jako v případě ukazatelů doby provozu mezi poruchami.

6.3 KVANTIFIKACE UKAZATELŮ SPOLEHLIVOSTI OBRÁBĚCÍCH STROJŮ PŘI NEZNÁMÉM ROZDĚLENÍ

V případě neznámého, avšak spojitého rozdělení sledovaných veličin je možné pro statistickou interpretaci ukazatelů spolehlivosti obráběcích strojů využít některé neparametrické metody.

V rámci dále uvedeného postupu se využívá extrémních hodnot z vyšetřených veličin, které se také v tomto případě považují za náhodný výběr ze základního souboru o jehož rozdělení však nejsou věrohodné informace.

6.3.1 Ukazatele vztažené k době provozu mezi poruchami

Výchozí veličiny jsou vyšetřené doby provozu mezi poruchami $t_{pmp1}, t_{pmp2} \dots t_{pmpi} \dots t_{pmpn}$.

Pro extrémní hodnoty vyšetřených dob provozu mezi poruchami obecně platí:

$$t_{pmpmin} = \min \{ t_{pmp1}, t_{pmp2} \dots t_{pmpi} \dots t_{pmpn} \}$$
$$t_{pmpmax} = \max \{ t_{pmp1}, t_{pmp2} \dots t_{pmpi} \dots t_{pmpn} \}$$

Jednostranně omezené rozptýlení doby provozu mezi poruchami

Při jednostranně omezeném rozptýlení hodnocené náhodné veličiny doby provozu mezi poruchami platí mezi počtem výběrových hodnot \underline{n} , konfidenční úrovní $1-\alpha$ a podílem \underline{p} souboru nad t_{pmpmin} respektive pod t_{pmpmax} vztah :

$$p^n = \alpha \quad (6.16)$$

Statistická interpretace se provede na základě analýzy uvedeného vztahu, kdy se vychází z předem daných, nebo zvolených dvou veličin a třetí se specifikuje.

Obecně mohou nastat tři základní varianty statistické interpretace:

- Pro zvolené hodnoty n, p se určí α
Existuje pravděpodobnost rovná alespoň $1-\alpha$, že podíl souboru nad t_{pmpmin} nebo pod t_{pmpmax} bude roven alespoň \underline{p} .
- Pro zadané hodnoty $n, 1-\alpha$ se vypočítá p
Existuje pravděpodobnost rovná alespoň $1-\alpha$, že nad t_{pmpmin} nebo pod t_{pmpmax} se bude nacházet podíl souboru rovný alespoň \underline{p} .
- Pro zadané hodnoty $p, 1-\alpha$ se stanoví n
Je možné stanovit minimální počet vyšetřených veličin \underline{n} , při kterém bude možné tvrdit s pravděpodobností rovnou alespoň $1-\alpha$, že podíl souboru, který je nad t_{pmpmin} nebo pod t_{pmpmax} bude roven alespoň \underline{p} .

Dvoustranně omezené rozptýlení doby provozu mezi poruchami

Při dvoustranně omezeném rozptýlení hodnocené náhodné veličiny doby mezi poruchami platí mezi rozsahem výběru \underline{n} , konfidenční úrovní $1-\alpha$ a podílem \underline{p} souboru, který se nachází mezi t_{pmpmin} a t_{pmpmax} vztah :

$$n p^{n-1} - (n-1)p^n = \alpha \quad (6.17)$$

Také v tomto případě se statistická interpretace může provádět pro různé relace zvolených a stanovovaných hodnot :

- Pro zvolené hodnoty n, p se vypočítá α
Existuje pravděpodobnost rovná alespoň $1-\alpha$, že podíl souboru ležící mezi t_{pmpmin} a t_{pmpmax} bude roven alespoň \underline{p} .
- Pro zadané hodnoty $n, 1-\alpha$ se určí p
Existuje pravděpodobnost rovná alespoň $1-\alpha$, že podíl souboru, který se nachází mezi hodnotami t_{pmpmin} a t_{pmpmax} bude roven alespoň \underline{p} .
- Pro zadané hodnoty $p, 1-\alpha$ se stanoví n

Je možné stanovit minimální počet vyšetřovaných veličin, při kterém bude možno tvrdit s pravděpodobností rovnou alespoň $1-\alpha$, že podíl souboru, který se nachází mezi t_{pmpmin} a t_{pmpmax} bude roven alespoň p .

Podle naznačených postupů se identifikují neparametrické dvoustranné statistické toleranční meze vztažené k hodnotám t_{pmpmin} a t_{pmpmax} .

6.3.2 Ukazatele vztažené k době opravy

Kvantifikace je obdobná jako v případě ukazatelů doby provozu mezi poruchami.

7 MODEL ANALÝZY DAT

Tato část práce se zabývá popisem navrženého matematického modelu v programu Excel, který slouží pro vyhodnocení dat charakterizující dobu používání obráběcího stroje.

7.1 CÍL MODELU ANALÝZY DAT

Cílem modelu je vytvoření systému vhodného pro menší až střední firmu, která z ekonomického hlediska neuvažuje o pořízení cenově nákladných statistických softwarů. Program Excel je součástí softwarového balíčku Microsoft Office, který je běžně používaným a nejrozšířenějším softwarem mezi běžnými uživateli PC.

Tento model s ohledem na předchozí historii stroje z hlediska poruch dokáže naplánovat okamžik optimální údržby stroje tak, aby se počet poruch eliminoval na minimální možnou míru. Doba mezi jednotlivými naplánovanými údržbami se přitom bude odvíjet od reálného provozu stroje. Tím pádem se eliminuje vliv nekontinuálního procesu výroby.

7.2 OBLAST POUŽITÍ MODELU ANALÝZY DAT

Model slouží pro analýzu doby používání jednodušších obráběcích strojů ne univerzálního charakteru, např. revolverový soustruh apod., určených pro obrábění výrobků podobného charakteru složitosti. Model analýzy přitom neřeší jednotlivé vzájemné vztahy a návaznosti strojů v pracovním procesu, např. v případě soustavy obráběcích strojů – obráběcí linky nebo obráběcího centra. Ideální použití je v případě stroje staršího roku výroby, tj. kdy je počet poruch min. 50 za kalendářní rok. Jednotlivá data se historicky ukládají vždy za období jednoho kalendářního roku. Číslo 50, tj. počet poruch, je důležité pro ověřování hypotézy o normálním rozdělení, tj. použité testovací kritérium je vhodné pro počet hodnot $\langle 8;50 \rangle$. Je zaznamenávána i porucha nástroje, která se promítá do doby zálohového prostoje stroje.

7.3 PŘÍNOS MODELU ANALÝZY DAT

- Vytvoření analýzy dat, která může být aplikována za daných podmínek do praxe.
- Predikce optimální údržby stroje pro minimalizaci vzniku poruch.
- Nevelké nároky kladené na obsluhu.
- Ověření výpočtu jednotlivých ukazatelů pomocí statistických metod v praxi.
- Pro případ sledování nebo analýzy dalších ukazatelů souvisejícími s obráběcím strojem je možná jednoduchá úprava.

7.4 PRINCIP MODELU ANALÝZY DAT

Model je založen na principu tabulek, do nichž se kontinuálně zadávají data z provozu stroje, tyto jsou pak dále analyzována a zpracovávána pomocí vložených vzorců a závislostí. Model obsahuje tyto listy:

1. „Rozcest“ - Rozcestník = úvodní list seznamující uživatele s modelem, nabízí ve svém menu možnost práce v dalších listech včetně odkazu na nápovědu.
2. „01–12“ = Základní listy pro 12 měsíců s analytickým a grafickým znázorněním:

Analytická část sestává z tabulky:

- a. vstupní data včetně záznamů poruch, údržby a zálohy stroje
- b. vyhodnocovaná doba používání
- c. vyhodnocení dat

Grafická část sestává z pěti grafů:

- a. Graf znázorňující dobu požadované funkce stroje
 - b. Graf znázornění ukazatelů spolehlivosti pro předpoklad normálního rozdělení
 - i. Doba opravy
 - ii. Doba provozu mezi poruchami
 - c. Graf znázornění ukazatelů spolehlivosti pro předpoklad neznámého rozdělení
 - i. Doba opravy
 - ii. Doba provozu mezi poruchami
3. „Test“ - List testovacího kritéria = slouží pro testování hypotézy o normálním rozdělení
 4. „Souhrn“ = Souhrnný list kumulující data z jednotlivých listů „01-12“ včetně grafického znázornění
 5. „Souhrn_grafy“ = list obsahující grafické znázornění doby požadované funkce a součinitelů využití stroje za období jednoho kalendářního roku
 6. „Help“ = Nápověda ke každému listu v modelu
 7. „Konst“ = list obsahující konstanty pro výpočty konfidenčních a statistických tolerančních intervalů a také p-kvantil testovacího kritéria. Tento list je pomocným listem pro snazší výpočty, proto je skryt.

7.5 POPIS MODELU VYHODNOCENÍ DAT

Uvedený model navrhuje na základě dat z historie výrobního procesu stroje a výpočtu statistických charakteristik jednotlivých ukazatelů správnou dobu optimální údržby tak, aby nedocházelo ke zbytečným prostojům vlivem častých poruch nebo naopak zbytečných údržeb. Je navržen tak, aby uživatel na základě zápisu nezbytných dat se dozvěděl maximum informací pomocí automatických operací. Tím se významně omezil vliv lidského faktoru na možnost způsobení chyb.

7.6 VÝSTUPNÍ DATA Z MODELU

Výstupem je soubor dat, které mohou ovlivnit budoucí využití, údržbu a provoz stroje.

Můžeme je členit:

1. Data dle období: - vyhodnocovaná doba používání (analytické a grafické vyjádření), vyhodnocení dat (analytické a grafické vyjádření)
 - a. Data vypočítaná za jednotlivé měsíce zvláště – umístění na listech „01-12“
 - b. Data vypočítaná za všechny dny, které mají „zadané“ údaje (v tabulce vstupní data jsou vyplněná data pro směnu, poruchy, provoz atd.) – tj. všechna data, která jsou uvedena na listech „01-12“ jsou promítnuta na list „Souhrn“. Zde pak probíhají výpočty za období celého roku. Data slouží o představě provozu stroje i v části roku jako data kumulovaná, tj. ne po měsících.
2. Data dle charakteru:
 - a. Analytická data: - výpočty vyhodnocované doby používání, vyhodnocení dat
 - b. Grafické znázornění:
 - i. za období jednotlivých měsíců nebo za kumulované období – umístění na listech „01-12“, „Souhrn“, „Souhrn grafy“
 - ii. vyjadřující dobu požadované funkce, využití stroje nebo statistické ukazatele
 - c. Určení doby optimální údržby stroje na základě testu

8 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI MODELU

Funkčnost modelu a ověření jeho aplikovatelnosti do praktických podmínek strojírenské firmy bylo provedeno na konkrétních hodnotách dob používání vybraného obráběcího stroje. Z důvodu neudělení písemného souhlasu firmy s publikací získaných (naměřených) hodnot, nejsou jméno ani ukázky záznamů měření v práci publikovány.

Firma se zabývá výrobou drobných strojních součástí rotačního charakteru. Výrobní tempo je určováno poptávkou trhu, to znamená, že se nejedná o kontinuální proces. Nejčastěji se jedná o jednosměnný až dvousměnný provoz vyjma nepracovních dnů, vyjimečně trojsměnný provoz. Data byla shromažďována

z jednoho obráběcího stroje staršího data výroby. Jako vstupní údaje slouží znalost provozu, tj. směnnost, přestávky, pravidelná údržba. Dále pak identifikace poruchy stroje a nástroje, počet, doba vzniku a délka doby opravy. V tomto případě provozu znamená porucha nástroje zálohový prostož stroje, proto je tento případ také zachycován.

Postup ověření funkčnosti spočívá v:

- získání, identifikaci a vyhodnocení dat z běžného provozu
- ověření odchýlení hodnot od normálního rozdělení
- aplikace zpracovaných dat pro budoucí plánování preventivní údržby stroje
- způsob ověření funkčnosti modelu

8.1 KROKY OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI MODELU

Vyhodnocení hodnot všech kroků potřebných k možnosti plánování optimální údržby.

- Vstupní data
- Testování hypotézy
- Vyhodnocení optimální údržby

Pro doložení funkčnosti uvedené metody byla shromážděna požadovaná data z jednoho stroje po určitou dobu a na nich ověřena platnost statistických zákonitostí. Ověřena i známá teze, čím větší rozsah výběrového souboru, tím jsou výpočty přesnější, intervaly se zužují. Do tabulek modelu byly zapisovány data z provozu stroje po dobu 6 měsíců (únor, březen, duben, květen, červen, srpen, červenec – firemní dovolená) na každý list zvlášť. Tyto byly postupně zpracovány a zapsány do modelu vytvořeného na základě programu Excel. Tyto údaje vytvoří základ pro potvrzení a ověření funkčnosti a správnosti modelu a také pro porovnání dat mezi jednotlivými měsíci navzájem.

8.2 ZHODNOCENÍ FUNKČNOSTI MODELU

Na základě praktického ověření modelu lze konstatovat, že model je použitelný pro praxi za podmínek:

- Použití pro jednodušší obráběcí stroj ne univerzálního charakteru staršího roku výroby
- V procesu výroby výrobků podobného charakteru
- Pravidelné, úplné a pravdivé zapisování dat

Výhodou je jednoduchost a přehlednost výsledků, které jsou vyjádřeny analyticky i graficky za jakékoliv (zvolené) období, minimální pořizovací náklady – software je běžně rozšířen. Obsluha nevyžaduje specialistu, pouze člověka s uživatelskou znalostí PC.

Model slouží jako nástroj pro určování okamžiku optimální údržby s jistou pravděpodobností, kterou může uživatel částečně ovlivnit. Zjištění účinnosti plánování optimální údržby nebylo z časových důvodů možné, bylo by vhodné jako předmět dalšího výzkumu.

ZÁVĚR

Otázka jakosti veškerých produktů a služeb hraje v dnešní době důležitou roli v boji o umístění v konkurenčním prostředí na trhu. Spolehlivost je jednou z nejpodstatnějších vlastností utvářejících jakost objektu. Obsah termínu spolehlivost se vyvíjel a v současné době je nejčastěji chápán v širším a užším pojetí. 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 chápána spolehlivost v širším pojetí se v jednotlivých konkrétních případech vyjadřuje dílčími vlastnostmi jako životností, bezporuchovostí, udržitelností, zajištěností údržby, skladovatelností, provozní bezpečností atd. a jejich kombinacemi, např. pohotovostí, technickým využitím apod.

Spolehlivost v užším pojetí je definována jako souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ovlivňují bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby.

Zabezpečování spolehlivosti je třeba chápat jako systémový problém. Program spolehlivosti je nedílnou součástí systému jakosti. Zahrnuje všechny fáze životního cyklu objektu od plánování po provoz a případnou likvidaci.

Provozní spolehlivost vyjadřuje spolehlivost v daných provozních podmínkách. Provozní spolehlivost celku je dána spolehlivostí jednotlivých prvků. Přičemž poměr vlivu prvku na celkovou provozní spolehlivost celku je různý. V případě obráběcího systému je to právě obráběcí stroj, který nejvíce ovlivňuje provozní spolehlivost celku, proto je mu věnována náležitá pozornost.

Spolehlivost jako takovou nemůžeme změřit a prokázat v okamžiku předávání objektu, zjistí se až po určité době provozu. Můžeme ji pouze předpovídat na základě informací o spolehlivosti stejných objektů nebo na základě výpočtu vycházejícího ze spolehlivosti jednotlivých dílů. K tomu slouží ukazatele spolehlivosti, které jako kvantitativní míry vymezených dílčích vlastností spolehlivosti nebo jejich kombinací, jsou popisem pravděpodobnostního chování příslušných náhodných veličin nebo jejich posloupností.

Spolehlivostní údaje a ukazatele jsou významným indikátorem jakosti obráběcího stroje a nezbytným nástrojem pro řízení hospodárného provozu strojů. V oblasti obnovy strojů jsou důležité především pro určování optimálních okamžiků údržeb, diagnostiky, oprav, výměn a jejich optimálního rozsahu. Ve zpětné vazbě jsou stanovením optimálního okamžiku obnovovací činnosti ovlivněny a zpřesněny spolehlivostní veličiny a ukazatele. Tedy výsledné ukazatele a konečný efekt procesu obnovy obráběcího stroje jsou přímo závislé na jeho úrovni spolehlivosti a naopak.

V disertační práci je uvedena kvantifikace ukazatelů vztažených k době provozu mezi poruchami a dobou opravy obráběcích strojů a to pro případ normálního a neznámého rozdělení sledované veličiny.

Na základě těchto informací byl vytvořen matematický model analýzy dat (s využitím aplikace MS Excel), který díky znalosti historie provozu stroje dokáže určit s danou pravděpodobností dobu optimální údržby pro budoucí období provozu stroje. Cílem modelu je vytvoření systému vhodného pro menší až střední firmu, která z ekonomického hlediska neuvažuje o pořízení cenově nákladných specializovaných statistických softwarů. Model je založen na principu tabulek, do nichž se kontinuálně zadávají data z provozu stroje, tyto jsou pak dále analyzována a zpracovávána pomocí vložených vzorců a závislostí. Výstupem zpracování těchto dat v modelu je nejen doba optimální údržby, ale také analytické a grafické znázornění ukazatelů spolehlivosti při normálním a neznámém rozdělení v daných obdobích.

Doba optimální údržby je ovlivňována i typem rozdělení, proto je do modelu zařazen test, který ověří tvrzení, zda se jedná o normální nebo neznámé rozdělení sledované veličiny. Celý model je vytvořen tak, aby minimalizoval možnou chybu lidského faktoru při zpracování dat na minimum. Výhodná je jeho jednoduchost obsluhy a přitom výstižnost.

Mezi přínosy vytvořeného matematického modelu dat patří:

- Uživatelská přívětivost (jednoduchost obsluhy) a přitom výstižnost
- Predikce optimální údržby stroje pro minimalizaci vzniku poruch
- Nízké nároky na PC gramotnost obsluhy
- Ověřitelnost výpočtu jednotlivých ukazatelů pomocí statistických metod v praxi
- Možnost jednoduché úpravy modelu (modifikace) pro případ sledování nebo analýzy dalších ukazatelů souvisejícími s obráběcím strojem.

Pro ověření funkčnosti modelu byla použita data z praxe, konkrétně za 6 měsíců doby provozu obráběcího stroje. Závěrem z ověření modelu v praxi je konstatování, že tento model je za daných podmínek použitelný pro praxi jako nástroj k predikci okamžiků optimální údržby a tím omezení množství poruch a zvýšení doby provozu stroje.

Omezující podmínky použitelnosti modelu v praxi:

- Použití pro jednodušší obráběcí stroj ne univerzálního charakteru staršího roku výroby
- V procesu výroby výrobků podobného charakteru
- Pravidelné, úplné a pravdivé zapisování dat.

Disertační práce a vytvořený matematický model pro vyhodnocení dat charakterizující dobu používání obráběcího stroje řeší tyto cíle:

- Identifikace obráběcích systémů z hlediska provozní spolehlivosti
- Obecná analýza základních prvků obráběcího systému
- Specifikace ukazatelů provozní spolehlivosti při normálním a neznámém rozdělení sledované veličiny
- Vytvoření zpětné vazby pro určování optimálních okamžiků údržeb
- Kvantifikace ukazatelů spolehlivosti pro praktický příklad soustruhu a ověřit uvedené vztahy

Přínosem disertační práce je vytvořený model analýzy dat. Správnou aplikací navrženého modelu v podmínkách malých a středních firem strojírenského zaměření dojde ke snížení doby prostoje a zvýšení doby provozu obráběcího stroje, tj. k jeho vyššímu využití. To přinese i zlepšení spolehlivosti obráběcího stroje potažmo obráběcího systému jako celku což vede ke zlepšení jakosti celého systému a snížení finančních nákladů vynakládaných na opravy strojů a vícenákladů vznikající firmám v době poruchového stavu z důvodu nutnosti operativního zajištění výroby jinými prostředky.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] AB Sandvik Coromant: Příručka obrábění. Scientia Praha 1997
- [2] Baecher, G. – Christian, J.: Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. J. Wiley and Sons. New York. 2003.
- [3] Calabro, S. R.: Základy spolehlivosti a jejich využití v praxi. SNTL Praha 1965
- [4] Cibulka, J. – Prokop, J. – Pernikář, J.: Ukazatelé spolehlivosti vybraných automatizovaných technologických pracovišť s průmyslovými roboty a manipulátory.
Výzkumná zpráva VUT-SVVÚ, Brno 1984
- [5] Cibulka, J. – Prokop, J. – Pernikář, J.: Analýza spolehlivosti automatizovaných technologických pracovišť s průmyslovými roboty a manipulátory.
Výzkumná zpráva VUT-SVVÚ, Brno 1986
- [6] Havlíček, J. a kol.: Provozní spolehlivost strojů. SZN Praha 1989.
- [7] John, P.W.M.: Statistical Methods in Engineering and Quality Assurance. J Wiley, New York. 1990.
- [8] Klega, V.: Směrnice a výpočtové postupy pro navrhování výrobků s předem danou spolehlivostí v konstrukční praxi.
Výzkumná zpráva SVVÚSS Běchovice, Praha 1975
- [9] Kocman, K. – Prokop, J. – Bulla, V.: Spolehlivost automatizovaného výrobního systému jako funkce spolehlivosti jeho prvků. VUT FSI 1993
- [10] Kuba, J.: Hodnocení provozní spolehlivosti strojů. SNTL Praha 1984
- [11] Kubát, L.: Teorie spolehlivosti a její využití v praxi. Ediční středisko ČVUT, Praha 1968
- [12] Leitl, R.: Spolehlivost systémů. Skriptum, Plzeň, Společné pracoviště spolehlivosti. VŠSE Plzeň 1977.
- [13] Mykiska, A.: Bezpečnost a spolehlivost technických systémů. Ediční středisko ČVUT, Praha 2004.
- [14] Mykiska, A.: Spolehlivost technických systémů. Ediční středisko ČVUT, Praha 2000.
- [15] Mykiska, A.: Spolehlivost v systémech jakosti. Ediční středisko ČVUT, Praha 1996.
- [16] Nechvíle, J. – Žaludová, A.: Názvosloví spolehlivosti v technice. ÚNM Praha 1981.
- [17] Prokop, J. – Bulla, V.: Kvantifikace provozní spolehlivosti realizovaných automatizovaných výrobních systémů.
Dílčí výzkumná zpráva, VUT FS Brno 1992.
- [18] Sundararajan, C.: Guide to Reliability Engineering. Van Nostrand Reinhold. 1991.
- [19] Tichý, M.: Ovládání rizika. Analýza a management. Beckova edice ekonomie. 2006.

- [20] VDA 4.1 Management jakosti v automobilovém průmyslu. Zabezpečování jakosti před sériovou výrobou. 3. (české 2.), zcela přepracované vydání 1996. Vydala ČSJ v roce 1997. 136 stran. ISBN 80-02-01187-2.
- [21] VDA 3-2 Zuverlässigkeitssicherung bei Automobilherstellern und Lieferanten. Zuverlässigkeits-Methoden und Hilfsmittel. Teil 2., 3. Überarbeitete und erweiterte Auflage 2000. Verband der Automobilindustrie e. V. ISSN 0943-9412.
- [22] ČSN 01 0103. Výpočet ukazatelů spolehlivosti dvoustavových soustav. 1975
- [23] ČSN 01 0611. Pravidla pro stanovení bodových a intervalových odhadů ukazatelů spolehlivosti. Parametrické metody. 1990.
- [24] ČSN EN 60300-1. Management spolehlivosti. Část 1: Systémy managementu spolehlivosti. 2004.
- [25] ČSN EN 60300-3-3. Management spolehlivosti. Část 3-3: Pokyn k použití – Analýza nákladů životního cyklu. 2005.
- [26] ČSN EN 60300-3-14. Management spolehlivosti. Část 3-14: Pokyn k použití – Údržba a zajištění údržby. 2005.
- [27] ČSN IEC 300-3-4. Management spolehlivosti. Část 3: Návod k použití. Oddíl 4: Pokyny ke specifikaci požadavků na spolehlivost. 1996.
- [28] ČSN IEC 300-3-9. Management spolehlivosti. Část 3: Návod k použití. Oddíl 9: Analýza rizik techn. systémů. 1997.
- [29] ČSN IEC 60300-3-11. Management spolehlivosti. Část 3-11: Návod k použití – Údržba zaměřená na bezporuchovost. 2000.
- [30] ČSN IEC 50(191). Mezinárodní elektrotechnický slovník. Spolehlivost a jakost služeb. 2003.
- [31] ČSN ISO 2602. Statistická interpretace výsledků zkoušek. 1993.
- [32] ČSN ISO 3207. Statistická interpretace údajů. 1993.
- [33] ČSN ISO 5479. Statistická interpretace údajů – Testy odchýlení od normálního rozdělení. 1998.

CURRICULUM VITAE

Osobní údaje:

Jméno, titul: **BAUEROVÁ Jana, Ing.,**
roz. Foltýnová
Datum narození: 21. 7. 1975
Místo narození: Brno
Národnost: česká

Zaměstnavatel: PANBEX Holding s.r.o., Modřice
Kontakt: +420 737 437 117
jana.bauerova@panbex.cz

Dosažené vzdělání:

- 1981 – 1989 Základní škola, Kounicova 68 v Brně.
1989 – 1993 Střední průmyslová škola strojní, Kotlářská 9 v Brně, ukončena maturitou s vyznamenáním.
1993 – 1998 VUT FSI Brno, Ústav strojírenské technologie, obor průmyslový management, inženýrské studium ukončené státní zkouškou.
1998 – 2001 VUT FSI Brno, Ústav strojírenské technologie, odbor technologie obrábění, 3leté postgraduální studium absolvované státní doktorskou zkouškou.

Grantové projekty:

- Foltýnová, J.: Analýza a kvantifikace provozní spolehlivosti obráběcích strojů, VUT FSI v Brně, Brno, 1999.
Foltýnová, J. – Matoušková, D.: Analýza a kvantifikace obráběcího procesu, VUT FSI v Brně FP 300026, Brno, 2000.
Matoušková, D. – Foltýnová, J.: Zvyšování kvality výrobního procesu pomocí metod matematické statistiky, VUT FSI v Brně FP 300029, Brno, 2000.

Přednášky a konference:

- Prokop, J. – Foltýnová, J.: Provozní spolehlivost obráběcích strojů
In. Sborník mezinárodní konference TD 2000 – DIAGON 2000
str. 264 – 266, 12.4 – 13.4. 2000, Zlín, 2000.
Foltýnová, J. – Matoušková, D.: Analýza a kvantifikace obráběcího procesu,
In: II. sborník příspěvků doktorandů pedagogicko – vědecké konference, str. 65 – 68, 5. – 6.12. 2000, Brno, 2000.
Matoušková, D. – Foltýnová, J.: Zvyšování kvality výrobního procesu pomocí metod matematické statistiky,
In: II. sborník příspěvků doktorandů pedagogicko – vědecké konference,
str. 201 – 204, 5. – 6. 12. 2000, Brno, 2000.

ABSTRACT

Basic conception of thesis is dependability – one of the most important properties, which form an object quality. Dependability of a unit affects dependability of components. In case of machining systems it concerns next items: machining tools, cutting tools, intermediate products and cutting surroundings. Interference rate of unit dependability is diverse, mostly it is affected by machining tools, and so we paid special attention to it.

Dependability cannot be measured, could be just estimated by indexes of dependability or by their combination. Indexes describe probabilistic behaviour of related random values or their succession.

Indexes of dependability are represented by quantifying indexes related to time between breakdowns and repair time for unknown and known division of monitored data.

As a result we have the model of data analysis. Its benefits are:

- Creating of data analysis which could be used in practice under given conditions
- Prediction of optimal maintenance for machining tools in order to minimise breakdowns occurrence
- Unpretending service
- Verification of particular indexes calculation by means of statistical methods (in practice)
- In case of monitoring or analysing of other indexes related to machine tools, simple adjustment of the model is possibly

The model of data analysis was verified in practice on real data for machining tools that confirmed of its functionality under given conditions.