

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Ekonomická fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2009

Bc. Rudolf Novák

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Ekonomická fakulta
Katedra aplikované matematiky a informatiky

Studijní program: 6208 N Ekonomika a management
Studijní obor: Obchodní podnikání

Analýza spolehlivosti v oblasti IT

Vedoucí diplomové práce
Ing. Ludvík Friebeľ, Ph.D.

Autor
Bc. Rudolf Novák

2009

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Ekonomická fakulta
Katedra aplikované matematiky a informatiky
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Rudolf NOVÁK**
Studijní program: **N6208 Ekonomika a management**
Studijní obor: **Obchodní podnikání**

Název tématu: **Analýza spolehlivosti v oblasti IT**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je aplikace metod analýzy spolehlivosti v oblasti IT se zaměřením na spolehlivost osobních počítačů.

Metodický postup:

1. Teoretická východiska spolehlivosti.
2. Technické požadavky na osobní počítače.
3. Rozbor spolehlivosti jednotlivých komponentů osobních počítačů.
4. Analýza spolehlivosti osobních počítačů jako soustavy prvků.
5. Rozbor nákladů na zajištění zvýšené spolehlivosti osobních počítačů.
6. Zhodnocení a závěr.

Rozsah grafických prací: příloha: CD ROM s firemní prezentací
Rozsah pracovní zprávy: 50 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

Starý, I. Teorie spolehlivosti. Praha : ČVUT, skripta, 1999.

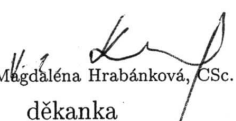
DeVor, R.E., et al. Statistical Quality Design and Control (Contemporary Concepts and Methods). U.S.A. : McMillan Publ., 1992. ISBN 0-02-329180-X.

Mikyska, A. Spolehlivost v systémech jakosti. Praha : ČVUT, 1995.


Odborné časopisy a Internet.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ludvík Friebel, Ph.D.
Katedra aplikované matematiky a informatiky

Datum zadání diplomové práce: 9. ledna 2008
Termín odevzdání diplomové práce: 15. dubna 2009


prof. Ing. Magdaléna Hrabánková, CSc.
děkanka

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
EKONOMICKÁ FAKULTA
Studentská 13 (25)
370 05 České Budějovice


prof. RNDr. Pavel Tlustý, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 27. března 2008

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Analýza spolehlivosti v oblasti IT jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č.111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích 10. 4. 2009

Bc. Rudolf Novák

Poděkování

Děkuji vedoucímu této diplomové práce Ing. Ludvíku Friebelovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné připomínky a odborné rady, které mi byly v průběhu jejího vypracování poskytnuty.

OBSAH

ÚVOD.....	3
1. CÍLE A METODIKA PRÁCE	4
2. TEORETICKÁ VÝCHODISKA SPOLEHLIVOSTI.....	5
2.1 Základní pojmy	5
2.2 Spolehlivost technických objektů	10
2.2.1 Východiska zkoumání a kvantifikace spolehlivosti	10
2.2.2 Specifikace požadavků na spolehlivost u technických systémů	12
2.2.3 Charakteristika technik analýzy spolehlivosti	14
2.2.4 Charakteristika metod a postupů analýzy spolehlivosti	14
3. KONKRÉTNÍ METODY A POSTUPY	15
3.1 Metoda FTA - Analýza stromu poruch (Fault Tree Analysis).....	15
3.1.1 Přípravná část analýzy	16
3.1.2 Tvorba stromu poruchových stavů.....	16
3.2.3 Kvalitativní analýza stromu poruch.....	17
3.2.4 Kvantitativní analýza stromu poruchových stavů.....	19
3.2.5 Vyhodnocení analýzy	19
3.2 Metoda statistického modelování (Weibullova analýza).....	20
3.2.1 Způsoby popisu náhodné veličiny „doby do poruchy“	21
3.2.2 Parametry určující funkci hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení. 25	
3.2.3 Typy Weibullova rozdělení.....	27
3.2.4 Weibullův pravděpodobnostní graf.....	27
3.2.5 Možnosti stanovení parametrů Weibullova rozdělení	28
4. ZVYŠOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI A BEZPEČNOSTI SYSTÉMŮ	30
4.1 Konkrétní způsoby zvyšování bezporuchovosti systémů	33
4.1.1 Zvyšování bezporuchovosti (bezpečnosti) bez využití nadbytečnosti.....	33
4.1.2 Zvyšování bezporuchovosti (bezpečnosti) s využitím nadbytečnosti.....	34
5. ANALÝZA SPOLEHLIVOSTI OSOBNÍCH POČÍTAČŮ JAKO SOUSTAVY PRVKŮ	42
5.1 Charakteristika firmy	42
5.2 Data potřebná pro analýzu	43
5.2 Přípravná část analýzy	45
5.2.1 Konstrukční uspořádání osobního počítače	46
5.2.2 Definování vrcholové události a základní (primární) události.....	48
5.3 Sestavení stromu poruchových stavů.....	48

5.4 Kvantitativní analýza stromu poruchových stavů.....	49
5.5 Vyhodnocení analýzy	51
6. ANALÝZA NÁKLADŮ, SIMULACE DOBY ŽIVOTNOSTI.....	52
6.1 Výchozí předpoklady	52
6.2 Analýza nákladů	52
6.3 Odhad parametrů Weibullova rozdělení, simulace doby životnosti	54
6.4 Simulační model	58
6.5 Výběr konkrétního dodavatele	69
ZÁVĚR	72
SUMMARY	75
PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY A OSTATNÍCH ZDROJŮ	77
Publikace:.....	77
Časopisy:.....	78
Elektronické dokumenty:	78
Normy:	78
SEZNAM TABULEK.....	79
SEZNAM GRAFŮ	80

ÚVOD

Každý systém, pokud má existovat a fungovat co nejdéle a přitom bez závad, nebo alespoň s jejich co nejmenším počtem, musí splňovat jednu zásadní vlastnost, a tou je spolehlivost. O spolehlivosti můžeme mluvit jak u systémů umělých, tak i u živých organismů a nakonec i u člověka samého. U každého systému je velmi důležitá jeho funkční spolehlivost během doby jeho životnosti. Pokud systémy nesplňují požadavky v tomto směru na ně kladené, selhávají a jejich další užívání a provoz klade neúměrné nároky na množství prostředků, energie a dalších vzácných zdrojů. Jejich další používání je potom neefektivní a svým způsobem vlastně i škodlivé. Užíváním nespolehlivých systémů v nadměrné míře bychom ohrozili nejen sebe jako uživatele, ale svou neúměrnou spotřebou také svoje okolí. Je tedy více než logické, že s problémem spolehlivosti se lidstvo potýká už od počátku svojí existence a spolehlivost funkce systémů můžeme bez přehánění označit jako jednu ze základních podmínek pro veškerý život. Požadavek na dostatečně velkou a často až maximální spolehlivost systémů námi užívaných má tudíž zcela zásadní význam z hlediska bezpečnostního, ekonomického i ekologického.

Na problematiku spolehlivosti umělých systémů lze nahlížet ze čtyř hlavních zorných úhlů:

- z hlediska návrhu a konstrukce uvažovaného systému a to tak, aby kromě svých základních požadovaných funkcí splňoval také co možná největší provozní spolehlivost a životnost,
- z hlediska analýzy spolehlivosti jistého již existujícího systému,
- z hlediska spolehlivosti interakce mezi umělými, člověkem vytvořenými systémy a lidskou obsluhou těchto systémů, a nebo uživateli těchto systémů (řidiči, piloty, dispečery, uživateli počítačů, atd.),
- z hlediska doporučení a norem pro zjištění a zaručení spolehlivé funkce systémů.

1. Cíle a metodika práce

Hlavní cíl práce

Hlavním cílem předložené diplomové práce je na základě analýzy spolehlivosti v oblasti výpočetní techniky vybrat nejvhodnějšího dodavatele kritických komponent počítačové sestavy podle kritéria nejnižších nákladů vynaložených firmou na zajištění funkčního stavu sestavy během doby záruky.

Dílčí cíle

Analýza spolehlivosti počítače jako soustavy prvků a identifikování kritických komponent, jejichž nefunkční stav je nejčastějším důsledkem výpadku funkce celé soustavy.

Určení doby životnosti kritických komponent metodou statistické simulace při použití Weibullovy analýzy.

Výběr nejvhodnějšího dodavatele kritických komponent na základě ekonomického zhodnocení a analýzy nákladů potřebných na zajištění provozuschopnosti počítače během záruční doby.

Metodika

Pro analýzu spolehlivosti počítače jako soustavy prvků bude použito deduktivní metody analýzy stromu poruchových stavů – FTA (Failure Tree Analysis), prostřednictvím které budou určeny nejkritičtější komponenty celé soustavy. Simulace doby do poruchy – doby životnosti nejkritičtějších komponent bude provedena v programu @RISK¹, který umožňuje odhad parametrů Weibulova rozdělení a generování náhodných veličin s tímto rozdělením pravděpodobnosti.

Analýza nákladů na základě výsledků získaných z předešlé simulace bude zpracována v programu MS Excel, který umožňuje přehledné a snadné porovnání získaných výsledků. Na základě analýzy nákladů bude určen nejvhodnější dodavatel kritických komponent celé počítačové sestavy.

¹ Program @RISK je profesionální software, který je součástí balíku Decision Tools firmy Palisade. Výhodou tohoto programu je, že pracuje jako rozšíření do tabulkového procesoru MS Excel vydávaného firmou Microsoft Corporation.

2. Teoretická východiska spolehlivosti

2.1 Základní pojmy

Spolehlivost a bezpečnost jsou klíčové pro správnou funkci popř. životaschopnost všech reálně fungujících soustav. Definici spolehlivosti, jejích dílčích vlastností a jejich kombinací uvádí tab. 1. Spolehlivost v širším pojetí je chápána jako stálost užitných vlastností (funkčních, ekologických, ergonomických atd.) soustavy po stanovenou dobu a za stanovených podmínek užívání (Mykiska, 2004, s. 55). Podle zdroje (Novák, Šebesta, Votruba, 2003, s. 11) je spolehlivost funkce systémů definována jako míra pravděpodobnosti, že po jistou dobu či v jistém rozpětí jiných na systémy působících nezávislých proměnných se jejich systémové funkce nebudou odchylovat od požadovaných hodnot více než o dovolené odchylky. Přičemž pod pojmem soustava (systém) rozumíme organizované seskupení fyzických, chemických, společenských, nebo informačních celků, prvků, které jsou schopné plnit jednu či více účelných funkcí. Lze také říci, že spolehlivost se zabývá studiem kvalitativních i kvantitativních charakteristik objektu a ovlivňováním těch znaků jakosti, které se mění s časem (s dobou užívání, provozu) a celým souborem konstrukčních, technologických a provozních opatření, která schopnost plnit požadované funkce v čase ovlivňují. Z čehož můžeme odvodit jednoduchou definici, že „spolehlivost se zabývá jakostí v čase“, resp. že „spolehlivost je jakost v čase“.

Bezpečnost je obecně vymezena jako stav objektu, procesu, systému, u nichž je při jejich používání ke stanovenému účelu riziko poškození zdraví osob, životního prostředí nebo materiálních ztrát omezeno na přijatelnou úroveň. (Mykiska, 2004, s. 58). Bezpečnost funkce soustav (systémů) potom chápeme jako míru pravděpodobnosti, že ani činností těchto soustav, ani selháním jejich funkcí nedojde ke škodám a úhoně lidské společnosti a životního prostředí (Novák, Šebesta, Votruba, 2003, s. 11).

Pojmy bezpečnosti a spolehlivosti systémů jsou v jistém slova smyslu provázané, i když ne úplně totožné. Do pojmu bezpečnosti musíme zahrnout i míru odolnosti soustavy vůči vnějším rušivým vlivům. Bezpečnost funkce jisté soustavy lze tedy měřit jako pravděpodobnost, že i při působení rušivých vlivů bude tato fungovat

spolehlivě a nezpůsobí žádné ztráty. Pojem spolehlivosti je tedy obecnější, než pojem bezpečnosti. Bez dostatečného zajištění spolehlivosti funkce jakéhokoliv systému nelze hovořit o jeho bezpečnosti.

Obecným východiskem řešení problematiky bezpečnosti a spolehlivosti objektů je vyjádřit pravděpodobnost jejich schopnosti plnit požadované funkce při jejich používání a následky, které to může vyvolat (např. výskyt poruchy, mezního stavu apod.), a to za stanovených podmínek a po předpokládanou, nebo stanovenou dobu. Pak odpovědnost ve vztahu k bezpečnosti a spolehlivosti není jen záležitostí výrobců, ale je sdílená i zákazníky. Výrobce tedy obecně zodpovídá za stanovení požadavků na bezpečnost a spolehlivost pro stanovené podmínky a dobu užívání, jejich „vkonstruování“ („vprojektování“) do návrhu, nebo projektu, dále za inherentní bezpečnost, životnost, bezporuchovost atd. realizovanou během výrobních etap, za stanovení politiky údržby a podstatnou měrou za zajištění údržby, a to jak při poruše, tak také preventivní údržbě. Na straně zákazníka leží obecně odpovědnost především za dodržování stanovených podmínek užívání, to znamená zejména provozních podmínek (zatížení, namáhání, podmínky prostředí), za zacházení (kvalifikovanost obsluhy apod.), za zajištění provádění preventivní údržby atd.

Řada odpovědností zvláště ve vztahu k bezpečnosti a spolehlivosti je pak vymezena právními předpisy

Problematika bezpečnosti a spolehlivosti je také nedílnou a velmi důležitou součástí péče o jakost. S realizací „obecné“ péče o jakost v organizacích souvisí zejména stránka „manažerská“ a „technická“.

„Manažerská“ stránka v sobě zahrnuje zejména stanovení cílů a nezbytné vymezení odpovědnosti a pravomoci pro jejich realizaci a dále odpovědnosti a pravomoci související s jednotlivými procesy, postupy a zdroji.

„Technická“ stránka zahrnuje stanovení konkrétních metod, postupů a technik používaných v podmínkách organizace.

Tabulka 1: Definice spolehlivosti, jejích dílčích vlastností a jejich kombinací

Termín	Definice
Spolehlivost (dependability)	Obecný termín vyjadřující stálost funkčních a dalších vlastností objektu během jeho používání za stanovených podmínek. Pozn. Normy ČSN EN ISO 9000 a ČSN EIC 50(191) zužují termín spolehlivost na pohotovost a faktory, které jí určují: bezporuchovost, udržovatelnost a zajištění údržby.
Bezpečnost (safety)	Vlastnost objektu při plnění požadovaných funkcí být ve stavu, ve kterém je riziko ohrožení zdraví, života osob, životního prostředí nebo poškození majetku omezováno na přijatelnou úroveň.
Životnost (durability)	Schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách používání a údržby do mezního stavu, který lze charakterizovat ukončením užitečného života, nevhodností z důvodů ekonomických, technických nebo jinými závažnými faktory.
Pohotovost (availablity)	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 prostředky.
Bezporuchovost (reliability)	Schopnost objektu plnit (bez poruchy) požadovanou funkci v daných ekonomických podmínkách a v daném časovém období.
Udržovatelnost (maintainability)	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.
Zajištěnost údržby (maintanance support)	Schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat dle požadavků v daných podmínkách (vztahují se jak na vlastní objekt, tak na podmínky užívání i údržby) prostředky potřebné pro údržbu podle dané koncepce údržby.

Zdroj: Mykiska, A., 2004

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

rizik zajišťujícím bezpečnost s cílem identifikovat, analyzovat a ošetřit (minimalizovat) rizika ohrožení oprávněných veřejných zájmů, a managementem spolehlivosti pro zajištění spolehlivosti s cílem dosáhnout a udržovat požadovanou nebo očekávanou spolehlivost. Hierarchické uspořádání managementu organizace ukazuje tab. 2.

Tabulka 2: Hierarchické uspořádání managementu organizace, jakosti rizik a spolehlivosti

MANAGEMENT (VEDENÍ) ORGANIZACE s cílem vytvářet zisk a uspokojovat zákazníky a další zainteresované strany	
MANAGEMENT JAKOSTI s cílem dosáhnout a udržovat požadovanou nebo očekávanou jakost při minimálních vynaložených nákladech	
MANAGEMENT RIZIK s cílem identifikovat, analyzovat a ošetřit (minimalizovat) rizika a ohrožení oprávněných veřejných zájmů	MANAGEMENT SPOLEHLIVOSTI s cílem dosáhnout a udržovat požadovanou nebo očekávanou spolehlivost

Zdroj: Mykiska, A., 2004

Management rizik a management spolehlivosti se v organizacích uplatňuje pro všechny činnosti a procesy podél smyčky jakosti, to znamená pro všechny etapy životního cyklu výrobků.

Životní cyklus výrobků, jak je uveden v tabulce 3, se podle norem IEC dělí na pět základních etap:

1. Koncepce a stanovení požadavků je první z těchto pěti etap a jejím hlavním obsahem je stanovení potřeby výrobku a specifikace požadavků na výrobek, včetně požadavků na bezpečnost a spolehlivost.
2. Návrh a vývoj je v pořadí druhou etapou, jejímž hlavním cílem je vytvoření projektového či konstrukčního řešení hardwaru a softwaru výrobku, na které navazuje další zpracování dokumentace podrobné specifikace jeho výroby (resp. programování), včetně zpracování další dokumentace výrobku, jako jsou instrukce k použití a údržbě. Z pohledu bezpečnosti a spolehlivosti se v této etapě využívají techniky, postupy a nástroje k ověření spolehlivosti.

3. Výroba a instalace znamenají vlastní sestavení (montáž výrobku) nahrání softwaru apod.; tyto činnosti jsou doprovázené zkoušením a validací znaků jakosti a spolehlivosti.
4. Provoz a údržba se řadí na čtvrté místo v životním cyklu výrobku a měly by zajistit zejména vhodné podmínky provozu výrobku.
5. Likvidace výrobku je poslední etapou a znamená jeho vyřazení na konci životního cyklu a následně jeho demontáž a zničení, nebo, je-li to požadováno, jeho uložení v chráněném prostředí.

Tabulka 3: Členění životního cyklu výrobků na pět etap podle norem IEC

Koncepce a stanovení požadavků →	Návrh a vývoj →	Výroba a instalace →	Provoz a údržba →	Vypořádání (Likvidace)
----------------------------------	-----------------	----------------------	-------------------	------------------------

Zdroj: Mykiska, A., 2004

Kromě uvedených společných stránek s obecnou problematikou péče o jakost má řešení problematiky bezpečnosti a spolehlivosti také svá výrazná specifika. Vymezení bezpečnosti a zejména spolehlivosti je značně složitější než vymezení jakosti. Na rozdíl od funkčních a dalších vlastností výrobku, měřitelných „přímo“ okamžitě při předávání zákazníkovi – uživateli, nelze bezpečnost a spolehlivost výrobků měřit „přímo“ a okamžitě. Spolehlivost může být kvantifikována pouze ukazateli, které mají pravděpodobnostní charakter, tedy ve formě předpovědi. Obtížnější kvantifikace těchto dvou vlastností výrobků je dána skutečností, že sledovanými veličinami jsou náhodné veličiny, jejich poslušnosti apod. Pro kvantifikované vyjádření spolehlivosti je tedy nutné využívat aparát teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky. Pravděpodobnostní a statistický charakter hodnocení vyžaduje informační systém se systematickým a dlouhodobým sběrem, zpracováním a využíváním dat.

Nutné je ovšem zdůraznit, že bezpečnost, pohotovost, bezporuchovost, udržovatelnost, životnost atd. patří mezi základní znaky jakosti a požadavky na ně bývají často specifikovány jako klíčové, protože mají významný vliv na celkovou schopnost výrobku uspokojovat spotřebitele a dále na provozní náklady, náklady na údržbu během užívání a případné sankce za nedodržování požadavků na bezpečnost a na ztráty způsobené nefunkčností.

2.2 Spolehlivost technických objektů

2.2.1 Východiska zkoumání a kvantifikace spolehlivosti

Prvním krokem řešení problematiky bezpečnosti a spolehlivosti každého konkrétního objektu (zpravidla vztaženo na soubor objektů téhož typu) je vymezení chápání jeho spolehlivosti z hlediska bezpečnosti identifikace a posouzení rizik nebezpečných událostí, které mohou ohrozit oprávněné zájmy. Měli bychom tedy rozlišovat spolehlivost v širším pojetí, která je obecně chápána jako komplexní vlastnost vyjadřující schopnost objektu zachovávat funkční a další vlastnosti v čase a za stanovených podmínek a spolehlivostí v užším pojetí, tj. podle norem ISO a IEC definovanou jako souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují. Spolehlivost v širším pojetí se dá v jednotlivých konkrétních případech vyjádřit např. těmito dílčími vlastnostmi: životností, bezporuchovostí, udržitelností, zajištěností údržby, skladovatelností atd. a jejich kombinacemi (např. pohotovostí, operační pohotovostí atd.). Termín objekt je dále používán v definovaném významu podle ČSN IEC 50(191) jako cokoliv, s čím je možné se individuálně zabývat. Tato práce se však bude zabývat pouze technickými objekty, což mohou být stroj, přístroj, součástka, funkční jednotka, technický systém apod.

Při řešení a zkoumání problematiky spolehlivosti se uplatňují dva vzájemně prolínající se přístupy:

- kvalitativní – vymezení souboru objektů téhož typu ve vazbě na studium a analýzu příčin, druhů, způsobů, projevů a důsledků poruch a analýzu možností předcházet jim, nebo odstraňovat jejich následky,
- kvantitativní – za použití číselných vyjádření a pomocí ukazatelů umožňuje formulovat kvantitativní požadavky a ověřovat, prokazovat je v předvýrobních etapách v podobě předpovědí, v povýrobních etapách v podobě jejich zjištěných inherentních a provozních hodnot.

Východisko řešení problematiky bezpečnosti a spolehlivosti lze tedy charakterizovat jako studium a zkoumání příčin vzniku poruch a poruchových stavů, jejich druhů, závislostí, projevů a následků, možností jim předcházet, resp. odstraňovat jejich následky, a to v závislosti na množině náhodných jevů působících na objekt,

ve všech etapách jeho životního cyklu (Mykiska, 2004, s. 79). Základními pojmy jsou porucha a poruchový stav definované v názvoslovné normě spolehlivosti ČSN IEC 50(191) takto:

porucha je jev spočívající v ukončení schopnosti objektu plnit požadovanou funkci, objekt při poruše je v poruchovém stavu,

poruchový stav je stav objektu charakterizovaný jeho neschopností plnit požadovanou funkci s výjimkou neschopnosti během preventivní údržby nebo jiných plánovaných činností nebo způsobený nedostatkem vnějších prostředků (např. elektrické energie).

Vymezení kvalitativního a následně i kvantitativního hodnocení spolehlivosti objektů se provádí na základě analýzy požadované funkční činnosti objektu pro stanovené podmínky používání a v závislosti na množině náhodných vlivů působících na objekt. Zpravidla se vyjadřují požadované funkce objektu v podobě pozorovatelných znaků, parametrů a charakteristik a zkoumají se jejich závislosti na možných mechanismech poruch a dalších možných příčinách ztráty schopnosti plnit požadované funkce.

Kritérium poruchy lze vyjádřit jako ztrátu schopnosti objektu plnit požadovanou funkci pomocí souhrnu pozorovatelných znaků, parametrů a charakteristik. Mělo by být součástí technické specifikace objektu.

Mechanismus poruchy je souhrn fyzikálních a dalších procesů vedoucích k poruše, vedoucích tedy k ukončení schopnosti objektu plnit požadovanou funkci.

Orientací v problematice studia vzniku, projevů, příčin a následků poruch je jejich klasifikace podle různých hledisek. Z hlediska jejich následků se rozlišují poruchy kritické, které mohou způsobit úraz osob, značné materiální škody, nebo mohou zapříčinit jiné nepříjemné následky (jsou určující pro hodnocení bezpečnosti objektu) a poruchy nekritické, které nemohou způsobit úraz, nebo jiné nepříjemné následky (jejich následkem vzniklé poruchové stavy se pak dále rozlišují na závažné a nezávažné).

Dále můžeme poruchy klasifikovat a rozlišovat podle časového průběhu (porucha např. náhlá, postupná, trvalá), z hlediska narušení provozuschopnosti (poruchy

úplné, částečné). Kombinací obou těchto hledisek jsou definovány např. havarijní porucha – náhlá a úplná, degradační porucha – postupná a částečná.

Uvedené klasifikace poruch umožňují hodnotit bezpečnost, životnost a bezporuchovost objektů pro nejčastější mechanismy, resp. příčiny poruch. Mezi příčiny poruch můžeme zařadit: procesy stárnutí, opotřebení a koroze, náhodná krátkodobá přetížení, náhodná krátkodobá vybočení parametrů prostředí mimo meze stanovené pro užívání, náhodné krátkodobé porušení stanovených pravidel pro obsluhu a údržbu, nedostatky a chyby při projektování a konstruování, nedostatky a chyby při výrobě, nestabilita zdrojů napětí a další.

Pro vymezení spolehlivosti objektů a následné stanovení požadavků na bezpečnost je nutné zvážit jejich používání jako objektů opravovaných nebo neopravovaných. Typickými příklady neopravovaných objektů jsou např.: elektronické součástky (odpory, kondenzátory, tranzistory, diody, integrované obvody), elektrotechnické součástky (pojistky, žárovky), strojírenské konstrukční díly (šrouby, nýty, táhla, řemeny, ložiska) tyto objekty jsou zároveň neopravitelné, protože jejich oprava není možná, nebo se z ekonomických, provozních nebo jiných příčin nevyplatí. Pak známe z praxe celou řadu objektů neopravovaných a přitom opravitelných, které pokud slouží dále i po svém opravení, jsou klasifikovány jako objekty opravované, např.: složitější zařízení, jež byly opravené výměnou porouchaného prvku.

2.2.2 Specifikace požadavků na spolehlivost u technických systémů

Technické systémy mohou mít různou složitost a jsou většinou chápány jako objekty složené ze vzájemně funkčně provázaných komponent. Systém je tedy souhrn vzájemně působících prvků. Řešením problematiky spolehlivosti systému se tedy rozumí zejména studium, analýza a hodnocení spolehlivostních vlastností systému v závislosti na vlastnostech jednotlivých prvků, z nichž je vytvořen tak, aby plnil požadované funkce za stanovených podmínek užívání (Mykiska, 2004, s. 110).

V současné době je kladen stále větší důraz na navrhování a projektování, ať už jednotlivých objektů, nebo systémů s předem specifikovanou spolehlivostí. Specifikování kvalitativních a také zejména kvantitativních požadavků na spolehlivost má být provedeno společně se specifikacemi postupů a kritérií jejich ověřování. Metody

ověřování by měly být vzájemně odsouhlaseny jak výrobcem, tak také zákazníkem. Zajištěním shody systému nebo objektu s požadavky na bezpečnost a spolehlivost je zodpovědný výrobce, a proto by měl věnovat pozornost zvláště formě vyjádření požadavků a metodám, které se mají použít pro posuzování požadovaných znaků. Na dosahovanou úroveň spolehlivosti a bezpečnosti mají nemalý vliv také podmínky, za nichž je systém nebo objekt provozován a instalován. Proto je nezbytnou součástí specifikace požadavků na spolehlivost vyjádření zejména jeho zamýšlených funkcí a definice poruchového stavu, způsobu instalace, používání, provozních podmínek, politiky údržby a dalších. Dále by se ve specifikaci bezpečnosti a spolehlivosti měla uvádět upozornění na různé faktory, které s největší pravděpodobností ovlivňují náklady na zajištění těchto vlastností systému (objektu) např. očekávaná životnost, požadavky na likvidaci nebo recyklaci při ukončení životního cyklu systému (objektu) apod.

Běžně zahrnuje obecný postup analýzy spolehlivosti čtyři následující kroky:

1. Vymezení systému a stanovení požadavků: v této fázi se vymezí požadavky na analyzovaný systém a jeho spolehlivost. Dále se vypracuje seznam požadavků na bezpečnost, životnost, bezporuchovost, udržovatelnost atd., požadavky na údržbu a podmínky provozu. Vymezí se kritická porucha systému pro bezpečnost, mezní stav pro životnost. Součástí této fáze jsou také analýzy možných následků poruch.
2. Rozvržení požadavků na podsystémy (jednotlivé komponenty). Nejprve je v tomto kroku nutné provést rozklad systému na prvky, pro které platí to, že tvoří dílčí ucelené části systému minimálně o řád jednodušší, než jsou dodávány subdodavateli a podléhají jako celky obnově.
3. Analýza spolehlivosti: systém se analyzuje s využitím zvolených metod a postupů. Provádí se **kvalitativní analýza spolehlivosti**, která se týká stanovení druhů poruchových stavů, mechanismů poruch, příčin, projevů a následků poruch a dále určení možných strategií údržby a oprav, sestavení modelů bezpečnosti a bezporuchovosti. **Kvantitativní analýza spolehlivosti**, při které se určí referenční data, která se budou používat a provede se číselné vyhodnocení spolehlivosti, vyhodnotí se možná zlepšení systému využitím nadbytečných dílčích struktur.

4. Přezkoumání a doporučení: zde se vyhodnotí, zda jsou požadavky na spolehlivost a bezpečnost splněny a zda mohou alternativní návrhy ekonomicky efektivně zvýšit spolehlivost, popř. bezpečnost.

2.2.3 Charakteristika technik analýzy spolehlivosti

Po vymezení systému, popisu jeho požadovaných funkcí, podmínek provozu a prostředí používání se volí vhodná reprezentace funkce systému a sestavuje se spolehlivostní model systému, kterým bývá grafické znázornění, matematický či jiný popis struktury systému, vyjadřující vztah mezi touto strukturou a spolehlivostními vlastnostmi systému. Analýzu poruch můžeme provádět dvěma přístupy. Deduktivně – shora dolů, a nebo induktivně – zdola nahoru. Přičemž oba postupy se mnohdy kombinují. Nutné je zdůraznit i to, že při kvantitativních analýzách se ukazatele bezporuchovosti vztahují, pokud není uvedeno jinak, vždy k poruchám, které mají za následek trvalý poruchový stav systému. Tím se rozumí stav, který trvá, dokud není provedena oprava po poruše. Hodnoty ukazatelů bezporuchovosti vztažené k tomuto stavu jsou při využívání záloh velmi vysoké, např. střední doba do poruchy při zálohování s obnovou nabývá řádově desetitisíce až statisíce hodin. U přechodných poruchových stavů, které vyvolají krátkodobé narušení provozu, např. jako důsledek přepnutí systému na záložní prvek, bývají hodnoty ukazatelů bezporuchovosti vztažené i na tyto stavy podstatně nižší, mnohdy až o dva řády.

2.2.4 Charakteristika metod a postupů analýzy spolehlivosti

Pro provádění systematické a reprodukovatelné analýzy je nezbytné používat jednotné postupy. Je nutné v každém konkrétním případě zvolit vhodnou metodu nebo postup, které by měly umožňovat: modelovat a hodnotit systém v širokém rozsahu, provádět systematickou kvalitativní nebo kvantitativní analýzu a předpovědět číselné hodnoty ukazatelů pokud jsou dostupná data. Zpravidla se k jedné základní zvolené metodě berou v úvahu další doplňkové metody, protože žádná jednotlivá metoda nebo postup není natolik vyčerpávající, aby zvládla úplné hodnocení konkrétního systému. To teprve umožňuje potřebné vyhodnocení vlastností různých druhů systémů (hardwaru, softwaru, komplexních funkčních struktur různých technologií atd.).

3. Konkrétní metody a postupy

Metod a postupů analýzy spolehlivosti a bezpečnosti existuje veliké množství. Podrobněji budou rozebrány dvě z nich, které jsou aplikovány při určování spolehlivosti v oblasti IT v praktické části práce.

3.1 Metoda FTA - Analýza stromu poruch (Fault Tree Analysis)

Tato metoda se používá pro kvalitativní, případně i kvantitativní analýzu spolehlivosti a bezpečnosti. Patří mezi deduktivní („shora dolů“) analýzy a lze ji stručně charakterizovat jako analýzu prováděnou ve tvaru stromu poruch. V tomto stromu lze potom určovat druh poruch částí systém nebo vnějších jevů nebo jejich kombinací, které mohou vést ke konkrétnímu druhu poruchy systému. Pro vrcholovou událost, kterou může být kritická chyba systému, se zjišťují všechny možné příčiny nebo druhy poruch na nejbližší nižší funkční úrovni systému. Tímto postupem se dojde až na nejnižší úroveň systému, kdy příčinami jsou obvykle poruchy součástí. Metoda je vhodná pro analýzu složitých systémů, složených z funkčně provázaných nebo závislých podsystémů, které jsou určeny k plnění různých funkcí systému. Celý proces aplikace této metody spočívá v přesném vymezení předmětu analýzy, vyjasnění požadovaných funkcí, provozních podmínek systému a získání podrobných informací o jeho návrhu a definování vrcholové události (top event). Dále proces pokračuje zjišťováním možné příčiny poruchových stavů na nejbližší nižší funkční úrovni a takto se postupuje rozvíjením vrcholové události až na požadovanou nejnižší úroveň. Popis příčiny každého identifikovaného poruchového jevu by měl odpovídat na otázky: Co? Kdy? Kde? a Proč?

Výsledky analýzy se zobrazují v podobě stromu poruch kresleného pomocí symbolů a operátorů dopředu definovaných pro jednotlivé události. Na základě sestaveného stromu poruch se provádějí analýzy způsobem buď kvalitativním, nebo kvantitativním, nebo obojím, a to vždy v závislosti na cílech analýzy. Výstupem je potom soupis možných kombinací druhů poruch, které jednotlivě nebo v kombinaci vedou ke vzniku nežádoucí vrcholové události. V závěru celého procesu se určí

pravděpodobnost, s jakou nežádoucí vrcholová událost může nastat v provozu během specifikovaného časového intervalu. Vlastní realizaci metody lze potom rozdělit do pěti základních částí na přípravnou část analýzy, sestavení diagramu stromu poruchových stavů, kvalitativní a kvantitativní analýzu a závěrečnou část, v níž se výsledky analýzy vyhodnotí.

3.1.1 Přípravná část analýzy

Základním předpokladem pro celý proces realizace analýzy je dokonalá znalost systému jeho funkcí a podmínek použití. Proto se v počátku této fáze shromažďují všechny informace nezbytné k provedení analýzy tj.: konstrukční uspořádání systému, popis funkcí systému, vymezení rozhraní, které systém odděluje od okolí a charakter interakcí systému s okolím, předpokládané provozní režimy systému, předpokládaný systém údržby, vliv lidského faktoru na činnost systému a další. Vychází se z technické dokumentace systému (výkresů, specifikací, technických popisů, provozních příruček apod.).

Dalším krokem v první části je definování vrcholové události, která bude předmětem analýzy. Vrcholovou událostí bývá nejčastěji nežádoucí událost, např. úplný poruchový stav, kdy systém nemá schopnost plnit požadované funkce. Tato událost musí být vymezena jasně, nedvojznačně a musí přesně vymezovat jakého systému nebo které jeho části se týká a v jaké fázi provozu a za jakých podmínek může nastat. Vhodná volba vrcholové události je velmi důležitá, protože při příliš obecné volbě se může stát analýza nezvládnutelnou a v opačném případě příliš specifické události to neposkytuje dostatečně široký pohled. Obecně lze pro každý systém definovat celou řadu vrcholových událostí. Metoda analýzy stromu poruchových stavů jich však neumožňuje analyzovat více současně, a proto se pro každou jednotlivou událost musí zpracovat samostatný strom poruch.

3.1.2 Tvorba stromu poruchových stavů

V této části se začíná od vrcholové události směrem dolů sestavovat strom poruch. Vrcholová událost se rozvíjí postupně kauzální analýzou vztahu mezi touto

událostí a jejími příčinami. Při této analýze se hledají odpovědi na dvě základní otázky:

1. Co by mohlo být příčinou vrcholové události?

2. Jaká je logická vazba mezi vrcholovou událostí a jejími příčinami?

Cílem analýzy příčin vrcholové události je identifikovat všechny události, které jsou bezprostředně nutné a dostačující k jejímu vzniku. Výsledek se potom zaznamenává do grafu s využitím grafických značek (viz tab. 4).

Vztah mezi událostí a jejími příčinami se zobrazuje pomocí značek příslušných logických funkcí. Časté je využití dvou nejzákladnějších logických funkcí, a to:

a) logického součtu (disjunkce) to je případ, kdy událost nastane, pokud vznikne alespoň jedna z příčin jí příslušné podmnožiny – hradlo NEBO (OR),

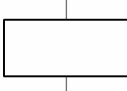

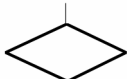

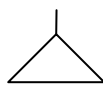
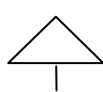

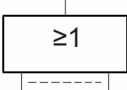
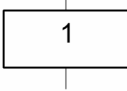
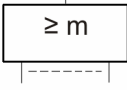
b) logického součinu (konjunkce) v případě, kdy zkoumaná událost nastane, vzniknou-li právě dvě příčiny z odpovídající podmnožiny – hradlo A (AND).

Objevuje-li se na více místech stromu stejná dále rozvíjená událost, postačuje její vyřešení pouze na jednom z míst výskytu – tento způsob řešení se označuje jako tzv. „přenosy“. Informace se potom na další místa výskytu události přenesou značkami.

3.2.3 Kvalitativní analýza stromu poruch

Takto sestavený strom poruch je kvalitativní model, pro nějž se dále určují tzv. minimální kritické řezy (MKR). Minimální kritické řezy jsou kombinace takových událostí, jejichž současný výskyt vyvolá vrcholnou událost. Je nutné, aby byl jejich výskyt současný, protože při absenci kterékoliv z nich už vrcholová situace nenastává. Pro určení MKR ze stromu poruch se používá aparát matematické logiky. Informace získaná ze stanovených kritických řezů je využitelná při testování kritérií návrhu systému.

Tabulka 4: Symboly diagramu stromu poruch (podle IEC 1025)

Doporučená značka	Funkce	Popis
	Blok	Název nebo popis události (jevu), kód události a pravděpodobnost výskytu (pokud se to požaduje) se má uvést u značky.
	Základní (primární) událost	Událost, která se dále nedělí.
	Nerozvíjená událost	Událost, která není dále rozvíjena (zpravidla proto, že se to nepovažuje za nutné).
	Událost analyzovaná jinde	Událost rozvíjená v jiném stromu poruch.
	Přenos do	Událost definovaná kdekoliv jinde ve stromu poruch.
	Přenos ven	Opakovaná událost použitá kdekoliv jinde ve stromu poruch.
	Hradlo AND (AND)	Událost nastane pouze tehdy, když současně nastanou všechny vstupní události.
	Hradlo NEBO (OR)	Událost nastane tehdy, když nastane kterákoliv vstupní událost nebo jejich libovolná kombinace.
	Hradlo NE (NON, NOT)	Událost reprezentuje podmínku, která je inverzní (opačná) k podmínce definované jako vstupní událost.
	Zálohovaná struktura	Událost nastane tehdy, jestliže nastane minimálně libovolných „m“ z celkových „n“ vstupních událostí.

Zdroj: Mykiska, A., 2004

Obecně bývá strom poruch využíván v průběhu návrhu systému k volbě jeho koncepce, vyhledávání slabých míst, k návrhu diagnostiky apod. Během provozu

systemu se dá využít k určování příčin poruch, k jejich lokalizaci a jako podklad pro návrh nápravných opatření zaručujících vyšší provozní spolehlivost.

3.2.4 Kvantitativní analýza stromu poruchových stavů

Pokud jsou známy parametry spolehlivosti elementárních jevů ve stromu poruch, je možné provést kvantitativní analýzu stromu poruch. Cílem je potom určení ukazatelů charakterizujících vrcholovou událost, např.: pravděpodobnost, že vrcholová událost nastane v zadaném časovém intervalu, střední doba do prvního nastání vrcholové události, nebo střední počet toho, kolikrát nastane vrcholová událost v zadaném časovém úseku. Metody výpočtu jsou většinou prováděné pomocí specializovaného softwarového vybavení. Nejčastěji jsou při výpočtech používány: metoda přímého výpočtu, metoda minimálních kritických řezů a simulační metoda. Simulační metody výpočtu se řeší výhradně na počítačích, kde je výpočet automatizován často s využitím velice komplikovaných algoritmů.

3.2.5 Vyhodnocení analýzy

Výsledky analýzy stromu poruch je vhodné shrnout do zprávy, která by měla obsahovat:

1. cíl a předmět analýzy,
2. přehled použité technické specifikace,
3. popis systému (konstrukční popis, popis funkcí, vymezení hranic systému),
4. provozní režimy a podmínky prostředí,
5. uvažované aspekty lidského činitele,
6. definici vrcholové události,
7. vytvořený strom (stromy) poruchových stavů,
8. výsledky kvalitativní analýzy (přehled uvažovaných kritických řezů a hodnocení jejich závažnosti, identifikace kritických prvků),
9. výsledky kvantitativní analýzy (číselné hodnoty požadovaných ukazatelů),
10. závěr analýzy (vyjádření, zda systém splňuje stanovené požadavky, případné návrhy na změnu konstrukce, podmínek provozu či prostředí apod.).

Využitelnost a omezení metody – Metoda analýzy stromu poruch je užitečná při všeobecné systematické analýze poruch. Její použití je na místě všude tam, kde nežádoucí událost (chyba systému) je složena z jednoho nebo dvou rozhodujících následků. Aplikace této metody umožňuje zjišťovat a zaznamenávat logické cesty poruch od specifických důsledků zpět k prvotním příčinám, zpracovávat paralelní, zálohované nebo alternativní cesty poruch, většinu kombinatorických událostí a některé druhy závislých událostí a systémy s několika podsystémy s příčinnou vazbou. Dále tato metoda umožňuje snadnou manipulaci s cestami poruch pro získání minimálních logických modelů, přeměnu logických modelů na odpovídající pravděpodobnostní ukazatele, zjišťování příčiny poruch s největším vlivem na vrcholovou událost a vyhledání možné příčiny konečného důsledku, které nebylo možné předvídat.

Využívání metody má však také svá omezení, neboť je zaměřena na analýzu poruch a nezabývá se strategiemi, údržbami a opravami, ani všeobecnou analýzou pohotovosti. Základní příčiny zjištěné stromem poruch vedoucí k analyzované vrcholové události se vztahují pouze k určitému následku, který se analyzuje. Ale tytéž příčiny mohou vést k jiným následkům, které nemusí být zjevné. Obecně každá vrcholová událost vyžaduje samostatný strom poruch a bývá pak nutné pečlivě zvážit vzájemné vztahy mezi jednotlivými stromy.

3.2 Metoda statistického modelování (Weibullova analýza)

Jedná se o metodu kvantitativní analýzy spolehlivosti systémů, jejíž podstatou je aplikace metody statistického modelování. Analýza spolehlivosti bezporuchovosti se v této metodě provádí na základě interpretace dat získaných z provozu. Jedná se o data získaná experimentem či pozorováním během provozu jednotlivých objektů. Při interpretaci se využívají teoretická statistická rozdělení, která jsou modelem doby životnosti (přesněji řečeno doby bezporuchového provozu) sledovaných objektů. Kvantifikace bezporuchovosti tedy využívá metod matematické statistiky a teorie pravděpodobnosti, přičemž základní podstatou je využití vhodného teoretického rozdělení. Jedním z těchto rozdělení je právě Weibullovo rozdělení. Toto rozdělení se využívá hlavně jako teoretický model pro statistické modelování bezporuchovosti elektronických systémů, komponent nebo jednotlivých součástek. Obecně může toto

rozdělení modelovat datové soubory, jejichž hodnoty jsou větší než nula. Tuto metodu lze tedy použít při analýzách bezporuchovosti a životnosti průmyslových systémů, ale také jednotlivých výrobků nebo systémů v průmyslu elektronickém, elektrotechnickém či strojírenském. Existují také možnosti jednoduchého přizpůsobení tohoto rozdělení pro soubory dat různých statistických vlastností a dokonce i pro malé soubory dat.

3.2.1 Způsoby popisu náhodné veličiny „doby do poruchy“

Bezporuchovost (doba do poruchy) se hodnotí u konkrétních vybraných komponent technických systémů. Může být měřena v různých jednotkách, například hodinách, dnech, nebo cyklech. Data o dobách do poruchy jsou kvantitativními údaji, které platí za určitých podmínek. Můžeme tedy předpokládat, že při změně těchto podmínek se s vysokou pravděpodobností změní i doba do poruchy.

Vyčíslení bezporuchovosti jednotlivých komponent je možné provést pomocí vhodného parametru. Mnozí výrobci a prodejci elektronického zboží používají např. ukazatel intenzity poruch (failure rate), udávající pravděpodobnost poruchy za jednotku doby, která uplyne od určitého okamžiku. Tento parametr je jedním z možných způsobů popisu doby do poruchy. K tomu, aby bylo možné stanovit tento parametr, musíme znát vhodné modelové teoretické rozdělení. Teoretické rozdělení může být popsáno (za předpokladu spojitosti sledované veličiny) funkcí hustoty pravděpodobnosti, nebo distribuční funkcí.

Funkce Hustoty pravděpodobnosti

Tato funkce udává pravděpodobnost, že se porucha vyskytne do okamžiku t . Jestliže je $f(t)$ funkce hustoty pravděpodobnosti pro spojitou náhodnou veličinu T (reprezentující dobu do poruchy), potom pravděpodobnost, že náhodná veličina T bude ležet v intervalu $\langle a, b \rangle$ je

$$P[a \leq T \leq b] = \int_a^b f(t) dt \quad (3.1)$$

Funkce hustoty pravděpodobnosti splňuje následující podmínky:

$$(a) \quad f(t) \geq 0 \quad (3.2)$$

pro všechna $t \in (0, +\infty)$

$$(b) \int_0^{+\infty} f(t)dt = 1 \quad (3.3)$$

Odtud vyplývá, že pokud známe pro námi sledovanou dobu do poruchy tzv. funkci hustoty pravděpodobnosti, můžeme určit, jaká je pravděpodobnost, že v určitém časovém intervalu nastane porucha.

Distribuční funkce

Udává pravděpodobnost, že individuální výrobek přežije až do okamžiku t . Distribuční funkce doby do poruchy je definována jako:

$$F(t) = P[T \leq t] = \int_0^t f(\tau)d\tau \quad (3.4)$$

pro všechna $t \in (0, +\infty)$.

Distribuční funkce má následující vlastnosti:

$$(a) F(t) = \lim_{t \rightarrow 0^+} F(t) = 0 \quad (3.5)$$

$$(b) F(+\infty) = \lim_{\chi \rightarrow +\infty} F(t) = 1 \quad (3.6)$$

$$(c) F(t_2) \leq F(t_1) \quad (3.7)$$

Pro všechna $t_2 \leq t_1$

Z předchozího vyplývá, že distribuční funkci lze určit z funkce hustoty pravděpodobnosti (a naopak). Funkční hodnota distribuční funkce udává, s jakou pravděpodobností do okamžiku t může nastat porucha.

Funkce Bezporuchovosti R(t)

Tato funkce je vlastně synonymem bezporuchového stavu a udává pravděpodobnost, že individuální výrobek přežije okamžik t . Funkce bezporuchovosti je definována jako doplněk distribuční funkce $R(t) = 1 - F(t)$. Vyjadřuje pravděpodobnost, že u výrobku nenastane porucha do doby t :

$$R(t) = P[T > t] = 1 - P[T \leq t] = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(\tau)d\tau \quad (3.8)$$

kde T je náhodná veličina (doba do poruchy), $f(\tau)$ je funkce hustoty pravděpodobnosti pro T a $F(t)$ je distribuční funkce pro náhodnou veličinu T .

Intenzita poruch

Udává pravděpodobnost, že nastane porucha individuálního výrobku v dalším údobí po okamžiku t . Intenzita poruch je definována vztahem

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.9)$$

a udává pravděpodobnost poruchy za jednotku doby po okamžiku t za podmínky, že do okamžiku t nedošlo k poruše. Například hodnota $\lambda(t) = 0,01h^{-1}$ udává, že během následující jedné hodiny provozu nastane porucha s pravděpodobností jedné setiny.

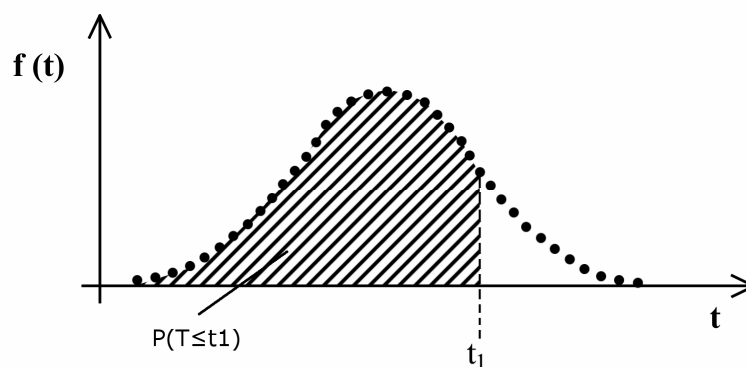
Význam plochy pod křivkou hustoty pravděpodobnosti

Plocha pod křivkou hustoty pravděpodobnosti, modelující náhodnou veličinu T (tj. dobu do poruchy), odpovídající intervalu a, b udává pravděpodobnost, že náhodná veličina nabude hodnoty spadající do intervalu a, b . Příslušnou plochu lze spočítat jako integrál přes sledovaný interval a, b

$$F(t) = \int_a^b f(t) dt \quad (3.10)$$

Význam plochy pod křivkou hustoty pravděpodobnosti ilustruje graf 1

Graf 1: Křivka hustoty pravděpodobnosti a ilustrování významu plochy pod křivkou



Zdroj: Weibullovo rozdělení při analýzách bezporuchovosti [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz>>

Vyšrafovaná část plochy pod křivkou funkce hustoty pravděpodobnosti v grafu 1 vyjadřuje pravděpodobnost, že náhodná veličina T nabude hodnoty menší (nebo rovné), než je hodnota t_1 .

$$P(T \leq t_1) = F(t) = \int_0^{t_1} f(t) dt \quad (3.11)$$

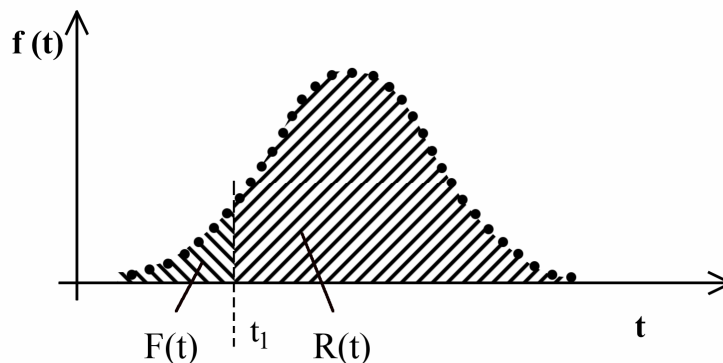
Vzájemné vztahy mezi pravděpodobnostmi poruchy, pravděpodobnostmi přežití a plochou pod funkcí hustoty pravděpodobnosti

Distribuční funkce $F(t)$ udává pravděpodobnost poruchy do okamžiku t (respektive kumulativní část skupiny součástek, která nepřežije okamžik t), a funkce bezporuchovosti udává pravděpodobnost přežití okamžiku t (respektive kumulativní skupiny součástek, která přežije okamžik t). Oba tyto jevy tvoří úplnou skupinu neslučitelných jevů, a proto platí

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (3.12)$$

Souvislost tohoto vztahu s plochou pod funkcí hustoty pravděpodobnosti je vysvětlena prostřednictvím grafu 2.

Graf 2: Vztah mezi pravděpodobnostmi poruchy $R(t)$ a pravděpodobnostmi bezporuchového stavu $F(t)$ s vazbou na plochu pod křivkou hustoty pravděpodobnosti



Zdroj: Weibullovo rozdělení při analýzách bezporuchovosti [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz>>

Graf 2 ilustruje vztah mezi pravděpodobností poruchy $R(t)$ a pravděpodobností bezporuchového stavu $F(t)$ s vazbou na plochu pod křivkou hustoty pravděpodobnosti. Jelikož plocha pod křivkou $f(t)$ je rovná jedničce

$$\left(\int_0^{+\infty} f(t) dt = 1 \right) \quad (3.13)$$

tak platí

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (3.14)$$

potom lze např. psát

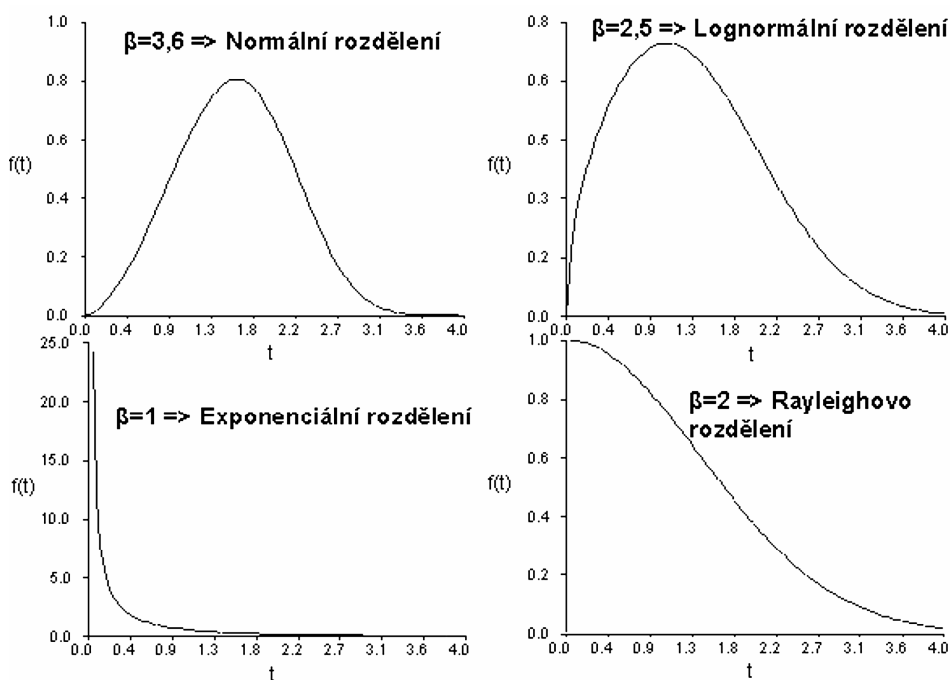
$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (3.15)$$

3.2.2 Parametry určující funkci hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení

Funkce hustoty pravděpodobnosti a tedy i křivka funkce hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení závisí na třech parametrech:

1. Parametru tvaru β (parametr sklonu) – tento parametr typicky nabývá hodnot mezi 0.5 a 0.8 a ovlivňuje tvar (průběh) funkce hustoty pravděpodobnosti. Weibullovo rozdělení může v závislosti na hodnotě parametru tvaru aproximovat i jiná užitečná rozdělení. Podle hodnoty parametru tvaru β je potom toto identické i s jinými rozděleními např: pro $\beta=1$ se blíží exponenciálnímu rozdělení, pro $\beta=2$ je identické s Rayleighovým rozdělením, pro $\beta=2.5$ aproximuje lognormální rozdělení a pro $\beta=3.6$ se blíží normálnímu rozdělení viz graf 3.

Graf 3: Funkce hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení pro různé parametry tvaru (při konstantním parametru měřítka $\eta=2$ a parametru umístění $\gamma=0$)



Zdroj: Weibullovo rozdělení při analýzách bezporuchovosti [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz>>

Vzhledem k této flexibilitě, existuje mnoho empiricky zjištěných intenzit poruch, které mohou být přesně modelovány Weibullovým rozdělením.

2. Parametr měřítka η – tento parametr mění měřítko na časové ose, například hodiny, měsíce, cykly, atd. Změna potom má stejný efekt na rozdělení jako změna v měřítku času, např. změní-li se měřítko z hodin na dny, nebo ze dní na měsíce. Zjednodušeně lze říci, že parametr měřítka určuje „roztažení“ rozdělení. Změna tedy nezpůsobí skutečnou změnu aktuálního tvaru rozdělení, ale jen změnu v měřítku. Parametr udává dobu (např. počet hodin), při kterých došlo k poruše u 63.2% výrobků. Jinými slovy tuto dobu přežije 37% výrobků. Proto bývá také někdy nazýván Weibullovým charakteristickým životem. Bez ohledu na aktuální tvar rozdělení se 63.2% s celkového počtu porouchá v čase $t = \eta + \beta$ (je to čas měřený od $t = \gamma$)

3. Parametr umístění γ (prahový parametr, parametr polohy) udává minimální hodnotu náhodné veličiny t (tj. minimální dobu, po jejímž uplynutí nastane porucha). Lze ho interpretovat jako nejdříve možný čas, po jehož uplynutí může nastat porucha.

3.2.3 Typy Weibullova rozdělení

Rozlišujeme tři typy Weibullova rozdělení: tříparametrové, dvouparametrové a jednoparametrové. Přičemž tříparametrové rozdělení se v mnoha případech zobecňuje na rozdělení dvouparametrové, nebo jednoparametrové.

Tříparametrové Weibullovo rozdělení – toto rozdělení reprezentuje parametr tvaru (β), parametr měřítka (η) a parametr umístění (γ)

Hustota pravděpodobnosti tříparametrového Weibullova rozdělení je potom dána vztahem:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp - \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}, \beta > 0, \eta > 0, -\infty < \gamma < \infty, t > \gamma \quad (3.16)$$

symbol t reprezentuje náhodnou veličinu (při analýze spolehlivosti čas do poruchy)

Dvouparametrové Weibullovo rozdělení – jedná se o speciální případ tříparametrového Weibullova rozdělení, pro které je parametr umístění γ roven nule. Hustota pravděpodobnosti je dána tedy vztahem:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp - \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta} \quad (3.17)$$

Jednoparametrové Weibullovo rozdělení – zde se jedná o speciální případ tříparametrového Weibullova rozdělení, pro které je parametr umístění γ roven nule a pro které je parametr tvaru β konstantou $\beta=C$. Hustota pravděpodobnosti jednoparametrového Weibullova rozdělení je definována vztahem:

$$f(t) = \frac{C}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{C-1} \exp - \left(\frac{t}{\eta} \right)^C \quad (3.18)$$

Rozdělení má potom pouze jeden neznámý parametr, a to parametr měřítka η .

3.2.4 Weibullův pravděpodobnostní graf

Umožňuje vizuální kontrolu, zda pro modelování vlastností souboru dat lze využít Weibullova rozdělení a odhad příslušných parametrů Weibullova rozdělení. Při použití této metody se empirická data vynášejí do grafu, který má speciálně transformovány měřítka os tak, aby se nelineární kumulativní distribuční funkce

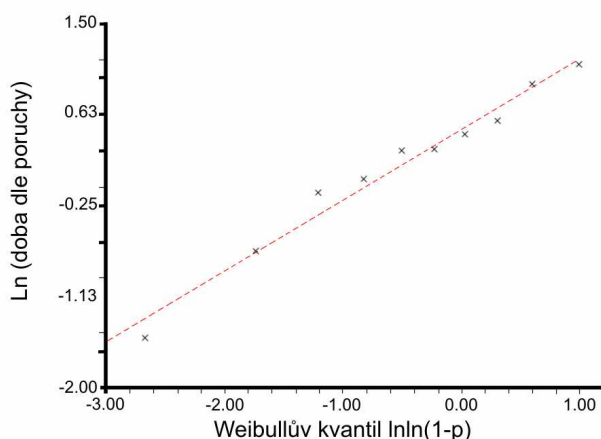
transformovala na funkci lineární. Na osu x je v logaritmickém měřítku vynášena doba do poruchy. Na osu y se vynáší ve dvojitém logaritmickém měřítku kumulativní pravděpodobnost: $\ln[\ln(1-p)]$, kde

$$p = (i - 0.3) / (n + 0.4) \quad (3.19)$$

i je pořadí pozorování.

Po vynesení empirických dat do tohoto grafu lze určit, zda je možné tato data modelovat Weibullovým rozdělením (datové body leží na přímce), zda existují odlehle hodnoty a jaké parametry zvolit pro aktuální Weibullovo rozdělení. Pokud leží jednotlivé body v přímce, můžeme předpokládat, že toto rozdělení lze modelovat Weibullovým rozdělením. Metoda pravděpodobnostního grafu umožňuje vizuální posouzení vhodnosti přizpůsobení teoretického rozdělení empirickým datům.

Graf 4: Weibullův pravděpodobnostní graf



Zdroj: Weibullovo rozdělení při analýzách bezporuchovosti [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz>>

3.2.5 Možnosti stanovení parametrů Weibullova rozdělení

Aby bylo možné Weibullovo rozdělení korektně používat, je zapotřebí provést správný odhad příslušných parametrů (to znamená přizpůsobit rozdělení empirickým datům). Odhad parametrů rozdělení lze provést různými teoretickými metodami, např. metodou maximální pravděpodobnosti, metodou nejmenších čtverců při využití

Weibullova pravděpodobnostního grafu, nebo metodou používající životnostní tabulky. Současné statistické softwarové programy umožňují realizaci procedur odhadu parametrů Weibullova rozdělení pomocí většiny výše jmenovaných metod. Analýzy bez použití těchto programů jsou komplikované, protože skutečná data do poruchy mohou být směsíci pozorování kompletních (tj. porucha během času testu nastala) a tzv. nekompletních pozorování (tj. porucha během času testu nenastala), což celou analýzu ještě více komplikuje. Pokročilé možnosti vhodně vybraných programových prostředků (např.: programů STATISTICA¹, nebo WinSmithWeibull²) přinášejí různé typy testovacích procedur, souborně označovaných jako analýzy přežití - „survival analysis“, které běžně umí pracovat i s daty cenzorovanými (nekompletními).

Komplikace při analýzách bezporuchovosti nastávají hlavně z důvodu výskytu nekompletních (cenzorovaných) dat (tj. když během sledovaného časového intervalu nenastala porucha u všech sledovaných součástek), ale analytické procedury současných softwarových prostředků umožňují řešení analýz bezporuchovosti i s ohledem na tyto komplikace a dají se použít pro predikci poruch a spolehlivosti na kvalitativně vyšší úrovni. Weibullova analýza nalézá uplatnění zvláště při hledání odpovědí na otázky typu: Kolik poruch lze očekávat za určitých podmínek? Jak spolehlivá (ve smyslu bezporuchovosti) je stávající konstrukce či technologie ve srovnání s inovovanou konstrukcí či technologií? Jak lze vyčíslit bezporuchovost výrobku? Největší uplatnění v praxi nachází při analýzách bezporuchovosti elektronických výrobků, součástek a jiných komponent.

¹ STATISTICA je profesionální program firmy Statsoft CR s.r.o. pro statistické zpracování a prezentování dat.

² WinSMITH™ Weibull for Windows® je produkt firmy Gulf Publishing Company.

4. Zvyšování spolehlivosti a bezpečnosti systémů

Po podrobném rozboru dvou, pro tuto diplomovou práci stěžejních metod zjišťování spolehlivosti: metody FTA – analýzy stromu poruch a metody statistického modelování (Weibullova analýza), budou v závěru teoretické části práce přiblíženy možnosti a prostředky, se kterými se lze běžně v praxi setkat ve snaze o udržení a zvyšování spolehlivosti a bezpečnosti systémů člověkem vytvořených.

Na problematiku možnosti zvýšení spolehlivosti umělých systémů lze nahlížet z několika zorných úhlů. Jedná se zejména o hledisko návrhu a konstrukce uvažovaného systému tak, aby kromě svých základních požadovaných funkcí vykazoval též co největší provozní spolehlivost a životnost. Mezi další hlediska patří analýza spolehlivosti jistého již existujícího systému a také hledisko spolehlivosti interakce mezi umělými, člověkem vytvořenými systémy a jejich obsluhou (uživatelé, administrátoři, dispečery apod.). Posledním hlediskem, ze kterého lze nahlížet na možnosti zvyšování kvality, je hledisko legislativní, které zahrnuje doporučení a nařízení konkrétních norem pro zajišťování a garantování spolehlivosti funkcí systémů.

Spolehlivost a dostatečně dlouhá životnost člověkem vytvářených systémů byla v minulosti a stále je zajišťována mnoha různými a různě nákladnými způsoby. Mezi nejstarší způsob zajišťování spolehlivosti systémů patří dostatečně robustní uspořádání celého systému a použití co možná nejkvalitnějších součástí pro jeho realizaci. Takováto metoda je sice dobře osvědčená (a vyjma umělých systémů se s ní lze setkat také v přírodě), ale je značně nákladná.

Podobně je tomu při zálohování celého systému, nebo alespoň jeho nejkritičtějších částí. Tyto části lze určit např. na základě zkušenosti. Zálohování bývá někdy i vícenásobné, to znamená, že pro dosažení dostatečné spolehlivosti je celý systém nebo některé kritické části realizovány vícekrát. Nasazen je potom pouze jeden systém a ostatní jeho jednotlivé realizace jsou připraveny v záloze k co nejrychlejšímu použití v případě potřeby, nebo tam, kde je nebezpečí z prodlení při jejich uvádění do chodu, jsou nasazený paralelně, a to i za cenu značně velkých pořizovacích a provozních nákladů (technologie tzv. „horkých záloh“). Extrémem vícenásobného

„horkého“ zálohování je skupinové nasazení velkého počtu téměř identických systémů, kdy vysoká pravděpodobnost selhání jednotlivého dílčího systému (a tedy jeho malá funkční spolehlivost a kratší doba životnosti) je kompenzována velkým množstvím paralelně působících systémů. Obdobné metody zvyšování výsledné spolehlivosti nasazením velkého počtu ne dosti spolehlivých systémů si lze všimnout také v přírodě, např. vysoká porodnost (natalita) ve snaze o zachování rodu v podmínkách velké úmrtnosti, nebo masové nasazení velkého počtu jednotlivců v extrémně náročných podmínkách. Tato technologie zvyšování spolehlivosti je ovšem také velmi nehospodárná a ekonomicky náročná.

Podstatně efektivnější jsou přístupy založené na modifikování struktury uvažovaného systému tak, aby se jeho spolehlivost žádoucím způsobem zvýšila. Jednou z možností, jak provést takovéto modifikace, je navržení systému takovým způsobem, při kterém bude citlivost dominantních systémových funkcí na změny hodnot parametrů systému co nejmenší, a to alespoň v nejkritičtějším místech celého systému. Obdobné analogie lze nalézt opět v přírodě.

Poslední metodou, jak dosáhnout vyšší spolehlivosti systémů, je uplatnění tzv. predikční diagnostiky. Při této metodě se snažíme předpovědět, kdy se v uvažované soustavě výrazně přiblíží některý z parametrů, které ovlivňují funkčnost, a tudíž i spolehlivost celého systému k hranici přijatelnosti. Podle této předpovědi lze potom v blízkosti hranic oblasti přijatelnosti navrhnout proces včasné korekce parametrů soustavy tak, aby její funkční schopnosti zůstaly zachovány, nebo, pokud takováto korekce za chodu není možná, aby proces její opravy proběhl optimálním způsobem. Metoda predikční diagnostiky využívá předpověď na základě trajektorie tzv. čáry života uvažované soustavy. V praxi se potom věnuje mimořádná pozornost časovému vývoji vlastností soustav.

V průběhu času se může čára života konkrétní uvažované soustavy přiblížit, nebo dokonce přejít hranici oblastí přijatelnosti a soustava se potom stává nepoužitelná. Takováto dočasná vybočení mimo hranic přijatelnosti můžeme považovat za odstranitelná selhání. To ale nic nemění na tom, že po dostatečně dlouhé době nakonec u každé soustavy vybočí čára života nenávratně z hranic příslušné oblasti přijatelnosti a dojde k úplné, konečné funkční smrti soustavy.

Při dočasném vybočení čáry života soustavy mimo hranice přijatelnosti může nastat návrat čáry života dovnitř oblasti přijatelnosti samovolným vývojem (např. u některých soustav v procesu jejich zabíhání či zahořování), ale ve velké části případů tomuto opravnému procesu napomáháme změnou korekcí vhodných parametrů. Podle charakteru takové korekce rozlišujeme dva základní druhy, a to: korekce mělké, tedy takové, kdy se spokojíme s tím, že se čára života soustavy navrátila pouze nedaleko dovnitř oblasti přijatelnosti, do nevelké vzdálenosti od jejích hranic, a korekce hluboké, u nichž se snažíme při změně parametrů posunout vybočení čáry života soustavy zpět hluboko dovnitř oblasti přijatelnosti. Mělké či lehké korekce odpovídají spíše levným opravám, které je nutno častěji opakovat, kdežto hluboké korekce můžeme přirovnat k velkým zevrubným až generálním opravám. U mělkých korekcí tedy obvykle stačí určit jeden či několik vhodných parametrů a charakterizovat zásadní směr jejich změny, u hlubokých korekcí se obvykle jedná o souběh změn hodnot více parametrů a také o jejich větší změny.

Poslední dvě jmenované metody zvyšování spolehlivosti systémů a to jak metoda založená na modifikování struktury uvažovaného systému, tak i metoda predikční diagnostiky, se z ekonomického hlediska jeví jako nejméně nákladné. Rozhodování ovšem není úplně jednoduché ani u metody predikční diagnostiky, neboť optimalizace systému prováděná se zřetelem k minimálním cenovým nárokům na korekci systému, nebo k minimalizaci doby, po kterou musí být uvažovaná soustava vyřazena z provozu, nebo k jisté kombinaci obou těchto hledisek, se stává zvláště u soustav s vyšším počtem parametrů poměrně složitou záležitostí. Proto je vhodné před zahájením vlastních optimalizačních prací provést ekonomickou rozvahu, do jaké míry případný efekt ve snížení nákladů na korekci, popř. ve snížení prostojů dočasně funkčně nezpůsobilé soustavy, převýší náklady na potřebné optimalizační rozborů. Se stejným problémem se také setkáváme i u všech ostatních snah o zvyšování spolehlivosti technologií. Každé zvyšování spolehlivosti a provozní životnosti si vyžaduje určité náklady a je pouze otázkou střízlivé ekonomické kalkulace, zda náklady vložené do zajištění zvýšené spolehlivosti systémů budou mít v konkrétním posuzovaném případě opodstatnění. Vždy je nutné tyto náklady porovnávat s náklady, které by mohly vzniknout, jestliže celý systém bude díky jeho nespolehlivosti vyřazen z provozu.

Pochopitelně v praxi existuje celá řada případů, kdy spolehlivost uvažovaného systému je třeba zvyšovat všemi dostupnými prostředky bez ohledu na cenu (např. u systémů zajišťujících chod životně důležitých energetických a informačních zdrojů). Jelikož žádný z přístupů, jak zvýšit spolehlivost a bezpečnost systémů, není univerzální, každý má své přednosti a nedostatky, dochází k tomu, že v praxi se jednotlivé metody a přístupy kombinují.

4.1 Konkrétní způsoby zvyšování bezporuchovosti systémů

4.1.1 Zvyšování bezporuchovosti (bezpečnosti) bez využití nadbytečnosti

Jedním ze základních a nejběžnějších postupů zvyšování spolehlivosti je zvyšování bezporuchovosti. V první etapě návrhu systémů se většinou volí minimálně nutný soubor technických prostředků, které umožňují realizaci požadované funkce. V tomto případě pro výpočet ukazatelů bezporuchovosti (a obdobně ukazatelů bezpečnosti z hlediska pouze kritických poruch) platí sériový poruchový model, takže potom je pravděpodobnost bezporuchového stavu $R(t)$ systému o n prvcích s ukazateli $R_i(t)$, $i=1, \dots, n$, při platnosti exponenciálního zákona rozdělení doby do poruchy pro všechny prvky s intenzitami poruch λ_i , $i=1, \dots, n$, dána vztahem:

$$R(t) = \exp\left[-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t\right] \quad (4.1)$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že obecně můžeme bezporuchovost a tudíž i bezpečnost systému bez využití nadbytečnosti zvyšovat jednak zvyšováním kvality jednotlivých prvků, a nebo volbou minimálního počtu prvků systému.

Zvyšování bezporuchovosti (kvality) prvků

Jedním z nejstarších a stále osvědčených a používaných způsobů, jak dosáhnout zvýšení hodnot celkové spolehlivosti, bezpečnosti a životnosti celého systému, je používání co nejkvalitnějších, tj. nejspolehlivějších komponent systému. Tento způsob zvyšování bezporuchovosti systému zvyšováním bezporuchovosti jeho komponent se označuje jako „pasivní“ nebo také konzervativní metoda zvyšování bezporuchovosti.

Je nutné si uvědomit, že bezporuchovost použitých prvků v systému je dána nejen jejich inherentní bezporuchovostí (kvalitou), ale také způsobem jejich užití,

aplikace v systému, neboť hodnoty ukazatelů bezporuchovosti jednotlivých prvků odrážejí jednak jejich kvalitu danou už při výrobě těchto prvků (např. použitou technologií při jejich výrobě), jednak způsob jejich použití v rámci celého systému (např. provozní zatížení konkrétního prvku, pracovní podmínky prostředí: teplota, vlhkost, rázy atd.). Potom lze tedy bezporuchovost jednotlivých součástí (prvků) zvyšovat nejen jejich vyšší kvalitou, např. získáním od vhodných dodavatelů, ale také volbou vhodných pracovních podmínek prostředí pro jednotlivé elementy. Získání prvků s vyšší bezporuchovostí od dodavatelů závisí na míře zavedení a využívání špičkových technologií při jejich výrobě, stejně jako na uplatňování vhodných nástrojů managementu spolehlivosti během vlastní výroby, např. aplikace třídění součástek namáháním a zahořováním jako závěrečné etapy výrobního procesu, což však má budoucí zákazník, uživatel systému, jen velmi malou šanci ovlivnit. Dále zde narážíme na problém vyšších nákladů při pořizování kvalitnějších komponent systému, neboť s jejich rostoucí kvalitou roste i jejich cena. Meze zvyšování spolehlivosti metodou pasivního zvyšování bezporuchovosti systémů určují tedy technologie výroby prvků a také zavedené postupy montáže systémů.

Volba co nejnižšího počtu prvků

Většinou obecně platí, že čím má systém bohatší funkční možnosti, tj. čím je univerzálnější, přesnější, výkonnější, citlivější atd., tím bývá zpravidla i složitější a vyžaduje při realizaci větší počet technických prostředků, tedy jednotlivých prvků. Jak vyplývá ze základního předpokladu zvyšování spolehlivosti bez využití nadbytečnosti, systémy by vždy měly být navrhovány s nejprostší přípustnou základní strukturou, a tedy minimálním počtem prvků při zachování jejich kvality, funkčních a dalších užitečných vlastností požadovaných zákazníky. Tuto „triviální“ zásadu zvyšování bezporuchovosti je vhodné si uvědomovat a uplatňovat v období specifikace a volby koncepce.

4.1.2 Zvyšování bezporuchovosti (bezpečnosti) s využitím nadbytečnosti

Zvyšování bezporuchovosti a bezpečnosti u složitějších a rozsáhlejších technických zařízení a systémů vyžaduje souběžně s využíváním metod pasivního zvyšování bezporuchovosti používat také různé formy a rozsah nadbytečnosti, nebo-li

redundance. K jejich výběru a zhodnocení pro optimální využití se používají různé techniky analýzy rizik a spolehlivosti. Jak již bylo v úvodu této kapitoly řečeno, patří tento způsob zvyšování spolehlivosti a bezporuchovosti systémů mezi jeden z nejstarších a zároveň nejúčinnějších prostředků, jak dosáhnout odolnosti systému proti poruchám.

Jako kanonický systém se potom označuje takový systém, který pro svojí plnou funkčnost potřebuje právě N prvků. Jestliže z tohoto systému vynecháme byť jen jediný prvek, nemůže již plnit původní požadavky na něj kladené a splňuje jen požadavky nižší úrovně než původní. Odchylka, která takto ve funkčnosti celého systému vznikne, závisí jak na vlastnostech vynechaného prvku, tak na jeho původním umístění a funkci v systému. Jestliže bude vynecháno prvků více, bude se funkčnost systému nadále snižovat. Systémy s menším počtem prvků, než pro dané požadavky nezbytně nutným, nazýváme systémy sub-kanonické. Naopak, přidáme-li ke kanonickému systému jistý počet nadbytečných prvků, tj. takových, které nejsou nezbytně nutné k plnění původních požadavků na systém kladených, můžeme hovořit o redundanci, nebo o redundantním systému. Redundance se často využívá pro zvýšení spolehlivosti, neboť může působit jako záloha. Jako zálohu tedy označujeme jen takovou redundanci, která byla vytvořena a do systému implementována záměrně za účelem zvýšení spolehlivosti (Novák, Šebesta, Votruba, 2003, s. 19). Za záložní lze označit takové prostředky, jejichž použití by bylo zbytečné, kdyby ostatní části systému pracovaly správně.

Klasifikace forem zálohy

Zálohy je možno vytvářet a užívat řadou různých způsobů. Formy realizace je potom možné třídit podle několika hledisek, přičemž každé z nich zdůrazňuje jinou vlastnost. Použitá kritéria jsou do značné míry nezávislá, takže jich můžeme uplatnit i několik současně. Typy záloh potom můžeme třídit podle:

- použitých prostředků pro konkrétní zálohu,
- stupně využití zálohy v čase,
- úrovně využití zálohy,
- vztahu záložního a zálohovaného prvku,
- funkce zálohy.

Situace je obecně ještě složitější při výběru a realizaci různých možností a prostředků zvyšování bezporuchovosti a bezpečnosti u systémů s počítačovou inteligencí, tj. systémů, jejichž součástí jsou prostředky výpočetní techniky. V tomto případě je výsledná spolehlivost určována současně spolehlivostí: hardwarovou, softwarovou, informační a lidského činitele, a to v případě je-li aktivní součástí systému člověk. Obtížnost matematické formalizace a následné kvantifikace takových systémů má za následek to, že neexistuje obecná a jednotná metodika, která by umožňovala kvantitativně hodnotit všechny uvedené složky v jejich souhrnu a vzájemných vazbách a tím vybrat optimální variantu řešení problému zvyšování bezporuchovosti takových systémů. Realizace koncepce odolnosti vůči poruchovým stavům a koncepce bezpečnosti při poruše se potom v těchto případech řeší kombinovaným využíváním nadbytečnosti: technického vybavení - tzv. hardwarové nadbytečnosti, softwarové nadbytečnosti s využíváním spolehlivostního návrhu algoritmů, tj. začleněním kontrolních algoritmů resp. algoritmů diagnostiky při vytváření programů a nadbytečnosti informační, která zahrnuje použití např. bezpečnostního kódování, paralelního přenosu informací apod.

Prostředky použité pro tvorbu záloh

Prostředky používané při realizaci zálohy vycházejí z použitých systémových zdrojů, jako jsou prostředky technického vybavení (hardware), prostředky programového vybavení (software), informace, pravidla uplatnění záloh v průběhu času. Tyto prostředky nelze v praxi nikdy beze zbytku oddělit, neboť použití jednoho obvykle implikuje nutnost použití dalších.

Nadbytečné technické vybavení – představuje nejznámější a nejpoužívanější formu zálohování. Do této kategorie patří např. záložní součástky, záložní spoje, záložní obvody, záložní zdroje energie a celé záložní bloky popř. systémy. V tomto případě redundance je charakteristický růst nákladů, rozměrů systému, hmotnosti a často i spotřeby energie.

Nadbytečné softwarové vybavení – se používá samostatně nebo ve spojení s nadbytečným technickým vybavením. Do této kategorie patří zejména diagnostické programy provádějící lokalizaci a detekci poruch, dále programy řídicí zotavení po poruše a také programy pro uskutečňování predikční diagnostiky. V systémech bez

technické nadbytečnosti umožňuje toto programové vybavení prostřednictvím kontrolního, nebo několikanásobného výpočtu zjistit nebo dokonce opravit chyby vznikající v systému. Potom je logické, že tento typ zálohy je spojen s použitím značného množství nadbytečného času.

Nadbytečné informace – se využívají především v bezpečnostních kódech k průběžné detekci chyb. Použití nadbytečných informací bývá spojeno převážně s použitím nadbytečného technického vybavení, i když v některých případech může být těžiště zálohy přeneseno do oblasti času.

Stupeň využití zálohy v čase

Podle toho do jaké míry jsou jednotlivé záložní prostředky využívány v čase, rozlišujeme dva typy zálohy, a to statickou a dynamickou.

Statické zálohy (stálé zálohy) – jedná se o případ kdy záložní prvky jsou pevnou součástí systému a pracují nepřetržitě po celou dobu funkce systému. Plní stejnou funkci jako základní prvek a v případě poruchy základního prvku jeho funkci naprosto přebírají. V případě, že záložní prvek převezme funkci prvku základního, se nesmí porucha původního prvku navenek nijak projevit (musí být funkčně maskována) a porouchaná součástka může být za chodu systému nahrazena novou. Maskování poruchy je tedy v tomto případě dokonalý způsob zajištění odolnosti systému proti poruchám, protože porucha jakéhokoliv zálohovaného prvku se nesmí navenek projevit, to znamená, že u takto zabezpečeného systému vůbec nedojde k chybě na výstupu a často ani k pozorovatelnému časovému zpoždění, nebo jiné degradaci systému. Požadavky diagnostiky a bezpečnosti naopak vyžadují, aby diagnostický systém maskování poruchy neprodleně zaznamenal. U systémů pracujících s možností maskování poruchy je důležitá kapacita maskování, která udává, kolikrát po sobě je daný systém schopen nastalou poruchu zamaskovat aniž by bylo třeba provést opravu příslušných porouchaných částí systému. Kapacita maskování je u reálných systémů vždy omezena možným rozsahem zálohy. Každá nastalá porucha bez provedené opravy kapacitu maskování také snižuje. Proto vždy máme zájem na tom, aby u systémů schopných maskování poruchy došlo co nejdříve k detekci nastalých poruch, tak, aby v časovém intervalu, kdy je vliv poruchy maskován činností zálohových prvků systému,

mohlo dojít k opravě částí porouchaných, a systém byl v co nejkratším čase schopný pracovat opět s plnou kapacitou maskování.

Systémy se schopností maskování poruchy by se mohly z hlediska spolehlivosti jevit jako ideální, ale je nutno vzít v úvahu jejich strukturální i funkční složitost a také nemalé ekonomické nároky. Hlavní nevýhodou je vysoká spotřeba energie, protože všechny prvky musí být trvale aktivní, tj. musí být trvale a souvisle zásobovány energií. Další nevýhodou je, že všechny prvky takového systému jsou trvale zatíženy a opotřebovávají se obvykle stejně rychle, což má za následek malou hodnotu střední doby bezporuchového provozu jednotlivých prvků systému.

Dynamické zálohy (substituční zálohy) – v tomto případě záložní prvek přebírá funkci zálohovaného prvku teprve po jeho poruše, tedy až po detekci a lokalizaci nastalé poruchy a odpojení porouchaného prvku. Realizace bývá provedena prostřednictvím dalšího technického zařízení, nazývaného obecně kontrolně přepínací prvek (zálohovací přepínač), který je tedy nutné u tohoto způsobu zálohování zapojit do systému. Proto se také někdy dynamická záloha označuje jako záloha s přepínáním. Substituční zálohování lze podle pracovního režimu záložních prvků realizovat třemi způsoby:

1. **Zatížené**, kdy základní i záložní prvek nebo prvky začnou pracovat na plný výkon současně po uvedení systému do provozu, i když se výstupní hodnoty záložních součástí systému nepoužívají.
2. **Odlehčené**, kdy v plném pracovním režimu je pouze základní prvek systému a záložní prvek nebo prvky jsou v odlehčeném pracovním režimu, to znamená, že např. je k nim přivedena napájecí energie, ale prvky nejsou vystaveny plnému pracovnímu zatížení.
3. **Nezatížené**, kdy základní prvek je v plném pracovním režimu a prvek nebo prvky záložní nejsou vystaveny žádným zatížením či namáháním, jsou zcela odpojeny od napájení a jejich výkon je nulový. Po poruše prvku základního je prvek z nezatížené zálohy převáděn do plného pracovního režimu, tj. musí být zabezpečeno např. přivedení napájecí energie, nastavení pracovních hodnot apod. Tyto nevýhody jsou obecně kompenzovány úsporou energie a vyšší bezporuchovostí záložních prvků.

Dynamickým zálohováním se dosahuje vyšší hodnoty střední doby bezporuchového provozu jednotlivých součástí systému a úspory energie v porovnání s použitím zálohování statického. To je ovšem možné pouze v případě, že po jistou dobu, než dojde k přepnutí na záložní prvek, v případě poruchy prvku základního, může systém jako celek vykazovat poruchu. I když se věnuje náležitá pozornost rychlosti a spolehlivosti funkce přepínače záloh, jsou tyto parametry jistým omezením. Protože zálohovací přepínač bývá poměrně složitý a navíc vyžaduje náročné a spolehlivé řízení, používají se dynamické zálohy až na vyšších systémových úrovních. Teprve tam lze zaručit, že příslušný zálohovací přepínač bude podstatně jednodušší než přepínaný prvek.

Úrovně využití zálohy

Úroveň, na níž je záloha použita, lze popsat velikostí rozsahu zálohované části systému. Zálohovat lze tedy potom jednotlivé součástky, montážní uzly, funkční bloky nebo celé podsystémy. Označení úrovní v tomto případě ovšem není vždy zcela jednoznačné, protože konstrukční označení používané jednotlivými výrobci se často liší. Proto je účelnější charakterizovat úroveň využití zálohy relativně. Určit úroveň zálohy na základě poměru velikosti zálohované části ku celkové velikosti systému. Úroveň využití zálohy má vliv na cenu a složitost celého systému, neboť čím větší celky zálohujeme, tím větší je nebezpečí, že budou v zálohovaných částech opakovány i ty části systému, které ve skutečnosti zálohovat nepotřebujeme. Dále má úroveň zálohy vliv na složitost zařízení, protože v případě většího počtu zálohovaných prvků vzniká složitější struktura řídicího systému, a také na účinnost zálohy, tedy na počet a typ poruch, ze kterých se systém dokáže zotavit.

Na zvolené úrovni je možné zálohu realizovat dvěma způsoby. První způsob spočívá v tom, že k existující jednotce, kterou je potřeba zálohovat, přidáme jednu nebo několik záložních jednotek schopných převzít její funkci v případě potřeby. Druhý způsob vychází z konstrukčních změn přímo v jednotce, kterou je třeba zálohovat. Rozdíl obou způsobů je ovšem ve skutečnosti jen výsledkem odlišného pohledu na stejný jev. Konstrukční změna na určité úrovni (např. vybavení paměti samo-opravným kódem) může být chápána jako přidání shodných jednotek (paměťových obvodů) na nižší úrovni.

Vzájemný vztah záložního a zálohovaného prvku

Podle vzájemného vztahu záložních a zálohovaných prvků systému můžeme zálohy dále členit na konfigurační a funkční.

Konfigurační zálohy vznikají v případě, že zálohovaný prvek systému i všechny záložní prvky jsou přesně stejného typu. Výhodou tohoto řešení je koncepční jednoduchost a proto se také s tímto řešením velmi často setkáváme v praxi. Ve výpočetní technice jde zejména u serverů o obvyklé zálohování např. zdvojení procesorů, napájecích zdrojů, pamětí, nebo dokonce celých počítačů.

Funkční zálohy vznikají tak, že k zálohovanému prvku určitého typu přidáme záložní prvek, nebo prvky jiného typu. I když struktury základního a záložního prvku jsou různé, podmínkou použitelnosti tohoto typu zálohy je schopnost obou prvků vykonávat stejnou, nebo alespoň podobnou funkci. Jako příklady z praxe můžeme uvést např. plachetnici vybavenou souběžně i spalovacím motorem, nebo u informačních systémů zálohování na různé typy zálohovacích médií. Potenciální předností takové heterogenní funkční zálohy je různá odolnost jednotlivých prvků na stejné rušivé vlivy (např. CD a DVD disky použité pro zálohování nejsou citlivé na elektromagnetické pole jako magnetické pásky a pevné disky). Nevýhodou pak může být, že při velké konstrukční odlišnosti zálohovaného a záložního prvku může při přepnutí na záložní prvek dojít k degradaci výkonnosti systému

Funkce zálohy

Základní úkol „zajištění odolnosti proti poruchám“ může záloha plnit několika způsoby. Podle toho, jak složitě má záloha reagovat na poruchu, můžeme specifikovat tři základní funkce zálohy: detekci poruchy, maskování poruchy a zotavení po poruše.

Detekce poruchy. Setkáváme se s ní u všech systémů odolných proti poruchám bez ohledu na to, jak má systém na poruchu dále reagovat. Detekce poruch je tedy první nezbytnou operací každého systému se zabezpečenou úrovní spolehlivosti (Novák, Šebesta, Votruba, 2003, s. 11). Výjimkou mohou být pouze systémy, u nichž jsou poruchy maskovány. Zde může být pro detekci poruchy použito delšího času.

Maskování poruchy. Při maskování poruchy, jak již bylo popsáno výše, se porucha navenek vůbec neprojeví a tudíž můžeme tuto funkci zálohy považovat za jednu z velmi dokonalých při zajišťování ochrany systému proti poruchám.

Zotavení po poruše nebo také restituce poruchy, je v případě, že systém má být schopný reagovat na velký počet různých typů poruch vyvolávajících nečekané změny poměrně složitý proces sledu jednotlivých úkonů, který obvykle vyžaduje mnoho různých forem zálohy na několika úrovních. Velmi důležitou roli v tomto procesu hraje programové vybavení.

5. Analýza spolehlivosti osobních počítačů jako soustavy prvků

Analýza spolehlivosti osobních počítačů jako soustavy prvků bude provedena na základě metody analýzy FTA (analýza stromu poruchových stavů), kterou lze využít ke kvalitativní i kvantitativní analýze spolehlivosti a bezpečnosti systémů. Metody bude využito zvláště proto, že je vhodná i pro analýzu složitých systémů, složených z mnoha funkčně vázaných nebo závislých prvků. Analýza vychází z dat získaných od firmy, která působí již od roku 1992 na českém trhu v oblasti výpočetní techniky.

5.1 Charakteristika firmy

Vzhledem k tomu, že poskytnuté údaje pocházejí z neveřejných interních materiálů firmy, nepřála si tato, aby byla v diplomové práci konkrétně jmenována.

Firma, která poskytla data zpracovaná v této práci, vznikla jako společnost s ručením omezeným v roce 1992. Od svého vzniku se zabývá především distribucí počítačových komponent. Část těchto komponent sama dováží do České Republiky hlavně od výrobců z Asie a část nakupuje od jiných dovozců. V roce 1997 byly založeny další dvě dceřiné společnosti ve dvou různých městech České Republiky. Od roku 1994 se společnost kromě dovozu a prodeje komponent orientuje i na montáž vlastních osobních počítačů. V důsledku sílící konkurence a poklesu marže z prodeje jednotlivých komponent se pro firmu stává prvořadou činností s rostoucím významem montáž a prodej vlastních osobních počítačů. V centrále firmy, která je umístěna v objektu nedaleko krajské metropole pracuje přibližně 40 zaměstnanců, z toho 10 z nich se věnuje čistě výrobě počítačů určených pro firmy a koncové uživatele. V ostatních dvou dceřiných firmách pracuje dohromady 37 zaměstnanců, celkem tedy tuto firmu můžeme v oboru IT považovat za středně velkou. Výrobní program v současné době tvoří velké množství sestav založených jak na procesorech AMD, tak i Intel. Dále se firma zabývá také kompletováním serverů, a nabízí služby pozáručních oprav počítačů, tiskáren a monitorů, záchranu dat z pevných disků, návrh a instalaci LAN sítí. Aby firma obstála na trhu plném konkurence a mohla koncovým zákazníkům

nabídnout spolehlivé a kvalitní produkty, zavedla v roce 1999 systém řízení jakosti dle normy ČSN ISO 9001:1994. Tento certifikát v roce 2003 expiroval, a proto se firma rozhodla na základě růstu významu výroby vlastních počítačů a požadavků dealerů a koncových zákazníků pro získání certifikátu dle ČSN EN ISO 9001:2001. Na rozdíl od předešlé certifikace, kdy byla firma certifikována celá, což se ukázalo jako zbytečné, vzhledem k faktu, že některé činnosti firmy bylo těžké požadavkům předešlé normy přizpůsobit, se v tomto případě společnost rozhodla certifikovat pouze středisko výroby počítačů. Přínosem by mělo být především zjednodušení dokumentace, a z toho plynoucí snazší udržovatelnost systému řízení jakosti. Rozhodnutí pro získání certifikátu pro systém řízení jakosti dle ČSN EN ISO 9001:2001 bylo učiněno také na základě jistých legislativních nařízení, která u výběrových řízení na dodavatele počítačů u organizací veřejné správy vyžadují certifikaci systému jakosti dodavatele dle ISO 9001. Navíc jistou výhodou a dalším motivem pro toto rozhodnutí firmy bylo i to, že nová norma ČSN EN ISO 9001:2001 je pro malé a střední organizace vstřícnější. Firma má ty nejlepší předpoklady pro udržení vysokého standardu kvality prodávaných komponent z oblasti IT a vyráběných počítačových sestav.

5.2 Data potřebná pro analýzu

Pro provedení analýzy spolehlivosti počítače jako soustavy prvků budou použita data, která ukazují množství prodejů jednotlivých sestav a velikost počtů vadných komponent.

Tabulka 5 ukazuje množství prodaných osobních počítačů v kusech za roky 2003 až 2007. Protože je množství prodaných kusů uvedeno vždy za konkrétní měsíce v roce, je možné v grafu 5 sledovat sezónní výkyvy během jednotlivých roků.

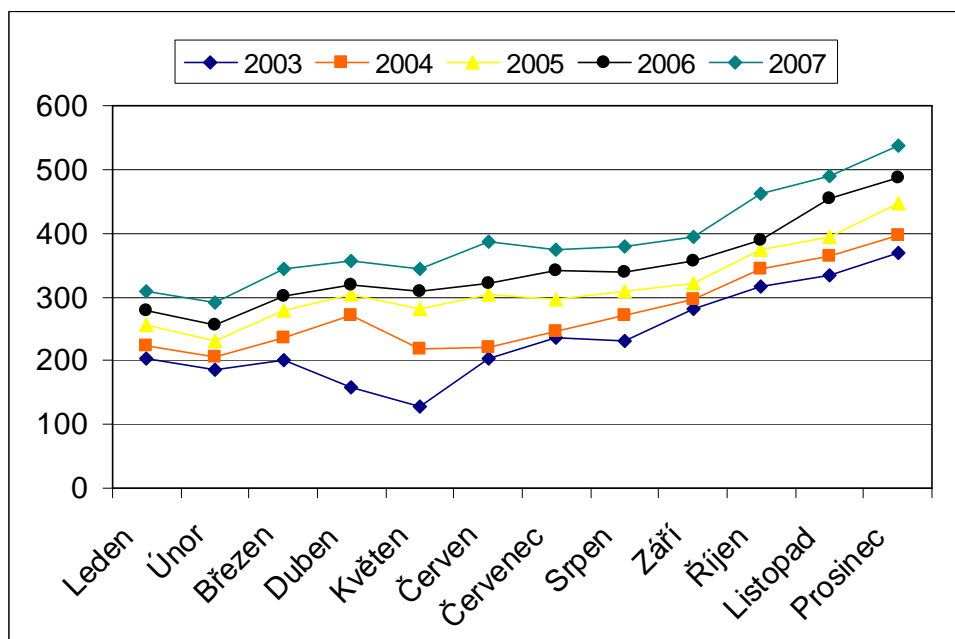
Tabulka 5: Počet kusů prodaných počítačů za roky 2003-2007

Měsíc	2003	2004	2005	2006	2007
Leden	204	224	256	279	308
Únor	185	207	231	255	291
Březen	200	235	278	302	345
Duben	159	270	305	319	357
Květen	127	219	281	309	345
Červen	203	222	303	322	386
Červenec	236	245	296	341	375
Srpen	232	271	309	338	379
Září	280	297	322	357	393
Říjen	317	345	375	389	462
Listopad	334	363	395	454	489
Prosinec	370	397	448	488	538
Celkem	2847	3295	3799	4153	4668

Zdroj: interní materiály firmy

Sezónní výkyvy nákupů během průběhu jednotlivých roků ukazuje následující graf 5.

Graf 5: Počty prodaných počítačů během let 2003-2007



Zdroj: interní materiály firmy

Následující tabulky ukazují zastoupení počtu kusů jednotlivých komponent obecně pro každý počítač a množství vadných komponent. Roztříděno podle druhu komponenty za jednotlivé roky 2003-2007.

Tabulka 6: Zastoupení komponent v sestavě PC

Komponenty PC (A)	Index identifikace komponenty (i)	Průměr ks komponenty/PC
CPU	1	1
RAM	2	1,5
MB	3	1
VGA	4	1
HDD	5	1
FDD	6	1
FM	7	0,26
LAN	8	0,69
ZDROJ	9	1
CD-ROM	10	0,09
CD-RW	11	0,08
CD/DVD-RW	12	0,65
CD/DVD-ROM	13	0,18
MM mechanika	14	1
Nefunkční PC	15	1

Zdroj: interní materiály firmy

Tabulka 7: Počty vadných vyreklamovaných komponent

Komponenty PC	Počet 2003	Počet 2004	Počet 2005	Počet 2006	Počet 2007
CPU	36	38	45	48	51
RAM	100	100	128	147	146
MB	150	151	195	167	172
VGA	88	92	149	129	132
HDD	117	122	153	206	179
CD-ROM	3	5	4	3	1
CD-RW	7	3	3	5	3
CD/DVD-RW	11	22	56	59	92
CD/DVD-ROM	1	3	4	4	4
FDD	19	24	33	30	22
FM	21	20	19	11	15
LAN	20	25	40	28	34
ZDROJ	267	298	341	414	375

Zdroj: interní materiály firmy

5.2 Přípravná část analýzy

Prvním předpokladem pro provedení celé analýzy metodou FTA je dokonalá znalost systému, proto v přípravné části analýzy bude nejprve rozebráno konstrukční uspořádání celého systému počítače a stručný popis funkcí jednotlivých prvků tohoto systému.

5.2.1 Konstrukční uspořádání osobního počítače

V případě metody analýzy stromu poruchových stavů, která byla zvolena pro hodnocení spolehlivosti, můžeme na osobní počítač nahlížet jako na technický systém skládající se z jednotlivých prvků. Zvolená hloubka analýzy určuje, že jednotlivé prvky, z nichž se systém skládá, odpovídají jednotlivým počítačovým komponentám.

Mezi nejběžnější komponenty, které tvoří jednotlivé prvky většiny běžně prodávaných osobních počítačů, patří:

Procesor (CPU - Central Personal Unit) je ústřední výkonnou jednotkou počítače, která čte instrukce z paměti počítače a na jejich základě vykonává program. V současné době se můžeme setkat s procesory dvou hlavních výrobců, a to AMD a Intel. Každý z nich vyrábí velké množství typů lišících se výkonem, provedením patice a také cenou.

Operační paměť (RAM – Random Access Memory) slouží v počítači k dočasnému uložení programů a dat. Je to paměť, která je velmi „rychlá“, to znamená, že doba přístupu k datům je kratší, než u ostatních datových zařízení počítače. Proto jsou programy při svém spouštění nahrány z pevného disku do této paměti. Procesor pak nemusí dlouho čekat na opakované načítání dat. Ovšem po vypnutí počítače se data v této paměti neuchovávají. Do základní desky počítače lze instalovat jeden nebo více modulů této paměti. Důležitým parametrem je kapacita, která se v současné době pohybuje řádově v jednotkách gigabytů.

Základní deska (MB – Main Board) tvoří hardwarové jádro celého systému počítače a její hlavní funkcí je vzájemné propojení a řízení všech ostatních komponent. Činnost základní desky řídí několik integrovaných obvodů, tzv. čipová sada. Funkce základní desky je možno do jisté míry řídit prostřednictvím programu BIOS (Basic Input Output System), který je dodáván výrobcem s každou základní deskou.

Grafická karta (VGA – Video Graphics Array) zajišťuje vytváření obrazu, který potom uživatel vidí na monitoru. Je standardním výstupním zařízením.

Pevný disk (HDD – Hard Disk Drive) je základním a často největším datovým úložištěm v počítači. Data a programy zůstávají na pevném disku uložené i po vypnutí počítače. Důležitými parametry jsou doba přístupu k datům a kapacita. V současné době velikost kapacity dosahuje řádově stovek gigabytů.

Mechanika CD-ROM (Compact Disk Read-Only Memory). Je schopná číst data uložená na optických záznamových médiích. Mechanika používá laserový paprsek, který se při čtení dat od povrchu média odráží a je snímán čtecím zařízením mechaniky.

Mechanika CD-RW (Compact Disk Read Write Memory) umožňuje kromě čtení kompaktních disků na nosiče označené jako CD-RW také zaznamenávání „vypalování“ dat.

Mechanika CD/DVD RW (Compact Disk/Digital Versatile Disk Read Write Memory) je schopná nejen číst, ale také zaznamenávat data na datové nosiče CD a DVD. Výhodou DVD datových nosičů je hlavně jejich několikanásobně větší kapacita paměti oproti klasickým CD diskům.

Mechanika CD/DVD ROM (Compact Disk/Digital Versatile Disk Read-Only Memory) slouží pouze ke čtení již uložených záznamů. S touto mechanikou, na rozdíl od předešlé mechaniky, není možné na datová média typu CD a DVD data zaznamenávat.

Mechanika FDD (Floppy Disk Drive) je v současné době spíše zřídka využívanou mechanikou pro čtení a ukládání dat na tzv. diskety, které ve srovnání s dnešními datovými médii mají zanedbatelnou kapacitu a značně dlouhou dobu přístupu k datům na nich uložených.

FM karta (Frequency Modulation) do kategorie FM karet se řadí televizní a rádiové tunerové karty, které jsou komponentami osobního počítače, které umožňují příjem rozhlasového, popř. televizního vysílání.

LAN karta (Local Area Network) umožňuje připojení počítače do počítačové sítě a komunikaci s ostatními počítači v počítačové síti.

Zdroj počítače (pulzní zdroj) se nachází v každém počítači a jeho hlavní úlohou je napájet veškeré komponenty počítače elektrickou energií. Používá se v počítačích pro převod síťového napětí 230V ~ 50Hz na stejnosměrné napětí snížené na +/-12V a +/-5V.

Je nutné si uvědomit, že ne každý prodaný počítač musí nutně obsahovat všechny tyto komponenty po jednom kusu. V některých sestavách může být např. více modulů operační paměti než pouze jeden. V některých sestavách naopak nemusí být žádná disketová mechanika, která už je v současné době méně využívaným prostředkem

pro přenos dat. Proto tabulka 6 uvádí průměrný počet kusů každé komponenty na jeden prodaný počítač.

5.2.2 Definování vrcholové události a základní (primární) události

Než přistoupíme k tvorbě diagramu stromu poruchových stavů, je nutné definovat vrcholovou událost a základní primární událost.

V našem případě vrcholovou událostí, konkrétně takovou událostí, kdy systém není schopen plnit všechny požadované funkce, budou všechny události, které mohou nastat vlivem nefunkčnosti některé komponenty počítačové sestavy. V takovém případě má zákazník možnost celou počítačovou jednotku reklamovat (pokud je ještě v době záruky poskytované firmou).

Základní (primární) událost je taková událost, která se v diagramu stromu poruchových stavů dále nerozvíjí. Její zapříčinění není dáno žádnou jinou uvažovanou událostí, a je tudíž určována hloubkou analýzy. Hloubkou analýzy rozumíme takovou úroveň, do které probíhá rozklad celého systému na jednotlivé části.

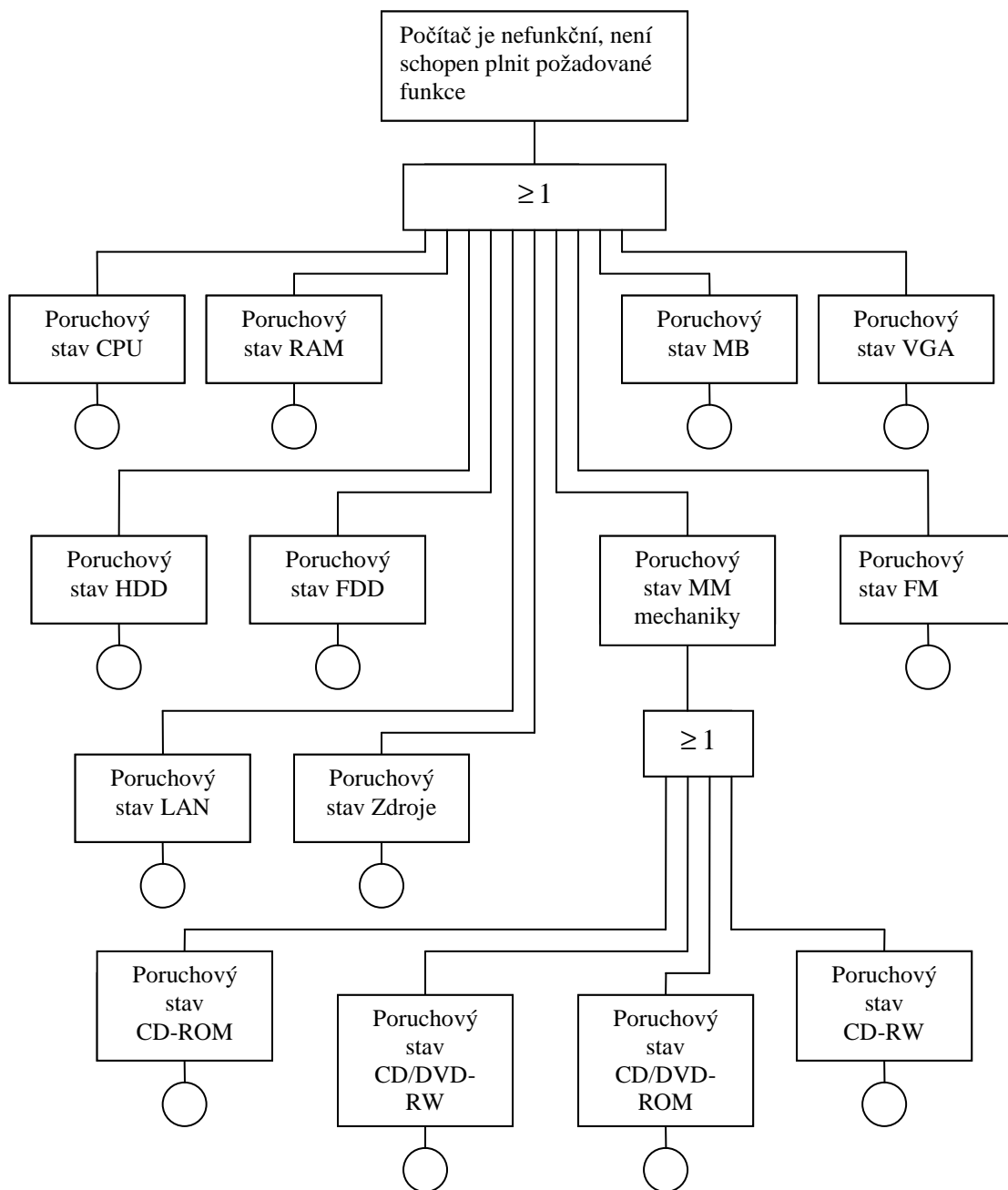
V případě analýzy počítačové soustavy nastane základní událost vždy, když dojde k nefunkčnosti jakékoliv komponenty, která může ovlivnit požadované funkce celé soustavy.

5.3 Sestavení stromu poruchových stavů

Tvorba diagramu stromu poruchových stavů začíná od vrcholové události a jeho rozvoj se děje postupem kauzální analýzy vždy mezi vrcholovou událostí a jejími příčinami (viz graf 6). Analýza počítačové soustavy začíná tvorbou stromu poruchových stavů od situace, kdy systém neplní požadované funkce a hledají se události na nižší úrovni, které by mohly být příčinou této situace.

Cílem analýzy je v našem případě identifikace konkrétních komponent počítače, jejichž nefunkční stav je nejčastěji příčinou vzniku vrcholové události.

Graf 6: Strom poruchových stavů počítačové sestavy



Zpracováno podle: interních materiálů firmy

5.4 Kvantitativní analýza stromu poruchových stavů

Z parametrů spolehlivosti elementárních jevů bude nyní provedena kvantitativní analýza stromu poruch. Cílem bude určení pravděpodobnosti vzniku základních událostí a vrcholové události. Pro výpočet pravděpodobnosti bude užito následujících vztahů.

Vzhledem k tomu, že běžná počítačová sestava obsahuje pouze vždy jednu MM (MultiMedia – multimediální) mechaniku, jsou události (poruchové stavy jednotlivých mechanik ať už CD nebo DVD) jevy neslučitelné. Pravděpodobnost, kdy dojde k selhání MM mechaniky, obecně vypočítáme podle vztahu.

$$P(A_{14}) = P\left(\bigcup_{i=10}^{13} A_i\right) = \sum_{i=10}^{13} P(A_i) \quad (5.1)$$

Přehled indexů i pro jednotlivé komponenty viz tab. 6.

Celková pravděpodobnost vrcholové události, tedy stavu reprezentovaného nefunkčním počítačem, vzhledem k tomu, že ostatní jevy (poruchové stavy jednotlivých komponent) jsou jevy slučitelné a mohou tedy nastat zároveň, je dána vzorcem

$$P(A_{15}) = 1 - P\left(\left(\bigcap_{i=1}^9 \overline{A_i}\right) \cap \overline{A_{14}}\right) \quad (5.2)$$

Následující tabulka 8 ukazuje v přehledu úroveň jakosti jednotlivých komponentů v konkrétních letech 2003-2007

Tabulka 8: Úroveň jakosti komponentů PC

Podíl vadných komponentů					
Komponenty PC	2003	2004	2005	2006	2007
CPU	1,25%	1,14%	1,18%	1,16%	1,09%
RAM	3,50%	3,04%	3,38%	3,53%	3,12%
MB	5,26%	4,58%	5,14%	4,02%	3,68%
VGA	3,09%	2,80%	3,91%	3,11%	2,82%
FDD	0,67%	0,72%	0,86%	0,72%	0,47%
FM	2,78%	2,30%	1,92%	0,98%	1,23%
LAN	1,02%	1,09%	1,54%	0,98%	1,05%
ZDROJ	9,38%	9,05%	8,97%	9,96%	8,04%
HDD	4,12%	3,69%	4,02%	4,95%	3,83%
CD-ROM	1,06%	1,61%	1,03%	0,89%	0,35%
CD-RW	2,90%	1,31%	0,85%	1,54%	0,89%
CD/DVD-RW	0,61%	1,03%	2,26%	2,17%	3,02%
CD/DVD-ROM	0,28%	1,06%	1,19%	1,08%	1,02%
Pravděpodobnost selhání MM mechaniky	4,85%	5,01%	5,33%	5,68%	5,28%
Pravděpodobnost vrcholové události	30,86%	29,03%	31,08%	30,32%	26,91%

Zdroj: interní materiály firmy

5.5 Vyhodnocení analýzy

Z tabulky 8 úrovně jakosti jednotlivých komponent jasně vyplývá, že s největší pravděpodobností, a to konkrétně v rozsahu 0,08 - 0,10, nastane vrcholová událost v důsledku nefunkčnosti zdroje konkrétní počítačové soustavy. Proto se firma při rozboru nákladů na udržení spolehlivosti celé počítačové soustavy bude muset nejvíce zaměřit právě na tento prvek. Tato komponenta se v největší míře bude podílet na vzniku vrcholové události. Zdroj počítače lze na základě výsledků analýzy označit za nejkritičtější komponentu počítačové sestavy.

Z vyhodnocení analýza můžeme také zjistit, že pravděpodobnost vzniku vrcholové události se pro celé období let 2003-2007 pohybuje v rozmezí 0,26 - 0,31, viz tab. 8.

6. Analýza nákladů, simulace doby životnosti

6.1 Výchozí předpoklady

Z předchozí provedené analýzy spolehlivosti osobního počítače jako soustavy prvků bylo určeno, že nejkritičtější komponentou celého systému je zdroj. Stejně jako ostatní komponenty může firma tuto komponentu odebírat od různých dodavatelů. Přitom kvalita zdrojů, jejich ceny a délka záruční doby, která je poskytována na tyto komponenty, se u různých dodavatelů liší. Simulace doby životnosti této komponenty a analýza nákladů by měla firmě pomoci při rozhodování o výběru vhodného dodavatele z hlediska nákladů, které budou zapotřebí, jestliže nastane situace, kdy poruchou zdroje dojde k nefunkčnosti celého osobního počítače, a to v době záruky poskytované firmou na počítačovou sestavu. Náklady budeme počítat pro tři různě dlouhé doby záruční lhůty: dvouletou, tříletou a čtyřletou.

6.2 Analýza nákladů

Při analýze nákladů firmy spojených s výměnou nejkritičtější komponenty během záruční doby poskytované na jednotlivé počítačové sestavy musíme vzít v úvahu ceny a záruční lhůty této komponenty poskytované jejími dodavateli a dále dobu životnosti této komponenty a cenu práce, kterou je třeba vynaložit v případě její výměny.

Důležitou úlohu při rozboru těchto nákladů bude hrát cena zdroje a záruční lhůta, kterou na dodávané zdroje poskytují jejich dodavatelé. Firma má možnost odebírat zdroje do počítačů od tří různých dodavatelů. Tabulka 9 ukazuje, jaké ceny a záruční lhůty poskytují jednotliví dodavatelé.

Tabulka 9: Ceny a záruční lhůty dodavatelů zdrojů

Dodavatel	A	B	C
Cena v Kč/ks zdroje	665,-	516,-	350,-
Délka záruční lhůty poskytovaná dodavatelem	2 roky	2 roky	1 rok

Zdroj: interní materiály firmy

Vzhledem k tomu, že řešíme celou situaci vždy pouze v době záruky poskytované firmou na počítačovou sestavu, platí náklady práce technika v hodnotě 200,- Kč potřebné v případě výměny nefunkční komponenty vždy firma.

Během počítání nákladů potřebných na výměnu nefunkčního zdroje, který je potom příčinou nefunkčnosti celé sestavy, musíme vzít v úvahu celkem tři situace, které mohou nastat:

1. V případě, že k nefunkčnímu stavu zdroje dojde během doby jeho záruční lhůty, kterou poskytuje jeho konkrétní dodavatel, budou náklady hrazené firmou obsahovat pouze cenu práce výměny nefunkční součástky a zdroj bude reklamovat u konkrétního dodavatele.
2. Pokud se zdroj stane nefunkčním již po jeho záruční době, kterou poskytuje jeho dodavatel, musí firma v rámci záručního servisu na počítač hradit jak náklady na práci na výměnu součástky, tak také náklady spojené s nákupem nového zdroje.
3. Jestliže doba životnosti daného zdroje bude tak krátká, že k závadě dojde opakovaně, má zákazník při třetí reklamaci právo na vrácení peněz, a tudíž se firmě vrátí celá nefunkční počítačová sestava, z níž má už jen minimální šanci využít zbylé funkční komponenty. Proto v tomto případě budou vzniklé náklady určeny jako 90 % ceny celé počítačové sestavy. V našem případě budeme uvažovat průměrnou cenu počítačové sestavy 20 500 Kč,-. Vzniklé náklady ve výši 90 % ceny celé sestavy se potom vyšplhají na 18 450,- Kč.

Z předešlé analýzy nákladů tedy vyplývá, že při výběru nejvýhodnějšího dodavatele zdroje do počítačové sestavy se firma bude rozhodovat nejen podle ceny této komponenty, ale především podle doby její životnosti – doby do poruchy, neboť v případě krátké životnosti této komponenty vznikají firmě další nemalé náklady

spojené s její výměnou během doby záruční lhůty, kterou poskytuje na celé počítačové sestavy.

6.3 Odhad parametrů Weibullova rozdělení, simulace doby životnosti

Vyhodnocení nákladů bude provedeno za pomoci stanovení doby životnosti zdrojů pro jednotlivé dodavatele metodou statistické simulace v programu @RISK. Pro kvantifikaci bezporuchovosti se v této metodě využívá matematické statistiky a teorie pravděpodobnosti. Základní podstatou je využití vhodného teoretického rozdělení. Jako teoretický model pro statistické modelování bezporuchovosti elektronických systémů a jejich komponent se nejčastěji využívá Weibullovo rozdělení. V programu @RISK byl nastaven průchod simulace při počtu 1000 iterací.

Určení parametrů Weibullova rozdělení bylo provedeno na základě vzorku padesáti konkrétních empiricky zjištěných hodnot dob životnosti zdrojů pro jednotlivé dodavatele. Na základě těchto vzorků dat bylo možno v programu @RISK funkcí BestFit odhadnout parametry Weibullových rozdělení pro každého dodavatele.

V první fázi odhadu parametrů Weibullova rozdělení je nutné zadat vstupní data do programu @RISK. V této fázi se ukázala výhoda propojení programu @RISK s kancelářským softwarem MS Office, neboť data lze vybrat přímo v tabulce na listu programu MS Excel. Potom je důležité rozhodnout o konkrétním rozdělení, kterého se odhad parametrů bude týkat. Pro naše konkrétní požadavky modelování bezporuchovosti elektronických systémů bylo vybráno Weibullovo rozdělení. Jako test, pomocí kterého se ověřuje, jestli je skutečně možné rozdělení sestavené na základě empiricky zjištěných dat považovat za příklad Weibullova rozdělení, byl použit χ^2 test dobré shody.

Pro vlastní odhad parametrů Weibullova rozdělení program @RISK používá metodu maximální věrohodnosti. Tato metoda je jednou z metod odhadu parametrů konkrétního rozdělení získaného na základě vzorku naměřených dat. Další známé metody jsou např. metoda nejmenších čtverců, metoda momentů a bayesovská metoda.

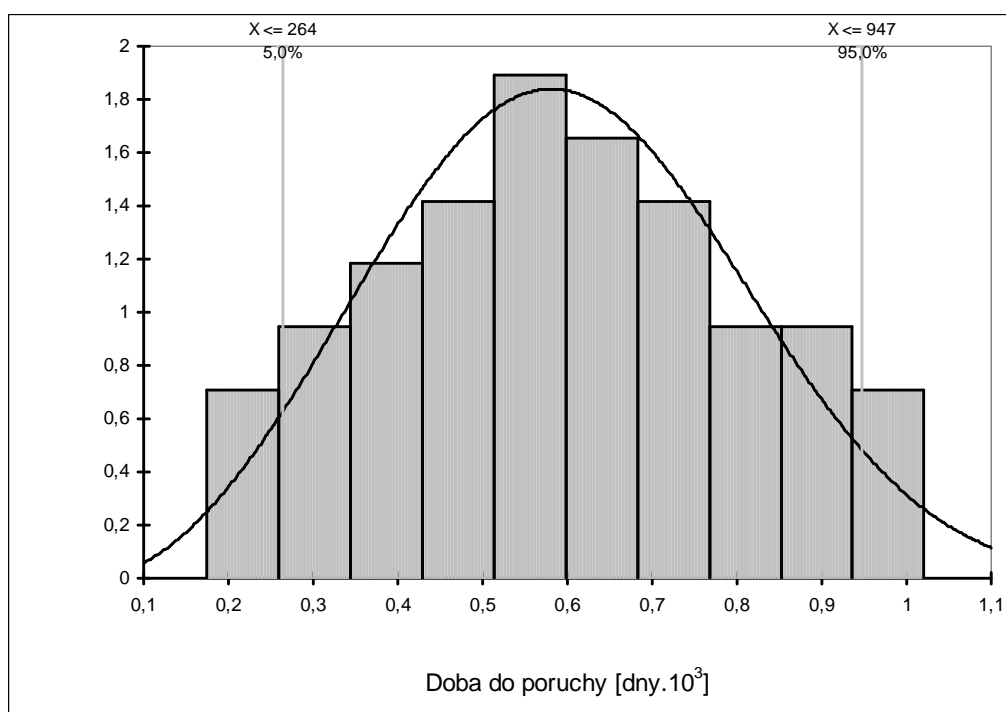
Grafy 7, 8 a 9 ukazují výsledky jednotlivých, na základě empirických dat sestavených rozdělení hustoty pravděpodobnosti doby životnosti zdroje vždy pro

konkrétního dodavatele. Hodnoty parametrů Weibulova rozdělení i rovnice hustoty pravděpodobnosti jsou uvedeny pod každým grafem.

Pro hodnocení, zda každé z rozdělení je možné aproximovat Weibullovým rozdělením, byl použit χ^2 test dobré shody. Ze zjištěných hodnot P-value ve všech třech případech, které jsou také uvedeny pod každým z grafů, je možno říci, že nezamítáme hypotézu, že rozdělení sestavené na základě empiricky zjištěných dat odpovídá Weibullovu rozdělení.

Dodavatel A:

Graf 7: Histogram doby životnosti zdroje od dodavatel A



Dodavatel A vypočtené hodnoty:

Aritmetický průměr: $\bar{x} = 595,53$

Směrodatná odchylka: $s = 207,39$

Hodnota p-value = 0,9505

Parametry Weibulova rozdělení:

Parametr tvaru: $\beta = 2,95$

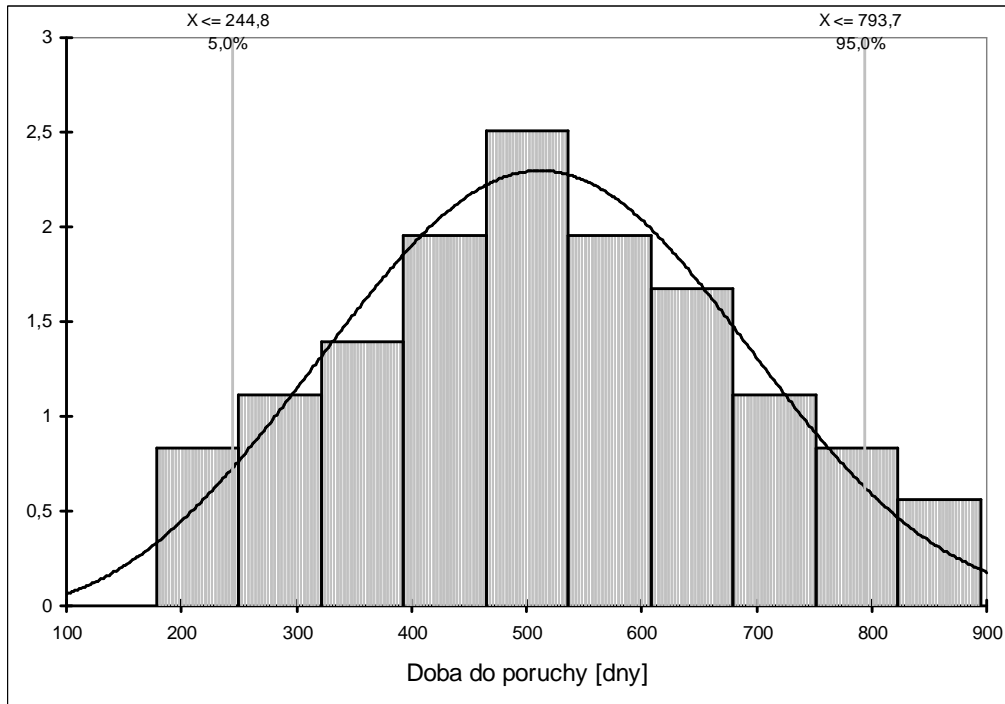
Parametr měřítka: $\eta = 629,55$

Rovnice hustoty pravděpodobnosti poruchy zdroje od dodavatele A:

$$f(t) = \frac{2,95}{629,55} \left(\frac{t}{629,55} \right)^{2,95-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{629,55}\right)^{2,95}\right) \quad (6.1)$$

Dodavatel B

Graf 8: Histogram doby životnosti zdroje od dodavatele B



Dodavatel B vypočtené hodnoty:

Aritmetický průměr: $\bar{x} = 515,55$

Směrodatná odchylka: $s = 166,35$

Hodnota p-value = 0,9682

Parametry Weibullova rozdělení:

Parametr tvaru: $\beta = 3,19$

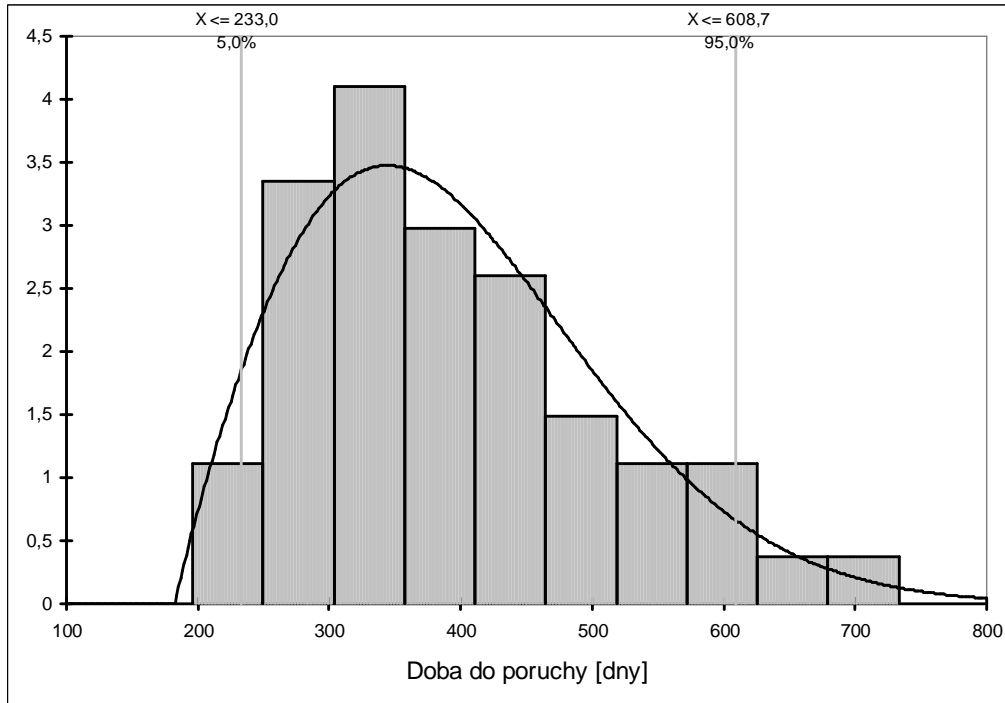
Parametr měřítka: $\eta = 539,86$

Rovnice hustoty pravděpodobnosti poruchy zdroje od dodavatele B:

$$f(t) = \frac{3,19}{539,86} \left(\frac{t}{539,86} \right)^{3,19-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{539,86}\right)^{3,19}\right) \quad (6.2)$$

Dodavatel C

Graf 9: Histogram doby životnosti zdroje od dodavatele C



Dodavatel C vypočtené hodnoty:

Aritmetický průměr: $\bar{x} = 394,92$

Směrodatná odchylka: $s = 116,10$

Hodnota p-value = 0,9965

Parametry Weibullova rozdělení:

Parametr tvaru: $\beta = 1,90$

Parametr měřítka: $\eta = 238,79$

Rovnice hustoty pravděpodobnosti poruchy zdroje od dodavatele C:

$$f(t) = \frac{1,90}{238,79} \left(\frac{t}{238,79} \right)^{1,90-1} \exp - \left(\frac{t}{238,79} \right)^{1,90} \quad (6,3)$$

6.4 Simulační model

Odhad parametrů Weibullova rozdělení v programu @RISK umožnil na základě získaného rozdělení hustoty pravděpodobnosti poruchy zdroje vždy pro každého ze tří dodavatelů simulovat délku životnosti zdroje počítačové sestavy. V každé simulaci bylo provedeno 1000 iterací. Pro výpočet celkových nákladů potřebných k zajištění funkčnosti sestavy byly použity následující tabulky sestavené v tabulkovém procesoru MS Excel.

Tabulka 10: Simulace doby životnosti zdroje od dodavatele A

Tabulka výpočtu nákladů Dodavatel A				
1.	Délka záruční doby zdroje	730	730	730
2.	Délka záruční doby počítače	730	1 095	1 460
3.	Pořadí závady	1	1	1
4.	Počet dní, které uplynou, než nastane závada zdroje	595,53	595,53	595,53
5.	Náklady na opravu v Kč po první závadě	865	865	865
6.	Počet dní do konce záruky počítače	134,47	499,47	864,47
7.	Počet dní do konce záruky zdroje	134,47	134,47	134,47
8.	Pořadí závady	2	2	2
9.	Počet dní, které uplynou, než nastane závada zdroje	595,53	595,53	595,53
10.	Náklady na opravu v Kč po druhé závadě	0	0	865
11.	Počet dní do konce záruky počítače	-461,07	-96,07	268,93
12.	Počet dní do konce záruky zdroje	-461,07	-461,07	-461,07
13.	Pořadí závady	3	3	3
14.	Počet dní, které uplynou, než nastane závada zdroje	595,53	595,53	595,53
15.	Náklady na opravu v Kč, pokud závada nastane potřetí	0	0	0
16.	Celkové náklady na opravu Kč	865	865	1 730

Zdroj: autor

Tabulka 11: Simulace doby životnosti zdroje od dodavatele B

Tabulka výpočtu nákladů Dodavatel B				
1.	Délka záruční doby zdroje	730	730	730
2.	Délka záruční doby počítače	730	1 095	1 460
3.	Pořadí závady	1	1	1
4.	Počet dní, které uplynou, než nastane závada zdroje	515,55	515,55	515,55
5.	Náklady na opravu v Kč po první závadě	716	716	716
6.	Počet dní do konce záruky počítače	214,45	579,45	944,45
7.	Počet dní do konce záruky zdroje	214,45	214,45	214,45
8.	Pořadí závady	2	2	2
9.	Počet dní, které uplynou, než nastane závada zdroje	515,55	515,55	515,55
10.	Náklady na opravu v Kč po druhé závadě	0	716	716
11.	Počet dní do konce záruky počítače	-301,11	63,90	428,89
12.	Počet dní do konce záruky zdroje	-301,11	-301,105	-301,105
13.	Pořadí závady	3	3	3
14.	Počet dní, které uplynou, než nastane závada zdroje	515,55	515,55	515,55
15.	Náklady na opravu v Kč, pokud závada nastane potřetí	0	0	0
16.	Celkové náklady na opravu Kč	716	1 432	1 432

Zdroj: autor

Tabulka 12: Simulace doby životnosti zdroje od dodavatele C

Tabulka výpočtu nákladů Dodavatel C				
1.	Délka záruční doby zdroje	365	365	365
2.	Délka záruční doby počítače	730	1 095	1 460
3.	Pořadí závady	1	1	1
4.	Počet dní, které uplynou, než nastane závada zdroje	394,92	394,92	394,92
5.	Náklady na opravu v Kč po první závadě	865	865	865
6.	Počet dní do konce záruky počítače	335,08	700,08	1 065,08
7.	Počet dní do konce záruky zdroje	-29,92	-29,92	-29,92
8.	Pořadí závady	2	2	2
9.	Počet dní, které uplynou, než nastane závada zdroje	394,92	394,92	394,92
10.	Náklady na opravu v Kč po druhé závadě	0	865	865
11.	Počet dní do konce záruky počítače	-59,84	305,16	670,16
12.	Počet dní do konce záruky zdroje	-424,84	-424,84	-424,84
13.	Pořadí závady	3	3	3
14.	Počet dní, které uplynou, než nastane závada zdroje	394,92	394,92	394,92
15.	Náklady na opravu v Kč, pokud závada nastane potřetí	0	0	18 500
16.	Celkové náklady na opravu Kč	865	1 730	20 230

Zdroj: autor

Popis simulace doby životnosti zdroje:

Program @RISK pracuje jako rozšíření do tabulkového procesoru MS Excel, což umožnilo všechny konkrétní hodnoty spočítat za pomoci vzorců přímo v tabulkách

programu MS Excel. Jednotlivé buňky obsahují buďto vzorce pro výpočet, nebo přímo příslušné hodnoty, jako např. délku záruční doby ve dnech.

Bližší vysvětlení obsahu jednotlivých řádků tabulek:

1. „Délka záruční doby zdroje“ ukazuje záruční dobu ve dnech, kterou poskytuje jeden z konkrétních dodavatelů zdrojů. Pro dodavatele A i B je to dvouletá záruční lhůta. Pro nejlacinější zdroje poskytuje dodavatel C pouze záruku v trvání délky jednoho roku.

2. „Délka záruční doby počítače“ udává délku záruční doby, kterou na jednotlivé počítačové sestavy poskytuje firma, a to vždy dvou, tří a čtyřletou.

3. „Pořadí závady“. V této buňce je uvedeno po kolikáté nastala závada počítače během jeho záruční doby poskytované firmou díky nefunkčnímu zdroji.

4. „Počet dní, které uplynou než nastane závada zdroje“. V této buňce je uvedena doba do poruchy zdroje pro jednotlivé dodavatele. Odhad doby na základě Weibullova rozdělení provádí program @RISK funkcí RiskWeibull(β ; η), přičemž β a η jsou zjištěné parametry vždy pro konkrétní Weibulovo rozdělení

5. „Náklady na opravu v Kč po první závadě“. V této buňce se počítají náklady na opravu počítače po první závadě zdroje. V programu MS Excel lze tyto náklady spočítat porovnáním doby do poruchy zdroje, záruční doby na zdroj a záruční doby poskytované firmou na počítač. Výpočet je tedy možné provést pomocí vzorce $KDYŽ(B4 < B2; KDYŽ(B4 > B\$1; 665 + 220; 200); 0)$, který v sobě skrývá dvě podmínky. Buňka B4 v tomto konkrétním případě udává počet dní do poruchy zdroje, buňka B2 délku záruční doby poskytované firmou na počítač a buňka B\$1 délku záruční doby zdroje. Pokud tedy bude hodnota buňky B4 menší než B2, to znamená porucha zdroje nastane dříve než skončí záruka na počítač, bude muset firma hradit náklady na výměnu zdroje za nový. Pokud k závadě zdroje dojde až po záruční době na počítač budou náklady nulové. Dále je ještě důležité rozhodnout, zda závada zdroje nastala v jeho

záruční lhůtě, anebo až po ní. Potom jsou náklady na opravu vyjádřené druhou podmínkou, která zjišťuje zda hodnota buňky B4 doby do poruchy zdroje je větší než hodnota buňky B\$1 doby záruky na zdroj. Pokud tato podmínka bude splněna, bude muset firma zaplatit jak práci za 200,- Kč, tak i nový zdroj. Když se ale závada zdroje projeví v jeho záruční době, zaplatí firma pouze práci technika potřebnou k výměně zdroje 200,-Kč a zdroj vyreklamuje u dodavatele zdrojů.

6. „Počet dní do konce záruky počítače“. V této buňce se odečítají doby „Délka záruční doby počítače“ a „Počet dní, které uplynou, než nastane závada zdroje“ čímž zjistíme, kolik dní ještě zbývá do konce záruky na počítač po první závadě zdroje.

7. „Počet dní do konce záruky zdroje“. V této buňce se rozdíl doby „Délka záruční doby zdroje“ a „Počet dní, které uplynou, než nastane závada zdroje“ zjišťuje, kolik dní ještě zbývá do konce záruční doby zdroje po první závadě zdroje.

Analogicky se s výpočtem pokračuje také v případě opakované poruchy zdroje, tzn. dojde-li k poruše zdroje i podruhé během záruční doby poskytované firmou na počítač.

15. „Náklady na opravu v Kč, pokud závada nastane potřetí“. V této buňce se náklady počítají v případě třetího opakování závady. Nastane-li třetí opakování závady během záruční doby na počítačovou sestavu, má zákazník právo na vrácení peněz. Náklady jsou zde potom jednoznačně stanoveny ve výši 18 500 Kč,- a to podmínkou zapsanou v podobě vzorce $KDYŽ(B14 < B11; 18500; 0)$. Tato podmínka říká, že pokud bude doba do poruchy zdroje menší než počet dní do konce záruky po druhé závadě zdroje, budou náklady hrazené firmou ve výši 18 500,- Kč, neboť dojde k vrácení peněz zákazníkovi a pravděpodobnost, že by firma využila některé komponenty z nefunkčního počítače, je jen velmi malá.

16. „Celkové náklady na opravu Kč“. V této buňce jsou pomocí vzorce $RiskOutPut(„celkove_naklady“) + B15 + B10 + B5$ počítány celkové náklady jako součet veškerých nákladů, které firmě vzniknou během záruční doby poskytované na počítač. Tabulky 10, 11, a 12 ovšem ukazují konkrétní hodnoty při jednom průchodu z celkového počtu jednoho tisíce opakování při odhadu doby spolehlivosti zdroje. Můžeme z nich například zjistit, že pro dodavatele A je průměrná doba do poruchy

zdroje 596 dní, pro dodavatele B je tato průměrná doba 516 dní a pro nejlacinější zdroj, který firma může odebírat od dodavatele C je průměrná doba do poruchy 395 dní.

Tabulka 13, která je výstupem z programu @RISK, ukazuje celkové náklady potřebné na opravu zdroje pro jednotlivé výrobce vypočítané na základě odhadu doby do poruchy zdroje při použití Weibullova rozdělení a celkovém počtu 1000 iterací během každé simulace. Tabulka 13 uvádí tyto náklady pro všechny délky záruční doby poskytované firmou na počítačovou sestavu.

Tabulka 13: Celkové náklady potřebné na opravu zdroje – výstup z programu @RISK

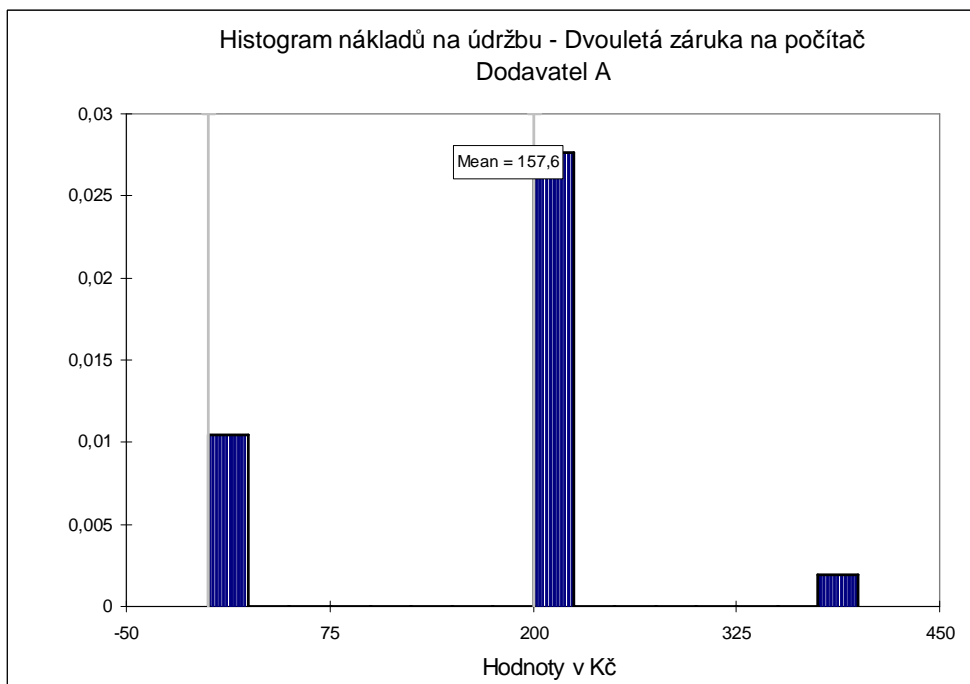
Dodavate - počet let záruky na počítač	Minimum	Průměr	Maximum
Dodavatel A - dvouletá záruka na počítač	0 Kč	158 Kč	400 Kč
Dodavatel A - tříletá záruka na počítač	0 Kč	1 115 Kč	19 565 Kč
Dodavatel A - čtyřletá záruka na počítač	200 Kč	4 273 Kč	20 230 Kč
Dodavatel B - dvouletá záruka na počítač	0 Kč	220 Kč	18 900 Kč
Dodavatel B - tříletá záruka na počítač	200 Kč	1 741 Kč	19 416 Kč
Dodavatel B - čtyřletá záruka na počítač	200 Kč	8 084 Kč	19 932 Kč
Dodavatel C - dvouletá záruka na počítač	0 Kč	914 Kč	19 565 Kč
Dodavatel C - tříletá záruka na počítač	200 Kč	7 963 Kč	20 230 Kč
Dodavatel C - čtyřletá záruka na počítač	865 Kč	18 209 Kč	20 230 Kč

Zdroj: autor

Následující grafy 10 – 18 ukazují histogramy celkových nákladů potřebných na údržbu během dvou, tří a čtyřleté záruční lhůty pro dodavatele A, B, a C.

Jak ukazuje graf 10 histogram nákladů na údržbu zdroje od dodavatele zdrojů A, při dvouleté záruční lhůtě, poskytované firmou na počítač, budou v 69 % tyto náklady dosahovat hodnoty 210 Kč, v 26,1 % 10 Kč a v 4,9 % 390 Kč. Průměr těchto nákladů je 158 Kč.

Graf 10: Histogram nákladů u dvouleté záruční lhůty - dodavatel A



Graf 11 histogram nákladů na údržbu zdroje od dodavatele zdrojů B, při dvouleté záruční lhůtě, kterou firma poskytuje na počítač ukazuje, že v 99,9 % budou tyto náklady dosahovat hodnoty 250 Kč. Průměr těchto nákladů je 220 Kč.

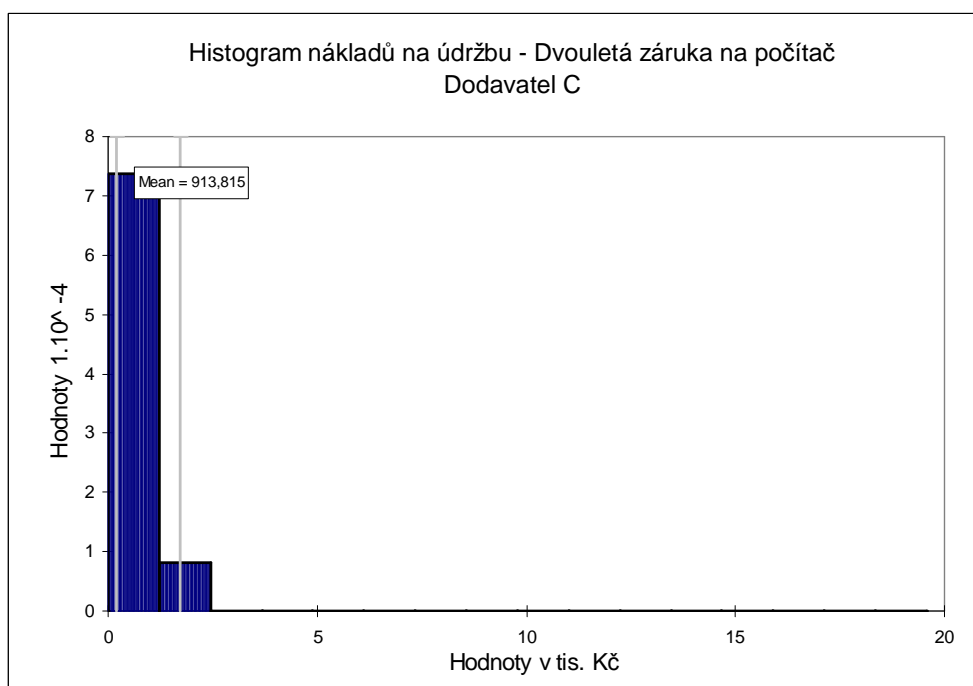
V grafu 12 histogramu nákladů na údržbu zdroje od dodavatele zdrojů C, při dvouleté záruční lhůtě, poskytované firmou na počítač se ukazuje, že v 90 % budou tyto náklady dosahovat hodnoty 500 Kč a v 9,9 % 2 000 Kč. Průměr těchto nákladů je 914 Kč.

Graf 13 histogram nákladů na údržbu zdroje od dodavatele zdrojů A, při tříleté záruční lhůtě, poskytované firmou na počítač, ukazuje, že v 96,5 % budou tyto náklady dosahovat hodnoty 500 Kč a v 1 % 2 000 Kč Průměr těchto nákladů je 1115 Kč.

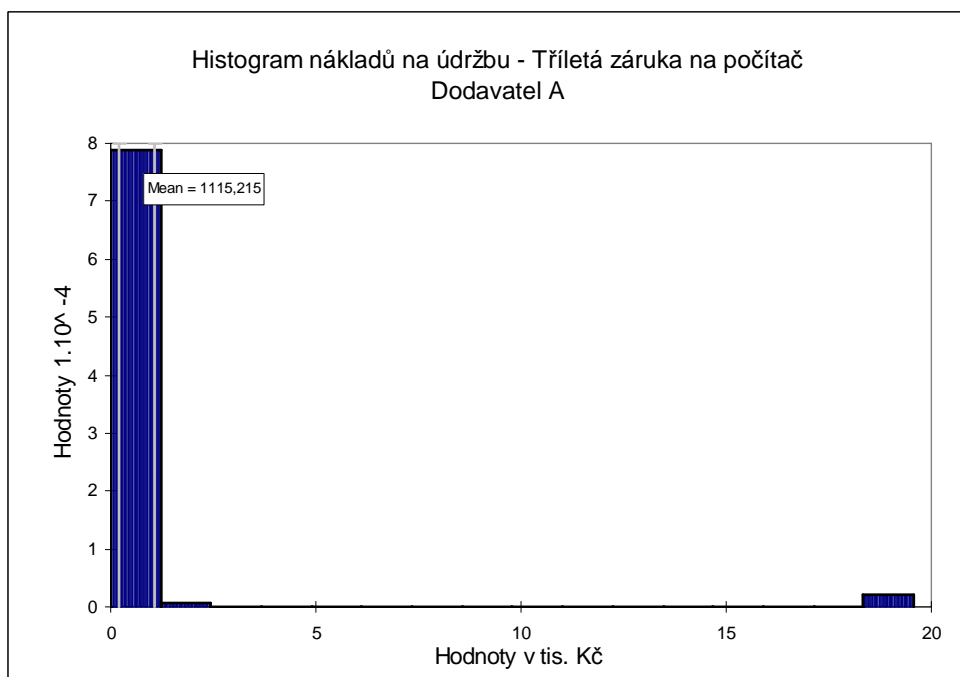
Graf 11: Histogram nákladů u dvouleté záruční lhůty - dodavatel B



Graf 12: Histogram nákladů u dvouleté záruční lhůty - dodavatel C



Graf 13: Histogram nákladů u tříleté záruční lhůty - dodavatel A

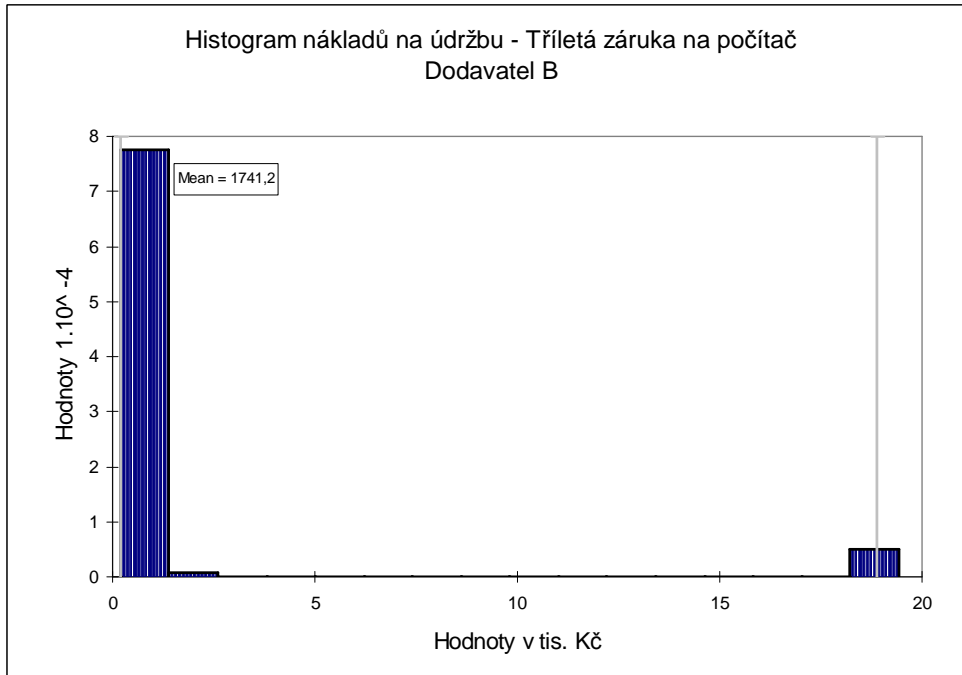


Graf 14 histogram nákladů na údržbu zdroje od dodavatele zdrojů B, při tříleté záruční lhůtě, kterou firma poskytuje na počítač, ukazuje, že v 93 % budou tyto náklady dosahovat hodnoty 1 000 Kč, v 6 % 19 000 Kč a v 1 % 2 000 Kč. Průměr těchto nákladů je 1741 Kč.

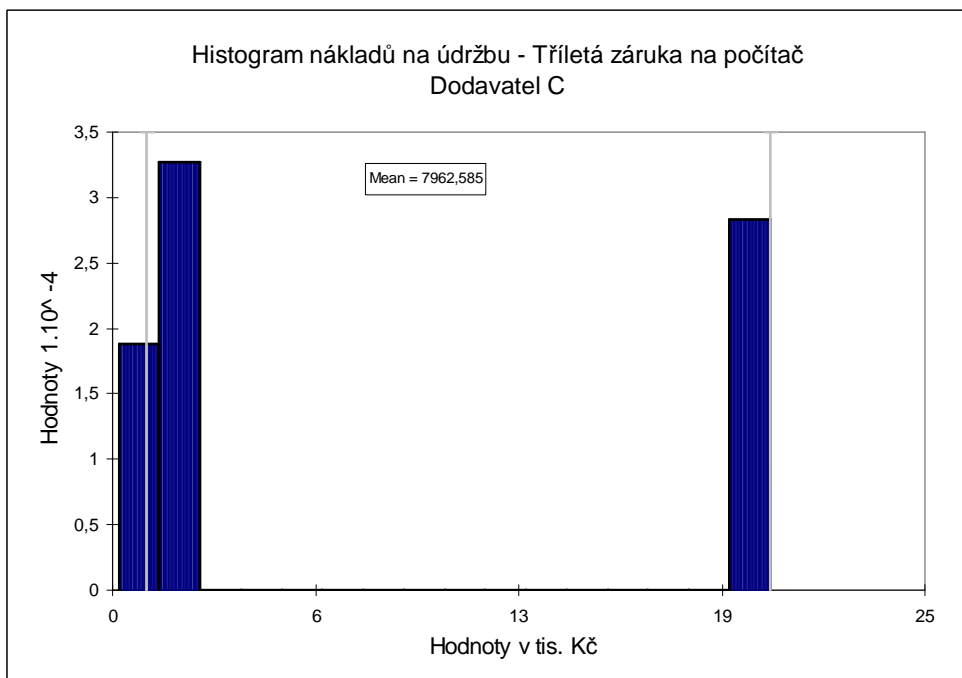
V grafu 15 histogramu nákladů na údržbu zdroje od dodavatele zdrojů C, při tříleté záruční lhůtě, poskytované firmou na počítač se ukazuje, že v 40,9 % budou tyto náklady dosahovat hodnoty 2 000 Kč, v 35,5 % 19 500 Kč a v 23,6 % 1 000 Kč. Průměr těchto nákladů je 7 963 Kč.

Graf 16 histogram nákladů na údržbu zdroje od dodavatele zdrojů A, při čtyřleté záruční lhůtě, poskytované firmou na počítač, ukazuje, že v 69,4 % budou tyto náklady dosahovat hodnoty 1 000 Kč, v 13,3 % 19 500 Kč, v 13,2 % 2 000 a v 4,1 % 18 500 Kč. Průměr těchto nákladů je 4 273 Kč.

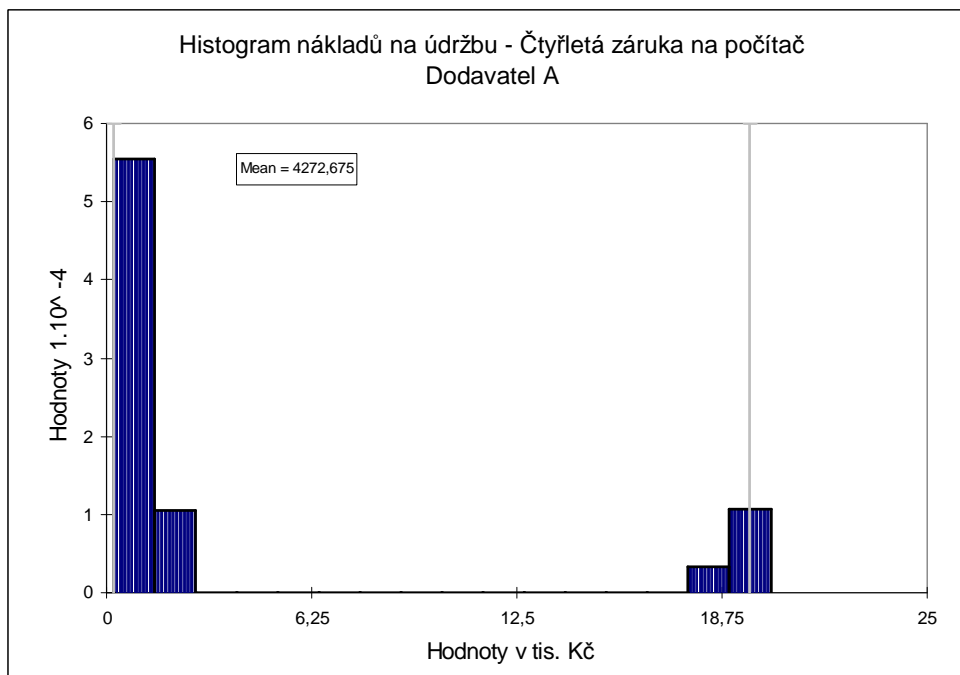
Graf 14: Histogram nákladů u tříleté záruční lhůty - dodavatel B



Graf 15: Histogram nákladů u tříleté záruční lhůty - dodavatel C



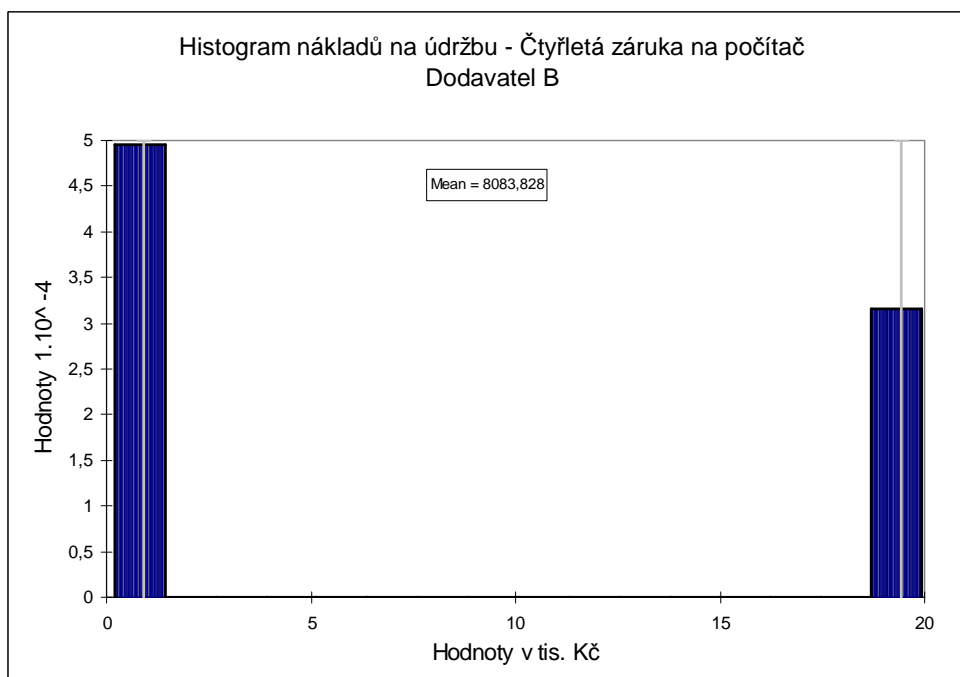
Graf 16: Histogram nákladů u čtyřleté záruční lhůty - dodavatel A



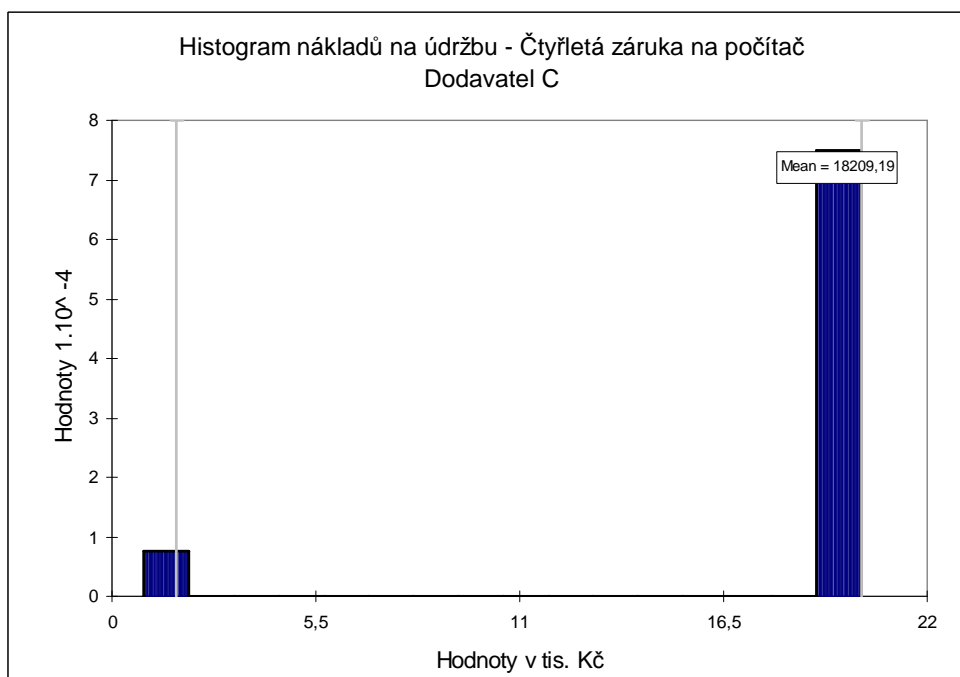
V grafu 17 histogramu nákladů na údržbu zdroje od dodavatele zdrojů B a při čtyřleté záruční lhůtě, poskytované firmou na počítač se ukazuje, že v 61,1 % budou tyto náklady dosahovat hodnoty 1 000 Kč a v 38,9 % 19 500 Kč. Průměr těchto nákladů je 8 084 Kč.

Graf 18 histogram nákladů na údržbu zdroje od dodavatele zdrojů C, při čtyřleté záruční lhůtě, poskytované firmou na počítač, ukazuje, že v 90,7 % budou tyto náklady dosahovat hodnoty 1 000 Kč, a v 9,3 % 19 500 Kč. Průměr těchto nákladů je 18 209 Kč.

Graf 17: Histogram nákladů u čtyřleté záruční lhůty - dodavatel B



Graf 18: Histogram nákladů u čtyřleté záruční lhůty - dodavatel C



6.5 Výběr konkrétního dodavatele

Simulací doby životnosti nejkritičtější komponenty počítače v programu @RISK byla provedena analýza nákladů potřebných při eventuelní výměně této komponenty. Výsledky v tabulce 13 ukazují průměrné náklady pro konkrétní zdroje v případě dodavatelů A, B a C, od kterých firma může zdroj odebrat. Na základě takto provedené analýzy se firma rozhodne pro výběr jednoho z těchto dodavatelů. Celkové náklady, podle kterých se firma bude rozhodovat, ukazují tabulky 14, 15 a 16. Zde jsou brány v úvahu i ceny jednotlivých zdrojů, se kterými jsme až doposud při analýze nákladů na údržbu nejkritičtější komponenty počítačové sestavy nepočítali. Celkové náklady stanovené pro různě dlouhé záruční doby poskytované firmou na počítačovou sestavu jsou dány sumou nákladů potřebných k zajištění funkčního stavu počítače a cenou zdroje od konkrétního dodavatele.

Tabulka 14: Celkové náklady firmy při dvouleté záruce na počítač

Dodavatel a doba záruky na počítač	Náklady na údržbu zdroje	Cena zdroje	Celkové náklady
Dodavatel A, dvouletá záruka na počítač	158 Kč	665 Kč	823 Kč
Dodavatel B, dvouletá záruka na počítač	220 Kč	516 Kč	736 Kč
Dodavatel C, dvouletá záruka na počítač	914 Kč	350 Kč	1 264 Kč

Zdroj: autor

Tabulka 15: Celkové náklady firmy při tříleté záruce na počítač

Dodavatel a doba záruky na počítač	Náklady na údržbu zdroje	Cena zdroje	Celkové náklady
Dodavatel A, tříletá záruka na počítač	1 115 Kč	665 Kč	1 780 Kč
Dodavatel B, tříletá záruka na počítač	1 741 Kč	516 Kč	2 257 Kč
Dodavatel C, tříletá záruka na počítač	7 963 Kč	350 Kč	8 313 Kč

Zdroj: autor

Tabulka 16: Celkové náklady firmy při čtyřleté záruce na počítač

Dodavatel a doba záruky na počítač	Náklady na údržbu zdroje	Cena zdroje	Celkové náklady
Dodavatel A, čtyřletá záruka na počítač	4 273 Kč	665 Kč	4 938 Kč
Dodavatel B, čtyřletá záruka na počítač	8 084 Kč	516 Kč	8 600 Kč
Dodavatel C, čtyřletá záruka na počítač	18 209 Kč	350 Kč	18 559 Kč

Zdroj: autor

Jak z výpočtů celkových nákladů vyplývá pro dvouletou záruční dobu na počítač, kterou firma poskytuje ze zákona pro koncové uživatele, je nejvýhodnější variantou montovat do počítačových sestav zdroj od dodavatele B. Cena zdroje tohoto

dodavatele je 516,- Kč. Náklady na údržbu tohoto zdroje jsou sice v porovnání s dražším zdrojem dodavatele A o 62,- Kč vyšší, ale díky tomu, že zdroj od dodavatele A je o 149,- Kč dražší, je výsledná suma nákladů daná součtem ceny zdroje a nákladů potřebných na udržení provozuschopného stavu počítače během dvou let v případě dodavatele B nejnižší. Zdroje od dodavatele C, i když jsou skoro o polovinu lacinější než zdroje od obou předchozích dodavatelů, nepřicházejí v úvahu, neboť díky jejich krátké době životnosti je cena nákladů potřebných na údržbu zdroje během záruční lhůty tak vysoká, že konečná suma daná součtem ceny zdroje a těchto nákladů je ze všech tří případů u dvouleté záruční lhůty nejvyšší.

Firma potom musí do celkové ceny sestavy kalkulovat s tím, že její náklady nebudou tvořené pouze cenou zdroje jako takovou, ale samozřejmě i náklady potřebnými k zajištění bezporuchového stavu počítače během záruční lhůty.

V případě tříleté záruky na počítač, kterou lze získat dokoupením rozšíření dvouleté záruky o jeden rok, ukazuje analýza celkových nákladů, že nejnižší celkové náklady, a tudíž nejvýhodnější řešení u sestav s takto prodlouženou záruční lhůtou je odebírat zdroje od dodavatele A. I když je cena tohoto zdroje vyšší než zdroje dodavatele B, nakonec v součtu s náklady potřebnými na údržbu zdroje při tříleté záruční lhůtě vychází toto řešení jako ekonomicky nejefektivnější. Náklady na údržbu zdrojů, které by firma mohla brát od dodavatele C, jsou v tomto případě už tak vysoké, že téměř dosahují poloviny ceny počítačové sestavy, a to z důvodu krátké životnosti těchto zdrojů. V tomto případě nastává situace, kdy dochází k třetímu opakování reklamace, a tudíž zákazníkovi musí být vráceny peníze.

Firma musí v případě rozšířené záruční doby počítat s daleko většími náklady na zajištění provozuschopnosti počítačové sestavy a tyto náklady zahrnout do ceny, kterou koncový uživatel zaplatí v případě nákupu rozšíření záruky o jeden rok.

Při čtyřleté záruce na počítačovou sestavu, kterou lze získat dokoupením dvouletého rozšíření záruky, je nejvýhodnějším řešením opět dodavatel zdrojů A, ovšem náklady potřebné na údržbu zdroje jsou už značně vysoké, a tak stojí za zvážení, zda by nebylo pro firmu výhodnější, aby v tomto případě hledala dodavatele zdrojů daleko spolehlivějších. V případě, že zvolí dodavatele zdrojů A, by se tyto náklady musely promítnout do ceny rozšíření záruky. Dodavatelé zdrojů B a C v případě

dvouletého rozšíření záruky vzhledem k výšce nákladů potřebných na údržbu jejich zdrojů po celou dobu záruky na počítačovou sestavu nepřicházejí v úvahu, neboť zde se tyto náklady u dodavatele B blíží polovině ceny počítačové sestavy a u výrobce C se blíží ceně celé počítačové sestavy.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo na základě analýzy spolehlivosti určit nejkritičtější komponentu počítačové sestavy a vybrat nejvhodnějšího dodavatele této komponenty.

V první fázi analýzy počítače jako soustavy prvků byla pro stanovení nejkritičtější komponenty vybrána metoda FTA – analýza stromu poruchových stavů. Tato metoda byla využita vzhledem k tomu, že se používá jak pro kvalitativní, tak i pro kvantitativní analýzu spolehlivosti. Metoda FTA představuje analýzu prováděnou v diagramu stromu poruch. Prvním krokem celého procesu analýzy je rozklad systému na vzájemně funkčně propojené a závislé podsystémy, které jsou představovány jednotlivými součástkami, v případě analýzy počítačové sestavy jednotlivými komponentami, z nichž se celá sestava skládá. Tyto jednotlivé součásti se zakreslí pro zvýšení přehlednosti do diagramu stromu poruch a grafickými značkami lze zobrazit i konkrétní funkční závislosti mezi jednotlivými komponentami. Pro definovanou vrcholovou událost (top event), kterou byla v našem případě analýzy kritická chyba systému zapříčiňující neschopnost celého systému plnit veškeré požadované funkce, se hledá příčina na nižší funkční úrovni. Tímto způsobem lze identifikovat konkrétní součástku, komponentu, jejíž nefunkční stav vede ke vzniku vrcholové události.

V kvantitativní části analýzy byla na základě dat z prodejů počítačů a reklamací jednotlivých komponent určena nejkritičtější komponenta, která byla nejpravděpodobnější příčinou vzniku vrcholové události – nefunkčního stavu celé počítačové sestavy. Výsledky analýzy za celé sledované období mezi roky 2003 – 2007 jednoznačně ukazují jako nejkritičtější komponentu celé sestavy pulzní zdroj počítače.

Vzhledem k tomu, že právě tato komponenta je nejčastější příčinou nefunkčnosti celé počítačové sestavy, je důležité vybrat jejího nejvhodnějšího dodavatele. Kritériem pro výběr konkrétního dodavatele byly náklady potřebné na údržbu nefunkčního zdroje během záruční doby, kterou firma poskytuje na počítačovou sestavu.

Pro analýzu těchto nákladů je důležité zjistit dobu životnosti zdroje počítače, neboť během záruční doby poskytované firmou na počítač hradí náklady vynaložené na

práci firma a v případě, že je doba záruky na zdroj kratší než doba záruky na počítač, se do těchto nákladů promítne také cena nového zdroje. V posledním případě, pokud bude životnost zdroje tak krátká, že k závadě během záruční doby na počítač dojde potřetí, musí firma počítat s tím, že zákazník má právo na vrácení peněz a v tomto případě jsou náklady rovny téměř ceně celé počítačové sestavy.

Z tohoto rozboru je jasně patrné, jak důležitou roli hraje spolehlivost zdroje v případě analýzy nákladů.

Zdroje může firma odebírat od tří různých dodavatelů. Dalším krokem bylo tedy porovnat celkové náklady, které firma musí vynaložit, jestliže jako prodejce a výrobce počítačových sestav musí poskytovat na svoje produkty pro koncové zákazníky minimálně dvouletou záruční lhůtu. Analýza byla provedena i pro prodlouženou tří a čtyřletou záruční dobu. Zde sehrála životnost zdroje klíčovou úlohu při stanovení výše nákladů, neboť na zdroj byla od jednotlivých dodavatelů poskytována nanejvýš dvouletá záruční doba, a proto při selhání zdroje po jeho záruce by firma musela hradit i náklady na nákup nového zdroje. Navíc u krátké životnosti zdroje může dojít s daleko větší pravděpodobností ke třetí reklamaci a vrácení peněz zákazníkovi, kdy náklady představují většinu ceny počítačové sestavy.

Pro určení doby životnosti zdroje byla využita metoda statistického modelování, za použití Weibullova rozdělení. Parametry Weibullova rozdělení byly odhadnuty v programu @RISK ze vzorku empiricky zjištěných dob životností zdrojů od jednotlivých dodavatelů.

Z výsledků analýzy nákladů, jak ukazují tabulky 14, 15 a 16, vyplývá, že firmě se v žádném případě nevyplatí odebírat zdroje od dodavatele C, i když je jejich pořizovací cena nejnižší, neboť součet této ceny a nákladů, které pak firma vydá během záruční doby poskytované na počítač, je daleko vyšší než náklady, které takto vzniknou, pokud firma bude do počítačů montovat zdroje od dodavatelů B nebo A. To platí u všech délek záruční doby na počítačovou sestavu, dvouleté, tříleté i čtyřleté.

Pro středně drahý zdroj od dodavatele B se firma podle analýzy nákladů rozhodne v případě dvouleté záruční doby na počítač, neboť zde jsou celkové náklady dané součtem ceny zdroje a ceny jeho údržby během záruční doby nejnižší.

Jestliže však firma bude chtít poskytovat rozšířenou záruční lhůtu na svoje počítačové sestavy, tří a čtyřletou, je podle analýzy nákladů nutné vzhledem k délce životnosti zdroje do sestav instalovat nejdražší zdroj od dodavatele A. V tomto případě součet ceny zdroje a nákladů nutných na jeho údržbu během prodloužené záruční lhůty vychází nejlépe.

Spolehlivost má tedy zásadní význam nejen z hlediska funkčnosti a bezpečnosti jednotlivých systémů, ale také z hlediska ekonomického, neboť jak z výsledků analýzy nákladů vyplývá, i když budou prvotní náklady potřebné na pořízení konkrétního produktu nízké, ale tento produkt nebude mít dostatečnou spolehlivost, může celkový součet pořizovacích nákladů a nákladů potřebných na udržení jeho funkčního stavu po dobu jeho užívání daleko přesáhnout tento součet nákladů u produktu, který bude mít sice pořizovací cenu vyšší, ale díky jeho větší spolehlivosti budou náklady na údržbu během jeho užívání daleko nižší. Samozřejmě vždy je nutné brát v úvahu konkrétní délku doby užívání a mnoho dalších faktorů, které mohou mít vliv na celkové náklady.

SUMMARY

The main goal of this diploma thesis “IT systems reliability” is to analyse and suggest the best PC component seller according to criterion of minimum costs for guarantee services.

The first important thing was to identify the most critical PC component which is defined as component that can potentially cause dysfunctional state of a computer. This critical component was identified by using the failure tree analysis method which attempts to model and analyse failure processes of engineering systems. This technique is basically composed of a logical diagram that displays the state of the system and is constructed using the graphical design technique. An undesired effect – dysfunctional state is taken as the root (top event) of a tree of logic. This method then looks into each situation (component failure e.g.) that could cause the top event. The most critical component was chosen on the basis of actual numbers about failure probabilities.

Companies building and dealing personal computers have to decide which most critical PC component seller to choose. Their decision depends on the most critical component price and on costs spent for service during the PC warranty period. It was considered that buying the cheapest critical PC components brings the highest costs necessary for computer warranty service due shorter failure-free runs so the company should preferably choose a compromise between price and quality.

Costs needed for guarantee services were calculated by using simulation of the most critical PC component lifetime. Whole process of modeling failure-free time of PC components run uses Weibull distribution and starts with an estimation of parameters of Weibull distribution on the basis of sample of lifetime concrete PC components. Lifetime simulation of the most critical PC components was performed with the program @RISK. The lifetime of a particular component follows the Weibull distribution. There were 1000 iterations in each simulation. The total costs needed during the PC warranty were determined on the basis of the simulation outputs.

The conclusion has confirmed that costs needed for guarantee services in case of using the cheapest components are very high. Even though the acquisition price for

these components is low, the total costs needed for buying and maintaining them during the PC guarantee span are higher than if the company chooses critical component dealer with a higher component price and with a longer component lifetime.

PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY A OSTATNÍCH ZDROJŮ

Publikace:

- BARLOW, R. *Mathematical Theory of Reliability*. John Wiley & Sons, 1965. 256 s.
- DeVor, R.E., et. al. *Statistical Quality Design and Control (Contemporary Concepts and Methods)*. U.S.A. : McMillan Publ., 1992. ISBN 0-02-329180-X.
- HANOUSEK, J., CHARAMZA, P. *Moderní metody zpracování dat – matematická statistika pro každého*. Praha : Grada, 1992. ISBN 80-85623-31-5.
- LEITL, R. *Spolehlivost elektrotechnických systémů*. Praha : SNTL, 1990. 278 s. ISBN 80-03-00408-X.
- MEEKER, W. Q., ESCOBAR, L. A. *Statistical Methods for Reliability Data*. New York : John Wiley & Sons, 1998.
- MYKISKA, A. *Bezpečnost a spolehlivost technických systémů*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004. 206 s. ISBN 80-01-02868-2.
- MYKISKA, A. *Spolehlivost v systémech jakosti*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1995. 103 s. ISBN 80-01-01262-X.
- PALISADE CORPORATION. *@Risk advanced risk analysis for spreadsheets*. Newfield : Palisade Corporation, 2002. 499 s.
- NOVÁK, M. *Problémy spolehlivosti, životnosti a bezpečnosti systémů*. Praha : Ústav informatiky AV ČR, 2005. 268 s. ISBN 80-90329-82-9.
- NOVÁK, M., ŠEBESTA, V., VOTRUBA, Z. *Bezpečnost a spolehlivost systémů*. 2. přeprac. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003. 160 s. ISBN 80-01-02807-0.
- SHELDON, M. ROSS. *Simulation, Fourth Edition (Statistical Modeling and Decision Science)*. Elsevier Science & Technology Books, 2006. 298 s. ISBN 97-8012-5980-630.
- STARÝ, I. *Spolehlivost systémů*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1998. 120 s. ISBN 80-01-01756-7.
- STARÝ, I. *Teorie spolehlivosti*. Praha : Ediční středisko ČVUT, 1991. 172 s. ISBN 80-01-00551-8.
- TAG GON, KIM. *Theory of Modeling and Simulation*. Elsevier Science & Technology Books/microsoft, 200. 510 s. ISBN 97-8012-7784-557.
- VOTRUBA, Z., KALIKA, M., KLEČÁKOVÁ, J. *Systémová analýza*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004. 193 s. ISBN 80-01-02896-8.
- WINSTON, WAYNE L. *Microsoft Excel Data Analysis And Business Modeling*. Microsoft, 2004. 624 s. ISBN 0-7356-1901-8.
- WINSTON, WAYNE L. *Simulation Modeling Using @Risk: Updated for Version 4*. Duxbury Resource Center, 2000. 240 s. ISBN 0-53-438059-X.

Časopisy:

NOVÁK, Mirko. Oblasti přijatelnosti parametrů elektronických soustav. *Slaboproudý obzor*, 1985, vol. 46, no. 7, p. 313-319

NOVÁK, Mirko. Optimalizace tolerancí parametrů technických soustav a celků z hlediska výrobní a provozní ekonomie. *Strojírenství*, 1986, vol. 36, no. 11, p. 646-655

Elektronické dokumenty:

Efektivní zpracování informací na úrovni závodu [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz/>>

Matematické metody analýzy spolehlivosti v moderním informačním systému řízení údržby [online]. [cit. 2009-03-03]. Dostupný z WWW: <http://www.datapartner.cz/events/docs/matematicke_metody_09_2007.pdf>

Rychlost, přesnost a spolehlivost [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com>>

Systémy pro operativní řízení výroby [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.systemonline.cz>>

Weibullovo rozdělení při analýzách bezporuchovosti [online]. [cit. 2009-01-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/02017/index.html.cz>>

Normy:

ČSN EN 62347 (010696) : Návod pro specifikace spolehlivosti systémů.2007

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Definice spolehlivosti, jejích dílčích vlastností a jejich kombinací.....</i>	<i>7</i>
<i>Tabulka 2: Hierarchické uspořádání managementu organizace, jakosti rizik a spolehlivosti</i>	<i>8</i>
<i>Tabulka 3: Členění životního cyklu výrobků na pět etap podle norem IEC.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabulka 4: Symboly diagramu stromu poruch (podle IEC 1025).....</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 5: Počet kusů prodaných počítačů za roky 2003-2007</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 6: Zastoupení komponent v sestavě PC.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 7: Počty vadných vyreklamovaných komponent.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 8: Úroveň jakosti komponentů PC.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 9: Ceny a záruční lhůty dodavatelů zdrojů.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 10: Simulace doby životnosti zdroje od dodavatele A.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabulka 11: Simulace doby životnosti zdroje od dodavatele B.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 12: Simulace doby životnosti zdroje od dodavatele C</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 13: Celkové náklady potřebné na opravu zdroje – výstup z programu @RISK.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka 14: Celkové náklady firmy při dvouleté záruce na počítač.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabulka 15: Celkové náklady firmy při tříleté záruce na počítač.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabulka 16: Celkové náklady firmy při čtyřleté záruce na počítač</i>	<i>69</i>

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1: Křivka hustoty pravděpodobnosti a ilustrování významu plochy pod křivkou.....</i>	<i>23</i>
<i>Graf 2: Vztah mezi pravděpodobností poruchy $R(t)$ a pravděpodobností bezporuchového stavu $F(t)$ s vazbou na plochu pod křivkou hustoty pravděpodobnosti</i>	<i>24</i>
<i>Graf 3: Funkce hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení pro různé parametry tvaru (při konstantním parametru měřítka $\eta=2$ a parametru umístění $\gamma=0$).....</i>	<i>26</i>
<i>Graf 4: Weibullův pravděpodobnostní graf.....</i>	<i>28</i>
<i>Graf 5: Počty prodaných počítačů během let 2003-2007</i>	<i>44</i>
<i>Graf 6: Strom poruchových stavů počítačové sestavy</i>	<i>49</i>
<i>Graf 7: Histogram doby životnosti zdroje od dodavatel A.....</i>	<i>55</i>
<i>Graf 8: Histogram doby životnosti zdroje od dodavatele B.....</i>	<i>56</i>
<i>Graf 9: Histogram doby životnosti zdroje od dodavatele C.....</i>	<i>57</i>
<i>Graf 10: Histogram nákladů u dvouleté záruční lhůty - dodavatel A.....</i>	<i>63</i>
<i>Graf 11: Histogram nákladů u dvouleté záruční lhůty - dodavatel B.....</i>	<i>64</i>
<i>Graf 12: Histogram nákladů u dvouleté záruční lhůty - dodavatel C.....</i>	<i>64</i>
<i>Graf 13: Histogram nákladů u tříleté záruční lhůty - dodavatel A.....</i>	<i>65</i>
<i>Graf 14: Histogram nákladů u tříleté záruční lhůty - dodavatel B.....</i>	<i>66</i>
<i>Graf 15: Histogram nákladů u tříleté záruční lhůty - dodavatel C.....</i>	<i>66</i>
<i>Graf 16: Histogram nákladů u čtyřleté záruční lhůty - dodavatel A.....</i>	<i>67</i>
<i>Graf 17: Histogram nákladů u čtyřleté záruční lhůty - dodavatel B.....</i>	<i>68</i>
<i>Graf 18: Histogram nákladů u čtyřleté záruční lhůty - dodavatel C</i>	<i>68</i>