

ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST
Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

27. SETKÁNÍ
ODBORNÉ SKUPINY PRO SPOLEHLIVOST

pořádané výborem Odborné skupiny pro spolehlivost
k problematice

POČÍTAČOVÁ PODPORA
VE SPOLEHLIVOSTI



Materiály z 27. semináře
odborné skupiny pro spolehlivost

Praha, červen 2007

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| Zdroje informací o spolehlivosti na Internetu | 3 |
| <i>prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc., Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany</i> | |
| Producenti software pro spolehlivost a jejich současná nabídka | 11 |
| <i>Ing. David VALIŠ, PhD., Katedra bojových a speciálních vozidel, Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany</i> | |
| Přehled metod a nástrojů pro odhad bezporuchovosti prvků | 24 |
| <i>Ing. Michal VINTR, Ústav metrologie a zkušebnictví, FSI VUT v Brně</i> | |
| Software Relex a možnosti jeho využití při odhadu bezporuchovosti elektrotechnických prvků | 35 |
| <i>Ing. Marta VÁVROVÁ, Oddělení spolehlivosti AŽD Praha s.r.o.</i> | |
| Reliasoft BlockSim a zkušenosti s jeho využitím k analýzám bezporuchovosti letadlových soustav | 45 |
| <i>Ing. Jiří HLINKA, PhD., Letecký ústav, FSI VUT v Brně</i> | |

Zdroje informací o spolehlivosti na Internetu

Prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc.

Univerzita obrany,
Kounicova 65, 612 00 Brno, E-mail: zdenek.vintr@unob.cz

1. Úvod

Internet dnes představuje zdroj nepřehledného množství informací ze všech oblastí lidské činnosti a oblast spolehlivosti zde není žádnou výjimkou. Každý zájemce o problematiku tak může na Internetu nalézt mnoho užitečných informací, které jsou v případě potřeby snadno a rychle dostupné. Samozřejmě pouze za podmínky, že víme kde je hledat.

Cílem tohoto článku je proto prezentace těch míst na Internetu, kde lze užitečné informace o spolehlivosti nalézt. Následující přehled je výběrem toho nejlepšího co podle názoru autora lze z daného oboru na síti objevit a je třeba říci, že to reprezentuje souhrnný výsledek mnoha let brouzdání po síti právě při hledání informačních zdrojů o spolehlivosti.

Článek s obdobným zaměřením byl již jednou na setkání Odborné skupiny pro spolehlivost ČSJ v roce 2003 prezentován, ale léta běží a vše kolem nás se mění a Internet zvláště dynamicky. Proto se autor příspěvku znovu k problematice informací o spolehlivosti na Internetu vrátil a původní příspěvek aktualizoval, doplnil a nyní ho zájemcům překládá k využití.

Jednotlivé informační zdroje jsou zde uváděny jen s velice stručným komentářem, případně i bez něj, protože se očekává, že zájemce o příslušné informace se může s každým zdrojem přímo podrobně seznámit právě cestou Internetu.

2. Specializované webové stránky

Dále je uveden výběr webových stránek, které se prioritně věnují problematice spolehlivosti a kde jsou dostupné kvalitní informace z této oblasti.

RIAC - Reliability Information Analysis Center

<http://quanterion.com/RIAC>

Centrum je účelovým zařízením Ministerstva obrany USA. Má za cíl poskytovat všestrannou podporu účastníkům akvizičních procesů v působnosti ministerstva v oblasti zabezpečování spolehlivosti. Na serveru lze nalézt rozsáhlou nabídku publikací, software a vzdělávacích aktivit v oblasti spolehlivosti. Jeden z nejznámějších produktů centra je rozsáhlý soubor databází informací o bezporuchovosti mechanických (NPRD-95) a elektronických (EPRD-97) prvků. Za pozornost také stojí sekce s reprezentativním a velmi dobře seřazeným přehled odkazů na další informační zdroje z oblasti spolehlivosti.

ReliabilityWeb

<http://www.reliabilityweb.com>

Webové stránky zaměřené na problematiku spolehlivosti. Obsahuje velké množství informací, užitečných odkazů, odborných článků, diskusní forum atd. Možnost přihlášení k odběru elektronického magazínu o spolehlivosti.

SRC – System Reliability Center

<http://src.alionscience.com>

Centrum bylo zřízeno korporací „Alion Science and Technology“ ke komerční podpoře Ministerstvem obrany USA, civilních vládních agentur a podniků především z oblasti obranného průmyslu. Centrum zabezpečuje expertní služby, informační podporu a vzdělávání odborníků v oblasti spolehlivosti. Na svém serveru nabízí propracovaný systém informací o publikacích, normách, softwarové podpoře a vzdělávání v oblasti spolehlivosti. Velké množství dobře seřazených odkazů a diskusní fórum. Zajímavá je nabídka vlastních produktů. Možnost bezplatného stažení kvalitních odborných textů.

Weibull.com

<http://www.weibull.com>

Web provozovaný společností Reliasoft (producent software pro spolehlivost), který přináší komplexní podporu v oblasti spolehlivosti pro každého zájemce. K volnému využití jsou zde elektronické učebnice špičkové úrovně, přehledně tříděné odkazy, freeware pro oblast spolehlivosti, mimořádně kvalitní diskusní fórum a mnoho dalších užitečných věcí. Patrně to nejlepší co lze v oblasti spolehlivosti na webu najít.

Barringer & Associates

<http://www.barringer1.com/>

Webové stránky poradenské firmy nabízející k bezplatnému stažení řadu kvalitních textů a softwarových produktů z oblasti spolehlivosti.

Quanterion Solutions

<http://quanterion.com>

Web poradenské firmy z oblasti spolehlivosti obsahující množství odborných textů a výukových prezentací. Možnost vyhledávání výzkumných zpráv, příruček a standardů dle klíčových slov v rozsáhlém souboru publikací z oboru (více jak 4000 publikací).

Reliability Centered Maintenance

<http://logistics.navair.navy.mil/rcm/>

Jedná se o součást webu provozovaného Vojenským námořnictvem USA, která je zaměřena na aplikaci RCM u zbraňových systémů vyvíjených pro potřeby námořnictva. Volně ke stažení jsou zde základní standardizační dokumenty a prezentace v PowerPointu pro kurzy RCM. Zdarma je zde také k dispozici plně funkční software pro aplikaci RCM.

Maintenance Resources

<http://www.maintenanceresources.com>

Webové stránky zaměřené na problematiku udržovatelnosti. Velké množství dobře tříděných informací a odkazů. Možnost objednání elektronického magazínu o udržovatelnosti.

Maintenance World

<http://www.maintenanceworld.com>

Webové stránky zaměřené na problematiku udržovatelnosti a údržby. Kvalitní obsah s množstvím odborných článků, které jsou volně ke stažení. Přístupné je zde velice živé diskusní fórum s vysokou odbornou úrovní, kde dostanete kvalifikovanou odpověď prakticky na každou otázku z oblasti spolehlivosti.

Plant Maintenance Resource Center

<http://www.plant-maintenance.com>

Profesionálně vedený informační zdroj všestranně pokrývající problematiku údržby a spolehlivosti. Volně přístupná je zde obsáhlá databáze odborných textů. Celkově vynikající úroveň.

Maintenance Online

<http://www.mt-online.com/>

Webové stránky zaměřené na problematiku údržby obsahující velké množství kvalitních odborných textů a dalších informací.

3. Časopisy

Dále je uveden přehled vybraných časopisů z oblasti spolehlivosti. Na příslušných adresách lze najít nejen informace o každém časopisu, ale často také obsah jednotlivých čísel, abstrakty či plné znění článků a řadu dalších zajímavých informací a odkazů.

3.1. Vědecké (impaktované) časopisy

Na všech webových stránkách dále uvedených časopisů je u každého článku volně přístupný abstrakt a články je možné za poplatek stáhnout. Je zde také možnost vyhledávání v názvech i plných textech článků dle klíčových slov.

Reliability Engineering & System Safety

http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/405908/description#description

Prestižní vědecký časopis věnovaný otázkám spolehlivosti a bezpečnosti.

IEEE Transactions on Reliability

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=24>

Prestižní vědecký časopis věnovaný otázkám spolehlivosti.

Microelectronics Reliability

http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/274/description#description

Vědecký časopis věnovaný otázkám bezporuchovosti mikroelektronických prvků.

IEEE Transactions on Device and Material Reliability

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=7298>

Vědecký časopis věnovaný otázkám bezporuchovosti elektronických prvků.

Quality and Reliability Engineering International

<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/jhome/3680>

Vědecký časopis věnovaný otázkám jakosti a bezporuchovosti.

Software Testing, Verification and Reliability

<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/jhome/13635>

Vědecký časopis zaměřený na otázky testování a bezporuchovosti software.

3.2. Elektronické časopisy

Maintenance Resources

Časopis pro profesionály z oblasti spolehlivosti. Zaměřeni na problematiku údržby výrobních zařízení.

<http://www.maintenanceresources.com/referencelibrary/ezone/subscribe.htm>

Reliability Newsletter

Zaměřeni na údržbu a bezporuchovost. Přihlášení k odběru:

<http://www.reliabilityweb.com/newsletter.htm>

Reliability HotWire

Velice pěkný časopis přinášející novinky z oboru a ukázky praktického řešení různých problémů z oblasti spolehlivosti. Přihlášení k odběru:

<http://www.weibull.com/hotwire/index.htm>

Reliability Edge

<http://www.reliabilitynews.com>

Čtvrtletník přinášející ukázky praktických řešení a informace o novinkách z oboru.

Warranty Week

<http://www.warrantyweek.com/>

Informaci z oblasti poskytování záruk. Informace o poruchovosti výrobků v záruční době. Souhrnné přehledy, srovnání výrobců, údaje o počtech reklamací.

4. Vydavatelství

Ve světě je vydáváno množství kvalitní literatury z oblasti spolehlivosti. Dále je uveden výčet nejvýznamnějších vydavatelství, v jejichž nabídkách se tituly z dané oblasti často objevují. Úspěšně lze odbornou literaturu také vyhledávat v internetových obchodech (např. <http://amazonia.com>).

Elsevier Science - <http://www.elsevier.nl>

John Wiley & Sons - <http://www.wiley.com>

Marcel Dekker - <http://www.dekker.com>

McGraw-Hill - <http://www.mcgraw-hill.co.uk>

Prentice Hall - <http://vig.prenhall.com>

Knihy není třeba vždy jen kupovat. Například velice pěknou příručku „Reliability Engineer's Toolkit", která má 267 stran je možno bezplatně stáhnout na následující adrese:

<http://quanterion.com/KnowledgeBase/ReliabilityToolkit.shtml>

Učebnice Spolehlivost letadlové techniky, která mimo jiné přináší ucelený přehled základů spolehlivosti je volně ke stažení na adrese:

<http://lu.fme.vutbr.cz/download.php>

5. Normy

Standardizační dokumenty dnes představují mimořádně důležitý zdroj informací o technikách zabezpečování spolehlivosti a na síti lze snadno zjistit, jaké normy existují a v řadě případů je možné tyto normy i bezplatně získat.

ASSIST – Acquisition Streamlining and Standardization Information System

<http://assist.daps.dla.mil>

Souhrnné přehledy amerických vojenských norem – u většiny z nich možnost bezplatného stažení ve formátu pdf. Obsahuje téměř 100 000 standardizačních dokumentů včetně hodnotného souboru norem pro bezporuchovost, udržovatelnost, bezpečnost a logistiku. Bez registrace lze do systému vstoupit přes tlačítko „Quick Search“.

DSTAN – UK Defence Standardization

<http://www.dstan.mod.uk>

Souhrnné přehledy britských obranných standardů. Část dokumentů lze bezplatně stáhnout ve formátu pdf. K dispozici je rozsáhlý soubor kvalitních norem z oblasti spolehlivosti.

IEC International Electrotechnical Commission

<http://www.iec.ch>

Technická komise TC 56 „Dependability“ této standardizační organizace se zabývá tvorbou mezinárodních norem v oblasti spolehlivosti. Je zde možné nalézt přehled všech platných norem IEC i informace o připravovaných normách.

IHS Global

<http://global.ihs.com>

Souhrnný přehled technických norem všech významných standardizačních organizací. Možnost nákupu „on line“ u více jak 135 000 položek.

NATO Standardization Agreement

<http://www.nato.int/docu/standard.htm>

Informace o standardizaci v rámci NATO. Možnost bezplatného stažení vybraných dokumentů včetně spojeneckých publikací z oblasti jakosti a spolehlivosti.

Český normalizační institut

<http://domino.csni.cz>

Na serveru lze, mimo jiné, také vyhledat normy ČSN z oblasti spolehlivosti. Možnost nákupu norem v elektronické podobě. Odkazy na další standardizační instituce.

Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti.

<http://www.urosksj.army.cz/>

Obsahuje mimo jiné souhrnné přehledy všech standardizačních dokumentů NATO a Českých obranných standardů. Většinu obranných standardů lze bezplatně stáhnout ve formátu pdf včetně souboru standardů z oblasti jakosti a spolehlivosti.

5. Profesní organizace

Profesní organizace tradičně sehrávají důležitou roli při vědeckém a technickém rozvoji v každé oblasti, spolehlivost nevyjímaje. Dnes je také běžné, že tyto organizace ke své činnosti široce využívají právě Internet.

Česká společnost pro jakost, Odborná skupina pro spolehlivost

http://www.csq.cz/cz/ocsj04_01.asp

Informace o činnosti skupiny. Přehled norem a literatury z oblasti spolehlivosti. Činnost odborné skupiny by neměla uniknout pozornosti žádného vážného zájemce o spolehlivost. Skupina organizuje pravidelná setkání zaměřená vždy na vybranou problematiku z oblasti spolehlivosti. Přednášejí zkušení odborníci z akademického prostředí i praxe. Účast na setkáních je bezplatná a každý účastník obdrží sylab s přednáškami.

American Society for Quality, Reliability Division

<http://www.asq.org/reliability>

Sekce spolehlivosti působící v rámci americké společnosti pro jakost. Informace o činnosti, konferencích, publikacích atd. Velké množství užitečných odkazů.

ESRA – European Safety & Reliability Association

<http://www.esrahomepage.org>

Významná evropská profesní organizace. Na webu informace o činnosti, akcích publikacích atd. Velice dobře uspořádané odkazy na další zdroje.

ESReDA -European Safety, Reliability and Data Association

<http://www.esreda.org>

Evropská profesní organizace založena na podporu výzkumu, aplikací a vzdělávání v oblasti spolehlivosti a bezpečnosti. Informace o činnosti a pořádaných akcích.

IAPSAM – International Association for Probabilistic Safety Assessment & Management

<http://www.iapsam.org>

Mezinárodní organizace, jejímž prioritním cílem je pořádání mezinárodních konferencí zaměřených na problematiku hodnocení a řízení rizik a zabezpečování spolehlivosti složitých systémů.

IEEE Reliability Society

<http://www.ieee.org/portal/site/relsoc>

Významná mezinárodní profesní organizace. Zdroj informací o různých akcích, literatuře, normách atd.

SAE - Society of Automotive Engineers, Reliability, Maintainability, Supportability, and Logistics Division

<http://www.sae.org/technicalcommittees/g11.htm>

Sekce spolehlivosti působící v rámci americké společnosti automobilových inženýrů. Podílí se na tvorbě standardů. Informace o činnosti, akce, publikace, diskusní fórum.

Safety and Reliability Society

<http://www.sars.org.uk>

Mezinárodní profesní organizace se sídlem ve Velké Británii. Na webu informace o činnosti a akcích. Užitečné odkazy.

Society for Maintenance & Reliability Professionals

<http://www.smrp.org>

Mezinárodní profesní organizace se sídlem v USA. Na webu informace o činnosti a různých akcích, užitečné odkazy, odborné stati.

Society of Reliability Engineers

<http://www.sre.org>

Americká profesní organizace s pobočkami na celém světě. Vydává časopis Lambda. Na webu informace o činnosti, odborné články, odkazy. Roční členský poplatek je jen 10 USD.

6. Vzdělávání

U nás i v zahraničí existuje řada škol, kde je vyučována problematika spolehlivosti na vysoké úrovni. Dále jsou uvedeny jen tři university (shodou okolností jsou všechny z USA), kde se problematika spolehlivosti, podle mého názoru, vyučuje na skutečně špičkové úrovni a kde lze studovat spolehlivost i jako studijní obor.

University of Maryland – Reliability Engineering (USA)

<http://www.enre.umd.edu>

Poskytuje bakalářské, magisterské a doktorské vzdělání v oborech:

- Reliability Engineering,
- Microelectronics Reliability Engineering,
- Software Reliability Engineering.

Na serveru informace o studijních programech, podmínkách studia a vědecké práci. Významný zdroj nejrůznějších informací z oblasti spolehlivosti. Řada užitečných odkazů.

Rutgers University – Quality and Reliability Engineering (New Jersey, USA)

http://coewww.rutgers.edu/ie/Quality_rel/index.html

George Washington University – Institute for Reliability and Risk Analysis

<http://www.gwu.edu/~stat/irra/index.html>

7. Poradenské firmy

Poradenstvím a expertními službami v oblasti spolehlivosti se zabývá, zejména v zahraničí, velké množství společností. Dále je uveden výběr těch společností, na jejichž webových stránkách lze nalézt zajímavé informace.

Advanced reliability Technologies

<http://www.artllc.com>

Nabídka služeb a software, odkazy.

Barringer & Associates, USA

<http://www.barringer1.com>

Obsahuje velké množství zajímavých informací. Např.: řadu odborných článků, databáze údajů o spolehlivosti, užitečné odkazy, bezplatný software pro spolehlivost atd.

Equipment reliability Institute

<http://www.equipment-reliability.com>

Prezentace služeb, Odborné články, informace odkazy.

MTain - Reliability, Maintainability, Logistics Support Engineering Services

<http://www.mtain.com>

Nabídka služeb. Kvalitní odborné texty.

Raytheon – Reliability Analysis Laboratory, USA

<http://www.reliabilityanalysislab.com>

Reliability Center, USA

<http://www.reliability.com>

Reliability Direct

<http://www.reliabilitydirect.com>

Stránky zaměřené především na problematiku diagnostiky. Obsahuje však velké množství dobře utříděných odkazů a informací z oblasti spolehlivosti.

System Reliability Institute

<http://www.abs-jbfa.com>

Zajímavá nabídka kurzů a školení z oblasti spolehlivosti.

8. Software pro podporu spolehlivosti

Velice významným zdrojem kvalitních informací z oblasti spolehlivosti jsou webové stránky jednotlivých producentů software pro použití ve spolehlivosti. Kromě informací o komerčně nabízených produktech zde ve většině případů naleznete možnost stažení funkčních demoverzí či časově omezených plných verzí. Často je zde také k dispozici nabídka kvalitní odborné literatury (manuály, články atd.)

Odkazy na webové stránky nevýznamnějších výrobců software naleznete v článku kolegy Ing. Davida VALIŠE, PhD., který je součástí tohoto sylabu a přináší podrobný přehled z této oblasti.

9. Závěr

Přehled informačních zdrojů z oblasti spolehlivosti, který je zde prezentován nelze v žádném případě považovat úplný a vyčerpávající. Takový dokonalý přehled ani vzhledem k charakteru Internetu nelze připravit (obrovský rozsah dynamicky se měnících informací). V každém případě je zde však uvedeno vše co by vážnému zájemci o problematiku spolehlivosti nemělo zůstat utajeno.

Funkčnost všech uvedených odkazů byla při přípravě článku ověřena (začátek června 2007), to však nevylučuje možnost toho, že časem svoji funkčnost ztratí – změna je život.

Uvítám jakékoliv informace o zajímavých místech na síti, které nějakým způsobem souvisí s problematikou spolehlivosti.

Software pro podporu spolehlivosti

Ing. David VALIŠ, Ph.D.

Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany v Brně
Kounicova 65, 612 00 Brno, E-mail: david.valis@unob.cz

Úvod

V této přednášce je uveden přehled nejvýznamnějších světových producentů software pro použití ve spolehlivosti. U většiny prezentovaných společností je také uveden základní výčet nabízených produktů včetně stručné charakteristiky a cenových relací (pokud bylo možné je získat a byly k dispozici). Zde je na místě podotknout, že téměř každý z uvedených producentů poskytuje významné slevy pro případ použití software k nekomerčním účelům (školy). V některých případech lze dokonce vyjednat bezplatné poskytnutí produktu.

Podrobnější informace může každý zájemce nalézt přímo na webových stránkách, které jsou u každého producenta uvedeny.

Téměř bez výjimky všichni producenti na svých webových stránkách nabízí možnost stažení funkčních demoverzí či časově omezených plných verzí. V mnoha případech je zde také k dispozici nabídka kvalitní odborné literatury (manuály, články atd.)

1. *Item Software, USA*

<http://www.itemsoft.com>

Produkty:

ITEM Toolkit: Integrovaný systém pro predikci a analýzu spolehlivosti složitých technických systémů. Zahrnuje následující nástroje:

a) **Prediction toolkit:** Soubor nástrojů pro předpověď bezporuchovosti zahrnující následující moduly:

- **MIL-217:** Predikce bezporuchovosti elektronických prvků založená na aplikaci americké vojenské normy MIL-HDBK-217 (Reliability Prediction of Electronic Equipment). Cena: 1 248,- €.
- **BELLCORE/Telcordia:** Predikce bezporuchovosti elektronických prvků založená na aplikaci normy firmy Bellcore TR-332 Issue 6 a SR Issue 1 (Bellcore Reliability Prediction Procedure). Cena: 1 248,- €.
- **NSWC:** Predikce bezporuchovosti mechanických prvků založená na aplikaci americké normy NSWC 98/LE1 (Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment). Normu vypracoval Naval Surface Warfare Center - výzkumné zařízení Amerického vojenského námořnictva. Cena: 1 248,- €.
- **RDF 2000:** Predikce bezporuchovosti vycházející z postupů francouzské telekomunikační normy (dříve označované UTE C 80-810). Dnes je založena na IEC 62 380 TR Edition 1 „Reliability calculation guide for electronic components and optical cards“. Cena: 1 248,- €.

- **CHINA 299B:** Predikce bezporuchovosti založená na aplikaci čínské vojenské normy CHINA 299B. Cena: 1 248,- €.
- b) **Analytic Tools:** Soubor nástrojů pro analýzu bezporuchovosti a udržitelnosti systému zahrnující následující moduly:
- **FMECA:** FMECA založená na postupech americké vojenské normy MIL-STD-1629A, dále BS 5760 Part 5 (British Standard), ISO 9000, ISO 14 971 a IEC 61 508. Cena: 1 498,- €.
 - **RBD:** Analýza blokového diagramu bezporuchovosti. Cena: 1 498,- €.
 - **Fault Tree:** Analýza stromu poruch. Cena: 2 748,- €.
 - **Markov:** Markovova analýza. Cena: 998,- €.
 - **MainTain:** Udržitelnost podle americké vojenské normy MIL-HDBK-472, Procedure V, Metod A. Cena: 998,- €.
 - **SpareCost:** Kalkulace náhradních dílů. Cena: 998,- €.
 - **ITEM-QA:** FMEA pro automobilový průmysl vycházející z norem řady ISO 9000.
 - **DBB:** Komponenta pro vzájemné vhodné propojení prací s ETA a FTA.
 - **IQRAS:** Item Quantitative Risk Assessment je velmi komplexní softwarový nástroj založený na podpoře rozšířeného operačního systému Windows. Je sestaven pro provádění pravděpodobnostních hodnocení rizika (PRA – Probabilistic Risk Assessment).

2. *Relex Software, USA*

<http://www.relexsoftware.com/>

Produkty:

Všechny produkty jsou sdruženy pod tzv. RELEX Reliability Studio 2007, které obsahuje níže uvedené produkty. Ke každému produktu lze nalézt velké množství doplňujících a upřesňujících informací.

- **Relex Reliability Prediction Engine:** Predikce bezporuchovosti využívající řadu metod a postupů. Např. standardizované postupy popsané v normách MIL-HDBK-217 a Bellcore 332, metodu počítání z dílů a řadu dalších. Cena jednoho modulu: 2 000,- €. (Universita 75% sleva na uvedené ceny a plnou uživatelskou podporu).
- **Relex Reliability Prediction Analysis:** Analýza a předpověď bezporuchovosti umožňující import dat z různých vývojových a projekčních systémů. Systém využívá přístup do rozsáhlé databáze Relex obsahující údaje o bezporuchovosti různých prvků. Cena jednoho modulu: 5 395,- €. (Universita 75% sleva na uvedené ceny a plnou uživatelskou podporu).
- **Relex RBD:** Tvorba a vyhodnocování blokových diagramů bezporuchovosti založená na použití metody Monte Carlo. Cena: 3 595,- €. (Universita 75% sleva na uvedené ceny a plnou uživatelskou podporu).
- **Relex OpSim:** Simulace a optimalizace složitých systémů. Využívá blokových diagramů bezporuchovosti a umožňuje modelovat i širokou škálu ukazatelů udržitelnosti. Vhodný k analýzám nákladů a optimalizaci údržby. Cena: 5 995,- €. (Universita 75% sleva na uvedené ceny a plnou uživatelskou podporu).

- **Relex Weibul:** Nástroj pro analýzu dat o spolehlivosti. Obsahuje všechny běžně užívané metody a postupy hodnocení dat včetně sledování vývojových trendů. Zahrnuje nástroje pro racionální plánování zkoušek. Cena: 1 095,- €. (Universita 75% sleva na uvedené ceny a plnou uživatelskou podporu).
- **Relex FMEA/FMECA:** Analýzy podle různých standardizovaných i uživatelsky definovaných postupů. Obsahuje rozsáhlou databázi informací o druzích poruch elektronických i mechanických prvků (EPRD-95 a FMD-97) a je v souladu se standardy MIL-STD-1629A, SAE ARP 5580, SAE J1739, IEC 60 812 a BS 5760. Cena: 2 995,- €. (Universita 75% sleva na uvedené ceny a plnou uživatelskou podporu).
- **Relex Fault Tree/Event Tree:** Tvorba a vyhodnocení stromů poruchových stavů a stromů událostí. Cena: 5 995,- €. (Universita 75% sleva na uvedené ceny a plnou uživatelskou podporu).
- **Relex Maintainability Prediction:** Vyhodnocení (predikce) všech běžně používaných ukazatelů udržitelnosti. Zahrnuje řadu standardizovaných postupů (MIL-HDBK-472, Procedures 2, 5A and 5B, MIL-STD-1388 2B LSAR, etc.). Cena: 2 995,- €. (Universita 75% sleva na uvedené ceny a plnou uživatelskou podporu).
- **Relex LCC:** Výkonný nástroj pro výpočet nákladů životního cyklu výrobků (od návrhu, výroby, provozu, záruky, oprav až po vypořádání). Umožňuje realizaci různých optimalizačních úloh a analýz citlivosti. Cena: 2 995,- €. (Universita 75% sleva na uvedené ceny a plnou uživatelskou podporu).
- **Relex Markov:** Nástroj pro analýzu technických aplikací v těch případech kdy se musíme nutně zabývat jednotlivými stavy systému. Proces založený na teorii Markovových procesů. Umožňuje výpočet ukazatelů bezporuchovosti, udržitelnosti a pohotovosti u složitých vícecestavových systémů. Cena: 3 595,- €. (Universita 75% sleva na uvedené ceny a plnou uživatelskou podporu).
- **Relex FRACAS (Failure Reporting, Analysis, and Corrective Action Systems) Management System:** Sledování a vyhodnocování spolehlivosti systémů v provozu. Umožňuje průběžné vyhodnocování základních ukazatelů bezporuchovosti, udržitelnosti a pohotovosti, provádění různých typů analýzy dat a sledování vývojových trendů. Cena: 5 995,- €. (Universita 75% sleva na uvedené ceny a plnou uživatelskou podporu).
- **Relex Human Factors Risk Analysis:** Na základě zkušeností z NASA (kde se projevy lidských chyb rovnají enormním lidským a především hmotným ztrátám) je zde adaptována metodologie pro hodnocení lidských chyb a hodnocení souvisejících rizik. Software je založen na přístupu Relex Human Factors Risk Analysis is based on a HF-PFMEA (Human Factors Process Failure Mode and Effects Analysis). Metodologie využívá poznatků z analýz a hodnocení lidské spolehlivosti a bezpečnosti při analyzování lidských procesů a úkolů, přičemž zaručuje snížení frekvence a zmírnění závažností důsledků lidských chyb. Cena: 2 995,- €. (Universita 75% sleva na uvedené ceny a plnou uživatelskou podporu).

3. ReliaSoft, USA

<http://www.reliasoft.com/>

Produkty:

- **Weibull++:** Komplexní nástroj pro analýzu dat o bezporuchovosti a životnosti. Zahrnuje aplikaci všech běžně používaných rozdělání (nejen Weibullovo). Cena: 896,- €. (6 a více uživatelů 356,- €)

- **ALTA:** Software pro plánování a vyhodnocování zrychlených zkoušek bezporuchovosti. Jediný komerčně dostupný produkt tohoto typu. V současnosti je v nabídce ve dvou verzích. ALTA 7 Standard – vstupní úroveň i nástroje pro základní kvantitativní analýzy zrychlených zkoušek životnosti. Cena: 1 346,- €. ALTA 7 PRO pokročilé schopnosti pro vyhodnocení dat ze zkoušek i s možným časovým zatížením až pro 8 různých souběžných časových zatížení. Cena: 4 496,- €. (Upgrade z ALTA 7 Standard 3 325,- €)
- **BlockSim:** Produkt pro modelování bezporuchovosti, udržovatelnosti a pohotovosti založený na blokových diagramech bezporuchovosti. Produkt umožňuje provádění různých optimalizačních úloh, analýzu citlivosti, výpočty LCC, kalkulace náhradních dílu atd. Tento model lze kombinací provázat s rozsáhlou databází intenzity poruch nejenom elektronických součástek PRISM (slučuje a nahrazuje úspěšné databáze NPRD a EPRD) Cena: 2 696,- €.
- **MPC-3:** Nástroj pro tvorbu plánů údržby vycházející z americké letecké normy MSG-3 (Údržba zaměřená na bezporuchovost) vytvořeno v součinnosti se společností Honeywell Aircraft Engines and Systems. Cena: 4 496,- €.
- **RGA 6 (Reliability Growth Analysis Software Package):** Software pro vyhodnocování vývoje bezporuchovosti. Umožňuje aplikaci všech běžně užívaných modelů růstu bezporuchovosti. Je členěna na RGA 6 Standard– základní vstupní úroveň analýz růstu bezporuchovosti. RGA 6 PRO – obsahuje všechny doposud známé a používané možnosti pro analýzy růstu bezporuchovosti spolu s implementací pokročilých metod analýzy spolehlivosti. . Cena: RGA 6 Standard – 716,- €, RGA 6 PRO 2 696,- €.
- **Xfmea:** Software pro provádění FMECA/FMEA. Umožňuje provedení analýzy v souladu s řadou standardizovaných postupů i uživatelsky definovaným způsobem (AIAG FMEA – 3, J 1739, ARP 5580, MIL-STD-1629A, aj.). Cena: 1 796,- €.
- **RCM++:** software pro analýzu, management dat a sestavování hlášení pro RCM. Tento produkt je plně integrován s FMEA/FMECA v plné verzi. Je v souladu s průmyslovými standardy (MSG-3, SAE JA 1012). Cena: 4 496,- €.
- **RENO:** Jedná se o user-friendly, velmi centrováný na uživatelskou intuici, komplexní a jednoduchý software pro sestavování logických (deterministických) i pravděpodobnostních (stochastických) scénářů pro analýzy rizika, bezpečnosti, bezporuchovosti. Je vhodný i pro tzv. rozhodovací proces, plánování údržby, a v neposlední řadě i k optimalizaci skladového hospodářství a slabých míst (black jack). Cena: 1 796,- €.
- **LAMBDA Predict:** Jedná se o databázi spojující MIL-STD-217, Bellcore, NSWC-98, China 299B a RDF 2000 pro prediktivní analýzy bezporuchovosti. Obsahuje enormní knihovnu komponent se svými údaji o bezporuchovosti. Cena: 1 796,- €.
- **XFRACAS:** Jedná se o produkt, který je určen pro potřeby akvizice, management a analýzy bezporuchovosti produktu. Dále slouží ke shromažďování dat o jakosti a bezpečnosti z vícero zdrojů, přičemž umožňuje zpracovat i doporučené vhodné aktivity.

Pro všechny výše uvedené produkty je v případě zakoupení určité verze samozřejmostí kurz v potřebném rozsahu spolu se semináři, které se konají po celém světě a účast na nich lze zajistit on-line. Aktualizace software jsou již ošetřeny webovou aplikací stejně jako činnost některých modelů.

4. A.L.D. Software, Izrael

<http://www.ald.co.il>

Produkty:

- a) **RAM Commander:** Komplexní softwarový balík obsahující základní analytické nástroje uspořádané do následujících bloků:
- **Reliability and Availability:** Predikce bezporuchovosti a pohotovosti pro modely s elektronickými, elektromechanickými i mechanickými prvky. Možnost aplikace všech běžných standardizovaných postupů.
 - **Reliability Block Diagram (RBD):** Modelování a výpočet bezporuchovosti systémů s využitím metody Monte Carlo.
 - **Maintainability:** Predikce udržitelnosti (Založeno na MIL-HDBK-472, Procedure V., Method A) zařízení různých typů: letectví, pozemní aplikace, lodní a námořní aplikace, spolu jak s elektronickými tak mechanickými možnostmi provedení.
 - **Spare Parts analysis and optimization:** Výpočty spojené se zásobováním náhradními díly – určení potřebného počtu náhradních dílů, optimalizace zásob náhradních dílů. Je založen na dvou kritériích nákladů: Pravděpodobnost totálního dostatek náhradních dílů a jejich pohotovost.
 - **Derating:** Nástroj pro analýzu vlivu zatížení prvků (teplota, napětí, výkon ...) na jejich bezporuchovost. Nástroj umožňuje identifikaci přetěžovaných prvků v systému.
 - **Libraries and Data Import:** RAM commander umožňuje uživateli přístup do různých zdrojů informací o bezporuchovosti.
 - **FMECA:** Nástroj pro analýzu FMECA, který splňuje požadavky americké vojenské normy MIL-STD-1629A.
 - **Testability Analysis:** Submodul FMECA určený pro analýzu testovatelnosti systémů.
 - **Process & Design FMEA:** Modul určený k provádění konstrukční a procesní analýzy FMEA.
 - **FTA:** jedná se o jeden z unikátních modulů produktu RAM commander. Je plně integrován se všemi výše uvedenými komponentami.
 - **ETA:** nejrozšířenější metoda využívaná pro analýzy rizika složitých systémů.
 - **Safety Module:** RAM commander obsahuje modul pro komplexní implementaci nástroje analýzy bezpečnosti založenou na normě SAE APR 4761 vytvořená v součinnosti se společností AIRBUS.
- b) **D-LCC:** Komplexní softwarový balík pro analýzu nákladů životního cyklu. Umožňuje provádět různé analýzy nákladů, optimalizační výpočty a analýzy citlivosti. Sestává z následujících modulů:
- **Life Cycle Costing:** Umožňuje provádět analýzy LCC.
 - **Total Cost of Ownership:** Umožňuje porovnání a hodnocení alternativních návrhových přístupů, porovnání možných strategií, identifikaci cenově dostupných strategií, hospodaření s projektovým rozpočtem, dlouhodobé finanční plánování.

- **Cost Analysis:** Umožňuje aplikaci předem definovaných modelů LCC stejně jako umožňuje sestavit a aplikovat modely nové.
- **Convenience and Ease of Use:** Zde se jedná o jakousi knihovnu obsahující soubor určitých alternativ při vynakládání prostředků, dále obsahuje seznam jakýchsi období pro určité fáze životního cyklu,.

Společnost dodává také jednotlivé moduly samostatně. Součástí nabídky je i databáze PRISM.

Aktuální cenová nabídka (jednouživatelská licence):

- RAM Commander 2 000,- až 12 000, USD v závislosti na obsažených modulech (možné jsou různé kombinace).
- D-LCC 3 990, USD.

5. BQR Reliability Engineering, Izrael

<http://www.bqr.com>

Produkty:

- a) **CARE:** Software pro modelování spolehlivosti elektronických i mechanických systémů. Umožňuje provádění komplexních analýz spolehlivosti, modelování funkcí a potencionálních poruch a realizaci optimalizačních úloh. Produkt je založen na předpokladu, že systému bude pracovat v definovaném prostředí a může se porouchat náhodně v každém okamžiku pouze a jedině na základě inherentně „vložených“ rozdílení prouchy. Základ tvoří následující bloky:
- **MTBF:** Predikce bezporuchovosti mechanických i elektronických systémů, alokace požadavků na bezporuchovost. Báze Mil-HDBK-217, 217Plus, Bellcore, HRD-5, IEC 62380, SN-29500, NSWC-98 (Mechanical Parts), FIDES.
 - **Spice:** Subsystém MTBF. Automatický výpočet bezporuchovosti elektronických prvků s ohledem na jejich zatížení.
 - **SDTA:** Subsystém MTBF. Analýza zatížení prvků – umožňuje identifikaci přetěžovaných prvků i prvků nedostatečně využívaných.
 - **FMEA / FMECA:** Komplexní nástroj k provádění analýzy FMEA/FMECA.
 - **TA:** Subsystém FMEA/FMECA. Analýza testovatelnosti.
 - **FTA:** Analýza bezporuchovosti s využitím stromu poruchových stavů. Umožňuje analýzu i strukturálně složitých systémů s výskytem poruch se společnou příčinou.
 - **MTTR:** Predikce udržovatelnosti. Umožňuje provedení alokace požadavků na udržovatelnost.
 - **RBD:** Modelování a predikce spolehlivosti systémů s využitím diagramů bezporuchovosti. Umožňuje i modelování markovovských procesů.
 - **MRS:** Simulace bezporuchovosti mechanických systémů. Využívá metody konečných prvků. Umožňuje modelování různých mechanismů poruchy – lom, koroze, opotřebení atd. Obsahuje modul pro optimalizaci plánů údržby.
 - **mini – LSA:** Kalkulace náhradních dílů.
- b) **CAME:** Software pro analýzu a optimalizaci údržby. Slouží k zefektivnění údržby a k redukci zdrojového odpadu. Skládá se z následujících bloků:

- **LCC** – Nástroj pro analýzu nákladů životního cyklu.
 - **ORLA** – Software pro analýzu a optimalizaci systému nápravné údržby.
 - **PMO** – Software pro analýzu a optimalizaci systému preventivní údržby.
 - **S2A** – Software pro optimalizaci zásobování náhradními díly z hlediska pohotovosti.
 - **RCM** – Software pro tvorbu plánů údržby zaměřené na bezporuchovost.
 - **MSG3** – Údržba zaměřená na bezporuchovost založená na aplikaci americké letecké normy MSG3.
 - **LSA** - Software pro analýzu logistického zajištění.
- c) **CAfdE**: Software pro sběr a analýzu dat o spolehlivosti v provozu. Úzce provázán s výše uvedenými produkty.
- d) **SAMO (Strategic Zaset Maintenance Optimization)**: Jedná se o expertní systém pro optimalizaci údržby, která je řešena výrobcí, poskytovateli servisu (služeb) a organizacemi pro zajištění renovací a oprav. Slouží k kvalifikovanému provedení analýz, zlepšení a optimalizaci všech relevantních aspektů strategií údržby.
- e) **fiXtress**: Jedná se o produkt umožňující porovnávat výsledky simulací integrovaných obvodů s limity potřebnými pro jejich bezpečný provoz. Na základě těchto postupů je možné identifikovat problematické komponenty.

Cenová politika je individuální – pro každého uživatele se sestavují bloky podle konkrétních potřeb.

6. *IsographDirect, USA*

<http://www.isographdirect.com>

Produkty:

- **FaultTree+**: Nástroj pro tvorbu a analýzu stromu poruchových stavů a stromů událostí.
- **AvSim+**: Nástroj pro modelování a simulaci bezporuchovosti a pohotovosti využívající stromy poruchových stavů a blokové diagramy bezporuchovosti. Simulace jsou založeny na metodě Monte Carlo.
- **Reliability Workbench**: Software pro predikci bezporuchovosti využívající řady analytických metod. Např.: metoda FMECA, metoda analýzy blokového diagramu bezporuchovosti, metoda analýzy stromu poruchových stavů, metoda analýzy stromu událostí a Markovovy analýzy. Umožňuje aplikaci všech běžných standardizovaných metod odhadu bezporuchovosti za využití norem a zdrojů (např. MIL-STD-217, Bellcore, IEC TR 62380, RDF 2000 NSWC-98/LE1 Handbook for mechanical parts, etc.).
- **RCMCost**: Nástroj pro optimalizaci plánů údržby využívající zásad údržby zaměřené na bezporuchovost. Metody analýzy jsou založeny s ohledem na náklady, bezpečnost a životní prostředí. Obsahuje jakési vizualizované prostředí, kde je možné identifikovat důležité údržbové akce (např. za využití FMECA). Výpočetní modul je schopen kalkulovat důsledky stárnutí, náklady na zaplacení hodin práce údržbového personálu, nákladů na náhradní díly, aj. Vše s ohledem na operace preventivní údržby a inspekčních intervalů.
- **Hazop+**: Software pro předběžnou analýzu rizik a provozuschopnosti.

- **LCCWare:** Analýza nákladů životního cyklu umožňující zahrnutí všech složek nákladů od etapy výzkumu a vývoje, přes návrh, výrobu, provoz a údržbu až po vyřazení.
- **Markov:** Software pro analýzu vícestavových systémů s použitím Markovových technik.
- **WeibullPro:** Nástroj k analýze dat o poruchách a opravách.
- **RiskVu:** Nástroj pro hodnocení bezpečnosti založený na použití pravděpodobnostních nástrojů (PSA-Probabilistic Safety Assessment).
- **FRACAS+:** Nástroj určený pro sběr, zaznamenávání a analýzy systému poruch. Poruchy jsou tímto způsobem posouzeny, přičemž jsou korektivní zásahy identifikovány a verifikovány.
- **NAP:** Jedná se o Network Availability Program, který umožňuje uživateli provádět předpovědi pohotovosti a bezporuchovosti komunikačních sítí. Tento produkt využívá rozšířenou verzi metodologie RBD, která přiřazuje specifické charakteristiky prvků sítě a jejich připojení. Následně je dopočítávána pohotovost sítě. Tento nástroj je také schopen provádět určité klasifikování kritičnosti a vyhledávání potenciálních slabých míst v síti.
- **Osoliv Parts Libraries:** Jedná se o produkt, který pracuje v součinnosti s produktem IsoGraph. Jde o rozsáhlou databázi tisíců moderních elektronických a neelektronických součástek spolu s komplexním zdrojem dat o poruchách.
- **AttackTree:** Produkt sloužící k modelování bezpečnosti systému za využití metod FTA a ETA. Jedná se o modelování možných důsledků při teroristické aktivitě, bezpečnost vlasti, nájezdné útoky na počítačové systémy a podvodné pokusy na počítačových systémech.
- **Project management:** Zde je prezentován výkonný nástroj, který může být využit pro řízení projektu. Jednotlivé komponenty jsou propojeny s verzemi a produkty IsoGraph.

Ceny jednoživatelských licencí:

| | |
|--|-------------|
| FaultTree+ | 8,400,- EUR |
| AttackTree+ | £6000 |
| AvSim+ | £6000 |
| FaultTree+ | £6000 |
| FRACAS+ | £5000 |
| HAZOPPlus | £1800 |
| lccWare | £4500 |
| MKV | £3800 |
| NAP - Network Availability Program | £6000 |
| RCMCost | £6000 |
| RiskVu | £4500 |
| WeibullPro | £ 900 |
| AvSim+ | 8,400,- EUR |
| RCMCost | 6,300,- EUR |
| lccWare | 6,300,- EUR |
| WeibullPro | 1,260,- EUR |
| RiskVu | 2,520,- EUR |
| Reliability Workbench - FMECA Module | 5,320,- EUR |
| Reliability Workbench - RBD Module | 5,320,- EUR |
| Reliability Workbench - Maintainability Module | 5,320,- EUR |

Použití v universitních podmínkách 75% sleva! Demoverze na www.isograph-software.com.

7. LOGAN, Velká Británie

<http://www.rmclogan.co.uk>

Produkty:

- **LOGAN Fault and Event Tree Analysis:** Výkonný software pro tvorbu a analýzu stromu poruchových stavů a stromů událostí.
- **Monte Carlo Simulation:** Propracovaný systém umožňující simulaci bezporuchovosti a pohotovosti dvoustavových i vícestavových systémů využívající k modelování systémů blokové diagramy bezporuchovosti.

Cena je u obou produktů stejná: 2 500,- GBP. Možný je i pronájem na 1 týden (95,- GP) až jeden rok (1 500,- GBP).

8. Raytheon - Technical Services Company

<http://www.raytheon.com/businesses/rts/>

Produkty:

- **AIMSS (Advanced Integrated Maintenance Support System):** Software pro tvorbu elektronických interaktivních manuálů údržby.
- **ASENT (Advanced Speciality Engineering Networked Toolkit):** Integrovaný soubor softwarových nástrojů k provádění analýz bezporuchovosti a udržitelnosti užívající standardní analytické metody.
- **EAGLE (Enhanced Automated Graphical Logistics Environment):** Software pro podporu integrovaného logistického zajištění založený na standardizovaných postupech popsanych v americké vojenské normě MIL-STD-1388-2B.
- **gAME (Generalized Automated Maintenance Environment):** Modulární software pro podporu řízení údržby složitých strukturovaných systémů.

Všechny výše uvedené bloky tvoří provázaný systém respektující zejména požadavky Ozbrojených sil USA. Ceny se sjednávají individuálně.

9. ARINC, USA

<http://www.arinc.com/products/raptor/>

Produkt:

- **RAPTOR:** Umožňuje poměrně rychlé a jednoduché modelování bezporuchovosti, udržitelnosti a pohotovosti složitých technických systémů (výrobní továrna, komunikační síť, vojenské letadlo, aj.). K modelování jsou využity blokové diagramy bezporuchovosti.

Cena: jednorázová licence RAPTOR 6 – 1 695,- USD.

Některé starší limitované i plně funkční verze programu lze bezplatně získat na adrese: <http://www.barringer1.com/raptor.htm>.

10. SoHaR, Kanada

<http://www.sohar.com/>

Produkt:

- **MEADEP (Measurement - Based Dependability Analysis Tool):** Komplexní systém pro predikce bezporuchovosti a pohotovosti složitých systémů. Pro tvorbu modelů využívá

blokových diagramů bezporuchovosti a Markovových procesů. Cena: jednorázová licence 2 999,- USD.

- **Cost Commander:** Software pro analýzu nákladů životního cyklu. Dělený na LCC, Total Cost of Ownership, Cost Analysis.
- **SCAT (Sneak Circuit Analysis):** Analýza bludných obvodů. Slouží k identifikaci toku nechtěných proudů v obvodu, které mohou způsobit vypínání různých částí, relé, apod.

Na stránkách je k dispozici demo ke stažení.

11. DYADEM, Kanada

<http://www.dyadem.com>

Produkty:

- **FMEA-Pro:** Analýza FMEA koncipovaná pro široké použití – automobilový a letecký průmysl, obranný průmysl, elektronický průmysl i všeobecní výrobci.
- **FTA-Pro:** Nový produkt pro analýzy bezpečnosti a bezporuchovosti metodou FTA
- **PHA-Pro:** Softwarový nástroj umožňující provádění analýzy rizik všemi běžnými metodami (HAZOP, HACCP, What if, Check list, SIL, LOPA, SVA, PrHA, aj.).
- **FMEA for Medical Devices:** Software pro provádění analýzy FMEA u speciálního zdravotnického vybavení.
- **RiskSafe:** Program pro zlepšení bezpečnosti pracovního prostředí za využití identifikace potenciálně nebezpečných praktik. Využívá metodologii různých kvalitativních hodnocení pracovních míst včetně metod JSA (Job Safety Analysis) anebo JHA (Job Hazard Analysis).

Na stránkách je k dispozici demo ke stažení. Ceny produktů od 4.000,- USD (jedna licence) do 5.500,- USD (pro síťovou licenci). University mají 50% slevu.

12. SYDVEST, Norsko

<http://www.sydvest.com>

Produkty:

- **CARA-FaultTree:** Software pro tvorbu stromů poruchových stavů a jejich analýzu.
- **PDS-Tool:** Software pro analýzu bezporuchovosti, pohotovosti a bezpečnosti systémů.
- **Sabaton:** Nástroj pro provádění analýzy FMEA a FMECA. Umožňuje provádění analýzy podle různých standardů.
- **Manifer:** Produkt pro analýzy údržby a managementu údržby založený na metodě RCM.
- **Kyryse:** Nástroj sloužící pro analýzy bezpečnosti

13. RAC - Reliability Analysis Center, USA

<http://rac.alionscience.com>

Produkty:

- **PRISM:** Komplexní nástroj pro predikci bezporuchovosti složitých systémů. Disponuje řadou vyspělých funkcí. Standard v této kategorii produktů. Cena: 2 195,- USD

- **EPRD:** Elektronická databáze údajů o bezporuchovosti elektronických prvků. Cena: 315,- USD.
- **NPRD:** Elektronická databáze údajů o bezporuchovosti neelektronických prvků. Cena: 145,- USD.
- **FMD:** Elektronická databáze údajů o rozdělení druhů poruch. Cena: 120,- USD.
- **CDSET – RAC Automated Databook (NPRD-95C, FMD-97CD, EPRD-CD, VZAP-95C)** – interaktivní softwarový produkt pro vyhledávání v uvedených databázích. Cena: 450,- USD.
- **SPIDR – Systém and Part Integrated Data Ressource:** Souhrnná databáze dat bezporuchovosti a dat ze zkoušek složitých systémů a komponent. Obsahuje více než 6 000 různých druhů mechanických i elekticko/elektronických prvků známých z databází (NPRD-95C, FMD-97CD, EPRD-CD, VZAP-95C). Cena: 1 995,- USD.

14. Clockwork Solution, Izrael

<http://www.clockwork-solutions.com>

Produkt:

- **SPAR:** Komplexní softwarový produkt pro predikci a řízení nákladů životního cyklu složitých systémů. Umožňuje vytvoření reálného modelu pro analýzu a kvantifikaci důsledků konstrukčních změn, dostupnosti náhradních dílů, plánů preventivní údržby a dalších faktorů na pohotovost systému a náklady jeho životního cyklu. Uplatnění v oblastech obrany, energetiky, zpracování, dopravy, aj. Cena: řádově desítky tisíc USD.
- **ATLAST:** Jedná se o komplexní softwarový produkt pro pokročilé metody analýz životního cyklu se všemi souvisejícími aspekty. Velké uplatnění a orientace do oblasti zbraňových systémů a obrany.
- **PS-PLUS:** Produkt pro přesné a průběžné modelování bezporuchovosti elektráren, které využívají vysokoteplotních spalovacích komor anebo plynových turbín. Dokáže identifikovat komponenty, které mají velký vliv na výkon elektrárny. Sleduje a optimalizuje provádění údržbových zásahů, průběžné monitorování včetně hodnocení rizika v závislosti na časových obdobích provádění inspekčních prohlídek. Soustřeďuje se na předpovědi obstarávání náhradních dílů.
- **ENRiCO:** Software pro modelování a měření spolehlivosti elektrických distribučních sítí. Umožňuje jak designérům tak uživatelům a operátorům rychle a efektivně zhodnotit bezporuchovost elektrických systémů a jejich dopad na výkon zdrojové elektrárny a spolehlivosti distribuční soustavy.
- **SPAR PHM (Proportional Hazard Model):** Software, který umožňuje kvantifikovat závislosti mezi stavem a podmínkami činnosti jednotlivých komponent, jejich schopnosti pro nasazení do činnosti, a možné ovlivnění logistickými parametry v případě vzniku poruchy.
- **Super SPAR:** Velmi komplexní program sestavený na základě dlouholetých zkušeností pro dosažení pokročilých prediktivních modelů a optimalizace různých technologií. Velké uplatnění nalezl v obranném průmyslu.

15. Abbott Analytical products, USA

<http://qed1.home.mindspring.com>

Produkty:

- **Weibull Distribution Applications:** Nástroj pro analýzu dat o spolehlivosti. Umožňuje podrobné hodnocení zkoušek bezporuchovosti.
Cena: 299,- USD.
- **Reliability Growth Rate Analysis:** Software pro sledování a hodnocení růstu bezporuchovosti využívající Duanův model.
- **Life Test Planning/ Analysis:** Software pro plánování a vyhodnocování zkoušek založený na aplikaci postupů doporučených americkou vojenskou normou Mil-Std-781.
Cena: 399,- USD.
- **Reliability Performance Prediction:** Nástroj pro predikci bezporuchovosti založený na postupech americké vojenské normy Mil-Hdbk-217F2 a postupech firmy Bellcore.
Cena: 849,- USD
- **Fault Tree Analysis:** Software pro tvorbu a analýzu stromů poruchových stavů.
Cena: 949,- USD
- **Failure Mode Effects Criticality Analysis:** Nástroj k provádění analýzy FMECA podle různých standardizovaných postupů.
Cena 849,- USD.
- **Software Test Planning Analysis:** Software pro plánování zkoušek spolehlivosti.
Cena.: 949,- USD

Zajímavá obchodní politika umožňující relativně dlouhodobé testování plných verzí nabízených produktů. Firma nabízí celou řadu dalších produktů souvisejících s problematikou spolehlivosti.

16. Další producenti software pro spolehlivost

BMT Reliability Consultants Limited. <http://www.bmtrel.com/>

Reliass, Velká Británie. <http://www.reliass.com/>

Evaluation Software, USA. <http://www.relplus.com>

Pister Group, Kanada. <http://www.pister.com>

Quality Systems Engineering. <http://www.qseprocess.com/>

RAM-Tools, USA. <http://www.ram-tools.com/>

Rektron AB, Švédsko. <http://www.rektron.se>

Relcon AB, Švédsko. <http://www.riskspectrum.com>

T-Cube Systems, USA. <http://www.t-cubed.com>

Center for System Reliability (Lokheed Martin), USA. <http://reliability.sandia.gov>

17. Další možné softwarové single-produkty

MöbiusTM: jedná se o softwarový nástroj, který slouží k modelování chování složitých technických systémů. Původně byl určen ke studiu a modelování bezporuchovosti, pohotovosti a výkonu počítačů a počítačových sítí. V současnosti se využívá k modelování systémů s diskrétními jevy.

<http://www.mobius.uiuc.edu/>

EIReDA 2000: (European Industry Reliability Data Bank) jedná se o počítačovou, otevřenou databázi, která je určena k uspokojení požadavků zisku dat o riziku, bezpečnosti a analýzách pohotovosti v průmyslu. Mimo to poskytuje odhady parametrů bezporuchovosti mechanických, elektrických a nástrojových komponent. Odhady jsou většinou založeny na zkušenosti sledování těchto prvků po dobu minimálně 20 let.

Závěr

Přehled softwarových výrobců pro oblast spolehlivosti, který je zde prezentován, nelze v žádném případě považovat za úplný a vyčerpávající. Takový dokonalý přehled nelze připravit už s ohledem k charakteru Internetu (obrovský rozsah dynamicky se měnících informací). V každém případě je zde však uvedeno vše co by případnému vážnému zájemci o problematiku software pro oblast spolehlivosti nemělo zůstat utajeno.

Funkčnost všech uvedených odkazů byla při přípravě článku ověřena, to však nevylučuje možnost toho, že časem svoji funkčnost ztratí – změna je život.

Jelikož jsem tento článek připravoval z víceroch podkladů, jejichž autory byly různé osoby, rád bych závěrem doplnil, že uvítáme jakékoliv informace o zajímavých místech na síti, které nějakým způsobem souvisí s problematikou spolehlivosti, software a jejich aplikací nebo souvisejících produktů.

Přehled metod a nástrojů pro odhad bezporuchovosti prvků

Ing. Michal VINTR

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav metrologie a zkušebnictví Technická 2896/2,
616 69 Brno, Email: vintr@fme.vutbr.cz.

1. Úvod

Odhad bezporuchovosti jako jedné ze subvlastností spolehlivosti patří mezi důležité činnosti při řešení problematiky spolehlivosti produktů. Odhadem bezporuchovosti je chápáno stanovení číselné hodnoty vybraného ukazatele bezporuchovosti, nejčastěji intenzity poruch (λ) nebo střední doby provozu mezi poruchami (*MTBF*).

Mezi důvody provádění odhadu bezporuchovosti patří:

- zhodnocení proveditelnosti, tj. zhodnocení, zda navržené konstrukční řešení je schopno splnit požadavky na bezporuchovost;
- srovnání odlišných konstrukčních řešení za účelem nalezení nejvhodnějšího;
- posouzení vlivu konstrukčních změn na bezporuchovost;
- poskytnutí vstupů pro další činnosti související se spolehlivostí (např. prediktivní analýzy spolehlivosti, analýzy LCC);
- odhalení eventuálních problémů souvisejících s bezporuchovostí;
- odhalení hlavních přispěvatelů k poruchám.

Pro již existující produkty může být jejich bezporuchovost odhadována na základě údajů získaných ze zkoušek nebo z provozu. U drobně modifikovaných produktů, může být jejich bezporuchovost odhadována na základě zkušeností s podobnými produkty. Avšak v počátečních etapách životního cyklu u zásadně modifikovaných a zcela nových produktů uvedené postupy použít nelze. V počátečních etapách životního cyklu se již nehovoří o odhadu, ale výstižněji o predikci (předpovědi) bezporuchovosti.

Předpověď bezporuchovosti se v současné době nejčastěji provádí s využitím následujících sofistikovaných nástrojů:

- databází bezporuchovosti;
- metodik predikce bezporuchovosti.

Databáze bezporuchovosti poskytují pro konkrétní typy prvků (např. šroub s šestihrannou hlavou) číselné hodnoty ukazatelů bezporuchovosti.

Metodiky predikce bezporuchovosti obsahují pro jednotlivé skupiny prvků (např. rezistory) výpočtové postupy, které umožňují volbou nejrůznějších koeficientů zohlednit konkrétní reálnou situaci a vypočítat hodnotu ukazatele bezporuchovosti.

V příspěvku jsou dále představeny mezinárodně uznávané a nejčastěji používané databáze bezporuchovosti a metodiky predikce bezporuchovosti.

2. Databáze bezporuchovosti

2.1 NPRD-95

Databáze *NPRD-95 – Nonelectronic Parts Reliability Data* [7] (Data o bezporuchovosti neelektronických prvků) byla vytvořena americkou společností System Reliability Center (SRC), která do června 2005 působila pod jménem Reliability Analysis Center (RAC) jako účelové zařízení Ministerstva obrany USA.

Databáze NPRD-95 obsahuje údaje o intenzitách poruch široké škály elektrických, elektromechanických a mechanických prvků. Údaje byly získány dlouhodobým sledováním systémů a prvků v reálném provozu, které probíhalo již od počátku 70.let až do roku 1994. Sběr dat byl přitom zaměřen na získání údajů o relativně nových prvcích, s nimiž nebyly dostatečné zkušenosti a údajů z nejrůznějších zdrojů, provozních podmínek a úrovní kvality.

Mezi hlavní cíle databáze patří poskytnutí údajů o intenzitách poruch prvků vyrobených v komerční kvalitě, poskytnutí údajů o intenzitách poruch nejmodernějších součástí a doplnění obdobných metodik o údaje o prvcích, které v nich nejsou obsaženy.

Databázi NPRD-95 lze zakoupit v papírové a elektronické formě, ale především ji lze zakoupit jako součást softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj software pro oblast spolehlivosti.

Další informace lze nalézt na webových stránkách producenta: <http://src.alionscience.com>

2.2 EPRD-97

Databáze *EPRD-97 – Electronic Parts Reliability Data* [8] (Data o bezporuchovosti elektronických prvků) byla také vytvořena americkou společností System Reliability Center (SRC).

Databáze EPRD-97 obsahuje údaje o intenzitách poruch elektronických prvků. Konkrétně se jedná o následující prvky: kondenzátory, diody, integrované obvody, optoelektronické prvky, rezistory, tyristory, transformátory a tranzistory. Údaje byly získány dlouhodobým sledováním systémů a prvků v reálném provozu, které probíhalo již od počátku 70.let až do roku 1996. Sběr dat byl zaměřen na získání údajů o relativně nových prvcích, s nimiž nebyly dostatečné zkušenosti a údajů z nejrůznějších zdrojů, provozních podmínek a úrovní kvality.

Mezi hlavní cíle databáze patří poskytnutí údajů o intenzitách poruch prvků vyrobených v komerční kvalitě, poskytnutí údajů o intenzitách poruch nejmodernějších součástí a zejména doplnění MIL-HDBK-217F o údaje o prvcích, které v ní nejsou obsaženy.

Databázi EPRD-97 lze zakoupit v papírové a elektronické formě, ale především ji lze zakoupit jako součást softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj software pro oblast spolehlivosti.

Další informace lze nalézt na webových stránkách producenta: <http://src.alionscience.com>

2.3 FMD-97

Databáze *FMD-97 – Failure Mode/Mechanism Distributions* [9] (Rozložení způsobů poruch) byla také vytvořena americkou společností System Reliability Center (SRC). FMD-97 není databází obsahující číselné hodnoty ukazatelů bezporuchovosti, ale vzhledem k její úzké návaznosti na predikci bezporuchovosti je nezbytné ji zmínit. Databáze FMD-97 obsahuje údaje o pravděpodobnosti výskytu jednotlivých způsobů poruch u konkrétních elektronických,

elektrických, elektromechanických a mechanických prvků. Údaje byly získány dlouhodobým sledováním systémů a prvků v reálném provozu.

Hlavním cílem databáze FMD-97 je poskytnout nezbytné podklady pro provádění prediktivních analýz spolehlivosti, především FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis).

Databázi FMD-97 lze zakoupit v papírové a elektronické formě, ale především ji lze zakoupit jako součást softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj software pro oblast spolehlivosti.

Další informace lze nalézt na webových stránkách producenta: <http://src.alionscience.com>

2.4 SPIDR™

Databáze *SPIDR™ – System and Part Integrated Data Resource* (Integrovaný zdroj dat o systémech a prvcích) je nejnovějším produktem v oblasti databází bezporuchovosti. Databáze byla vydána na počátku roku 2006 společností System Reliability Center (SRC).

Databáze SPIDR™ je komplexní produkt nahrazující databáze NPRD-95, EPRD-97 a FMD-97, přičemž obsahuje více jak dvojnásobek aktualizovaných dat oproti původnímu balíku databází. Konkrétně databáze obsahuje data o více jak 6000 typech elektronických, elektrických, elektromechanických a mechanických prvků. Databáze je založena na téměř 40 letech zkušeností a sběru dat realizovaném společností RAC, respektive SRC.

Databázi SPIDR™ lze zakoupit jako samostatný softwarový produkt společnosti System Reliability Center (SRC).

Další informace lze nalézt na webových stránkách produktu: <http://src.alionscience.com/spidr>

3. Metodiky predikce bezporuchovosti

3.1 MIL-HDBK-217F

Norma *MIL-HDBK-217F – Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment* [6] (Vojenská příručka: Predikce bezporuchovosti elektronických zařízení) je obranným standardem vydaným Ministerstvem obrany USA. Byla vytvořena v roce 1961 a od té doby byla již několikrát revidována, naposledy v roce 1995, kdy byl její vývoj ze strany Ministerstva obrany ukončen.

Norma byla primárně vyvinuta pro potřeby predikce bezporuchovosti armádních elektronických systémů, ale postupem času se její použití rozšířilo do řady oblastí mimo armádu a v současnosti je nejpoužívanější metodikou predikce bezporuchovosti elektronických prvků.

V normě uvedené hodnoty veličin, které jsou užívány pro výpočet intenzity poruch, byly získány z odhadů založených na analýzách skutečných poruch v provozu. Norma obsahuje výpočtové postupy pro generické typy elektronických prvků a není reálně možné, aby obsahovala údaje pro všechny typy jednotlivých prvků. Generické typy prvků obsažené v normě jsou následující: mikroobvody, polovodiče, elektronky, lasery, rezistory, kondenzátory, cívky, rotační prvky, relé, spínače, konektory, spojovací a propojovací prvky, křemíkové krystaly, žárovky, elektronické filtry a pojistky.

Norma obsahuje dvě odlišné metody predikce bezporuchovosti: metodu predikce počítáním z prvků a metodu predikce namáháním prvků.

Predikce bezporuchovosti dle MIL-HDBK-217F namáháním prvků

Predikce bezporuchovosti prvků dle MIL-HDBK-217F metodou namáháním prvků je použitelná v případě, když je návrh a vývoj produktu z větší části dokončen a když je k dispozici podrobná specifikace jednotlivých prvků a jejich namáhání.

Základní postup určení intenzity poruch je založen na násobení výchozí (základní) intenzity poruch prvku s koeficienty namáhání podmínkami provozu a prostředí. Matematický model pro určení intenzity poruch prvku při použití metody namáhání je uveden na příkladu polovodičových prvků:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_R \cdot \pi_S \cdot \pi_C \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$$

kde:

- λ_p - výsledná intenzita poruch prvku;
- λ_b - základní intenzita poruch;
- π_T - koeficient závislosti na teplotě;
- π_A - koeficient závislosti na použití;
- π_R - koeficient závislosti na jmenovitém výkonu;
- π_S - koeficient závislosti na elektrickém zatížení;
- π_C - koeficient závislosti na konstrukci;
- π_Q - koeficient závislosti na kvalitě;
- π_E - koeficient závislosti na prostředí.

Koeficienty závislosti na kvalitě (π_Q) a prostředí (π_E) jsou použity v modelech pro většinu generických typů prvků. Použití i význam ostatních koeficientů se pro jednotlivé typy prvků liší. Konkrétní hodnoty výchozí intenzity poruch a všech potřebných koeficientů se určují dle tabulek uvedených v normě.

Predikce bezporuchovosti dle MIL-HDBK-217F počítáním z prvků

Predikce bezporuchovosti prvků dle MIL-HDBK-217F metodou počítání z prvků je použitelná v počátečních etapách návrhu a vývoje produktu, kdy není k dispozici dostatek informací potřebných pro použití metody namáhání prvků.

Tato metoda je relativně jednoduchou metodou predikce bezporuchovosti, která využívá předdefinovaných hodnot namáhání. Pro její použití je nezbytné znát alespoň generický typ prvku, úroveň kvality prvku a provozní podmínky. Matematický model pro určení intenzity poruch celého zařízení při použití metody počítání z prvků je následující:

$$\lambda_{\text{EQUIP}} = \sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot (\lambda_g \cdot \pi_Q)_i$$

kde:

- λ_{EQUIP} - celková intenzita poruch zařízení;
- λ_g - generická intenzita poruch pro i -tý generický prvek;
- π_Q - koeficient závislosti na kvalitě pro i -tý generický prvek;
- N_i - počet i -tých generických prvků;
- n - počet rozdílných kategorií generických prvků v zařízení.

Uvedený vztah lze využít, pokud je při určování generických intenzit všech prvků uvažováno stejné provozní prostředí. V případě, že jsou pro různé generické prvky uvažována různá prostředí, měl by být uvedený vztah použit na jednotlivé části zařízení zvlášť.

Číselné hodnoty generické intenzity poruch (λ_g) pro jednotlivá prostředí a koeficientu závislosti na kvalitě (π_Q) pro jednotlivé generické prvky jsou obsaženy v normě.

Obecně metoda predikce počítáním z prvků poskytuje více konzervativní odhady intenzit poruch prvků než metoda predikce namáháním prvků.

Postupy predikce založené na normě MIL-HDBK-217F jsou součástí softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj software pro oblast spolehlivosti.

Normu lze v elektronické podobě zdarma získat na webových stránkách ASSIST (Acquisition Streamlining and Standardization Information System): <http://assist.daps.dla.mil/quicksearch>

3.2 PRISM[®]

PRISM[®] – Reliability Prediction and Database for Electronic and Non-electronic Parts (Predikce a databáze bezporuchovosti pro elektronické a neelektronické prvky) je metodikou predikce bezporuchovosti prvků, vyvinutou americkou společností System Reliability Center (SRC), která do června 2005 působila pod jménem Reliability Analysis Center (RAC) jako účelové zařízení Ministerstva obrany USA. Metodika byla vydána na počátku roku 1999 s cílem nahradit zastarávající MIL-HDBK-217F.

Metodika odhadu bezporuchovosti PRISM[®] se skládá ze dvou částí. Nejprve jsou na úrovni prvků určeny intenzity poruch, které jsou poté na úrovni systémů modifikovány procesními koeficienty, které vystihují příčiny vzniku poruch.

Matematický model intenzity poruch systému při použití metodiky PRISM[®] je následující:

$$\lambda_p = \lambda_{IA} \cdot (\Pi_P \Pi_{IM} \Pi_E + \Pi_D \Pi_G + \Pi_M \Pi_{IM} \Pi_E \Pi_G + \Pi_S \Pi_G + \Pi_I + \Pi_N + \Pi_W) + \lambda_{SW}$$

kde:

- λ_p - predikovaná intenzita poruch systému;
- λ_{IA} - odhad počáteční intenzity poruch;
- Π_P - multiplikátor procesů prvků;
- Π_{IM} - koeficient počáteční fáze provozu;
- Π_E - koeficient provozního prostředí;
- Π_D - multiplikátor procesu vývoje;
- Π_G - koeficient růstu bezporuchovosti;
- Π_M - multiplikátor procesu výroby;
- Π_S - multiplikátor procesu systému managementu;
- Π_I - multiplikátor vyvolaného procesu;
- Π_N - multiplikátor procesu bez vad;
- Π_W - multiplikátor procesu opotřebení;
- λ_{SW} - predikce intenzity poruch softwaru.

Uvedený model vyžaduje jako vstupní hodnotu odhad počáteční intenzity poruch (λ_{IA}). Ten lze provést pomocí modelu nazvaného *RACRates* (je součástí metodiky), databází bezporuchovosti prvků nebo lze využít vlastní data.

Dále je uveden princip určení počátečního odhadu intenzity poruch (λ_{IA}) pomocí *RACRates* modelu. Model uvažuje pro každý generický typ mechanismu poruchy samostatnou intenzitu poruch, která je poté akcelerována příslušným zatížením nebo vlastností prvku. Matematické vyjádření obecného modelu je následující:

$$\lambda_{IA} = \lambda_o \cdot \pi_o + \lambda_e \cdot \pi_e + \lambda_c \cdot \pi_c + \lambda_i + \lambda_{sj} \cdot \pi_{sj}$$

kde:

- λ_{IA} - odhad počáteční intenzity poruch;
- λ_o - intenzita poruch určená z provozního namáhání;
- π_o - multiplikátor pro provozní namáhání;
- λ_e - intenzita poruch určená z namáhání provozním prostředím;
- π_e - multiplikátor pro namáhání provozním prostředím;
- λ_c - intenzita poruch určená z namáhání výkonovými nebo teplotními cykly;
- π_c - multiplikátor pro cyklické namáhání;
- λ_i - intenzita poruch určená z vyvolaných namáhání, včetně elektrických přepětí;
- λ_{sj} - intenzita poruch určená z namáhání pájenými spoji;
- π_{sj} - multiplikátor pro namáhání pájenými spoji.

Modely pro jednotlivé typy prvků se liší, ale vychází z uvedeného obecného modelu. Číselné hodnoty intenzit poruch, koeficientů a multiplikátorů se určují na základě vstupních informací o prostředí, provozu, vývoji, výrobě, namáhání atd.

Metodiku PRISM[©] lze zakoupit jako stejnojmenný softwarový produkt společnosti System Reliability Center (SRC) a lze ji také zakoupit jako součást softwarových produktů některých společností specializujících se na vývoj software pro oblast spolehlivosti.

Další informace lze nalézt na webových stránkách produktu: <http://src.alionscience.com/prism>

3.3 217PlusTM

217PlusTM – Reliability Prediction Models (Modely pro predikci bezporuchovosti) je metodikou predikce bezporuchovosti prvků, vyvinutou americkou společností Reliability Information Analysis Center (RIAC), která vznikla v červnu 2005 transformací Reliability Analysis Center (RAC). Od svého založení je RIAC účelovým zařízením Ministerstva obrany USA. 217PlusTM je nejnovějším produktem v oblasti metodik predikce bezporuchovosti. Metodika byla vydána v červenci 2006 s cílem plně nahradit zastaralou MIL-HDBK-217F a starší konkurenční produkt PRISM[©]. Vzhledem k tomu, že na vývoji metodiky 217PlusTM pracovali stejní tvůrci, kteří vyvinuli metodiku PRISM[©], jsou si tyto dvě metodiky velmi podobné.

Metodika umožňuje predikci bezporuchovosti dvanácti skupin elektronických prvků, konkrétně: kondenzátorů, konektorů, diod, cívek, integrovaných obvodů, optoelektronických součástek, relé, rezistorů, spínačů, tyristorů, tranzistorů a transformátorů. Přičemž modely u šesti skupin jsou modernější než u metodiky PRISM[©].

Predikce bezporuchovosti dle metodiky 217PlusTM se provádí ve dvou stupních. Nejprve je na úrovni komponent vypočtena bezporuchovost jednotlivých prvků, která je poté na úrovni systému modifikována systémovými koeficienty.

Obecný matematický model intenzity poruch na úrovni komponent je následující:

$$\lambda_p = \lambda_o \cdot \pi_o + \lambda_e \cdot \pi_e + \lambda_c \cdot \pi_c + \lambda_i + \lambda_{sj} \cdot \pi_{sj}$$

kde:

- λ_{IA} - predikovaná intenzita poruch;
- λ_o - intenzita poruch z provozního namáhání;
- π_o - multiplikátor intenzity poruch z provozní namáhání;
- λ_e - intenzita poruch z namáhání prostředím;
- π_e - multiplikátor intenzity poruch z namáhání prostředím;
- λ_c - intenzita poruch z namáhání výkonovými nebo teplotními cykly;
- π_c - multiplikátor intenzity poruch pro cyklické namáhání;

- λ_i - intenzita poruch z vyvolaných namáhání, včetně elektrických přepětí;
- λ_{sj} - intenzita poruch z namáhání pájenými spoji;
- π_{sj} - multiplikátor intenzity poruch pro namáhání pájenými spoji.

Modely pro jednotlivé skupiny prvků se liší, ale vychází z uvedeného obecného modelu. Číselné hodnoty intenzit poruch a koeficientů se určují na základě vstupních informací o prostředí, provozu, vývoji, výrobě, namáhání atd. Intenzitu poruch na úrovni komponent lze určit i s využitím jiných databází a metodik, případně lze využít vlastní data.

Obecný matematický model intenzity poruch na systémové úrovni je následující:

$$\lambda_P = \lambda_{IA} \cdot (\Pi_P \Pi_{IM} \Pi_E + \Pi_D \Pi_G + \Pi_M \Pi_{IM} \Pi_E \Pi_G + \Pi_S \Pi_G + \Pi_I + \Pi_N + \Pi_W) + \lambda_{SW}$$

kde:

- λ_P - predikovaná intenzita poruch systému;
- λ_{IA} - odhad počáteční intenzity poruch systému;
- Π_P - koeficient úrovně procesů prvků;
- Π_{IM} - koeficient počáteční fáze provozu;
- Π_E - koeficient prostředí;
- Π_D - koeficient úrovně procesu vývoje;
- Π_G - koeficient růstu bezporuchovosti;
- Π_M - koeficient úrovně procesu výroby;
- Π_S - koeficient úrovně procesu systému managementu;
- Π_I - koeficient úrovně vyvolaného procesu;
- Π_N - koeficient úrovně procesu bez vad;
- Π_W - koeficient úrovně procesu opotřebením;
- λ_{SW} - intenzita poruch softwaru.

Číselné hodnoty koeficientů na úrovni systému se určují prostřednictvím bodovaných otázek.

Metodiku 217Plus™ lze zakoupit v papírové a elektronické formě, především ji však lze zakoupit jako stejnojmenný softwarový produkt společnosti Reliability Information Analysis Center (RIAC). Postupy predikce založené na metodice 217Plus™ jsou součástí softwarových produktů některých společností specializujících se na vývoj software pro oblast spolehlivosti.

Další informace lze nalézt na webových stránkách producenta: <http://quanterion.com/RIAC>

3.4 FIDES

Metodika FIDES popsaná v příručce *FIDES Guide 2004 issue A – Reliability Methodology for Electronic Systems (DGA-DM/STTC/CO/477-A)* [5] (FIDES příručka 2004, vydání A – Metodika bezporuchovosti pro elektronické systémy) byla vydána v roce 2004 pod záštitou Ministerstva obrany Francie. Příručku vypracovalo konsorcium FIDES, složené z francouzských průmyslových podniků působících v oblastech letectví a obranného průmyslu. Mezi členy konsorcia patří např. Airbus, Eurocopter a Thales.

Metodika byla vyvinuta s využitím praktických dat z oblasti letectví a vojenství a dat od výrobců. Má za cíl umožnit realistickou predikci bezporuchovosti elektronických zařízení, včetně systémů pracujících v náročných podmínkách (obrné systémy, letectví, atd.).

Metodika poskytuje modely pro elektrické, elektronické a elektromechanické prvky a pro součásti plošných spojů. Bere v úvahu všechny technologické a fyzikální faktory, které mají vliv na bezporuchovost produktu. Konkrétně bere v úvahu typ mise, elektrická, mechanická a teplotní přetížení a poruchy související s procesy vývoje, výroby, provozu a údržby. Je použitelná ve

všech oblastech využívajících elektroniku a pokrývá následující prvky: integrované obvody, polovodičové prvky, kondenzátory, termistory, rezistory, potenciometry, indukční prvky, transformátory, relé, desky plošných spojů, konektory a piezoelektrické prvky.

Základní matematický model pro výpočet intenzity poruch prvku je následující:

$$\lambda = \lambda_{Physical} \cdot \Pi_{Part_Manufacturing} \cdot \Pi_{Process}$$

kde:

- $\lambda_{Physical}$ - fyzikální příspěvek k intenzitě poruch;
- $\Pi_{Part_Manufacturing}$ - koeficient zahrnující kvalitu a technické zvládnutí výroby prvku;
- $\Pi_{Process}$ - koeficient zahrnující kvalitu a technické zvládnutí procesů vývoje, výroby a provozu produktu, ve kterém je prvek obsažen.

Fyzikální příspěvek ($\lambda_{Physical}$) lze matematicky vyjádřit následovně:

$$\lambda_{Physical} = \left[\sum_{Physical_Contributions} (\lambda_0 \cdot \Pi_{Acceleration}) \right] \cdot \Pi_{Induced}$$

kde výraz v hranaté závorce vyjadřuje příspěvek jmenovitých omezení a $\Pi_{Induced}$ je příspěvek vyvolaných přetížení příslušejících dané oblasti použití.

Příspěvek jmenovitých omezení zahrnuje výchozí intenzitu poruch (λ_0) přiřazenou všem prvkům, příspěvek charakteristický pro použitou technologii a koeficient zrychlení ($\Pi_{Acceleration}$) používaný pro přiřazení fyzických omezení, kterým je prvek vystaven během používání. Příspěvek charakteristický pro použitou technologii je zahrnut ve výchozí intenzitě a koeficientu zrychlení.

Koeficient $\Pi_{Part_Manufacturing}$ charakterizující kvalitu prvku lze matematicky vyjádřit následovně:

$$\Pi_{Part_Manufacturing} = \exp[\delta_1 \cdot (1 - Part_Grade) - \alpha_1]$$

kde δ_1 a λ_1 jsou koeficienty korelace vyjadřující míru vlivu koeficientu $\Pi_{Part_Manufacturing}$ na bezporuchovost prvku. Přičemž koeficient $\Pi_{Part_Manufacturing}$ závisí na úrovni zabezpečování jakosti u dodavatele, úrovni zabezpečování jakosti prvku, úrovni zabezpečování bezporuchovosti prvku a na zkušenostech s dodavatelem prvku.

Faktor $\Pi_{Process}$, charakterizující kvalitu a technické zvládnutí procesů ovlivňujících bezporuchovost produktu během životního cyklu, lze matematicky vyjádřit následovně:

$$\Pi_{Process} = \exp[\delta_2 \cdot (1 - Process_Grade)]$$

kde:

- $Process_Grade$ - stupeň vyjadřující úroveň řízení procesů;
- δ_2 - koeficient korelace vyjadřující rozsah $\Pi_{Process}$ faktoru.

Určení konkrétních hodnot všech faktorů a potřebných vstupních hodnot se provádí na základě tabulek, vztahů a doporučení uvedených v příručce.

Příručku obsahující metodiku FIDES lze v elektronické podobě vyhledat a zdarma stáhnout na internetu a postupy predikce založené na metodice FIDES jsou součástí softwarových produktů některých společností specializujících se na vývoj software pro oblast spolehlivosti.

3.5 RDF 2000 (IEC/TR 62380)

Mezinárodní norma IEC/TR 62380 – *Reliability Data Handbook – A universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment* (Příručka dat o

bezporuchovosti – Obecný model pro predikci bezporuchovosti elektronických prvků, desek plošných spojů a příslušenství) byla vydána mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC) v srpnu 2004. Norma vychází z francouzské telekomunikační normy UTE C 80-810 [10], která byla vydána v roce 2000. Metodika uvedená v obou normách je známa pod označením RDF 2000.

Metodika obsahuje výpočtové modely pro celou řadu elektronických prvků, zejména pro desky plošných spojů a jejich součásti. Metodika zohledňuje celou řadu ovlivňujících faktorů a zejména umožňuje zohlednit profil zatížení prvku.

Normu IEC/TR 62380 lze zakoupit, jako většinu norem IEC, v papírové nebo elektronické podobě. Postupy predikce založené na metodice RDF 2000 jsou součástí softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj software pro oblast spolehlivosti.

Další informace lze nalézt na webových stránkách IEC: <http://www.iec.ch>

3.6 Telcordia SR-332

Norma *Telcordia SR-332 – Reliability Prediction Procedures for Electronic Equipment* (Postupy predikce bezporuchovosti pro elektronická zařízení) byla vytvořena společností Telcordia Technologies, která vznikla ze společnosti AT&T Bell Laboratories. Proto je norma občas nazývána Bellcore SR-332. V současnosti je aktuální druhé vydání normy Telcordia SR-332 ze září 2006.

Metodika uvedená v normě vychází z principů uvedených v MIL-HDBK-217F, lépe však odráží specifika telekomunikačního průmyslu a umožňuje zohlednit tzv. zahořování. Predikci lze provádět třemi různými metodami, které jsou založeny na počítání z dílů, datech získaných laboratorními zkouškami a datech získaných sledováním prvků v provozu. Metodika je určena především pro komerční elektronické produkty a je velmi rozšířená v oblasti telekomunikací.

Normu Telcordia SR-332 lze zakoupit v elektronické podobě. Postupy predikce založené na normě Telcordia SR-332 jsou součástí softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj software pro oblast spolehlivosti.

Další informace lze nalézt na webových stránkách producenta: <http://www.telcordia.com>

3.7 GJB/z 299B

Norma *GJB/z 299B – Reliability Calculation Model for Electronic Equipment* (Model pro výpočet bezporuchovosti elektronických zařízení) byla vytvořena Čínskou armádou a v květnu 2001 byla přeložena do angličtiny. Norma je někdy nazývána zjednodušeně China 229B.

Norma je založena na MIL-HDBK-217 a obsahuje výpočtové postupy pro predikci bezporuchovosti elektronických prvků metodami počítáním z prvků a namáháním prvků.

Postupy predikce založené na normě GJB/z 299B jsou součástí softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj software pro oblast spolehlivosti.

3.8 NSWC-98/LE1

Norma *NSWC-98/LE1 – Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment* (Příručka postupů predikce bezporuchovosti mechanických zařízení) byla vytvořena Centrem námořních a pozemních sil při Námořnictvu Spojených států amerických. Poslední verze byla vydána v září 1998.

Norma NSWC-98/LE1 obsahuje výpočtové modely pro různé typy mechanických prvků používaných zejména v lodním průmyslu. Modely umožňují zohlednit teplotní namáhání, silové namáhání a mnoho dalších vlivů.

Postupy predikce založené na normě NSWC-98/LE1 jsou součástí softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj software pro oblast spolehlivosti.

4. Shrnutí a závěry

Příspěvek si nečiní nárok být úplným přehledem všech databází a metodik používaných k predikci bezporuchovosti prvků a systémů, ale uvádí v současné době nejrozšířenější a nejpoužívanější databáze a metodiky v oblasti strojírenství a elektrotechniky. Ostatní databáze a metodiky, jež nejsou v tomto příspěvku zmíněny, jsou specifické pro příslušné oblasti použití, popř. specifické pro jednotlivé společnosti.

K predikci bezporuchovosti neelektronických prvků se v současné době nejčastěji používá databáze NPRD-95, která zřejmě bude postupně vytlačena modernější a rozsáhlejší databází SPIDR™. Uvedené dvě databáze nemají v oblasti neelektronických prvků vážnějšího konkurenta.

V oblasti predikce bezporuchovosti elektronických prvků je situace poněkud složitější. Databáze EPRD-97 je velmi rozšířena a obsahuje značné množství reálných prvků, které nejsou obsaženy v ostatních metodikách, ale neumožňuje takovou míru zohlednění ovlivňujících faktorů. Predikce bezporuchovosti podle MIL-HDBK-217F je v současné době nejrozšířenější metodikou predikce bezporuchovosti elektronických prvků, ale tato norma není od roku 1995 aktualizována a stala se značně zastaralou. Proto metodiky PRISM[®], FIDES a nejnověji 217Plus™ poskytují odlišné přístupy, které mají za cíl odstranit nedostatky normy MIL-HDBK-217F. Avšak limitujícími faktory při jejich používání jsou u metodik FIDES a 217Plus™ nedostatečná praktická prověřenost a u metodiky PRISM[®] vysoké pořizovací náklady.

Konečné rozhodnutí o použití konkrétní metody predikce bezporuchovosti je ovlivněno účelem, pro který je predikce prováděna, a zejména požadavkem zákazníka, pro kterého je predikce bezporuchovosti vykonávána. Záleží tedy vždy na konkrétní situaci, jaký postup predikce bezporuchovosti uživatel zvolí. Dle vlastních praktických zkušeností autora článku lze drtivou většinu predikcí bezporuchovosti prvků a systémů provést s využitím kombinace databází NPRD-95, EPRD-97 a normy MIL-HDBK-217F. Do budoucna se dá považovat za vhodné využití kombinace databáze SPIDR™ a metodiky 217Plus™.

5. Použité zdroje

- [1] DYLLIS, D. D. – PRIORE, M. G. A Comprehensive Reliability Assessment Tool for Electronic Systems. In *Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.*, 2001. Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2001, ISBN: 0-7803-6615-8.
- [2] MARIN, J. J. – POLLARD, R. W. Experience Report on the FIDES Reliability Prediction Metod. In *2005 Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2004, ISBN: 0-7803-8825-9.

- [3] NICHOLLS, D. What is 217Plus and Where Did It Come From? In *2007 Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2007, ISBN 0-7803-9767-3.
- [4] SMITH, Ch. L. – WOMACK, J. B. Jr. Raytheon Assessment of PRISM[®] As A Field Failure Prediction Tool. In *Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp., 2004.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2004, ISBN: 0-7803-8216-1.
- [5] DGA-DM/STTC/CO/477-A. *FIDES Guide 2004 issue A – Reliability Methodology for Electronic Systems.* FIDES Group, 2004.
- [6] MIL-HDBK-217F. *Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment.* Washington: Department of Defense, 1991.
- [7] *Nonelectronic Parts Reliability Data (NPRD-95).* Rome: Reliability Analysis Center (RAC), 1995.
- [8] *Electronic Parts Reliability Data (EPRD-97).* Rome: Reliability Analysis Center (RAC), 1997.
- [9] *Failure Mode/Mechanism Distributions (FMD-97).* Rome: Reliability Analysis Center (RAC), 1998.
- [10] UTE C 80-810. *RDF 2000 – Reliability Data Handbook – A Universal Model for Reliability Prediction of Electronics Components, PCBs and Equipment.* Fontenay-aux-Roses: Union Technique de l'Electricité, 2000.
- [11] <http://src.alionscience.com/>
- [12] <http://quanterion.com/RIAC/>
- [13] <http://www.relex.com/>
- [14] <http://www.isograph-software.com/>
- [15] <http://www.itemuk.com/>

Software Relex a možnosti jeho využití při odhadu bezporuchovosti elektronických prvků

Ing. Marta Vávrová

AŽD Praha s.r.o., Žirovnická 2/3146, 106 17 Praha 10
E-mail: vavrova.marta@centrum.cz

Problematicke spolehlivosti je v společnosti AŽD Praha s.r.o. věnována zvýšená pozornost. Zaměřuje se zejména na to, aby byla dosažena předem zadaná spolehlivost nových zařízení.

Program spolehlivosti AŽD je založen na:

- Predikci spolehlivosti nově vyvíjených zařízení
- Sledování a vyhodnocování parametrů spolehlivosti z provozu v pravidelných pololetních intervalech
- Vytvoření zpětné vazby k zvyšování spolehlivosti výrobků

Spolehlivost zařízení je ovlivňována ve všech etapách životního cyklu zabezpečovacího zařízení. Její hodnotu je však důležité znát již při návrhu každého zařízení. V ideálním případě by bylo možné určit spolehlivost daného zařízení výpočtem součtu intenzit poruch jednotlivých komponent udaných výrobcem součástky. Ve většině případů však tyto hodnoty nejsou běžně k dispozici. Z tohoto důvodu byly vyvinuty metody predikce spolehlivosti jednotlivých součástí a zařízení, které umožňují již v ranném stadiu návrhu zařízení predikovat jeho spolehlivostní parametry.

Vzhledem k stoupajícímu počtu predikcí v naší firmě byl na základě rozhodnutí vedení našeho podniku o zakoupení predikčního SW v minulých letech proveden rozbor predikčních programů renomovaných dodavatelů Reliass, Isograph, ITEM, Alionscience, Relex, BQR,... z hlediska ceny, obsahu a možnosti využití pro účely naší firmy. Před zakoupením vytipovaného programu proběhla diskuse se zainteresovanými pracovníky ohledně ujasnění si všech záměrů, jimž měl predikční program sloužit (požadavky predikce mech. namáhaných dílů, aktualizace knihoven ...).

Software pro predikci spolehlivosti Relex Reliability Prediction Analysis byl zvolen na základě skutečnosti, že poskytuje flexibilitu a obsahuje nástroje s jednoduchým použitím. Navíc systém modulů Relex umožňuje zakoupení balíku těch analýz, které zákazník využije. SW Relex Reliability Studio 2007 nabízí celou řadu analytických modulů:

- Fault Tree / Event Tree – Stromy poruch a Stromy událostí
- FMEA / FMECA – Modul analýzy druhů a následků
- FRACAS – Report problémů, analýza a systém nápravných opatření
- Human Factors Risk Analysis – detekce a hodnocení rizika lidských chyb
- Life Cycle Cost – Náklady na životní cyklus produktu
- Maintainability Prediction – Predikce udržovatelnosti
- Markov – Modelování komplexních systémů pomocí Markovské analýzy
- OpSim – Simulace a optimalizace systémů
- Reliability Block Diagram (RBD) – Spolehlivostní blokový diagram
- Reliability Prediction - Predikce spolehlivosti

- Weibull – komplexní analýza dat, model Duane/CrowAMSAA pro růst spolehlivosti

Pomocí těchto modulů je možno identifikovat problém a rozebrat změny již v době návrhu, čímž se proces zvyšování a zlepšování spolehlivosti velmi zjednoduší.

Modul Relex Reliability Prediction Analysis – modul Predikce spolehlivosti umožňuje rychlý a jednoduchý výpočet parametrů spolehlivosti dle renomovaných metodik, pro různé typy pracovních prostředí a teploty. Pomocí menu, které tento modul nabízí můžeme systém zadat buď hierarchicky s propojenými komponenty, nebo jej vložit přímo z jiného SW nástroje nebo databáze. MTBF a ostatní spolehlivostní ukazatele jsou počítány dle následujících elektronických a mechanických norem:

- MIL-HDBK-217F (metoda Parts Count i Parts Stress)
- Bellcore Issue 4, 5, 6
- Telcordia Issue 1 (SR332)
- Chinese 299B (metoda Parts Count i Parts Stress)
- RIAC 217Plus
- RDF 2000
- PRISM
- HRD5
- NSWC Mechanical

K výpočtům je k dispozici rozsáhlá knihovna součástek - jedná se o cca 400 000 součástek včetně 15 000 mechanických součástek. Tato knihovna je každý měsíc aktualizována, čímž je produkt udržován stále aktuální a na vysoké technické úrovni.

Data obsažená v knihovnách Relexu jsou závislá na typu součástky a požadavky na parametry se liší i dle požadavků použité metody výpočtu a normy.

Kromě toho Relex využívá metod příručky “Procedury pro predikční analýzu mechanických komponent (NSWC – 98/LE1), která obsahuje spolehlivostní modely mechanických částí, jako jsou pružiny, těsnění, ložiska, převodovky, ventily, pohony, pumpy, brzdy, spojky a mnoho dalších.

The screenshot shows the Relex software interface. The top part displays a 'System Tree' with a table of components. The bottom part displays an 'Assembly System, System' table with detailed component information.

| Name | Part Number | Reference D... | Description | Failure Rate |
|--------|-------------|----------------|------------------|--------------|
| System | System | | Top-level ass... | 0,100489 |
| C1-C5 | 0,028059 | | | |
| D1-D5 | 0,013374 | | | |
| R1-R10 | 0,059056 | | | |

| Part Number | Category | Subcategory | Reference Designator | Quantity | Failure Rate | Failure Rate, Percentage | Tagged Part |
|-------------|---------------|---------------------------|----------------------|----------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| C1-C5 | Capacitor | General Ceramic (CK, CKR) | | 5,00 | 0,028059 | 27,92 | <input type="checkbox"/> |
| D1-D5 | Semiconductor | Diode | | 5,00 | 0,013374 | 13,31 | <input type="checkbox"/> |
| R1-R10 | Resistor | Composition (RC, RCR) | | 10,00 | 0,059056 | 58,77 | <input type="checkbox"/> |
| | | | | 1 | 0 | 0 | <input type="checkbox"/> |

Obr.1 Modul Predikce spolehlivosti Relex

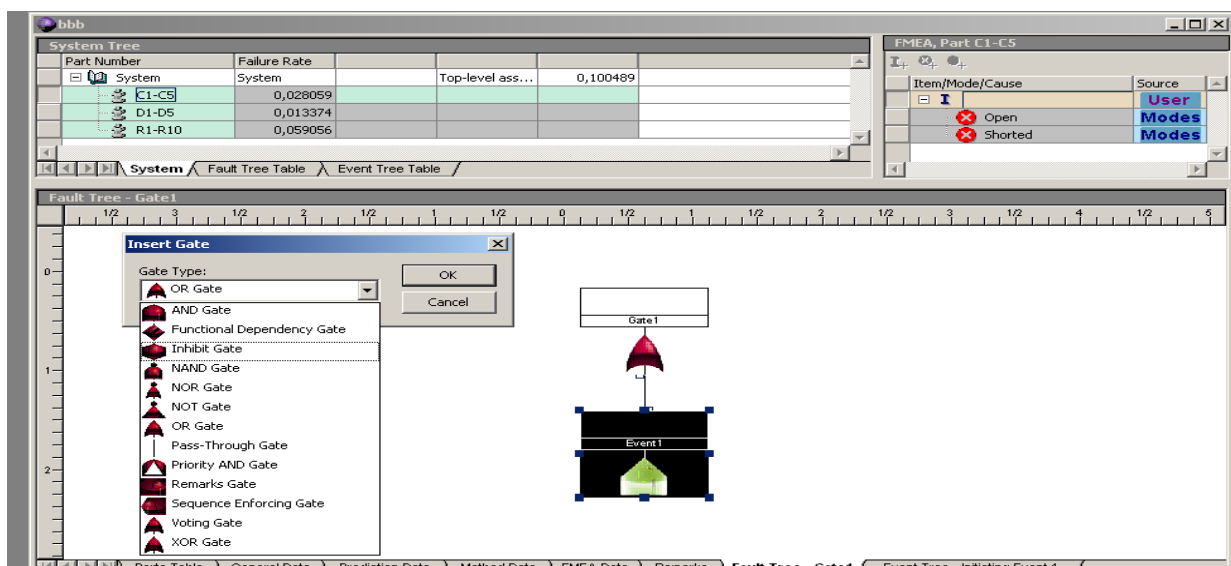
Relex CAD/Import/ Export Wizard – průvodce importem a exportem dat je jedním z nejdůležitějších priorit programu - s jeho pomocí můžeme projít procesem importu a exportu

dat a můžeme postupně sledovat jak se importované / exportované informace promítnou do datových struktur Relexu.

Modul analýzy druhů a následků (a kritičnosti) poruch dle FMEA a FMA umožňuje rychlou a snadnou analýzu druhů poruch systému a výsledný vliv těchto poruch na celý systém.

Relex FMEA má přístup ke spolehlivostním hodnotám sečteným pomocí modulu Predikce spolehlivosti, kdykoliv jsou tyto hodnoty aktualizovány, hodnoty se promítnou i do modulu RELEX FMEA. Mimoto, kdykoliv přidáme komponentu do modulu RELEX FMEA, jsou jí automaticky přiřazeny druhy selhání z vestavěné knihovny druhů poruch – to jednak snižuje časové nároky na tvorbu modelu a také zlepšuje konzistenci dat během analýzy.

Modul analýzy stromů Relex Fault Tree analyzuje bezpečnost systému. Pouhým kliknutím myši můžeme vkládat uzly a přiřadit jim události a vlastnosti. Až je strom kompletní můžeme spočítat nepohotovost události na vrcholu stromu a určit, které události povedou s největší pravděpodobností k nežádoucímu stavu systému. Můžeme provádět časovou analýzu a získat tak skupinu grafů, které zobrazují výsledek. Pokud je strom příliš velký, můžeme aproximovat výsledky analýzy za účelem zjednodušení výpočtu, aniž by docházelo k nepříznivému ovlivnění jeho přesnosti.



Obr.2 Modul Relex Fault Tree

Modul predikce udržitelnosti je základem při analýzách týkajících se udržitelnosti systému. Hierarchii systému lze vložit pomocí systémového stromu, který lze doplnit o náhradní prvky společně s dobou jejich opravy. Modul predikce udržitelnosti pak spočítá parametry týkající se údržby, jako je střední doba do opravy MTTR, střední počet člověko hodin na opravu MMH / Repair, procentuální vyjádření schopnosti izolovat náhradní element a jiné parametry. Predikce udržitelnosti je založena na obecně uznávaném standardu MIL-HDBK-472 postupy 2, 5A a 5B.

Analýza začíná definováním základních úkonů týkajících se údržby a dobou jejich trvání. Tyto úkony lze pak sjednocovat do rozsáhlejších celků. Pak je možno definovat cíle detekce chyb(poruch) a jejich izolace a spojit je s úkony údržby. Mezi modulem Predikce udržitelnosti a ostatními moduly Relexu existuje bezproblémové propojení (např. modul Predikce udržitelnosti má automatický přístup k intenzitě poruchy každého prvku, spočtené v modulu

Predikce spolehlivosti. Knihovnu úkonů, která je převzatá z normy MIL-HDBK-472 lze dále doplňovat nebo si vytvořit svou vlastní.

Modul LCC je výkonný nástroj umožňující určit náklady na výrobek během jeho životního cyklu. Lze do něj zakomponovat cenu za vývoj, výrobu, servis i likvidaci výrobku. Relex LCC podporuje parametrickou analýzu, stejně jako analýzu zdola nahoru nebo přímé stanovení ceny. S modulem LCC můžeme definovat široký rozsah proměnných, které ovlivňují cenu, včetně časových a vyvíjejících se proměnných. Spočtená cena obsahuje celkové náklady během doby života produktu a může také obsahovat citlivostní analýzy a výpočty současné hodnoty.

Modul LCC je plně integrován do ostatních modulů. Je do něj možné zahrnout hodnoty intenzity poruch, MTBF, MTTR, spolehlivosti, pohotovosti a počet záloh získaných v ostatních modulech aplikace Relex.

Relex umožňuje také vyhodnocení **grafických reprezentací spolehlivostních blokových diagramů RBD**. Jednoduchým umístěním jednotlivých bloků a přiřazením jejich vlastností lze spojit jednotlivé bloky dohromady. Rychlé a přesné vyhodnocení spolehlivosti, pohotovosti a intenzity poruch se provede na bázi metody Monte Carlo. Relex RBD je maximálně flexibilní a umožňuje analyzovat i velmi rozsáhlé systémy. Standardní nástroje pro řešení spolehlivostních blokových diagramů (RBD) umožňují spočítat spolehlivostní a pohotovostní parametry. Relex však nabízí také plně **simulační program OpSim** (optimalizace a simulace systémů), který umožňuje řešit všechny aspekty, které přináší skutečné systémy z reálného prostředí. Relex OpSim umožní rozšířit diagram systému o širokou škálu parametrů týkajících se jeho údržby a jejího vlivu na spolehlivostní parametry. Relex OpSim účinně zohledňuje všechny stránky problematiky údržby včetně definování a alokování opravárenských týmů, skladování a doručení dílnů v rámci firmy nebo mimo firmu a mnoha dalších. Je možné definovat plány údržby s určením časových intervalů, náklady a typ prováděné údržby, výměny dílů ... Relex OpSim tyto parametry zohledňuje při výpočtech pohotovosti i ceny za údržbu. Umožňuje vytvořit zdroje, sestavit týmy na opravy a přiřadit je konkrétním činnostem v diagramu. Simulační nástroj zohlední definované parametry jako hodinová mzda, pohotovost lidských zdrojů ... při určení celkového času na údržbu a pohotovosti komponent. Relex OpSim také eliminuje předpoklad, že každá oprava je 100% úspěšná, neboť umožňuje určit faktor degradace všech záložních a opravených komponent.

Pro potřeby naší firmy byl zakoupen modul Predikce spolehlivosti Relex, FMEA a Fault Tree.

Výpočet parametrů spolehlivosti našich zařízení je prováděn dle metodik RDF2000 a MIL-HDBK-217F.

Metodika MTBF-HDBK-217 je původně světový standard pro analýzu elektronických systémů a je základem pro analýzu prvků jak pro komerční, tak i vojenské využití.

Zvolit lze buď mezi metodou založenou na četnosti prvků, která může být použita pro rychlé odhady a rozbor v ranném stadiu vývoje, nebo metodou výpočtu založenou na namáhání prvků, která zohledňuje teplotní a jiné externí vlivy. Jedná se o metodiku celosvětově známou prověřenou mnohačetnými aplikacemi. Použitá verze je v pořadí šestou revidovanou verzí (proto označení MIL-HDBK-217F). Aplikace této vojenské metodiky dávno překročily rámec armády a vojenského průmyslu a přenesly se do průmyslové a komerční sféry a patří k nejčastěji využívaným metodikám predikce spolehlivosti i přes fakt, že její poslední revize byla provedena v r. 1995. Hodnoty spolehlivosti určené dle metod v ní doporučených představují statistický odhad, ve kterém se abstrahuje od dynamiky vývoje postupné degradace spolehlivosti uvažovaného zařízení, způsobené jak stárnutím jednotlivých jeho komponent, tak vnějšími vlivy (teplota, vlhkost, záření...). Je však nutno počítat s tím, že výsledky vypočítané dle této metody jsou v porovnání s realitou zpravidla pesimističtější. Také je potřeba brát v zřetel skutečnost, že

naši dodavatelé nemají prokázanou akreditaci svých výrobků dle příslušných amerických norem, proto je ve většině případů nutné zařadit součástky do nejnižších kategorií - s vysokým koeficientem – což následně zhorší výslednou hodnotu predikce. Na druhé straně se jedná o metodiku velmi důvěryhodnou, determinovanou a všeobecně uznávanou, která spolehlivě zachycuje důsledky technických, technologických i provozních změn v analyzované soustavě.

Relex zlepšuje výpočet spolehlivostních parametrů pomocí matematického modelu Telcordia, který umožňuje implementovat jak data získaná ze zahořování, tak z laboratorních testování. Metoda Telcordia (původně vyvinutá společností Bell Communications Research – Bellcore) nabízí modely komerčních průmyslových komponent. Tento počítačový model jak již bylo výše uvedeno zahrnuje i data ze zahořování, data z laboratorního testování a v následní řadě i data z provozu.

Metodika RDF 2000 - Metodika CNET – Centre National d'Etudes des telecommunication je francouzskou metodikou pro výpočet parametrů spolehlivosti zařízení používaných hlavně v telekomunikační technice. Metodika umožňuje výpočet spolehlivostních parametrů pro elektronické i optické části navrhovaných zařízení s přihlédnutím k vlivu různých zátěžových faktorů - teplotních cyklů, podmínek různých typů prostředí... Hodnoty parametrů spolehlivosti vypočítané dle této metodiky jsou mnohem příznivější než u výše uvedené metodiky MIL-HDBK-217F, nutno však brát v zřetel, že se jedná o telekomunikační manuál, který nemusí zohledňovat složité dynamické procesy jejichž výslednicí je vlastní degradace komponentu tak jako přísná vojenská norma. SW program firmy Relex umožňuje výpočet spolehlivostních parametrů dle této normy s použitím různých profilů cyklování: kontinuálně pracující, spínací, přenosový, základní pevný, které jsou ekvivalentní prostředím GB a GF dle MIL-HDBK-217F.

Před zakoupením predikčního programu Relex byly predikce v naší firmě počítány v programu MS Excel dle příručky MIL-HDBK-217F.

Každý sešit obsahoval listy s tabulkami s výpočty intenzity poruch jednotlivých komponent daného systému.

| Mikroelektronické obvody, hradlové pole a mikroprocesory | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|--------|--------------|---------|--------------------------------|-------------|----------------|--------------------|------------------|--------|----------|----------|------|------|------|
| Prostředí: 25 °C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Označení v DPS | Typ | Popis | Signál | Počet hradel | Pouzdro | Typ | Technologie | Aktivních pinů | Tepelný odpor *C/W | Ztrátový výkon W | C 1 | C 2 | λ cyc | λ T | λ L | λ E |
| U1 | MAX3245EEWI | 2 | 1 | 1335 | 3 | RS232 | 4 | 28 | | 1,00 | 0,04 | 0,012911 | | 0,29 | 1,00 | 2,00 |
| U2 | 74HC100D | 2 | 1 | <100 | 5 | 4x NAND | 4 | 14 | | 0,50 | 0,01 | 0,006225 | | 0,29 | 1,00 | 2,00 |
| U3 | 74HC102D | 2 | 1 | <100 | 5 | 4x NOR | 4 | 14 | | 0,50 | 0,01 | 0,006225 | | 0,29 | 1,00 | 2,00 |
| U4 | 24C16 | 3 | 1 | 2k | 5 | sériová EEPROM 2k, plocha 102r | 6 | 8 | | 0,50 | 0,0009 | 0,003401 | 0,009700 | 0,81 | 1,00 | 2,00 |
| U5 | 74HC104D | 2 | 1 | <100 | 5 | 6x invertor | 4 | 14 | | 0,50 | 0,01 | 0,006225 | | 0,29 | 1,00 | 2,00 |
| U6 | 74HC132D | 2 | 1 | <100 | 5 | 4x NOR | 4 | 14 | | 0,50 | 0,01 | 0,006225 | | 0,29 | 1,00 | 2,00 |
| U7 | 74ACT373D | 2 | 1 | <100 | 5 | 8x střadač s hradl. | 4 | 20 | | 0,50 | 0,01 | 0,009150 | | 0,29 | 1,00 | 2,00 |
| U8 | 74ACT373D | 2 | 1 | <100 | 5 | 8x střadač s hradl. | 4 | 20 | | 0,50 | 0,01 | 0,009150 | | 0,29 | 1,00 | 2,00 |
| U30 | MAX232ABWE | 2 | 1 | <1000 | 5 | RS232 | 4 | 16 | | 0,50 | 0,02 | 0,007190 | | 0,29 | 1,00 | 2,00 |

Popis: 1 - bipolární obvody (číslicové i analogové)
 2 - MOS obvody (číslicové i analogové)
 3 - programovatelné pole a obvody
 4 - mikroprocesory

Signál: 1 - číslicové
 2 - analogový
 3 - programovatelné

Pouzdro: 1 - hermetické: DIP zatavené pájkou nebo sváření, PGA, SMT s vývodem i bez
 2 - DIP zatavené sklem
 3 - plochá pozdra (Flatpaks) s axiálními vývodem
 4 - ostatní hermetická
 5 - nehermetická pozdra: DIP, PGA, SMT

Technologie: 1 - TTL, STTL, ASTTL, CML, HTTL, FTTL, DTL, ECL,
 2 - BiCMOS, LSTTL, LTTL, ALSTTL
 3 - IIL, ISL
 4 - Digital MOS, VHSIC CMOS (HC, HCT, AC, ACT, C, FCT)
 5 - Analogové (bipolár, CMOS)
 6 - paměti (bipolár, MOS, MNOS)
 7 - GaAs MMIC - aktivní obvody
 8 - GaAs digital - aktivní obvody

Obr.3 Výpočet intenzit poruch jednotlivých komponent v Excelu

Microsoft Excel - dpn

Arial CE 9 B I U

H5 $=EXP((-0,08/0,00008617)*((1/(\$E\$2+273))-(1/298)))$

| Rezistory | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|-----------|-------------------|-----------------|----------------|--------------------|----------|----------|---------|---------|---------|-----------------|
| Prostředí: | | G(F) | | 25 °C | | | | | | | | |
| Ozn.v.DPS | Typ | Materiál | Jmenovitá hodnota | Jmenovitý výkon | Ztrátový výkon | λ základní | π T | π S | π P | π E | π O | λ odhad |
| | | | Ω | W | W | 10exp-6 | | | | | | 10exp-6 |
| R1 | TR 234 820RK | metaloxid | 820 | 2 | 0,1219 | 0,003700 | 1,000000 | 0,759234 | 0,44 | 4,00 | 3,00 | 0,014835 |
| R2 | TR 157 330KJ | metaloxid | 330000 | 0,6 | 0,0004 | 0,003700 | 1,000000 | 0,710521 | 0,05 | 4,00 | 3,00 | 0,001492 |
| R3 | TR 157 680KJ | metaloxid | 680000 | 0,6 | 0,0002 | 0,003700 | 1,000000 | 0,710260 | 0,04 | 4,00 | 3,00 | 0,001138 |
| R4 | TR 157 33KJ | metaloxid | 33000 | 0,6 | 0,0044 | 0,003700 | 1,000000 | 0,715750 | 0,12 | 4,00 | 3,00 | 0,003829 |
| R5 | RR W2 1K8 | metaloxid | 1800 | 2 | 0,0555 | 0,003700 | 1,000000 | 0,732007 | 0,32 | 4,00 | 3,00 | 0,010524 |

Obr.4 Výpočet intenzit poruch jednotlivých komponent v Excelu

První list sešitu obsahoval sumář všech vypočtených hodnot intenzity poruch s procentuálním zastoupením jednotlivých součástek a s grafem zobrazujícím procentuální hodnoty intenzity poruch jednotlivých skupin součástek při dané teplotě. Výpočty se obvykle prováděly pro minimálně 3 teploty okolního prostředí a porovnání hodnoty intenzity poruch při různých teplotách bylo také znázorněno graficky.

Microsoft Excel - dpn

Arial CE 10 B I U

F19

| Deska přepínání napájení - DPN | | |
|--------------------------------|------------------|------------------|
| Prostředí Gf | | 50 °C |
| Název | Intenzita poruch | Intenzita poruch |
| | 10exp-6 | % |
| Rezistory | 0,040495 | 3,03 |
| kondenzátory | 0,099830 | 7,46 |
| Konektory | 0,128279 | 9,58 |
| Transformátory | 0,760653 | 56,82 |
| DPS | 0,005440 | 0,41 |
| Diody | 0,204714 | 15,29 |
| Relé | 0,094656 | 7,07 |
| Tranzistory | 0,004560 | 0,34 |
| Celkem | 1,338626 | 100,00 |
| Parametr proudu poruch | 1,33862644 | exp-6 |
| Střední doba mezi poruchami | 747034,4002 | hod |
| | 85,28 | roků |

Intenzita poruch součástek desky přepínání napájení DPN v %

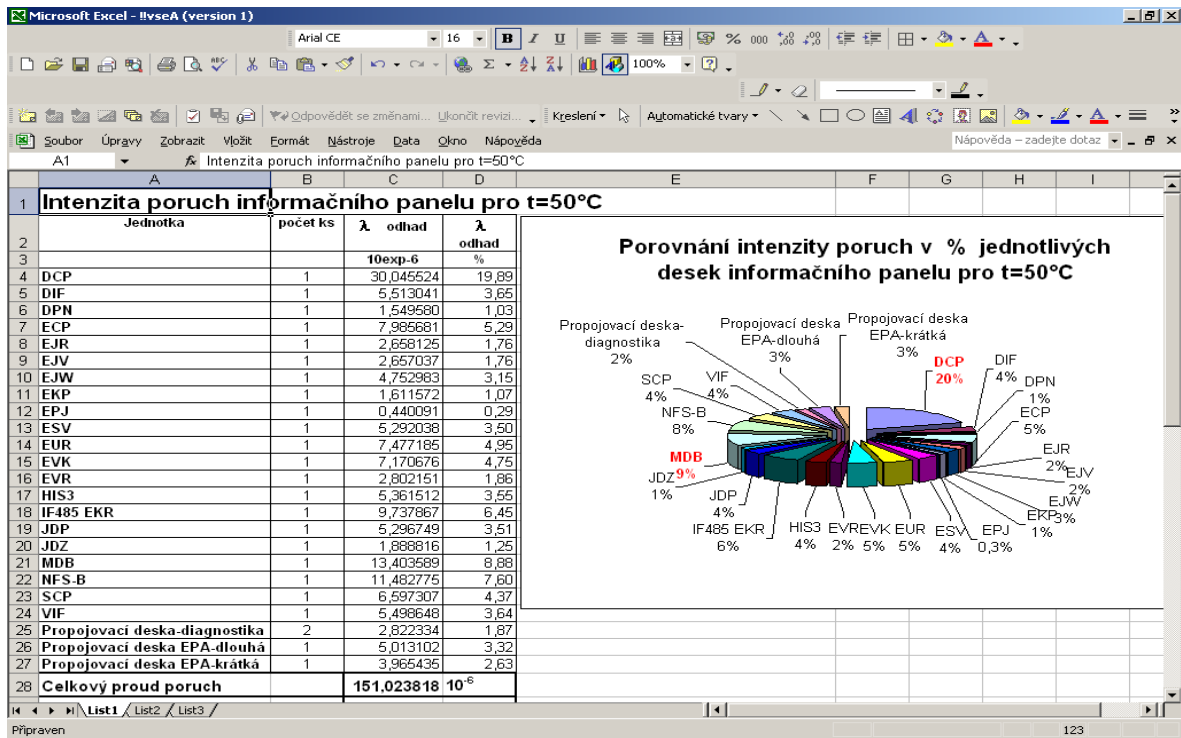
| Součástka | Intenzita poruch (10exp-6) | Podíl (%) |
|----------------|----------------------------|-----------|
| Transformátory | 0,760653 | 58% |
| DPS | 0,005440 | 0,41% |
| Diody | 0,204714 | 15,29% |
| Kondenzátory | 0,099830 | 7,46% |
| Relé | 0,094656 | 7,07% |
| Tranzistory | 0,004560 | 0,34% |
| Rezistory | 0,040495 | 3,03% |

Teplotní charakteristika

| Teplota °C | Intenzita poruch 10exp-6 | MTBF(SDMP) hod |
|------------|--------------------------|----------------|
| 25 | 1,03 | 966236 |
| 50 | 1,33 | 747034 |
| 75 | 1,76 | 568471 |

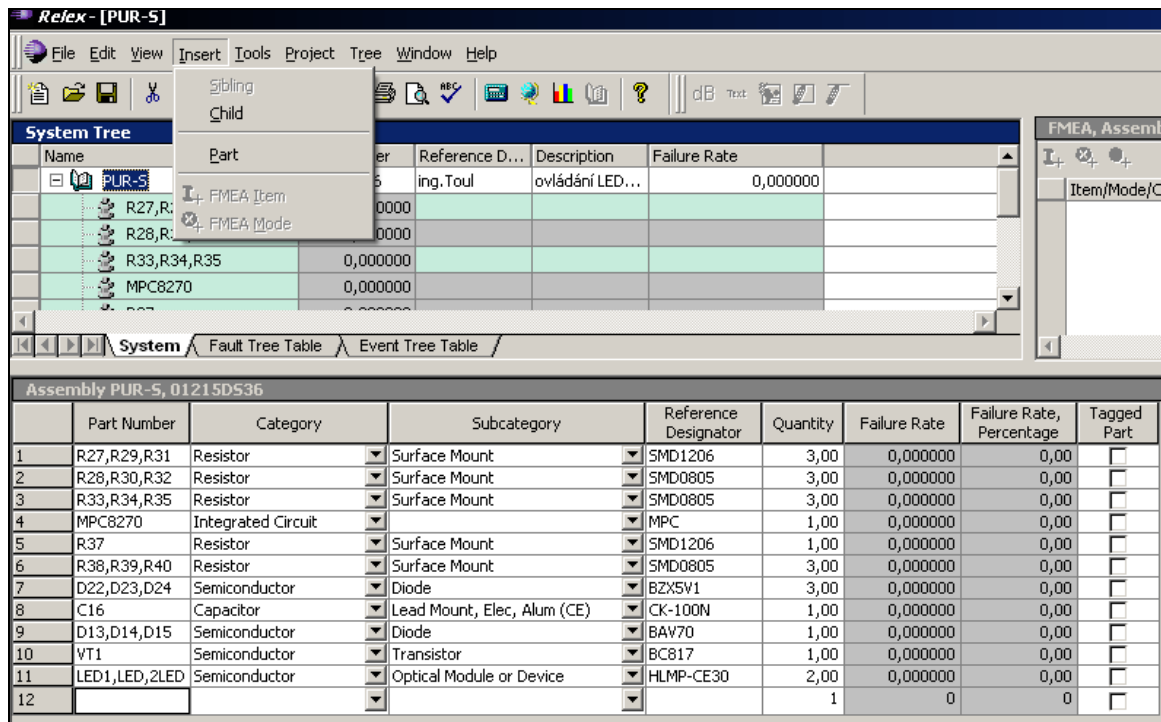
Obr.5 Výpočet parametru proudu poruch desky přepínání napájení v Excelu

V případě složitějších systémů, skládajících se z několika podsystémů, byl pak sumární výpočet s ohledem na počet a zapojení jednotlivých desek do systému (sériové/paralelní) prováděn na zvláštním sešitu s vzájemným propojením na sešity jednotlivých podsystémů.



Obr.6 Výpočet celkového proudu poruch systému v Excelu

Později byl zpracován výpočet parametrů spolehlivosti dle MIL-HDBK-217F a RDF2000 pomocí maker VBA a predikce intenzity poruch jednotlivých typů součástek se volá jako funkce přímo v Excelu, čímž se pracnost při výpočtech značně zjednodušila.

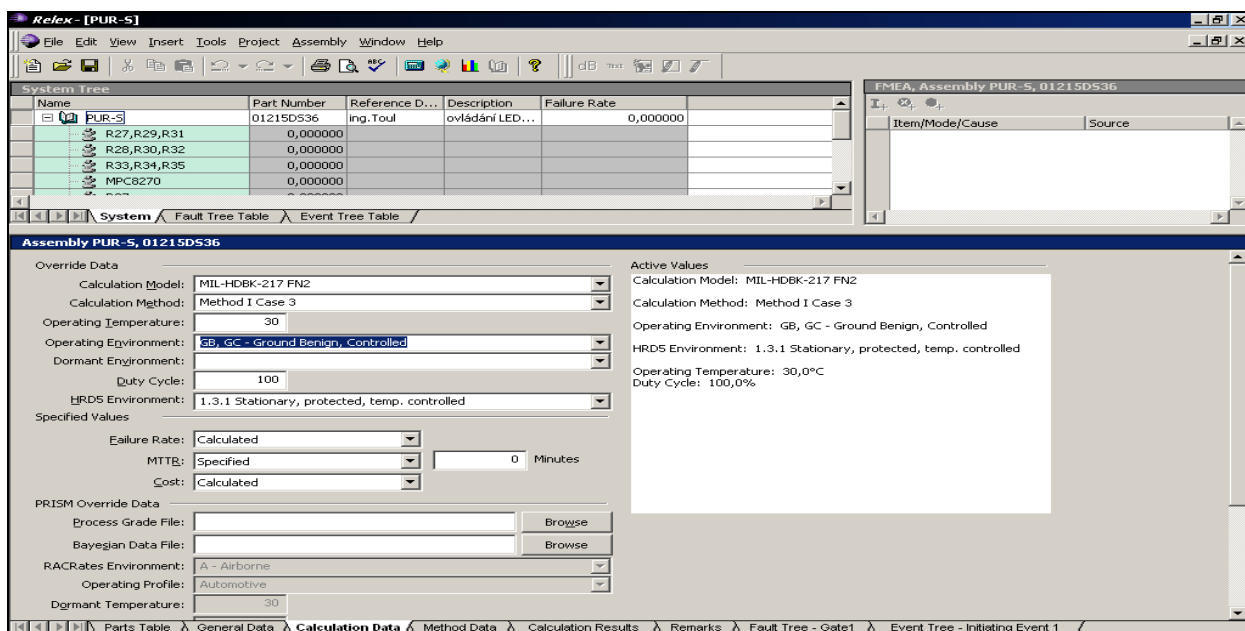


Obr.7 Vkládání nových komponent systému v programu Relx

Zadávání systému v programu Relex je jednoduché. Program využívá ovládání a grafickou strukturu odpovídající standardu MS Windows. Obsahuje účinný CAD Import/Export Wizard pro přímý export a import dat. Rozbalovací nabídky v jednotlivých oknech nabízí všechny použitelné varianty. Můžeme si navolit požadované typy formátů souborů, analýz, metodik výpočtu, typů prostředí, teplot, přiřadit rizikový koeficient různým stavům, ... Celý sešit systému pak pozůstává z listů Parts Table, General Data, Calculation Data, Method Data, Calculations results, FMEA, Fault Tree, ..., na kterých jsou okna s nastavitelnými parametry.

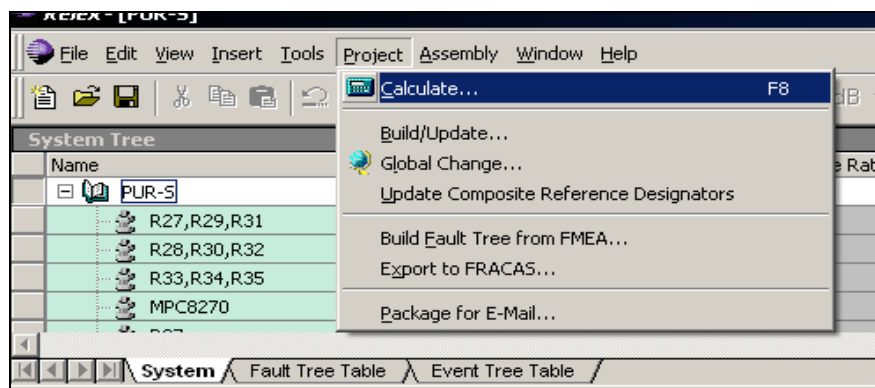
Vložení nového podsystému (části) nebo komponenty provádíme příkazem hlavní nabídky Insert. Ve spodním okně listu Parts Table doplníme dle předvolených nabídek údaje ohledně kategorie a subkategorie komponenty i popis a počty kusů jednotlivých komponent.

Na dalších listech sešitu doplníme všeobecná i kalkulační data pro systém jako celek (metodu výpočtu, typ prostředí, teplotu....) i pro jednotlivé komponenty systému (kvalitu součástky, pracovní a jmenovité hodnoty požadovaných veličin, konstrukční typ, ztrátová tepla a výkony....).

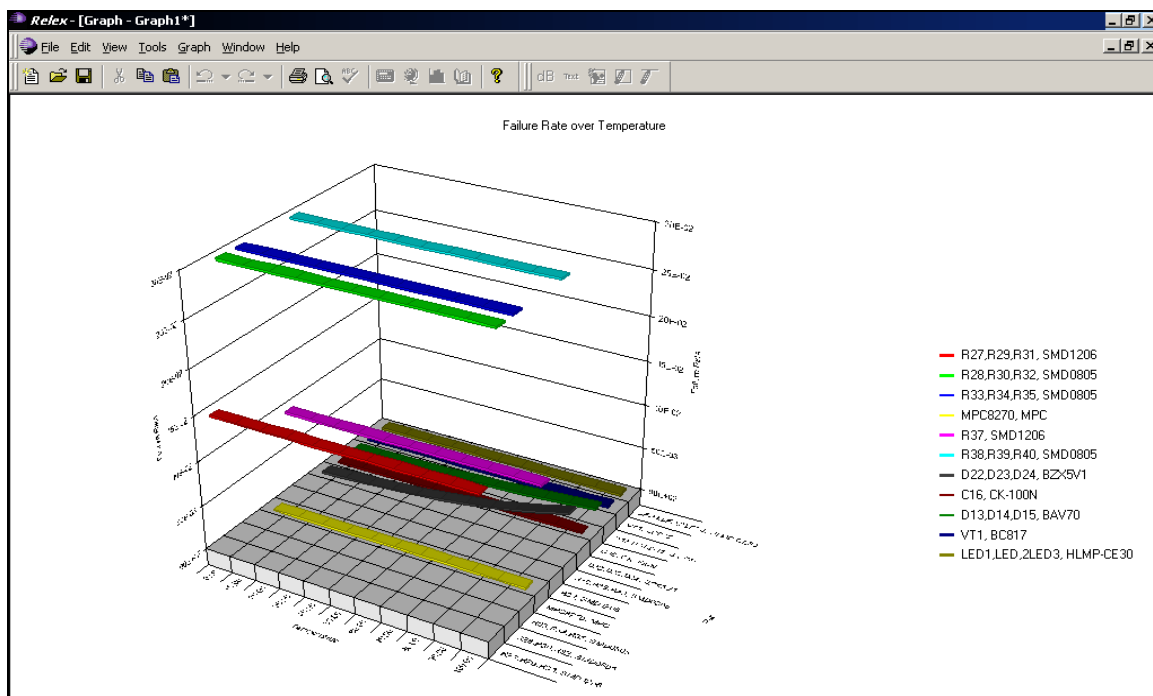


Obr.8 Zadání kalkulačních dat systému v programu Relex

Po zadání všech požadovaných hodnot se provede výpočet příkazem Project / Calculate z hlavní nabídky. Nezávisle na rozsahu systému jsou v krátkém časovém intervalu parametry spolehlivosti k dispozici. Program obsahuje vestavěný nástroj na vizuální tvorbu reportů - vypočítané hodnoty můžeme vytisknout formou zprávy nebo zaslat e-mailem. Příkazem hlavní nabídky Tools / Graph lze zobrazit i různé grafické závislosti.



Obr.9 Výpočet parametrů spolehlivosti systému v programu Relx



Obr.10 Grafické znázornění závislosti intenzit poruch jednotlivých komponent na teplotě v programu Relx

Dovolte závěrem stručnou charakteristiku SW programu Relx a shrnutí jeho výhod i nevýhod:

Výhody programu Relx:

- podporuje často používané elektronické a mechanické spolehlivostní modely
- obsahuje účinný CAD Import/Export Wizard pro přímý export a import dat
- síťová podpora umožňuje skupině uživatelů přistupovat k jednomu projektu současně
- obsahuje vestavěný nástroj na vizuální tvorbu reportů
- obsahuje rozsáhlou knihovnu součástek
- má snadno použitelnou grafiku

Nevýhody programu Relex:

- nelze provádět změny některých parametrů na více komponentech najednou (např. výkonové zatížení odporů)
- knihovna neobsahuje součástky našich výrobců
- součástky v knihovně jsou značeny specifickým kódem
- výsledný výpočet není možné jednoduše verifikovat jako v případě výpočtů v Excelu

Navzdory uvedeným nedostatkům přineslo zakoupení síťové verze softwaru Relex pro naši firmu AŽD Praha s.r.o. výhody především v rychlém a pružném vypracovávání predikcí na nově vyvíjené obvody a zařízení přímo samotnými vývojáři na vývojových pracovištích, kteří tak mají okamžitou informaci o vlivu použitých součástek a jejich zatížení na výslednou spolehlivost obvodu a tyto zkušenosti se mohou okamžitě promítat do návrhu nových obvodů.

Použitá literatura:

- [1] Manuál Relex Software
- [2] interní materiály AŽD

Reliasoft BlockSim a zkušenosti s jeho využitím k analýzám bezporuchovosti letadlových soustav

Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.

Letecký ústav
Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství
hlinka@fme.vutbr.cz
+420 541 142 584

Ing. Jindřich Finda

Letecký ústav
Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství
finda@email.cz
+420 541 142 185

Příspěvek obsahuje základní informace o firmě Reliasoft spolu s popisem produktu Reliasoft BlockSim 6.2 FTI (využití RBD a FTA), jeho možností a nedostatků. Schopnosti jsou demonstrovány na praktické ukázce řešení vybraných poruchových stavů zdrojové elektrické soustavy malého sportovního letounu.

Seznam použitých zkratkových slov

- FTA** – Stromy poruchových stavů (Fault Tree Analysis)
- MTBF** – Střední doba mezi poruchami (Mean Time Between Failures)
- MTTFF** – Střední doba do první poruchy (Mean Time To First Failure)
- RBD** – Blokované diagramy bezporuchovosti (Reliability Block Diagrams)
- VUT** – Vysoké učení technické v Brně

1. Úvod

Soustavy moderních letadel jsou stále složitější a nákladnější. Ruku v ruce s technologickým vývojem letadel jde rovněž vývoj požadavků na jejich bezpečnost. Výsledkem je řešení bezpečnosti a spolehlivosti letadlové techniky, a to i u kategorií kde v minulosti takové postupy návrhu nebyly běžné. Současně s vývojem požadavků na analýzy spolehlivosti probíhá rovněž rozvoj softwarových prostředků pro podporu řešení problémů v této oblasti.

V příspěvku bude prezentován software pro řešení blokovaných digramů bezporuchovosti a stromů poruchových stavů včetně příkladu praktického řešení.

2. Reliasoft BlockSim 6.2 FTI

Softwarová aplikace Reliasoft BlockSim 6.2 FTI je nástroj pro řešení úloh z oblasti spolehlivosti. Konkrétně umožňuje řešit úlohy týkající se bezporuchovosti, udržovatelnosti a odvozených parametrů (např. MTBF, apod.). Mezi obdobnými softwarovými produkty patří s požadovanou cenou za licenci (okolo 2690 EUR podle verze) k produktům, které nabízejí dobrý poměr cena/výkon. Pro řešení jsou využity blokované diagramy bezporuchovosti a ve verzi FTI rovněž stromy poruchových stavů.

Ve srovnání s některými konkurenty nabízí BlockSim nejen numerické řešení úloh, ale rovněž analytické řešení (se sestavením analytického vztahu pro výpočet). Zjednodušený výčet uživatelských funkcí zahrnuje:

- Analýzy neopravovaných i opravovaných soustav
- Analytické řešení (statické i časově závislé, včetně analýz s využitím redundantních bloků a bloků modelujících různé způsoby zálohování)
- Simulační postupy řešení
- Vytváření modelů s různými rozděleními pravděpodobnosti (exponenciálním, normálním, lognormálním a několika typy Weibullova rozdělení)
- Zahrnutí vztahů mezi intenzitou poruch a zatížením ve Weibullově rozdělení
- Zahrnutí různých modelů oprav (včetně „Imperfect Repairs“) pro analýzy opravovaných soustav
- Propojení s dalšími aplikacemi (Reliasoft ALTA, Weibull++ a RAC PRISM)

V seznamu jsou uvedeny pouze „základní“ funkce. Aplikace disponuje ještě rozsáhlejším seznamem funkcí, stejně jako disponuje propracovaným uživatelským rozhraním s možností rozsáhlých grafických výstupů. Účelem příspěvku však není vyčerpávající přehled všech funkcí, pouze seznámení se s možnostmi a zajímavostmi aplikace BlockSim.

V balení k softwaru je možné najít rovněž 2 rozsáhlé manuály. Jeden koncipovaný jako uživatelská příručka („User Guide“) a jeden jako obsáhlý popis metod řešení („System Analysis Reference – Reliability, Availability and Optimization“, 403 stran).

2.1 Matematické modely analytického řešiče používané pro řešení RBD

Způsob řešení v aplikaci BlockSim se při použití **analytického řešiče** odvíjí od složitosti a charakteru řešeného blokového diagramu. Aplikace rozeznává následující typy blokových diagramů:

- *Sériový / paralelní systém*
- *„k-out-from-n“ (k selhání z n prvků)*
- *„Complex system“ (složitý systém)*

„Složitě“ blokové diagramy (Complex Systems) jsou řešeny jednou ze 3 metod (podle charakteru):

- *„Decomposition Method“* – metoda označovaná v manuálu jako metoda dekompozice je často známá píše pod označením „aplikace věty o úplné pravděpodobnosti“. Spočívá ve vytipování kritického prvku a aplikaci vztahu (2.1).

$$R_S = P(S/A) \cdot P(A) + P(S/\bar{A}) \cdot P(\bar{A}) \quad (2.1)$$

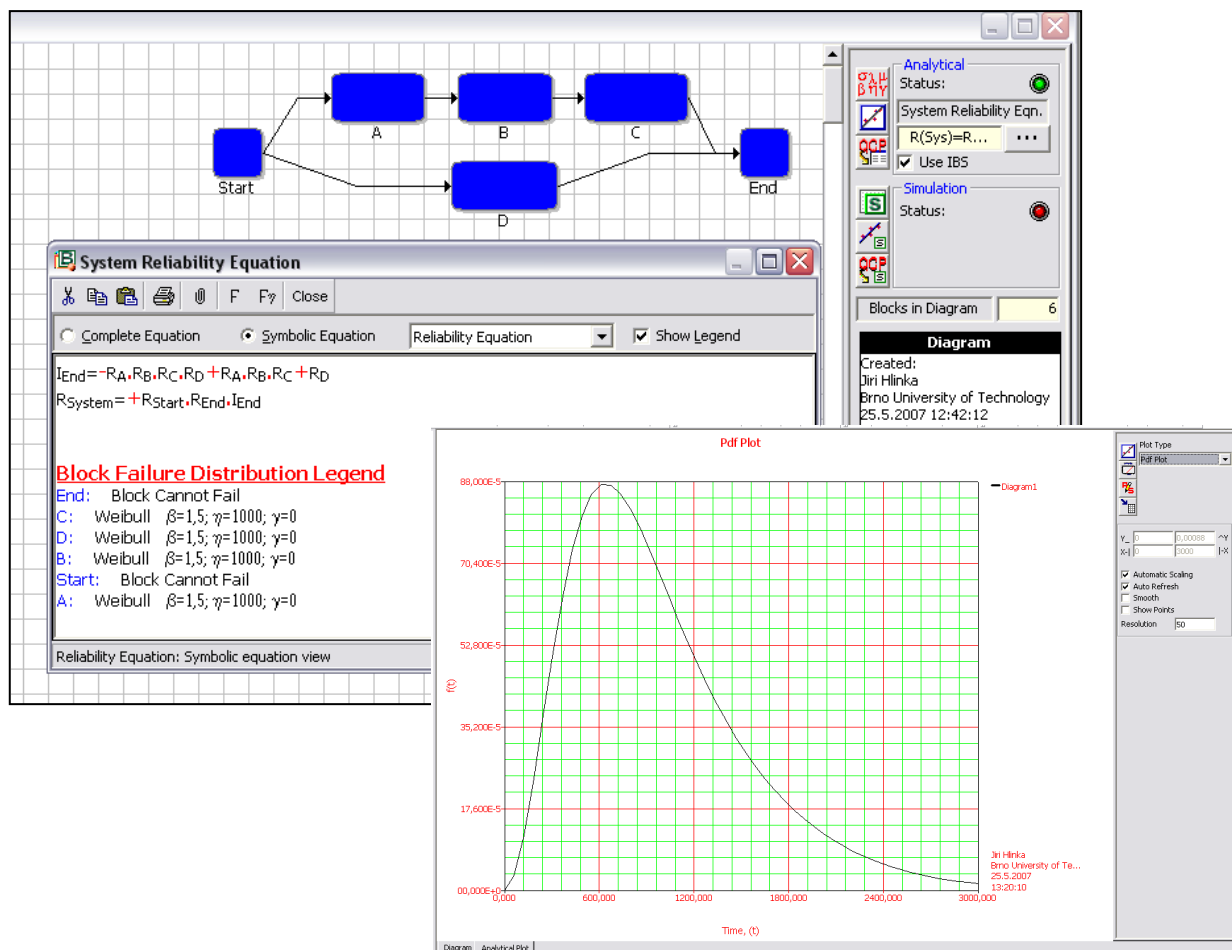
- *„Event Space Method“* – pod tímto názvem se skrývá metoda často známá jako pravdivostní tabulka (seznam všech kombinací stavů prvků, kde se pro řešení berou v úvahu pouze kombinace končící požadovaným stavem systému).

- „*Path Tracing Method*“ – řeší „každou jednotlivou cestu vedoucí k úspěchu“ s jejich následným sjednocením.

Při vytváření RBD vyžaduje BlockSim obvykle zadání „počátečního“ a „koncového“ bloku. Obvykle se tyto bloky zadávají jako bloky, u kterých nedochází k selháním.

Software rovněž umožňuje výpis vztahu pro analytické řešení modelovaného blokového diagramu (jakékoliv složitosti), viz. obr. 2.1.

Obr. 2.1 – Ukázka blokového diagramu bezporuchovosti se vztahem pro analytické řešení bezporuchovosti

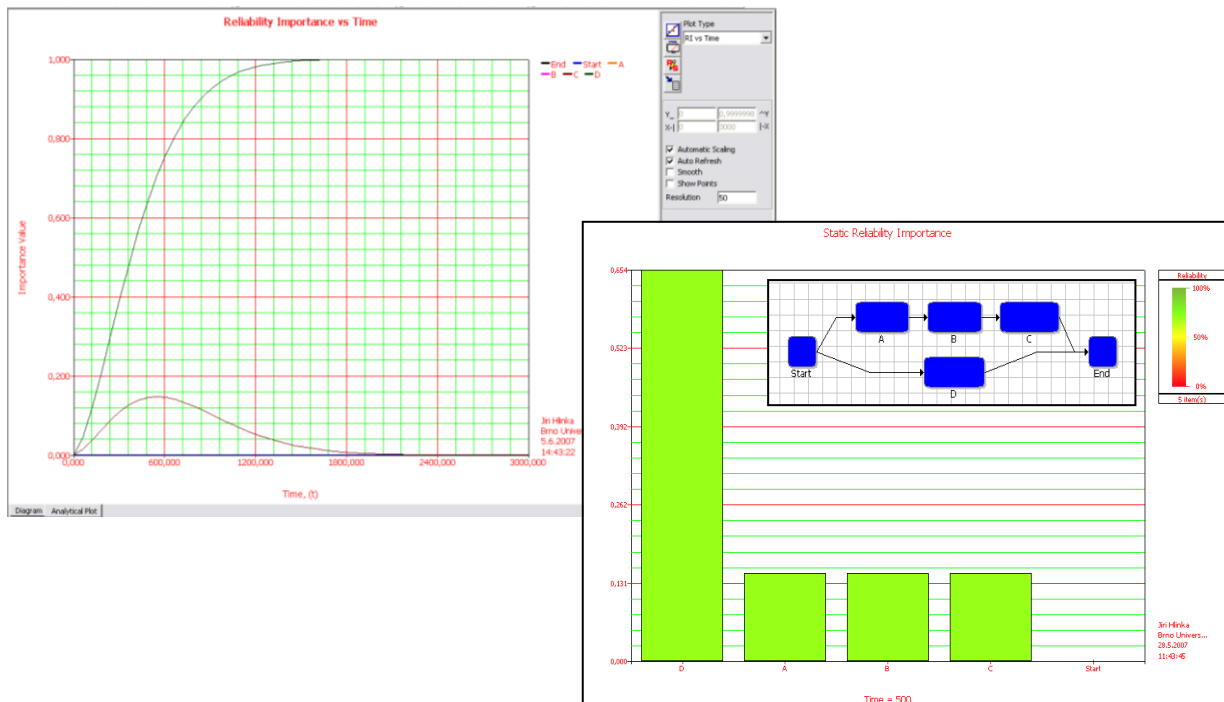


2.2 Alokace bezporuchovosti komponent

Významnost komponenty pro bezporuchovost (Component Reliability Importance)

Software nabízí vyhodnocení a seřazení komponent podle jejich významu pro celkovou bezporuchovost posuzované soustavy (produktu). Zjednodušeně lze říci, že se posuzuje, jak ovlivní změna bezporuchovosti vybraného prvku celkovou bezporuchovost řešeného systému. Vyhodnocení software umožňuje jak pro statické řešení tak pro časově závislá řešení s grafickým výstupem.

Obr. 2.2 – Ukázka vyhodnocení významnosti prvků pro bezporuchovost („v závislosti na čase“ – levý horní obr. - a statické – pravý dolní obr.)



Optimalizace alokace bezporuchovosti komponent

Mimo samotné posuzování významnosti komponenty software rovněž umožňuje provedení optimalizace - včetně zahrnutí rozdílných nákladů na zvýšení bezporuchovosti jednotlivých komponent. V takovém případě využívá vztah (2.2).

$$C_i(R_i) = e^{(1-f) \cdot \frac{R_i - R_{\min,i}}{R_{\max,i} - R_i}} \quad (2.2)$$

kde $C_i(R_i)$ – je funkce vyjadřující ztrátu (náklady na zvýšení bezporuchovosti) jako funkci bezporuchovosti komponenty

f – je konstanta vyjadřující vhodnost komponenty pro zvyšování parametrů bezporuchovosti ve srovnání s ostatními komponentami (může být určována subjektivně, či zadáním přesné závislosti)

$R_{\min,i}$ – je současná bezporuchovost pro časové období vyhrazené pro optimalizaci

$R_{\max,i}$ – je maximální dosažitelná bezporuchovost pro časové období vyhrazené pro optimalizaci

2.3 Opravované systémy

S využitím simulačních postupů umožňuje BlockSim řešení opravovaných systémů. V takovém případě je schopný na základě vstupů provést odhady parametrů jako je pohotovost (okamžitá, střední, asymptotická), udržovatelnost, střední doba do první poruchy (MTTFF), doba nepoužitelného stavu (downtime), apod..

Obr. 2.3 – Ukázka výpisu z analýzy oprav. syst.

| System Overview | |
|--|-------------|
| General | |
| Mean Availability (All Events): | 0,93001313 |
| Std Deviation: | 0,00222332 |
| Mean Availability (w/o PM & Inspection): | 0,93001313 |
| Point Availability (All Events) at 1000: | 0,902 |
| Reliability at 1000: | 0,1573 |
| Expected Number of Failures: | 1,3137 |
| MTTF: | 744,7921937 |
| System Uptime/Downtime | |
| Uptime: | 930,0131327 |
| CM Downtime: | 69,98686734 |
| Inspection Downtime: | 0 |
| PM Downtime: | 0 |
| Total Downtime: | 69,98686734 |
| System Downing Events | |
| Number of Failures: | 1,313 |
| Number of CMs: | 1,313 |
| Number of Inspections: | 0 |
| Number of PMs: | 0 |
| Total Events: | 1,313 |
| Costs | |
| Total Costs: | 0 |
| Throughput | |
| Total Throughput: | 922,472447 |

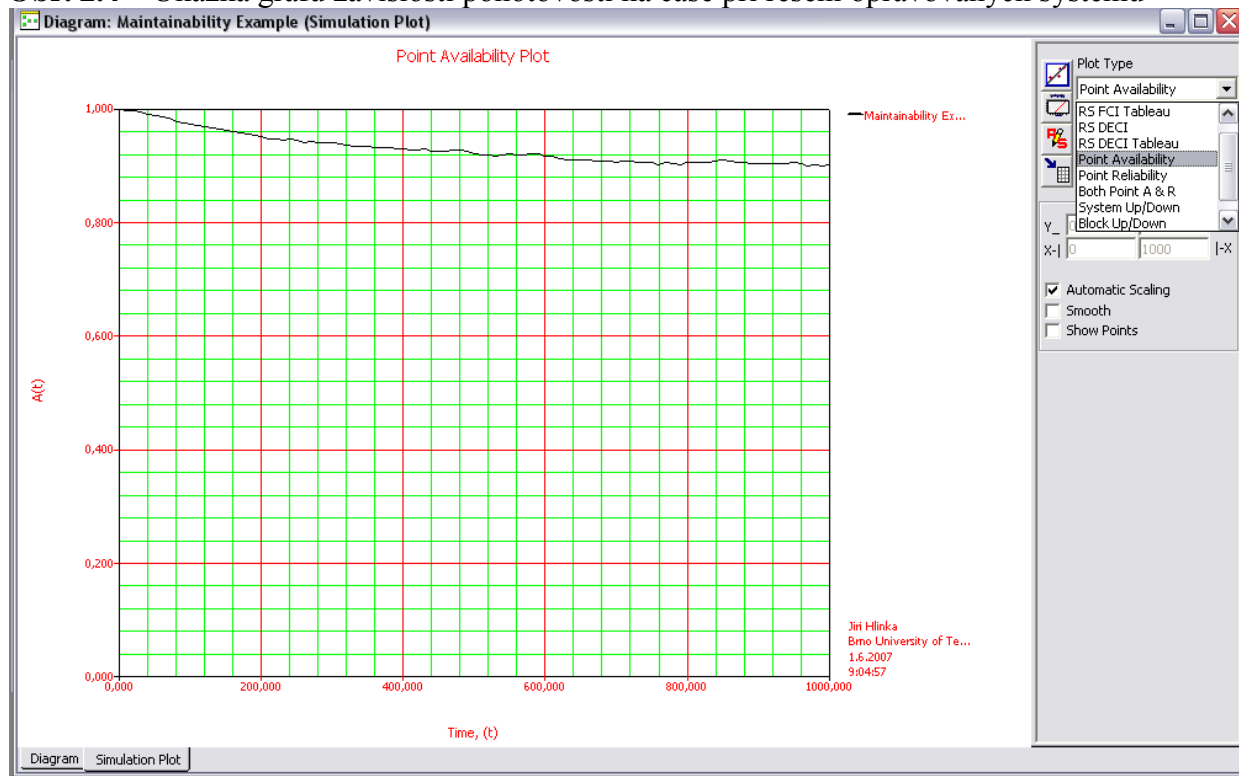
BlockSim 6.2 FTI přitom může brát v úvahu jak údržbu po poruše, tak preventivní údržbu a systém prohlídek.

Z řešení lze rovněž snadno vyhodnotit, které komponenty se nejvíce podílely na poruchových stavech řešeného systému (pomocí funkce „Downing Event Criticality Index“).

Při modelování oprav lze potom využít i možnost zadávat „nedokonalé“ opravy (imperfect repairs) a vliv skladových zásob náhradních dílů.

Další zajímavou funkcí je řešení nákladů v průběhu životního cyklu (*Life Cycle Cost Analyses*).

Obr. 2.4 – Ukázka grafu závislosti pohotovosti na čase při řešení opravovaných systémů



2.4 Stromy poruchových stavů

Software BlockSim6.2 umožňuje ve verzi FTI rovněž analýzy stromů poruchových stavů s využitím následujících hradel (seznam používá původní anglické výrazy pro označení hradel):

klasické

- AND
- OR (včetně „k-out-of-n“ – „*k selhání z n prvků*“)
- Inhibit (událost nastane, když nastane vstupní událost a současně je splněna další zadaná podmínka)
- Sequence Enforcing Gate
- Priority AND Gate
- Transfer Gate
- XOR Gate

speciální hradla aplikace BlockSim

- Load Sharing (pro systémy, u kterých lze výpadek jednoho prvku kompenzovat rozložením zatížení na ostatní prvky se změnou jejich bezporuchovosti)
- Standby (znanáší vliv různých druhů zálohování do modelu)

Stejně jako v případě blokových diagramů bezporuchovosti umožňuje BlockSim při řešení stromů poruchových stavů využít jak analytické řešení, tak simulační postupy.

2.5 Omezení BlockSim6.2 FTI

Přes vysokou úroveň zpracování uživatelského rozhraní, ošetření od chyb a důraz kladený na snadnou práci s aplikací lze najít i nedostatky, popř. náměty k vylepšení. Vzhledem k tomu, že využívání pro potřeby Leteckého ústavu (VUT v Brně) bylo omezeno zejména na použití blokových digramů pro odhady intenzit poruch, popř. pravděpodobností selhání vztažených na 1 hodinu činnosti, budou i popsané omezení vztaženy zejména na tyto aplikace.

Mezi hlavní obecné nevýhody vztahující se k řešení pomocí blokových diagramů bezporuchovosti je nutnost modelovat bezporuchovost systému. Pro aplikace v letectví je výhodnější modelovat blokové diagramy poruch (a porovnávat je s požadavky a doporučeními leteckých předpisů). Aplikace BlockSim neumožňuje vytvářet přímo blokové diagramy poruch. Alternativu poskytuje řešení pomocí stromů poruchových stavů, nebo vytvoření blokových diagramů bezporuchovosti ze schémat poruch.

Při analytickém řešení je rovněž možno narazit na omezení týkající se řádů vypočtených hodnot. Ať už šlo o nastavení programu nebo „vrozenou“ funkci, v některých případech nebylo možné provést výpočty pro data s velmi nízkým výsledným řádem ($<10^{-18}$).

Jako drobný nedostatek lze rovněž vnímat, že ve výpisech vztahů pro analytické řešení bezporuchovosti uvádí BlockSim také startovací a ukončovací bloky (tyto bloky jsou při vytváření modelu nutné; ovšem jsou zadány jako bloky, které nemohou selhat). Při případném ručním dosazení a výpočtu je nutné za ně dosazovat 1. Při porovnání s výstupy z jiných aplikací, popř. manuálním řešením, je třeba vzít tuto skutečnost na vědomí.

3. Praktická aplikace: VUT100

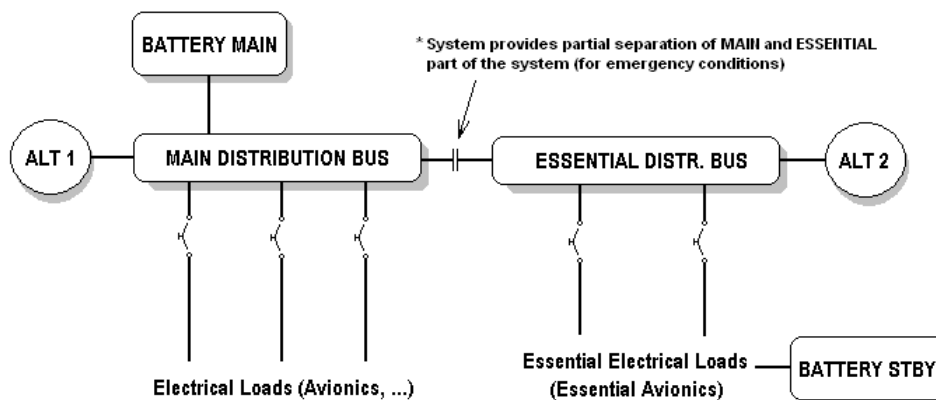
Funkce aplikace BlockSim byly využity při řešení bezpečnosti a spolehlivosti soustav malého sportovního a turistického letounu VUT100. Letoun VUT100 Cobra je 4-5 místný jednomotorový celokovový letoun se zatahovacím podvozkem. Letoun disponuje moderním avionickým systémem umožňujícím lety pouze podle přístrojů (tj. lety za špatného počasí a v noci). Součástí avionického systému je „uživatelsky příjemná“ prezentace základních letových dat, navigačních dat a informace o stavu letounových soustav na 2 LCD panelech se zálohou kritických dat na klasických mechanických ukazatelích. Součástí vybavení na přání zákazníka jsou i zařízení, které se běžně vyskytují pouze na letounech vyšších kategorií, např. antikolizní systém (TCAD), detektor bouřek (StormScope) nebo pokročilý autopilot.

Obr. 3.1 – Letoun VUT100 Cobra



Z uvedeného popisu vyplývá, že pro letoun bylo vyžadováno zálohování kritických soustav tak, aby byly splněny požadavky a doporučení leteckých předpisů. Praktická aplikace bude demonstrována na příkladu elektrické zdrojové soustavy. Ukázka zjednodušeného schéma elektrické soustavy letounu VUT100 je na obr. 3.2. Elektrická soustava využívá (v závislosti na variantě) až 2 alternátory, které zásobují el. energií spotřebiče. Současně s nimi jsou v soustavě použity 2 akumulátory, které mimo jiné tvoří zálohu pro napájení kritických spotřebičů (podle požadavků předpisu musí pokrýt spotřebu kritických přístrojů po dobu minimálně 30min v případě ztráty hlavních zdrojů el. energie). Dohromady se zapojením kritických spotřebičů soustava vytváří poměrně komplikovaný systém. Kritické poruchové stavy soustavy (bylo určeno celkem 12 poruchových stavů) byly modelovány s využitím blokových diagramů. Jednalo se o vybrané poruchové stavy s hodnocením důsledků „závažné“ (MAJOR) a všechny poruchové stavy s hodnocením kritické „HAZARDOUS“ nebo katastrofické „CATASTROPHIC“.

Obr. 3.2 – Zjednodušené schéma elektrické soustavy letounu VUT100 Cobra



Požadavky a doporučení leteckých předpisů požadují zejména průkaz, že selhání žádného samostatného prvku soustavy nepovede ke vzniku katastrofické události, a že pravděpodobnost nastoupení závažných událostí nebude nejvýše hodnot stanovených v dokumentu AC 23.1309 – viz. tab. 1 (pro letouny kategorie VUT100).

Tab. 3.1 – Výběr z doporučení poradního oběžníku AC 23.1309

| Klasifikace poruchových stavů | Bez vlivu na bezpečnost | Nezávažné (Minor) | Závažné (Major) | Nebezpečné (Hazardous) | Katastrofické (Catastrophic) |
|---|--|-------------------|-----------------|------------------------|------------------------------|
| Rozdělení letadel: | Přípustné pravděpodobnosti (za 1 letovou hodinu) | | | | |
| Třída I (Typicky jednomotorový letoun s pístovým motorem a hmotností menší než 6000 lb./ 2722 kg) | Žádná požadovaná pravděpodobnost | $< 10^{-3}$ | $< 10^{-4}$ | $< 10^{-5}$ | $< 10^{-6}$ |

Některé blokové diagramy poruchových stavů řešené během vývoje obsahovaly až 82 bloků (před redukcí), s velkým množstvím opakujících se bloků. I při použití redukce počtu bloků zůstávaly některé blokové diagramy poměrně rozsáhlé. Z toho důvodu se jevílo jako výhodné použití softwaru.

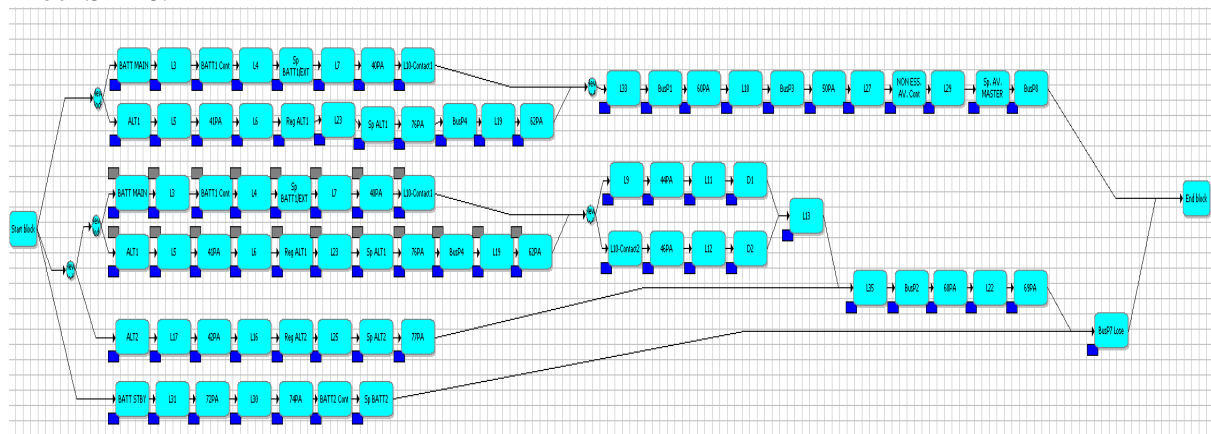
Vzhledem k riziku, že bude vyžadováno složité prokazování vhodnosti softwaru fy Reliasoft ze strany Úřadu pro civilní letectví bylo provedeno modelování všech poruchových stavů „ručně“ s využitím blokových diagramů poruch a zjednodušení publikovaných v poradních oběžnících leteckého předpisu a souvisejících dokumentech.

Ovšem velká složitost některých poruchových stavů znamenala, že paralelně s modely blokových diagramů poruch byly vytvořeny blokové diagramy bezporuchovosti s využitím softwarové aplikace BlockSim. Porovnání výsledků sloužilo zejména k potvrzení správnosti „ručních“ výpočtů, ale vytvořilo i unikátní příležitost pro porovnání přesnosti řešení s využitím zjednodušení a „přesných“ řešení s využitím softwaru.

4. Shrnutí výstupů z praktických analýz

Obrázek 4.1 ukazuje příklad blokového diagramu bezporuchovosti (souvisejícího s řešením kritického poruchového stavu) modelovaného v rámci analýzy bezpečnosti a spolehlivosti elektrické soustavy letounu VUT100.

Obr. 4.1 – Ukázka blokového diagramu bezporuchovosti řešeného s pomocí aplikace BlockSim 6.2 FTI



V softwaru BlockSim byly řešeny modely s uvažováním konstantní bezporuchovosti a pro stejné blokové diagramy rovněž modely s uvažováním exponenciálního rozdělení (s řešením intenzit poruch). Výstupy z aplikace BlockSim byly porovnány s výsledky „ručního“ modelování pomocí blokových diagramů poruch. „Ruční“ řešení využívalo následující zjednodušení:

- Odhad pravděpodobnosti nastoupení poruchových stavů je založen na použití exponenciálního rozdělení pravděpodobnosti (uvažuje se konstantní intenzita poruch). Tento předpoklad u použitých prvků platí pro dobu předepsané životnosti. Pak je nutné prvky vyměnit.
- Minimální kritické řezy (soubor prvků, jejichž selhání vede k selhání systému) vyšších řádů jsou řádově méně pravděpodobné než min. kritické řezy nižších řádů (vliv na výslednou hodnotu pravděpodobnosti nastoupení poruchového stavu je velmi malý). Proto byly vyřazeny z řešení.
- Při dosazení do vztahů pro výpočet pravděpodobnosti poruchy budou použity hodnoty intenzit poruch λ . Vzhledem k tomu, že předpokládáme průměrnou dobu letu letounu v trvání 1 hodiny není třeba násobit hodnotu λ hodnotou vyjadřující dobu letu. Lze tedy napsat:

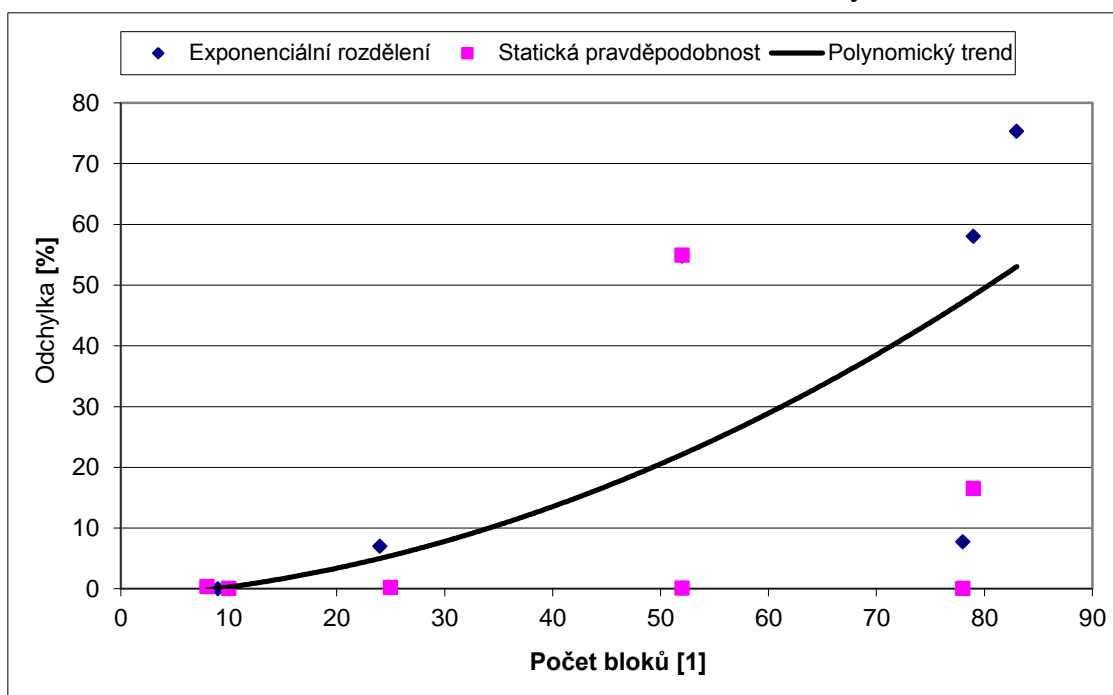
$$Q = \lambda \cdot \Delta t = \lambda \cdot 1 = \lambda \quad *$$
(3.1)

kde Q – je pravděpodobnost selhání (vztažená na 1 hod letu)
 λ – je intenzita poruch

* V souladu s doporučeními dokumentu SAE ARP 4761 [4] lze toto zjednodušení použít tam, kde $\lambda \cdot t \leq 0,1$

Graf 4.1 shrnuje odchylky ve výsledcích řešení BlockSim oproti „ručnímu“ řešení pro různé počty bloků v blokových diagramech. Vzhledem k charakteru modelované soustavy a omezenému počtu řešených případů, nelze z grafu vyvozovat obecnější závěry. Jde pouze o vyhodnocení řešení pro praktickou aplikaci, kde snad jediným závěrem může být očekávání, že chyba se s rostoucím počtem bloků nebude zvětšovat pouze lineárně (viz. polynomický trend).

Graf 4.1 – Porovnání rozdílů manuálního řešení RBD a řešení s využitím BlockSim



4. Závěr

Moderní softwarové prostředky se stávají nedílnou součástí řešení problémů ve všech inženýrských oborech. Nejinak je tomu i v případě oboru spolehlivosti. Produkt Reliasoft BlockSim představuje zajímavou alternativu ke konkurenčním produktům, např. firem RELEX či ITEM Software. I přes některé drobné výhrady je tento software dobře využitelný pro řešení bezpečnosti a spolehlivosti i v oborech jako je letectví.

Literatura

- [1] EASA Certification Specifications for Normal, Utility, Aerobatic, and Commuter Category Aeroplanes (CS-23), EASA Decision no. 2003/14/RM, November 2003
- [2] Title 14 Code of Federal Regulations (14CFR) Part 23 Airplanes: Airworthiness Standards: Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter Category Airplanes. Federal Aviation Administration, Washington, D.C. 7/2002
- [3] Advisory Circular AC 23.1309-1C: Equipment, Systems, and Installations in Part 23 Airplanes. Federal Aviation Administration, Washington D.C., www.faa.gov, 3/1999, 30 str.
- [4] ARP 4761 Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment, 12/1996, 331 str.

