

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

SOFTWAREVÁ PODPORA V OBLASTI SPOLEHLIVOSTI



MATERIÁLY Z XI. SETKÁNÍ
ODBORNÉ SKUPINY PRO SPOLEHLIVOST

Praha, červen 2003

OBSAH

Co lze najít na Internetu o spolehlivosti	3
<i>Prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc.</i>	

Softwarová řešení spolehlivostních analýz	19
<i>Ing. Jiří SEDLÁK</i>	

ReINet - softwarový nástroj pro analýzu performability sítí	33
<i>RNDr. Miroslav KOUCKÝ, CSc.</i>	

CO LZE NAJÍT NA INTERNETU O SPOLEHLIVOSTI

Prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc., Vojenská akademie v Brně

1 Úvod

Internet jako významný fenomén současnosti představuje zdroj nepřehledného množství informací ze všech oblastí lidské činnosti. Oblast spolehlivosti zde není žádnou výjimkou a všichni ti, kteří se o problematiku spolehlivosti zajímají mohou na Internetu nalézt mnoho užitečných informací.

Vyhledávání informací na Internetu dnes usnadňuje řada sofistikovaných vyhledávačů (Google, Yahoo, AltaVista ...), avšak podle mých osobních zkušeností právě při vyhledávání informací o spolehlivosti tyto prostředky příliš účinné nejsou. To má především dvě příčiny. Stránky s touto problematikou obvykle nepatří k nejnavštěvovanějším a v mnoha případech se jedná o stránky dynamicky vytvářené, které se tvoří až podle požadavků návštěvníka. Vyhledání informací na takových webových stránkách je vzhledem k běžně používaným technikám vyhledávání přirozeně méně efektivní.

Cílem tohoto článku je proto prezentace těch míst na Internetu, kde lze nalézt užitečné informace o spolehlivosti a které často z výše uvedených důvodů zůstávají „utajeny“. Následující přehled je výběrem toho nejlepšího co podle mého názoru 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.

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 cestou Internetu.

Zvláštní pozornost je v článku věnována informacím o společnostech zabývajících se produkcí software pro spolehlivost a to ze dvou důvodů:

- webové stránky těchto společností zpravidla představují bohatý zdroj informací,
- v současnosti si lze jen obtížně představit efektivní řešení problémů spojených se zabezpečováním spolehlivosti složitých systémů bez využití softwarové podpory.

2 Specializované servery

RAC - Reliability Analysis Center

<http://rac.alionscience.com/>

Centrum spolehlivostních analýz je účelové zařízení Ministerstva obrany USA, které zabezpečuje expertní služby, informační podporu a vzdělávání odborníků v oblasti spolehlivosti pro obranný průmysl. Na svém serveru nabízí propracovaný systém informací o publikacích, normách, softwarové podpoře a vzdělávání v oblasti spolehlivosti. Velké množství dobře seříděných odkazů a diskusní forum. Zajímavá nabídka vlastních produktů. Možnost bezplatného stažení kvalitních odborných textů. *V oblasti spolehlivosti to nejlepší na síti.*

ReliabilityWeb

<http://www.reliabilityweb.com>

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

Maintenance Resources

<http://www.maintenanceresources.com>

Web zaměřený na problematiku udržovatelnosti. Velké množství dobře tříděných informací a odkazů. Možnost objednání elektronického magazínu o udržovatelnosti.

Maintenance World

<http://www.maintenanceworld.com>

Web zaměřený na problematiku udržovatelnosti a údržby. Velice kvalitní obsah.

Plant Maintenance Resource Center

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

Profesionálně vedený informační zdroj všestranně pokrývající problematiku údržby. Vynikající úroveň.

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.

Reliability

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

Časopis zaměřený na praktické řešení problémů z oblasti spolehlivosti.

Maintenance Technology

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

Časopis věnovaný otázkám udržovatelnosti a údržby.

IEEE Transactions on Reliability

<http://www.ieee.org/organizations/pubs/transactions/tr.htm>

Prestižní vědecký časopis věnovaný otázkám spolehlivosti.

Reliability Engineering & System Safety

<http://www.elsevier.nl/inca/publications/store/4/0/5/9/0/8/>

Prestižní vědecký časopis věnovaný otázkám spolehlivosti a bezpečnosti.

Reliability Review

<http://www.asq-rd.org/review.htm>

Časopis vydávaný profesní organizací Reliability Division American Society for Quality (viz dále).

Lambda Notes

<http://www.sre.org/lambhom.htm>

Časopis vydávaný profesní organizací Society of Reliability Engineers (viz dále). Možnost stažení vybraných čísel ve formátu pdf.

Risk Decision and Policy

<http://193.60.94.214/public/door>

On line časopis. Přes výše uvedenou adresu je možný přístup k obsahu jednotlivých čísel a abstraktům článků.

Maintenance Technology

www.mt-online.com

Časopis věnovaný problematice udržovatelnosti a údržby.

Elektronické časopisy

Maintenance Resources

Přihlášení k odběru:

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

Reliability Newsletter

Přihlášení k odběru:

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

Časopisy zdarma

Následující časopisy nejsou přímo věnovány spolehlivosti, ale úzce s touto problematikou souvisí a často zde naleznete zajímavé články věnované otázkám spolehlivosti. Co je ale nejdůležitější - jsou zdarma a přihlásit se k odběru je možné na níže uvedených adresách.

Machinery Lubrication

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

Practicing Oil Analysis

<http://www.practicingoilanalysis.com>

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>

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.

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.

IEC International Electrotechnical Commission

<http://www.iec.ch>

Technická komise TC 56 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.

DODSSP - Single Stock Point for Military Specifications, Standards and Related Publications

<http://dodssp.daps.mil/>

Vstupní portál k různým zdrojům standardizačních dokumentů v rámci působnosti Ministerstva obrany USA. Velké množství dokumentů k bezplatnému stažení. Lze nalézt řadu zajímavých dokumentů z hlediska spolehlivosti.

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.

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.

Vojenský technický ústav ochrany Brno

<http://csnmt.fme.vutbr.cz/informace/cs/standard/Index.html>

Obsahuje mimo jiné informace o Českých obranných standardech z oblasti jakosti a spolehlivosti. Možnost stažení originálních publikací NATO z těchto oblastí.

6 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/ocsj04_01.asp

Informace o činnosti skupiny. Přehled norem a literatury z oblasti spolehlivosti.

ESReDA -European Safety, Reliability and Data Association

http://www.vtt.fi/aut/tau/network/esreda/esr_home.htm

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.

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.

IEEE Reliability Society

<http://www.ewh.ieee.org/soc/rs/>

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

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.

Safety and Reliability Society

<http://www.sars.u-net.com/>

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

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.

American Society for Quality, Reliability Division

<http://www.asq-rd.org/>

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

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 forum.

7 Vzdělávání

U nás i v zahraničí existuje mnoho škol, kde je problematika spolehlivosti na vysoké úrovni vyučována. 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>

8 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.

Raytheon – Reliability Analysis Laboratory, USA

<http://www.reliabilityanalysislab.com>

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.

Reliability Center, USA

<http://www.reliability.com>

MTain - Reliability, Maintainability, Logistics Support Engineering Services

<http://www.mtain.com>

Nabídka služeb. Kvalitní odborné texty.

Applied Reliability, USA

<http://www.appliedreliability.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.

Equipment reliability Institute

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

Prezentace služeb, Odborné články, informace odkazy.

Advanced reliability Technologies

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

Nabídka služeb a software, odkazy.

System Reliability Institute

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

Zajímavá nabídka kurzů a školení z oblasti spolehlivosti.

9 Software pro podporu spolehlivosti

Dále je uveden přehled nejvýznamnějších producentů software pro použití ve spolehlivosti. U většiny prezentovaných firem je také uveden základní výčet nabízených produktů včetně stručné charakteristiky a cenových relací (pokud 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.)

9.1 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 normě MIL-HDBK-217 (Reliability Prediction of Electronic Equipment).
- **BELLCORE:** Predikce bezporuchovosti elektronických prvků založená na aplikaci normy firmy Bellcore TR-332 (Bellcore Reliability Prediction Procedure).
- **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.

- **RDF 2000:** Predikce bezporuchovosti vycházející z postupů francouzské telekomunikační normy UTE C 80-810.
 - **CHINA 299B:** Predikce bezporuchovosti založená na aplikaci čínské vojenské normy 299B.
- 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.
 - **RBD:** Analýza blokového diagramu bezporuchovosti.
 - **Fault Tree:** Analýza stromu poruch.
 - **Markov:** Markovova analýza.
 - **MainTain:** Udržitelnost podle americké vojenské normy MIL-HDBK-472.
 - **SpareCost:** Kalkulace náhradních dílů.
 - **ITEM-QA:** FMEA pro automobilový průmysl vycházející z norem řady ISO 9000.

9.2 Relex Software, USA

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

Produkty:

- **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: 3 695,- USD.
- **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: 5 695,- USD.
- **Relex RBD:** Tvorba a vyhodnocování blokových diagramů bezporuchovosti založená na použití metody Monte Carlo. Cena: 3 695,- USD.
- **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.
- **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.
- **Relex FMEA/FMECA:** Analýzy podle různých standardizovaných i uživatelsky definovaných postupů. Obsahuje rozsáhlou databázi informací o druzích poruch elektronických i mechanických prvků. Cena: 3 695,- USD.
- **Relex Fault Tree/Event Tree:** Tvorba a vyhodnocení stromů poruchových stavů a stromů událostí. Cena: 7 495,- USD.
- **Relex Maintainability Prediction:** Vyhodnocení (predikce) všech běžně používaných ukazatelů udržitelnosti. Zahrnuje řadu standardizovaných postupů. Cena: 3 695,- USD.

- **Relex LCC:** Výkonný nástroj pro výpočet nákladů životního cyklu výrobků. Umožňuje realizaci různých optimalizačních úloh a analýz citlivosti.
- **Relex Markov:** Nástroj pro analýzu závislých náhodných jevů založený na teorii Markovových procesů. Umožňuje výpočet ukazatelů bezporuchovosti, udržovatelnosti a pohotovosti u složitých vícestavových systémů. Cena: 3 695,- USD.
- **Relex FRACAS Management System:** Sledování a vyhodnocování spolehlivosti systémů v provozu. Umožňuje průběžné vyhodnocování základních ukazatelů bezporuchovosti, udržovatelnosti a pohotovosti, provádění různých typů analýzy dat a sledování vývojových trendů.

9.3 ReliaSoft, USA

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

Produkty:

- **Weibull++:** Komplexní nástroj pro analýzu dat o bezporuchovosti. Zahrnuje aplikaci všech běžně používaných rozdělení (nejen Weibullovo).
- **ALTA:** Software pro plánování a vyhodnocování zrychlených zkoušek bezporuchovosti. Jediný komerčně dostupný produkt tohoto typu.
- **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.
- **MPC-3:** Nástroj pro tvorbu plánů údržby vycházející z americké letecké normy MSG-3 (Údržba zaměřená na bezporuchovost).
- **RG (Reliability Growth Analysis Software Package):** Software pro vyhodnocování vývoje bezporuchovosti. Umožňuje aplikaci všech běžně užívaných modelů růstu bezporuchovosti.
- **Xfmea:** Software pro provádění FMECA/FMEA. Umožňuje provedení analýzy v souladu s řadou standardizovaných postupů i uživatelsky definovaným způsobem.

Aktuální cenová nabídka (jednouživatelská licence):

Weibull++ 6	795,- USD
ALTA 6	995,- USD
BlockSim 6	2 495,- USD
XFMEA	1 995,- USD
MPC 3	4 995,- USD
RG 1.0	495,- USD

9.4 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:** Predikce bezporuchovosti 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.
 - **Spare Parts analysis and optimization:** Výpočty spojené se zásobováním náhradními díly – určení potřebného počtu náhradních dílů, optimalizace zásob náhradních dílů.
 - **Derating:** Nástroj pro analýzu vlivu zatížení prvků (teplota, napětí, výkon ...) na jejich bezporuchovost. Nástroj umožňuje identifikaci přetěžovaných prvků v systému.
 - **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.
- b) **D-LCC:** Komplexní softwarový balík pro analýzu nákladů životního cyklu. Umožňuje provádět různé analýzy nákladů, optimalizační výpočty a analýzy citlivosti.

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.

9.5 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 potenciálních poruch a realizaci optimalizačních úloh. Základ tvoří následující bloky:
- **MTBF:** Predikce bezporuchovosti mechanických i elektronických systémů, alokace požadavků na bezporuchovost.
 - **Spice:** Subsystem MTBF. Automatický výpočet bezporuchovosti elektronických prvků s ohledem na jejich zatížení.
 - **SDTA:** Subsystem MTBF. Analýza zatížení prvků – umožňuje identifikaci přetěžovaných prvků i prvků nedostatečně využívaných.

- **FMEA / FMECA:** Komplexní nástroj k provádění analýzy FMEA/FMECA.
- **TA:** Subsystem 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. 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.

b) **CAfdE:** Software pro sběr a analýzu dat o spolehlivosti v provozu. Úzce provázán s výše uvedenými produkty.

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

9.6 IsofraphDirect, 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.

- **RCMCost:** Nástroj pro optimalizaci plánů údržby využívající zásad údržby zaměřené na bezporuchovost.
- **Hazop (plus):** 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.

Ceny jednouživatelských licencí:

FaultTree+	8,400,- EUR
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

9.7 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).

9.8 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 popsáných 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.

9.9 ARINC, USA

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

Produkt:

- **RAPTOR:** Umožňuje poměrně rychlé a jednoduché modelování bezporuchovosti, udržitelnosti a pohotovosti technických systémů. 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>.

9.10 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.

Cena: jednorázová licence 2 999,- USD.

9.11 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.
- **PHA-Pro:** Softwarový nástroj umožňující provádění analýzy rizik všemi běžnými metodami.
- **FMEA for Medical Devices:** Software pro provádění analýzy FMEA u speciálního zdravotnického vybavení.

9.12 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.

9.13 RAC - Reliability Analysis Center, USA

<http://rac.alionscience.com>

Produkty:

- **PRISM:** Komplexní nástroj pro predikci bezporuchovosti složitých systémů. Disponuje řadou vyspělých funkcí. Představuje 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: 145,- USD.

9.14 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.

Cena: řádově desítky tisíc USD.

9.15 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.

9.16 Další producenti software pro spolehlivost

BMT Reliability Consultants Limited. <http://www.bmtrcl.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>

10 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, 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.

Softwarová řešení spolehlivostních analýz

Ing. Jiří SEDLÁK, Ústav jaderného výzkumu Řež a.s.


 Ústav jaderného výzkumu Řež a.s.




Softwarová řešení spolehlivostních analýz

XI. setkání odborné skupiny pro spolehlivost ČSJ
3. června 2003

Jiří Sedlák
Oddělení analýz spolehlivosti a rizik

 Ústav jaderného výzkumu Řež a.s.

Vývoj softwaru pro spolehlivostní výpočty



```
graph LR; CAD --> BD[Blokový diagram]; BD --> FMEA; FMEA --> FT; FT --> ET; ET --> RI[RI aplikace (RM, IST, ISM, ISI, GQA, ASP)]; Spolehlivostni_udaje[Spolehlivostní údaje] --> FT; Spolehlivostni_udaje --> ET;
```

2



Software pro analýzy RAMS

+ **Analýzy bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (Reliability, Availability, Maintainability and Safety)**

+ **Aplikace v oborech:**

- vojenství
- telekomunikace
- kosmonautika
- elektronika
- zdravotnictví
- doprava

2



Hlavní dodavatelé RAMS softwaru

+ **BQR**

+ **Isograph**

+ **ITEM Software**

+ **Reliasoft**

+ ...

3



Typické moduly RAMS

- + odhad střední doby mezi poruchami /MTBF Failures Prediction/
- + vliv zátěže /Stress De-rating & Thermal Analysis/
- + analýza poruchových stavů a jejich následků /Failure Mode Effects & Criticality Analysis/
- + analýza testovatelnosti /Testability Analysis/
- + analýza stromů poruch /Fault Tree Analysis/
- + odhad střední doby trvání opravy /MTTR/
- + spolehlivostní blokové diagramy /RBD/
- + simulace mechanické spolehlivosti /Mechanical Reliability Simulation/
- + logistika a náhradní díly /LSA & sparing/
- + spolehlivostně orientovaná údržba /RCM/

6

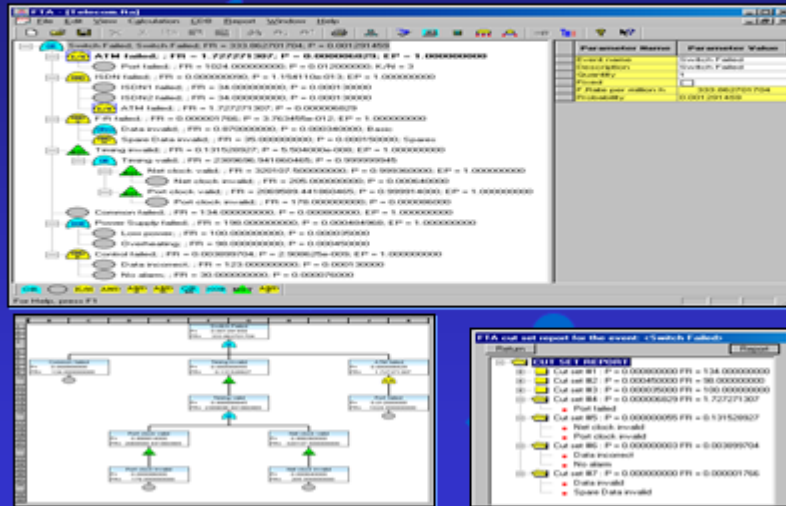


Analýza pomocí stromu poruch

- + vyvinuta počátkem 60-tých let minulého století
- + používána k odhadům pohotovosti a bezporuchovosti systémů
- + prvky stromu poruch
 - základní události (komponenty, lidské chyby, ...)
 - logické operátory (hradla – OR, AND, k z n, NOR, XOR, NAND, ...)
 - vrcholová událost
 - pomocné události (přepínače, koeficienty, CCF, ...)
- + analýza rozsáhlých komplikovaných systémů obvykle zálohovaných
- + řešení pomocí minimálních kritických řezů

6

FTA Fault/Event Tree Analysis



7

Typické vrcholové a základní události

+ vrcholové události

- výpadek produkce
- výbuch
- únik nebezpečných látek
- nepohotovost bezpečnostních systémů

+ základní události

- výpadek čerpadla
- selže měření teploty
- operátor neprovede zásah
- výpadek elektrického napájení

4

RBD Reliability Block Diagram

- + výpočet bezporuchovosti, pohotovosti, MTBF (intenzity poruch), MTTR pro každou část struktury diagramu
- + Basic models are: Serial, Parallel, K-out-of-N and Stand-By with or without repair
- + modely
 - základní (sériový, paralelní, k z n, záložní)
 - Network
 - Markov
- + údržba
 - výměna
 - rozebrání (horký stav, studený stav)
 - bez opravy
- + distribuční rozdělení pro jednotlivé bloky: exponenciální, log-normální, Weibullovo, normální, Pareto, Rayleighovo and vanová křivka

10

RBD Reliability Block Diagram – Basic

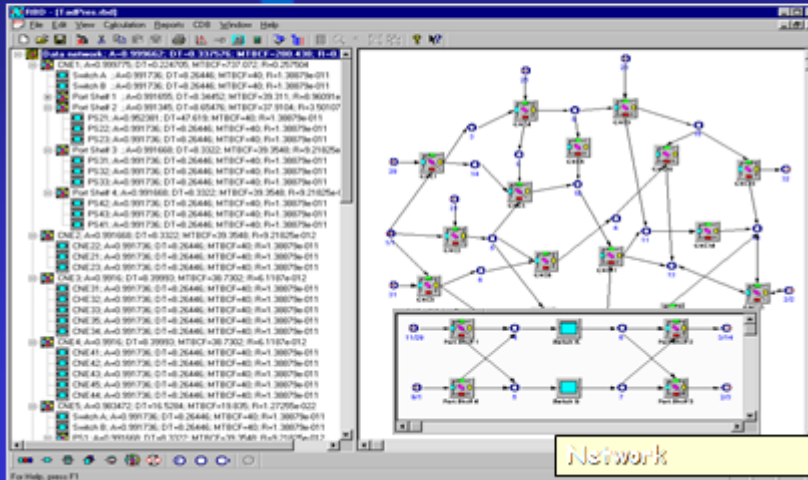
The screenshot displays the RBD software interface. On the left, a tree view lists various components with their reliability parameters:

- Switch: A=0.999931, DT=0.308562, MTBCF=8440.37, R=0.938901
- ATM: K=2/N=4, A=0, DT=1000, MTBCF=18750.7, R=0.994598
- Port: A=0.99999, DT=0.0103009, MTBCF=32144.1, R=0.980309
- F: R, A=0.999943, DT=0.0568152, MTBCF=67972.8, R=0.999125
- SNMP: A=0.99991, DT=0.0389865, MTBCF=64270.6, R=0.984961
- 2 Port Lines: A=0.999848, DT=0.152429, MTBCF=17352.1, R=0.942999
- Line1: A=0.992795, DT=7.20128, MTBCF=42700, R=0.690479
- Line2: A=0.991743, DT=40.2565, MTBCF=424.461, R=0.201618
- ISDN: A=0.99978, DT=0.220942, MTBCF=25465.9, R=0.993715
- PR1: A=0.999707, DT=0.29322, MTBCF=12723, R=0.991832
- Chan1-4: A=0.999872, DT=0.129165, MTBCF=15602.8, R=0.93792
- Chan5-8: A=0.999872, DT=0.129165, MTBCF=15602.8, R=0.93792
- Chan9-12: A=0.999872, DT=0.129165, MTBCF=15602.8, R=0.93792
- Chan13-16: A=0.999872, DT=0.129165, MTBCF=15602.8, R=0.93792
- Chan17-20: A=0.999872, DT=0.129165, MTBCF=15602.8, R=0.93792
- PR2: A=0.999707, DT=0.29322, MTBCF=12723, R=0.991832
- PowerSup: A=0.999984, DT=0.015936, MTBCF=62750, R=0.98419
- PS1: A=0.999992, DT=1.00792, MTBCF=991.142, R=0.364606
- PS2: A=0.999992, DT=1.00792, MTBCF=991.142, R=0.364606
- Tring: A=0.999993, DT=0.13704, MTBCF=24898.3, R=0.96032
- Net Clock: A=0.999929, DT=0.0709676, MTBCF=21145.9, R=0.995648
- ETSU1: A=0.999905, DT=0.0945737, MTBCF=10572.8, R=0.909753
- ETSU2: A=0.999905, DT=0.0945737, MTBCF=10572.8, R=0.909753
- Port Clock: K=2/N=3, A=1, DT=0.00019649, MTBCF=9.29059e+006, R=0.99
- Port Tring: A=0.999912, DT=0.188423, MTBCF=10612.4, R=0.910074
- Local Clock: A=0.999913, DT=0.188679, MTBCF=10711.8, R=0.91007

On the right, a graphical RBD diagram shows the interconnection of these components. A 'Basic' button is visible at the bottom right of the interface.

10

RBD Reliability Block Diagram – Network



11

Markovská analýza

+ Markovské modely

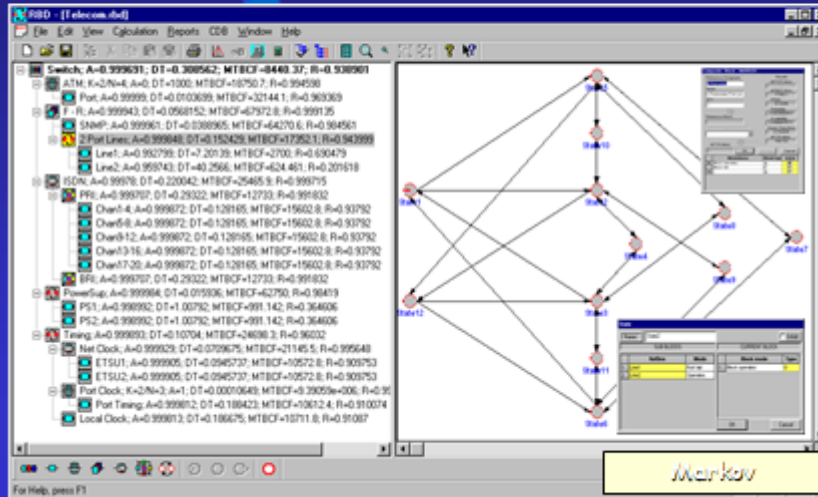
- flexibility při modelování časového průběhu událostí – ostatní metody nevystihují dynamiku spolehlivostního chování systému
- pravděpodobnostní míry např.:
 - pravděpodobnost, že se systém nachází v daném stavu v daném čase
 - odhad času, po který systém setrvá v daném stavu
 - odhad počtu přechodů mezi stavy (představující např. počet poruch a oprav)

+ Markovská analýza

- přechodové diagramy (řetězce)
 - diskrétní stavy
 - přechody

12

RBD Reliability Block Diagram – Markov



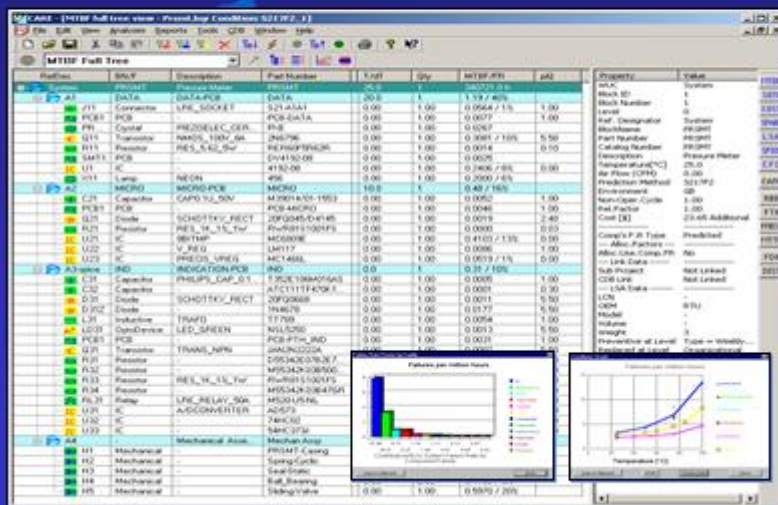
13

Odhad střední doby mezi poruchami /MTBF/

- + **Odhady intenzity poruch podle:**
 - MIL-HDBK-217F Notice 2
 - British-Telecom HRD5
 - Siemens SN-29500
 - NSWC98 mechanical
 - Bellcore (Telcordia),
 - RDF 2000 (UTE C 80-310)
 - CHINA 299B
- + **Knihovny komponent**
- + **Odhady podle (např.):**
 - Okolní teploty
 - Kvality provedení
 - Prostředí
- + **Zahrnutí sběru dat**
- + **Rozhraní pro přímý import z CAD/CAE**

14

Odhad MTBF



16

Simulace zátěže komponent

- + **automatický výpočet vlivu zátěže komponenty posouvá analýzu střední doby mezi poruchami o krok dále a poskytuje přesnější odhad MTBF**
- + **simuluje provozní napětí, proud a výkon v analogových a digitálních obvodech pro jednotlivé komponenty**
- + **doporučení k výměně přetížených komponent**
- + **zátěžové /odlehčovací/ křivky podle „Military and Industrial criteria, NAVSEA TE000-AB-GTP-010 Revision 2“**
- + **uživatelsky definované zátěžové /odlehčovací/ křivky**

16

Automatický výpočet zátěže komponent

The screenshot displays the CAE software interface with a 'Library Editor' dialog box open. The dialog shows a list of components with columns for 'Component', 'Group', 'Qty', 'Uncompleted', and 'Tree Path'. The background shows a table of component names and references.

Net Name	Ref	Ref	Ref	Ref	Ref	Ref
1 A	C31-2	R32-2	R32-2	R34-1	RL31-4	U31-14
2 AA	Q31-1					
3 B	C31-1-Reviv					
4 C	LD31-1					
5 D	LD31-2					
6 E	C31-2					
7 GND	C31-1					U31-17
8 GND	U32-7					
9 H	U31-3					
10 I	Q31-3					
11 L	U31-7					
12 M	U31-8	U32				
13 N	U31-9	U32				
14 O	U31-10	U32				
15 P	U31-6	U32				
16 Q	U31-5	U32				
17 R	U32-4-Out	U33				
18 S	U32-10-Out	U33				
19 T	U32-13-Out	U33				
20 V12V	L31-2					
21 V18V	U31-11					
22 V5V	U32-14	U33				
23 W	U31-4	U32				
24 X	C32-1	U33				
25 Z	U32-1-Out	U33				
26						

17

Stress De-rating & Thermal Analysis

The screenshot displays the CAE software interface with a 'Stress Analysis Results' dialog box open. The dialog shows a 'Derating Graph' and a table of results for various components.

Factor	Maximum	Applied	Derated	Derated	Std	Std
Value	Rating	Value	Factor	Limit	Increased	Red. Status
Power	8.0000	8.0000	31.8	1.0000	100.0%	OK
V	10.0000	4.0000	30.8	100.0000	1.0	OK
IPpeak	10.0000	4.0000	31.9	10.0000	19.0	OK
Temp	170.0000	30.0000			18.9	

18

Modelování a regulace skladu náhradních dílů

- + Modul vyhodnocuje požadavky na výměnu náhradních dílů pro provozní systémy a zařízení
- + Generuje požadavky zásoby náhradních dílů a modeluje opravy poškozených položek podle definice v „Repstock and Optcost/ algoritmu odvozeného pro britské ministerstvo obrany.
- + Určující faktory při výpočtu:
 - intenzita poruch
 - ceny vyměnitelných položek v systému
 - přijatelné riziko nedostatku náhradních dílů

19

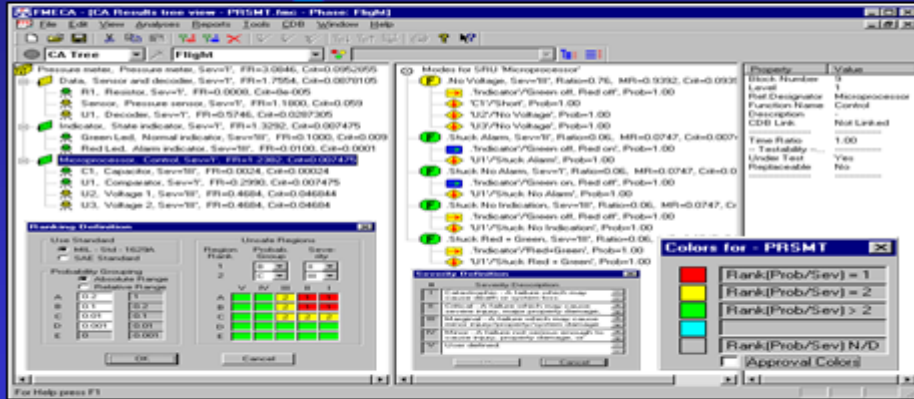
Analýza poruchových stavů a jejich následků (a kritičnosti) FMEA / FMECA

- + FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis) kvalitativně analyzuje možnou poruchu uvnitř systému, rozebírá možná rizika této poruchy a kategorizuje je podle závažnosti
- + Moduly vycházejí z „United States Military, MIL-STD-1629A, Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis“
- + FMECA se zabývá problematikou návrhu
- + (projektu), zpracování, provozu, bezpečnosti a prostředí
- + Určení poruchových módů a jejich následků jsou při analýze často jen počátkem procesu. Následná analýza kritičnosti hodnotí poruchové módy pomocí závažnosti a pravděpodobnosti výskytu daného poruchového módu.

20



FMEA / FMECA Failure Mode Effects and Criticality Analysis



PSA software

- + Relcon AB /RiskSpectrum/
- + Scientech /WinNupra/
- + EPRI /Cafta/
- + INELL /Saphire - IRRAS/
- + ...

Typický obsah PSA databáze PSA

- + Fault trees
- + Event trees
- + Event tree sequences
- + Gates
- + Basic events
- + CCF events
- + Initiating events
- + Function events
- + Consequences
- + Template events
- + CCF groups
- + Attributes
- + Components
- + Parameters (Probability, Failure rate, Frequency, MTTR, Test interval, Time to first test, Mission time)
- + Systems
- + Basic event groups
- + Analysis cases (Fault tree, Sequence, Consequence, Group, MCS)
- + Results (MCS, Uncertainty, Importance, Time-dependent, Group)
- + Memos

22

Vývoj programů RELCON AB

- + RELTREE - 1986-1991
- + RiskSpectrum pro DOS - 1991-1997
- + RiskSpectrum Professional (Windows) - 1998
- + RiskSpectrum RiskWatcher - 2002
- + RiskSpectrum FMEA - jaro 2003

24

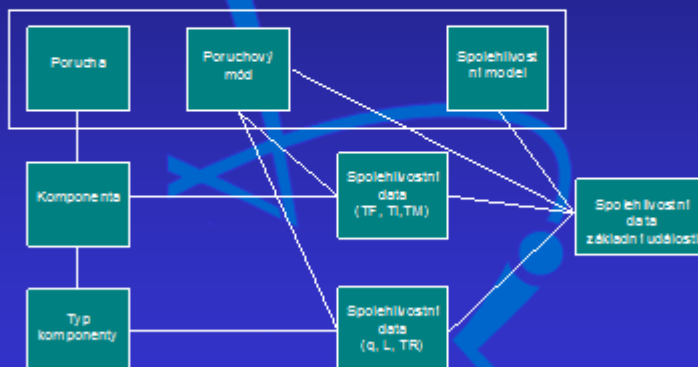
FMEA v PSA

+ Účel:

- lepší dokumentace poruchových módů
- QA vstupů do PSA modelů
- automatické vytváření základních událostí a parametrů

22

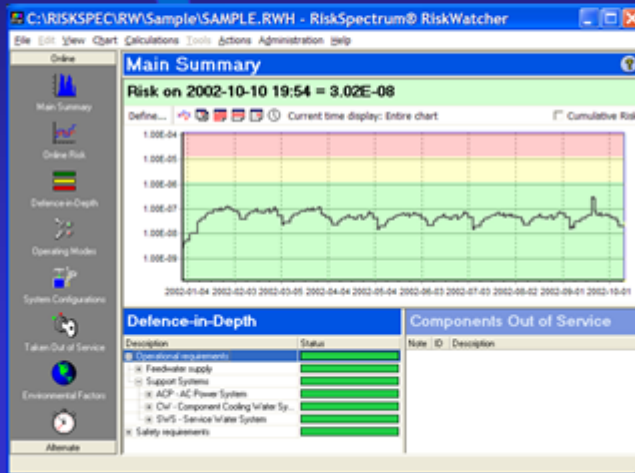
Od FMEA k FT



23



Monitor rizika



RelNet – softwarový nástroj pro analýzu performability sítí

(M. Koucký, Technická univerzita v Liberci)

1. Úvod – model stochastické sítě

Spolehlivost celé řady systémů je posuzována v závislosti na velikosti toku (množství přenášeného média), který je schopen analyzovaný systém v požadovaném časovém intervalu zajistit s danou pravděpodobností. Matematicky lze uvedené systémy popsat pomocí stochastické sítě (reprezentuje spolehlivostní a kapacitní charakteristiky prvků systému a jejich topologické uspořádání) a logických funkcí (odráží logickou strukturu systému a systémové závislosti). Stochastická síť je zobecněním známého pojmu sítí a je definována jako stochasticky ohodnocený orientovaný graf $S = (V, E, z, s, \varepsilon)$, kde:

- $V = \{1, \dots, n\}$ je konečná množina vrcholů sítě,
- $E = \{e = (u, v) \mid u \neq v \wedge u, v \in V\}$ je konečná množina orientovaných hran, tj. prvků systému, které přenáší ve směru z vrcholu u do v médium (prvky s kapacitou),
- $z, s \in V, z \neq s$ jsou dva různé vrcholy sítě, tzv. z (droj) a s (potřebič),
- $\varepsilon : E \rightarrow \{\Phi_e(t) \mid t \in \langle 0, T \rangle\}$ je stochastické ohodnocení prvků systému, které přiřazuje každé hraně stochastický proces její kapacity. Tento proces popisuje spolehlivostní a kapacitní chování prvků systému, tj. průběh maximálního množství média, které lze s požadovanou pravděpodobností během sledovaného intervalu $\langle 0, T \rangle$ hranou přenést.

Ústřední pojmy celého modelu jsou tok, velikost toku a maximální tok z vrcholu z do s .

Tok F je definován jako zobrazení $F : \langle 0, T \rangle \times E \rightarrow R^+$, pro které platí:

- $\forall t \in \langle 0, T \rangle, \forall e \in E \quad 0 \leq F_e(t) \leq \Phi_e(t)$, tj. v libovolném časovém okamžiku t je tok libovolnou hranou shora omezen její kapacitou,
- $\forall t \in \langle 0, T \rangle, \forall u \in V - \{s, z\} \quad \text{Div}_t(u) = 0$, tj. v žádném vrcholu, kromě zdroje a spotřebiče, se přenášené médium neztrácí ani nevzniká,
- $\forall t \in \langle 0, T \rangle \quad \text{Div}_t(s) = -\text{Div}_t(z)$, tj. v libovolném čase t je množství média, které do sítě ve zdroji přitéká rovno množství, které ze sítě ve spotřebiči odtéká.

Velikost toku v čase $t \in \langle 0, T \rangle$ je definována vztahem $|F(t)| = \text{Div}_t(s)$ a vyjadřuje množství média, které v daném čase t do sítě přitéká (resp. ze sítě odtéká).

Maximální tok F_{\max} je pak definován jako tok, který má v každém okamžiku $t \in \langle 0, T \rangle$ maximální velikost, tj. $\forall t \in \langle 0, T \rangle, \forall F \quad |F(t)| = |F_{\max}(t)|$.

Je zřejmé, že v takto definovaných sítích má maximální tok pravděpodobnostní charakter a je popsán stochastickým procesem $\{F_{\max}(t; z, s) | t \in \langle 0, T \rangle\}$ – tzv. stochastický proces maximálního možného toku (ze zdroje z do spotřebiče s).

2. RelNet – softwarový nástroj pro analýzu performability stochastických sítí

Software RelNet je určen k analýzám performability rozsáhlých technologických a řídicích systémů, počítačových a telekomunikačních sítí, jejichž funkci lze modelovat stochastickou sítí. Stručně lze možnosti systému RelNet charakterizovat následovně:

- výpočet základních ukazatelů performability (pravděpodobnostní charakteristiky maximálního možného toku sítí - viz níže uvedený přehled),
- dvou i vícestavové prvky (možnost popsat stavy úplné i částečné provozuschopnosti, zvýšené zátěže, bezpečné i nebezpečné poruchy apod.),
- možnost použít exponenciální, Weibullovo, normální, logaritmickeo-normální, rovnoměrné a alternativní rozdělení, pro vícestavové prvky Markovovy procesy,
- možnost modelovat lidský faktor, společnou příčinu, akci na požádání a další systémové a logické vztahy,
- výsledky v textovém i grafickém tvaru s možností jejich importu do standardních prezentačních programů.

Přehled základních ukazatelů performability - charakterizují průběh maximálního toku v časovém intervalu $\langle 0, T \rangle$. (náznorná iterpretace viz obr. 1)

- *EFR* - průměrná hodnota maximálního toku sítí během časového intervalu $\langle 0, T \rangle$.

Je počítána ze vztahu

$$EFR = \frac{1}{T} \int_0^T F_{\max}(t; z, s) dt$$

a vyjádřena bodovým a intervalovým odhadem její střední hodnoty a směrodatnou odchylkou.

- Rozdělení veličiny *RFMin* určené minimální velikostí toku během intervalu $\langle 0, T \rangle$, tj.

$$RFMin = \min_{t \in \langle 0, T \rangle} F_{\max}(t; z, s).$$

Veličina *RFMin* je popsána tabulkou třídního rozdělení četností.

- Rozdělení veličiny *RFMax* určené maximální velikostí toku během intervalu $\langle 0, T \rangle$, tj.

$$RFMax = \max_{t \in \langle 0, T \rangle} F_{\max}(t; z, s).$$

Veličina *RFMax* je popsána tabulkou třídního rozdělení četností.

- Rozdělení náhodné veličiny AF udávající maximální tok v čase T , tj.

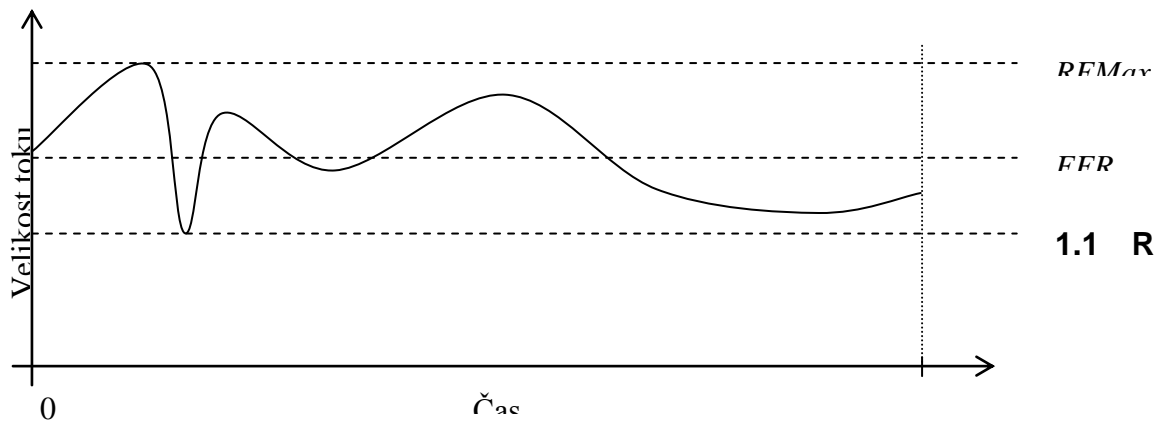
$$AF = F_{\max}(T; z, s).$$

Veličina AF je popsána tabulkou třídního rozdělení četností.

- EFA - střední hodnota maximálního možného toku sítí v čase T .
Je počítána ze vztahu

$$EFA = E[F_{\max}(T; z, s)]$$

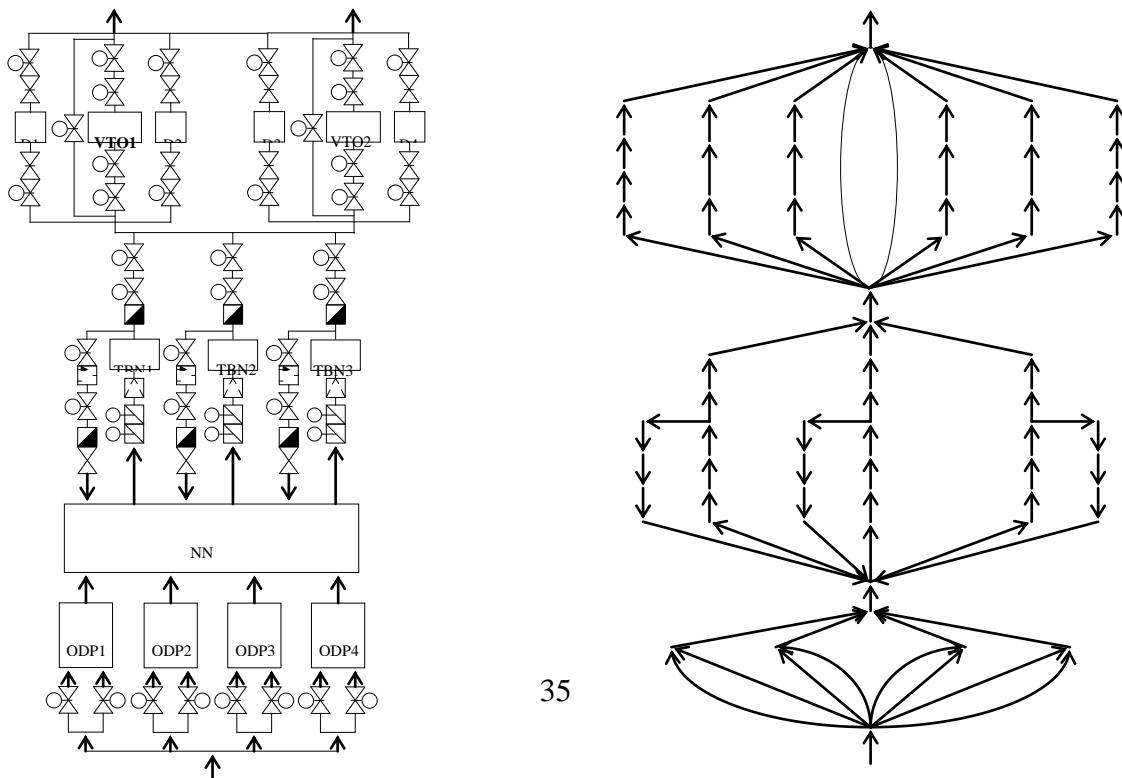
a je vyjádřena bodovým a intervalovým odhadem její střední hodnoty a směrodatnou odchylkou.



Obr. 1 – základní ukazatele

3. Příklad

Jako ukázka využití software RelNet byla provedena analýza výkonu systému napájení parogenerátoru v režimu energetického provozu v průběhu jednoho roku. Technologické schéma analyzovaného systému je na obr. 2.



Obr. 2. Technologické schéma
napájecího systému

Obr. 3. Síť reprezentující
napájecí systém

Hlavní funkce systému spočívá v napájení sekundární strany parogenerátoru odplyněným kondenzátem. Kondenzát je nejprve odplyněn (ODP1 – ODP4) a shromážděn v napájecí nádrži (NN). Následně je čerpán dvěma pracovními turbonapáječkami (TBN1, TBN2) přes systém vysokotlaké regenerace (VTO1, VTO2) do napájecího kolektoru parogenerátoru. Třetí turbonapáječka (TBN3) slouží jako studená záloha a uplatňuje se pouze v případě poruchy některé pracovní turbonapáječky. Pro potřeby RelNetu byl analyzovaný systém převeden do podoby stochastické sítě – viz obr. 3. Hrany sítě jednoznačně korespondují s prvky systému z obr. 1 a jsou ohodnoceny doplňkem (do 100%) snížení výkonu, který způsobí porucha daného prvku. Například hrany odpovídající každé turbonapáječce jsou v provozuschopném stavu ohodnoceny 60 (každá turbonapáječka je schopna samostatně dodávat takové množství kondenzátu, které postačuje k provozu bloku na 60% jeho nominálního výkonu). Analogicky jsou ohodnoceny ostatní hrany. Kromě kapacit jsou každé hraně přiřazeny pravděpodobnostní parametry charakterizující rozdělení doby přechodu mezi jednotlivými stavy (např. doby do poruchy, doby obnovy apod.).

Cílem analýzy bylo stanovit charakteristiky možného výkonu popsaného systému v průběhu jednoho roku, tj. 8760 hodin. Byly vyčísleny dvě základní varianty:

- napájecí systém jako celek, včetně řídicího systému a záložní turbonapáječky,
- napájecí systém bez záložní turbonapáječky – umožňuje stanovit její podíl na zvýšení spolehlivosti.

S ohledem na rozsah příspěvku následují pouze zkrácené výpisy výsledků získaných výpočetním systémem RelNetem.

Summary of results

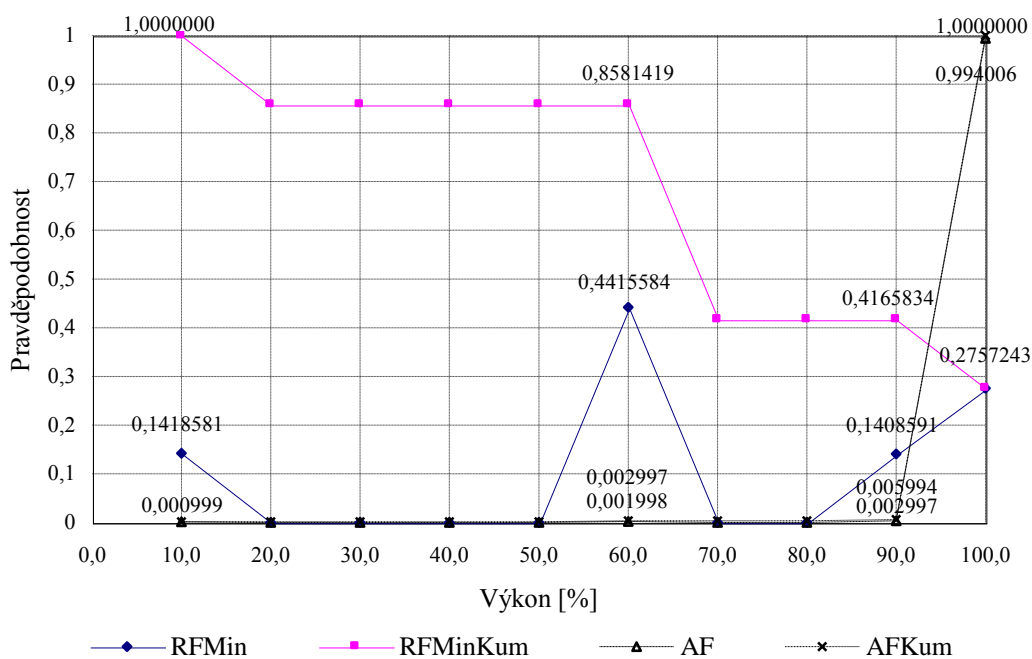
Project : Napájení parogenerátoru
 Comment: Celek včetně řídicího systému i záložní turbonapáječky
 Time : 8760

EFR : 9,983505E+0001 S_{EFR} : 2,756396E-0001
 $EFR_{95\%}$: (9,983035E+0001 ; 9,983976E+0001)
 EFA : 9,979021E+0001 S_{EFA} : 3,668234E+0000
 $EFA_{95\%}$: (9,895666E+0001 ; 1,000000E+0002)

Výkon [%]	$RFMin$	$RFMinKum$	AF	$AFKum$
1,00E+0001	0,1418581	1,0000000	0,0009990	0,0009990

2,00E+0001	0,0000000	0,8581419	0,0000000	0,0009990
3,00E+0001	0,0000000	0,8581419	0,0000000	0,0009990
4,00E+0001	0,0000000	0,8581419	0,0000000	0,0009990
5,00E+0001	0,0000000	0,8581419	0,0000000	0,0009990
6,00E+0001	0,4415584	0,8581419	0,0019980	0,0029970
7,00E+0001	0,0000000	0,4165834	0,0000000	0,0029970
8,00E+0001	0,0000000	0,4165834	0,0000000	0,0029970
9,00E+0001	0,1408591	0,4165834	0,0029970	0,0059940
1,00E+0002	0,2757243	0,2757243	0,9940060	1,0000000

Tab. 1. Napájení parogenerátoru – celek včetně záložní turbonapáječky



Obr. 4. Napájení parogenerátoru – celek včetně záložní turbonapáječky

Summary of results

Project : Napájení parogenerátoru

Comment: Varianta bez záložní turbonapáječky

Time : 8760

EFR : 9,735186E+0001

S_{EFR} : 1,262478E+0000

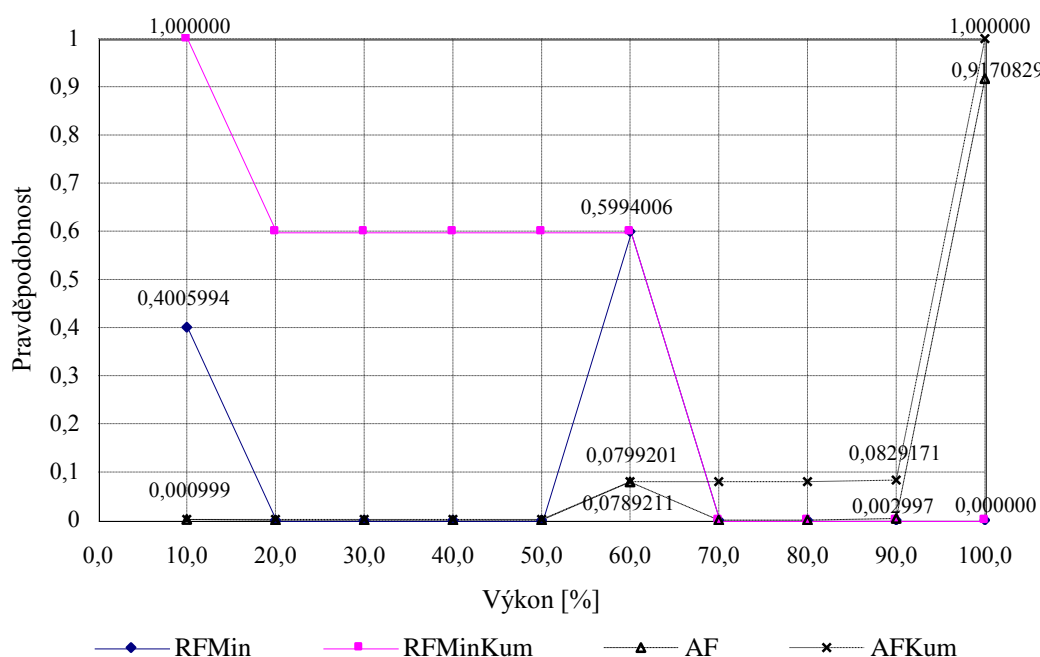
$EFR_{95\%}$: (9,725313E+0001 ; 9,745059E+0001)

EFA : 9,671329E+0001

S_{EFA} : 1,121992E+0001

$EFA_{95\%}$: (8,891504E+0001 ; 1,000000E+0002)

Výkon [%]	<i>RFMin</i>	<i>RFMinKum</i>	<i>AF</i>	<i>AFKum</i>
1,00E+0001	0,4005994	1,0000000	0,0009990	0,0009990
2,00E+0001	0,0000000	0,5994006	0,0000000	0,0009990
3,00E+0001	0,0000000	0,5994006	0,0000000	0,0009990
4,00E+0001	0,0000000	0,5994006	0,0000000	0,0009990
5,00E+0001	0,0000000	0,5994006	0,0000000	0,0009990
6,00E+0001	0,5994006	0,5994006	0,0789211	0,0799201
7,00E+0001	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0799201
8,00E+0001	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0799201
9,00E+0001	0,0000000	0,0000000	0,0029970	0,0829171
1,00E+0002	0,0000000	0,0000000	0,9170829	1,0000000



Tab. 2. Napájení parogenerátoru – varianta bez záložní turbonapáječky

Obr. 5. Napájení parogenerátoru – varianta bez záložní turbonapáječky

Stručný popis a interpretace výsledků:

Připomeňme, že hrany (prvky systému) jsou ohodnoceny procentuelním doplňkem snížení výkonu (100% odpovídá nominálnímu výkonu), který způsobí porucha daného prvku. Z tohoto pohledu je velikost toku sítí globálním ukazatelem výkonnosti a je procentuelním vyjádřením maximálního výkonu, který je možné dosáhnout z důvodu „nespolehlivosti“ systému napájení jako celku (dále maximální možný výkon). Význam vypočtených ukazatelů je tedy následující:

- Time – délka sledovaného období (jeden rok),
- EFR* – bodový odhad střední hodnoty maximálního možného výkonu za sledované období,

- S_{EFR} – bodový odhad směrodatné odchylky střední hodnoty maximálního možného výkonu za sledované období,
- $EFR_{95\%}$ – 95% interval spolehlivosti pro střední hodnotu maximálního možného výkonu za sledované období,
- EFA – bodový odhad pohotovosti maximálního možného výkonu,
- S_{EFA} – bodový odhad směrodatné odchylky pohotovosti maximálního možného výkonu,
- $EFA_{95\%}$ – 95% interval spolehlivosti pro pohotovost maximálního možného výkonu.

Výše uvedené údaje jsou v procentech a vztahují se k nominálnímu výkonu (100%).

Význam údajů v tabulkách tab. 1 a tab. 2 je následující:

- Výkon [%] – horní hranice intervalu maximálního možného výkonu (zvoleno rozpětí 10%),
- $RFMin$ – pravděpodobnost, že během sledovaného období klesne minimum možného výkonu na hodnotu uvedenou v příslušném řádku sloupce Výkon,
- $RFMinKum$ – pravděpodobnost, že během sledovaného období neklesne minimum možného výkonu pod hodnotu uvedenou v příslušném řádku sloupce Výkon,
- AF – pravděpodobnost, že v čase Time bude možný výkon právě z intervalu, který odpovídá hodnotě uvedené v příslušném řádku sloupce Výkon,
- $AFKum$ – pravděpodobnost, že v čase Time nepřekročí možný výkon mez, která je uvedena v příslušném řádku sloupce Výkon.

Obr. 4 a 5 jsou grafickým vyjádřením průběhu veličin z tabulek tab. 1 a tab. 2.