


Vliv prostředí na spolehlivost systémů 1/2

 30.04.2013

INFLUENCE OF ENVIRONMENT ON SYSTEM RELIABILITY 1/2

Miroslav Jirgl¹, Marie Havlíková¹, Zdeněk Bradáč¹

¹Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT Brno, Ústav automatizace a měřicí techniky, miroslav.jirgl@phd.feec.vutbr.cz, havlika@feec.vutbr.cz, bradac@feec.vutbr.cz

letectví

systémy řízení

spolehlivost

ukazatele

poruchy

Abstrakt

Tento článek je první částí článku, jehož cílem je popsat provozní podmínky v letectví a ukázat, do jaké míry se změni spolehlivostní parametry systému při uvažování těchto podmínek oproti spolehlivostním parametrům získaným pro tzv. standardní podmínky, které se běžně při analýze spolehlivosti používají. Tato část se zabývá vyjádřením spolehlivosti pomocí spolehlivostních ukazatelů a rozbořem podmínek v letectví a slouží jako úvod do problematiky hodnocení spolehlivosti leteckého vybavení.

Klíčová slova: spolehlivost systému, ukazatele spolehlivosti, intenzita poruch, letecké podmínky

Abstract

This article is the 1st part of article, which goal is to describe operation conditions in aviation and to show the dependence of reliability parameters of systems at contemplated conditions with the so-called standard condition reliability parameters used in common reliability analyses. This part deals with an expression of reliability using reliability indicators and with an analysis of aviation conditions. This part is the introduction to the evaluating the aviation equipment reliability.

Keywords: system reliability, reliability indicators, failure rate, aviation conditions

Úvod

Spolehlivost je velice důležitá vlastnost. Lze ji chápat jako schopnost systému, tedy výrobku, součástky, stroje, software, apod., plnit požadovanou funkci. Vysoká spolehlivost systému se požaduje zejména u systémů, na jejichž správné funkci závisí chod kritických aplikací nebo dokonce lidský život. Příkladem takových systémů mohou být lékařské přístroje, elektrárenská zařízení, letecké vybavení, apod.

Protože je spolehlivost velice komplexní vlastností a nedá se sama o sobě číselně vyjádřit, provádí se její hodnocení pomocí tzv. spolehlivostních ukazatelů.

Spolehlivost systémů je do značné míry ovlivněna provozními podmínkami. Příkladem je letecké vybavení, které je opakovaně během jednotlivých letů vystavováno velmi dynamickým změnám okolních podmínek. Cílem tohoto článku je ukázat, jak mohou podmínky prostředí ovlivnit výsledek spolehlivostní analýzy.

Spolehlivostní ukazatele

Jak již bylo zmíněno, lze spolehlivost chápat jako schopnost systému plnit požadovanou funkci. Z matematického pohledu je spolehlivost definována jako pravděpodobnost, že činnost systému bude během určené doby za daných provozních podmínek přiměřená účelu systému.

V Tabulce 1 je uveden přehled často používaných spolehlivostních ukazatelů, pomocí nichž lze spolehlivost vyjádřit. [1], [7]

Pravděpodobnost poruchy $Q(t)$	(1)
Hustota pravděpodobnosti poruchy $f(t)$	(2)
Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$	(3)
Intenzita poruch $\lambda(t)$	(4)
Střední doba mezi poruchami $MTBF(t)$	(5)

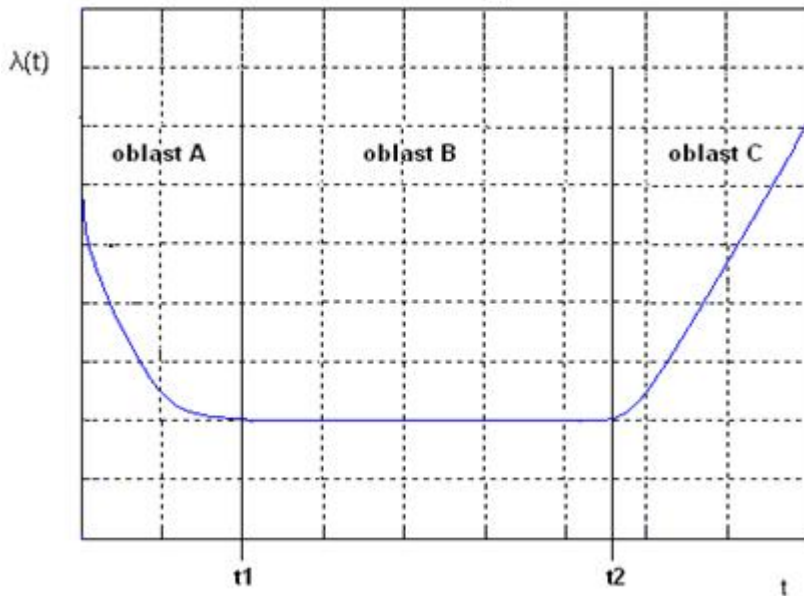
Tabulka 1: Přehled často používaných ukazatelů spolehlivosti (bezporuchovosti)

Vanová křivka popisuje obecnou závislost intenzity poruch $\lambda(t)$ na čase t , její průběh se dělí na tři části, odpovídající jednotlivým etapám života systému.

Oblast A se nazývá *etapa časných poruch*. Intenzita poruch $\lambda(t)$ je zde dána především vlivem materiálových vad a nedokonalostí výrobní technologie. V časovém horizontu trvá tato etapa několik desítek až stovek hodin. V této oblasti vanové křivky by měl výrobce nechat výrobek ve zkušebním provozu.

Oblast B je tzv. *etapa ustáleného provozu*. Intenzita poruch $\lambda(t)$ v této oblasti je dána především vlivem náhodných poruch. Tato etapa řádově trvá několik desítek tisíc hodin.

Oblast C představuje *etapu stárnutí*. V této etapě dochází k nárůstu intenzity poruch $\lambda(t)$ vlivem stárnutí objektu.



Obrázek 1 Závislost intenzity poruch $\lambda(t)$ na čase t - vanová křivka

V časovém intervalu $\langle t_1, t_2 \rangle$, který představuje oblast B - etapu ustáleného provozu, je intenzita poruch $\lambda(t)$ konstantní. V tomto časovém intervalu lze tedy vyjádřit intenzitu poruch jako konstantní hodnotu λ . Díky tomuto řešení je pak možné jednoduše vypočítat i další často používané ukazatele spolehlivosti, viz Tabulka 2. [6], [7]

Pravděpodobnost poruchy $Q(t)$	[1] (6)
Hustota pravděpodobnosti poruchy $f(t)$	$[h^{-1}]$ (7)
Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$	[1] (8)
Střední doba mezi poruchami $MTBF(t)$	$[h]$ (9)

Tabulka 2: Výpočet některých ukazatelů spolehlivosti za předpokladu konstantní intenzity poruch

Provozní podmínky v letectví

Podmínky provozu v letectví se od běžných podmínek provozu systému poměrně liší. To je způsobeno zejména změnami klimatických podmínek, tudíž změnou prostředí, ve kterém se letadlo může nacházet, ale i dalšími faktory jako působení agresivních chemických látek, apod. Letouny se mohou nacházet v atmosférických výškách (0 km až 30 km), což odpovídá dvěma nejspodnějším vrstvám atmosféry, a sice troposféře (0 km až 11 km) a stratosféře (11 km až 50 km). Rozmezí **tlaku** vzduchu při pohybu letadla je asi (5,5 kPa až 100 kPa), rozdíl okolní **teploty** v intervalu (-60°C až +60°C) a u nadzvukových letadel dosahuje okolní teplota hodnoty až +130 °C. Při pohybu letadla dochází také k **vibracím** a **rázům** o hodnotách až +20 G. Dalšími faktory, kterým jsou letadla vystavena, jsou změna **vlhkosti** vzduchu, možné působení **agresivních chemických látek** (výpary z paliva a ostatních tekutin v letadle), apod. Všechny tyto vlivy prostředí a zejména změny zmíněných působících fyzikálních veličin mají velmi dynamický charakter. [3], [1]

Pro modelování funkční závislosti uvedených fyzikálních veličin na nadmořské výšce h se využívá *Mezinárodní standardní atmosféra MSA*, která představuje mezinárodně dohodnutý model atmosféry. Podle **ICAO** (*International Civil Aviation Organization*) se jedná o zjednodušený model odvozený od chování atmosféry Země, který rozděluje atmosféru do vrstev podle změny teplotního gradientu α . Pro základní fyzikální parametry charakterizující atmosféru pak platí následující vztahy:

$$Q(t) = P(t \leq \tau) = \int_0^t f(\tau) d\tau \quad [\text{K}] \quad (10)$$

$$Q(t) = P(t \leq \tau) = \int_0^t f(\tau) d\tau \quad [\text{Pa}] \quad (11)$$

$$Q(t) = P(t \leq \tau) = \int_0^t f(\tau) d\tau \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}], \text{ kde } (12)$$

T_h - teplota v nadmořské výšce h ,

T_0 - je teplota na hladině moře (tzn. $h = 0$), $T_0 = 288,15 \text{ K}$, resp. $t_0 = 15 \text{ °C}$

h - nadmořská výška,

p_h - tlak v nadmořské výšce h ,

p_0 - tlak na hladině moře (tzn. $h = 0$), $p_0 = 101325 \text{ Pa}$,

ρ_h - hustota vzduchu v nadmořské výšce h ,

α - je vertikální teplotní gradient ($\alpha = dT/dh$):

- v troposféře (do 11 km) $\alpha = -0,0065 \text{ K} \cdot \text{m}^{-1}$,
- ve spodních vrstvách stratosféry (do 20 km) $\alpha = 0 \text{ K} \cdot \text{m}^{-1}$,
- ve středních vrstvách stratosféry (do 32 km) $\alpha = 0,0010 \text{ K} \cdot \text{m}^{-1}$,

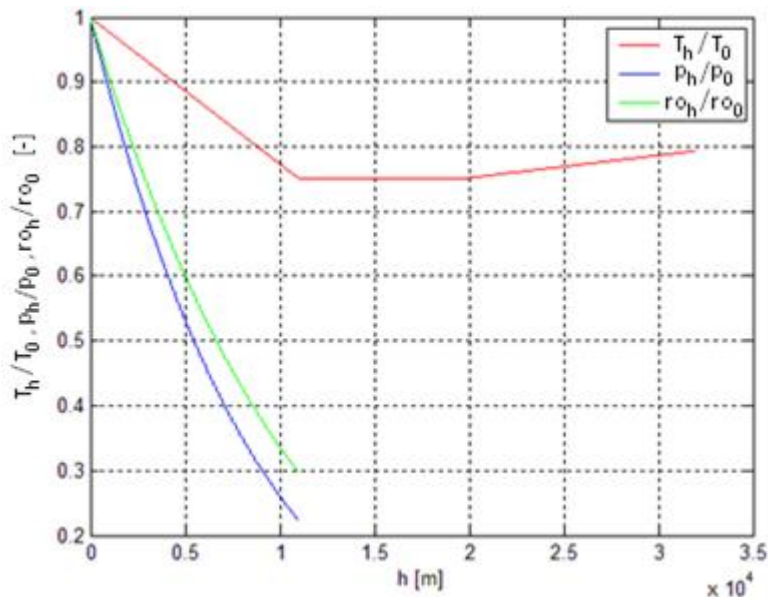
g - je konstantní tíhové zrychlení, $g = 9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,

R - je plynová konstanta, $R = 287,05307 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. [3], [6]

Závislosti změny teploty, tlaku, teplotního gradientu a hustoty vzduchu na nadmořské výšce h podle modelu MSA jsou znázorněny na Obrázku 2, ze kterého je zřejmé, že tlak a hustota vzduchu s nadmořskou výškou h klesá. Změna

teploty má proměnný charakter. V nadmořské výšce h menší než 11 km teplota klesá, od nadmořské výšky 20 km zůstává teplota konstantní a v nadmořské výšce h v rozmezí (20 km až 32 km) teplota stoupá. Tato proměnlivá závislost teploty na nadmořské výšce h je způsobena změnou teplotního gradientu α .

Uvedené fyzikální veličiny a jejich změny definují podmínky, kterým jsou letadla během svého provozu vystavována, a to opakovaně během jednotlivých letů.



Obrázek 2: Závislost relativní změny teploty, tlaku a hustoty vzduchu na výšce h podle MSA

Popis prostředí

Uvažování vlivu podmínek prostředí může při spolehlivostní analýze hrát poměrně významnou roli. Proto je vhodné popsat, resp. definovat provozní podmínky, jimž je/bude analyzovaný systém vystaven. Na důležitosti toto téma nabývá zejména u systémů, které jsou vystavovány extrémním podmínkám prostředí nebo změnám těchto okolních podmínek. Příkladem jsou letadla a jejich vybavení.

Různé typy provozních podmínek definuje norma MIL-HDBK-217F [2] pomocí několika kategorií tak, aby pokryly všechna možná prostředí, ve kterých může analyzovaný systém pracovat. Pro letecký provoz jsou definována normou MIL-HDBK-217F [2] tato prostředí:

A_{IT} - prostředí letecké obyvatelné posádkou, přepravní, které představuje typické podmínky v prostorách dopravních nebo bombardovacích letadel obyvatelných posádkou bez extrémů tlaků, teploty, nárazů a vibrací, vyskytujících se na letounech určených pro dlouhé trasy.

A_{IF} - prostředí letecké obyvatelné posádkou, stíhače, které definují podobné podmínky jako prostředí A_{IT} , ale nachází se ve vysoce výkonných letounech, jako jsou stíhací a přepadové letouny.

A_{UT} - letecké neobyvatelné prostředí, které je vystaveno extrémnímu zatížení tlakem, vibracemi a teplotními cykly, dále může toto prostředí být zasaženo znečištěním například oleji.

A_{UF} - prostředí letecké neobyvatelné posádkou, stíhače, které je definováno podobnými podmínkami jako prostředí A_{UT} , ale nachází se ve vysoce výkonných letounech, jako jsou stíhací a přepadové letouny.

Pro pozemní prostředí norma MIL-HDBK-217F [2] definuje rovněž několik typů prostředí. Při spolehlivostních analýzách se nejčastěji pracuje s prostředím označovaným jako G_F .

G_F - prostředí, které je charakteristické podmínkami méně příznivými než ideální jako například instalace do pevných stojanů s náležitým chlazením a případně instalace v nevytápěných budovách, toto prostředí zahrnuje trvalou instalaci systémů pro řízení leteckého provozu, radarové a komunikační zařízení pozemních raketových systémů.

Pro kvantifikaci spolehlivosti se nejčastěji používá výpočet intenzity poruch λ . Celková intenzita poruch systému λ je dána intenzitou poruch jednotlivých součástí λ_i , ze kterých se daný systém skládá. Výpočet intenzity poruch pro jednotlivé součástky λ_i definuje vojenská norma MIL-HDBK-217F [2]. Tato norma ke každému typu součástky stanovuje model resp. matematický vztah pro výpočet intenzity poruch, do kterého se dosazují tabulkové hodnoty vztažných součinitelů. Tyto součinitele blíže specifikují danou součástku a zohledňují také podmínky prostředí resp. provozní podmínky. Hodnota součinitele prostředí λ_E je definována právě typem prostředí (A_{IF} , A_{UF} , G_F , ...). Se změnou hodnoty součinitele prostředí se potom mění i hodnota intenzity poruch součástky λ_i a tudíž i intenzita poruch celého systému λ .

Závěr

Spolehlivost je velice důležitá vlastnost, v některých oblastech přímo klíčová. Příkladem jsou lékařství, chemický průmysl, energetika, letectví apod. Spolehlivost systému závisí na mnoha faktorech. Jedním z klíčových faktorů ovlivňujících spolehlivost jsou provozní podmínky, resp. podmínky prostředí. Při analýzách spolehlivosti se často vliv prostředí vůbec neuvažuje, a to buď pro zjednodušení analýzy, nebo v případě, že neexistují dostatečné informace o tom, v jakých podmínkách bude analyzovaný systém (zařízení) pracovat. V některých případech však může mít zanedbání vlivu podmínek prostředí při spolehlivostní analýze fatální následky.

Tento článek je úvodem k analýze spolehlivosti leteckého vybavení. Důležitý je tedy popis základních ukazatelů spolehlivosti a rozbor podmínek v letectví. Vzhledem k tomu, že jsou letouny, potažmo vybavení letounů, za provozu vystavovány velmi dynamickým změnám podmínek prostředí, je třeba toto prostředí definovat a zahrnout do spolehlivostní analýzy.

Cílem tohoto článku je ukázat na konkrétním příkladu, do jaké míry je ovlivněn výsledek spolehlivostní analýzy právě uvažováním, resp. neuvažováním provozních podmínek. Tato ukázka je součástí druhé části tohoto článku, která vyjde v příštím čísle (JOSRA 2 - 2013). V této části je proveden výpočet spolehlivostních ukazatelů jednoho z modulů elektronického zařízení umístěného na palubě letounu L-159 ALCA. Přesněji se jedná se o ukazatel podélného vyvážení letounu (*Pitch Trim Indicator*).

Poděkování

Tato publikace vznikla za podpory grantu "Podpora výzkumu moderních metod a prostředků v automatizaci " financované z Interní grantové agentury Vysokého učení technického v Brně (číslo grantu FEKT-S-11-6).

Autoři děkují za finanční podporu z Evropského fondu pro regionální rozvoj v rámci projektu č. CZ.1.05/2.1.00/01.0014.

Bez laskavé podpory výše zmíněných institucí by prezentovaný výzkum a vývoj nebyl možný

Literatura

[1] HOLUB, R.; VINTR, Z. *Spolehlivost letadlové techniky : elektronická skripta*. Brno : VUT FSI, 2001. 233 s.

- [2] MIL-HDBK-217F : Reliability prediction of electronic equipment [online]. Department of Defense and Quanterion Solutions, 2.12.1991. 204s. Dostupný z WWW: <<http://www.sre.org/pubs/Mil-Hdbk-217F.pdf>>.
- [3] DUB, M. *Elektrické vybavení letadel I*. Brno : Univerzita obrany, 2008. 105s. ISBN 978-80-7231-591-8.
- [4] IEC 60300-3-1 : Dependability management : part 3-1 : application guide : analysis techniques for dependability : guide on methodology. International Electrotechnical Commission, 2003. 56s.
- [5] JALOVECKÝ, R.; PAŘÍZEK, J. *Ukazatel podélného vyvážení : technický popis*. Brno : Univerzita obrany, 2002.
- [6] JIRGL, M. *Modelování a predikce spolehlivosti*. Brno : VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 91 s.
- [7] BEDNAŘÍK, J. *Technika spolehlivosti v elektronické praxi*. Praha : SNTL, 1990. 336 s. ISBN 80-03-00422-5.
- [8] VESELY, W. Fault Tree Handbook with Aerospace Applications [online]. Publikováno srpen 2002. Dostupný z WWW: <<http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/doctree/fthb.pdf>>.

Vzorová citace

JIRGL, Miroslav; HAVLÍKOVÁ, Marie; BRADÁČ, Zdeněk. Vliv prostředí na spolehlivost systémů 1/2. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2013, roč. 6, č. 1. Dostupný z WWW: <<http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-01-2013/prostredi-spolehlivost-systemu.html>>. ISSN 1803-3687.

Autor článku:

[Doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D](#)

[Ing. Marie Havlíková, Ph.D.](#)

[Ing. Miroslav Jirgl](#)