


Vliv prostředí na spolehlivost systémů 2/2

 30.08.2013

INFLUENCE OF ENVIRONMENT ON system RELIABILITY 2/2

Miroslav Jirgl¹, Marie Havlíková¹, Zdeněk Bradáč¹

¹ *Fakulta 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

provozní podmínky

systémy řízení

spolehlivost

ukazatele

poruchy

Abstrakt

Tento článek je druhou částí článku zabývajícího se vlivem prostředí na spolehlivost systémů. Na základě rozboru podmínek v letectví z první části článku je provedena spolehlivostní analýza jednoho z modulů ukazatele podélného vyvážení letounu - avionického vybavení letounu L-159 ALCA. Cílem tohoto článku je ukázat, do jaké míry se změni spolehlivostní parametry systému při uvažování leteckých podmínek oproti spolehlivostním parametrům získaným pro tzv. standardní podmínky, které se běžně při analýze spolehlivosti používají.

Klíčová slova: spolehlivost systému, intenzita poruch, letecké podmínky

Abstract

This article is the second part of the article, which deals with an influence of environment on systems reliability. Based on description of operation conditions in aviation (in the first part of the article), the reliability analysis of one of the modules of pitch trim indicator - avionic equipment of L-159 ALCA, is made. The aim of this article is to show the dependence of reliability parameters of systems at operation conditions in aviation with the so-called standard condition reliability parameters used in common reliability analyses.

Keywords: system reliability, failure rate, aviation conditions

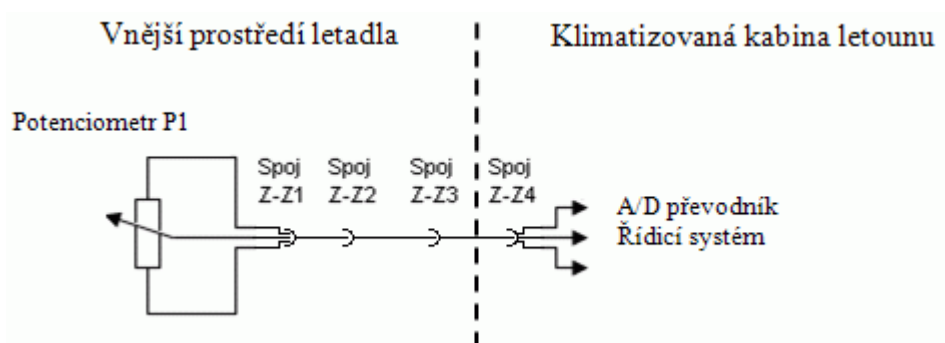
Analýza spolehlivosti modulu vysílače

Součástí spolehlivostních analýz je rovněž monitorování vlivu prostředí na hodnoty spolehlivostních ukazatelů. Konkrétním příkladem, který hodnotí degradaci spolehlivosti zařízení vystaveného vlivu vnějšího prostředí, je výpočet intenzity poruch jednoho z modulů elektronického zařízení umístěného na palubě letounu L-159 ALCA. Jedná se o modul vysílače, který je součástí ukazatele podélného vyvážení letounu a z větší části se nachází mimo klimatizovanou kabinu letounu, a tudíž je vystaven a podléhá vlivům okolního prostředí letadla. Zařízení je na Obrázku 1.



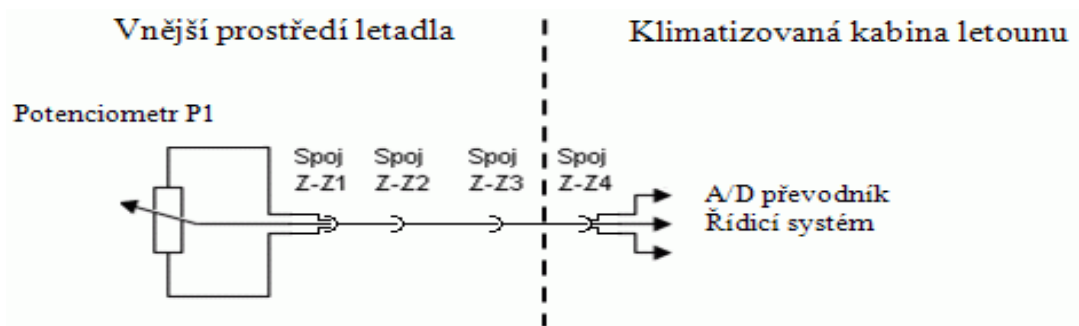
Obrázek 1: Ukazatel podélného vyvážení letounu L-159 ALCA

Modul vysílače v sobě zahrnuje speciální potenciometr P1 umístěný na vodorovné ocasní ploše letadla, který slouží jako odporový snímač polohy. Pomocí kabeláže a spojů Z1, Z2, Z3, Z4 je připojen k A/D převodníku řídicího systému ukazatele podélného vyvážení, který se nachází v klimatizované kabině letounu. Schéma zapojení modulu vysílače [5] je uvedeno na Obrázku 2.



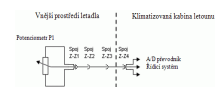
Obrázek 2: Schéma zapojení modulu vysílače

Pro hodnocení spolehlivosti systémů skládajících se z více komponent resp. součástí se používají spolehlivostní modely. Vzhledem k tomu, že žádná z komponent modulu vysílače není zálohována, lze tento systém popsat pomocí sériového blokového spolehlivostního modelu, viz Obrázek 3.



Obrázek 3: Blokový spolehlivostní model modulu vysílače

Celková intenzita poruch modulu vysílače je dána součtem intenzit poruch λ_j jednotlivých součástí [4] podle vztahu:

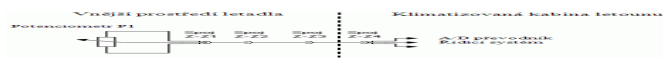


$[h^{-1}]$, kde (13)

λ_i - intenzita poruch jednotlivých součástek [h^{-1}].

Výpočet intenzity poruch λ_i pro jednotlivé součástky definuje vojenská norma MIL-HDBK-217F *Předpovídání spolehlivosti elektronických zařízení*. 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. [8]

Výpočet intenzity poruch odporového snímače **P1** lze realizovat pomocí vztahu:



, kde (14)

λ_b - základní intenzita poruch zahrnující vliv teploty a zatížení [h^{-1}],

π_{TAPS} - součinitel odboček potenciometru, zde $\pi_{TAPS} = 1$,

π_R - součinitel odporu, zde $\pi_R = 1$,

π_V - součinitel napětí, zde $\pi_V = 1$,

π_Q - součinitel kvality, zde $\pi_Q = 2$,

π_E - součinitel prostředí [1].

Pro výpočet intenzity poruch λ_{Zi} spojů **Z-Zi** platí vztah:



, kde (15)

λ_b - základní intenzita poruch [h^{-1}],

π_K - součinitel počtu spojení/rozpojení, zde $\pi_K = 1-1,5$,

π_p - součinitel počtu aktivních kontaktů, zde $\pi_p = 6$,

π_E - součinitel prostředí [1].

Hodnota základní intenzity poruch λ_b jednotlivých součástek a činitele prostředí λ_E závisí na provozních podmínkách, kterým jsou dané součástky vystaveny. Pro výpočet celkové intenzity poruch modulu vysílače λ_{MODUL} je tedy nutné stanovit podmínky, kterým je modul vystaven. Různé typy provozních podmínek definuje norma MIL-HDBK-217F pomocí několika kategorií tak, aby pokryly všechna možná prostředí, ve kterých může pracovat analyzovaný objekt. Pro letecký provoz jsou definována normou MIL-HDBK-217F 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 definuje rovněž několik typů prostředí. Při spolehlivostních analýzách se nejčastěji pracuje s následujícím prostředím:

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.

Spolehlivost modulu vysílače s ohledem na vnější vlivy

Modul vysílače se nachází na ocasní ploše letadla a podléhá tak vlivu okolních podmínek, které jsou charakteristické pro provozní letové podmínky, tedy dynamickým změnám teploty, tlaku nebo také agresivním látkám.

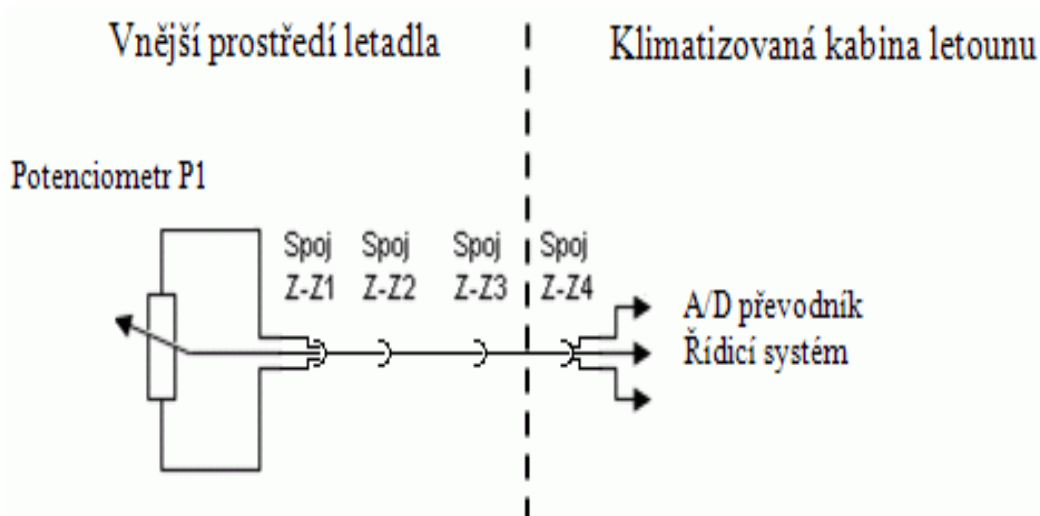
Odporový snímač (potenciometr) **P1** a spoje **Z1, Z2 a Z3** jsou umístěny mimo klimatizovanou kabinu letounu a lze tedy na základě popisu podmínek v letectví a možné reálné dostupnosti výšky letounu $h = (0 \text{ až } 13.200) \text{ m}$ předpokládat prostředí kategorie **A_{UF}** - letecké prostředí neobývané posádkou (stíhače), kde teplota v okolí zařízení se pohybuje v intervalu **T_A = (-60; +60) °C**.

Spoj Z4 se nachází v klimatizované kabině letounu, kde lze předpokládat letecké prostředí obývané posádkou (stíhače). Podle normy MIL-HDBK-217F se jedná o kategorii prostředí **A_{IF}**, která charakterizuje typické podmínky v prostorách výkonných vojenských letadel (stíhačích). Uvažovaná střední teplota v okolí zařízení je **T_A = 20 °C**.

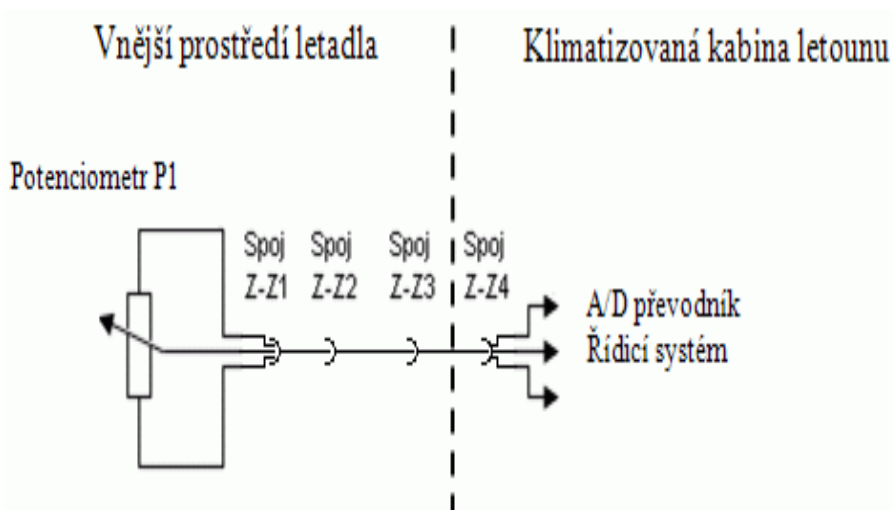
Všechny použité součástky v modulu vysílače odpovídají vojenským předpisům a normám pro letecký provoz. Tomu odpovídá i faktor kvality **π_Q** pro jednotlivé součástky. Dále je uvažováno střední jmenovité zatížení součástek **S = 0,5**. [3],[2]

Hodnota základní intenzity poruch součástek λ_b závisí na teplotě T_A v okolí zařízení a na jmenovitém zatížení S . Vzhledem k tomu, že se pro potenciometr P1 a spoje Z1 až Z3 předpokládá jmenovité zatížení konstantní, ale teplota okolí v rozmezí $T_A = (-60; +60) \text{ °C}$, je třeba zjistit maximální hodnotu funkce představující závislost základní intenzity poruch λ_b uvedených součástek na teplotě T_A a tuto hodnotu **λ_{bmax}** následně používat pro výpočty spolehlivostních parametrů dané součástky.

V Tabulce 1 jsou podle normy MIL-HDBK-217F uvedeny hodnoty základní intenzity poruch λ_b součástek modulu vysílače (potenciometr P1 a pro spoje Z1, Z2 a Z3) v závislosti na teplotě v okolí součástek T_A . Grafická interpretace těchto teplotních závislostí je znázorněna na Obrázku 4 a je zřejmé, že základní intenzity poruch λ_b součástek modulu vysílače nabývají maximálních hodnot při teplotě okolí $T_A = 60 \text{ °C}$.



Tabulka 1: Závislost základní intenzity poruch λ_b součástí modulu vysílače



Obrázek 4: Závislost základní intenzity poruch λ_b součástí modulu vysílače

Spoj Z4 se nachází v klimatizované kabině letounu, kde se předpokládá střední okolní teplota součástky $T_A = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Pro tento spoj není nutné vyjadřovat závislost intenzity poruch na teplotě a do spolehlivostních výpočtů se uvede tabelovaná hodnota $\lambda_{b_{Zi}}$ podle MIL-HDBK-217F pro uvedenou teplotu.

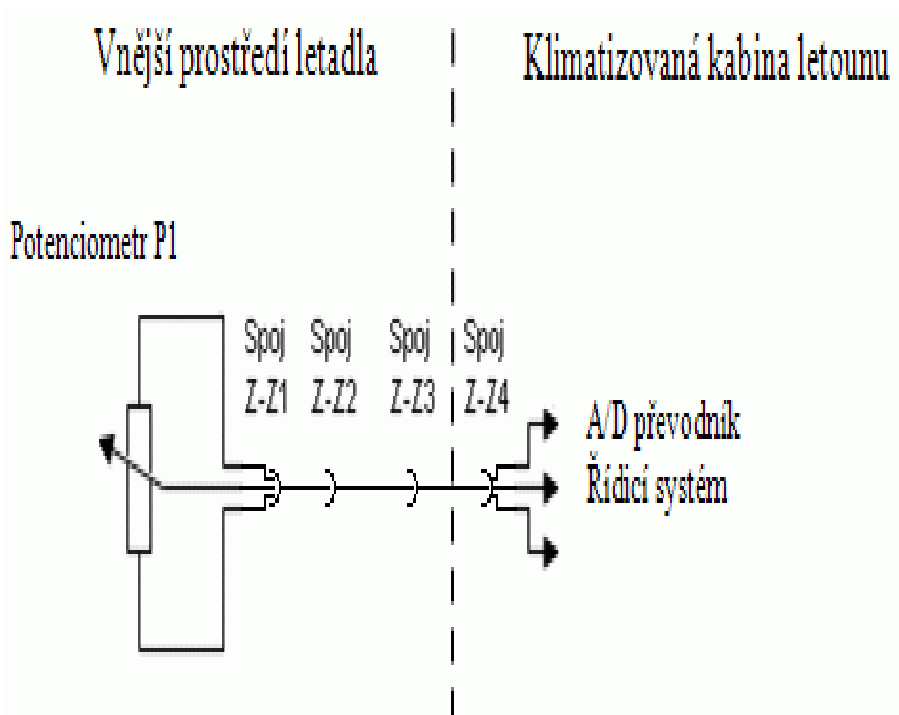
Dosažením zjištěných maximálních hodnot základních intenzit poruch $\lambda_{b_{max_i}}$ jednotlivých součástí modulu vysílače společně s hodnotami ostatních součinitelů do vztahů (14), (15) se vypočítají intenzity poruch λ_i těchto součástí.

Spolehlivost modulu vysílače v idealizovaných podmínkách

Při spolehlivostních analýzách často nejsou provozní podmínky známy nebo se pro zjednodušení do spolehlivostní analýzy nezahrnují, resp. uvažují se tzv. **standardní podmínky**, které jsou definovány teplotou okolí součástky $T_A = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, zatížením $S = 0,5$ a prostředím odpovídajícím prostředí G_F - pozemní, nepohyblivé.

Pro srovnání a pro demonstraci vlivu provozních podmínek na výsledek spolehlivostní analýzy je realizován výpočet intenzity poruch modulu vysílače λ_{MODUL} za předpokladu, že by se modul nacházel v tzv. standardních podmínkách.

Hodnoty intenzity poruch λ_i jednotlivých součástí lze vypočítat podle vztahů (14), (15) dosažením základní intenzity poruch λ_b a hodnot součinitelů π_K , π_P , π_E a pro prostředí G_F reprezentující standardní podmínky, viz Tabulka 2.

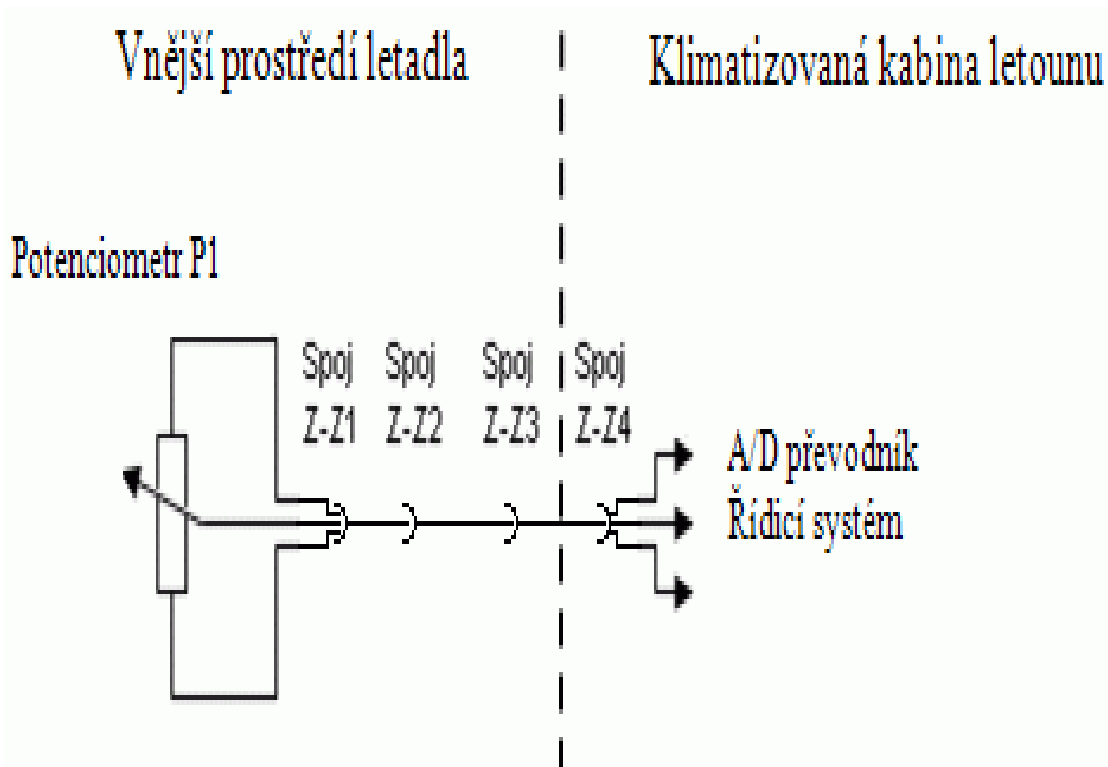


Tabulka 2: Vliv prostředí na intenzitu poruch součástek λ a celkovou intenzitu poruch modulu λ_{MODUL}

Vliv prostředí na spolehlivostní analýzu modulu vysílače se prokazatelně projeví:

- v hodnotách základní intenzity poruch součástek λ_b , které jsou pro standardní podmínky prostředí G_F nižší oproti hodnotám pro provozní podmínky v leteckých prostředích A_{IF} , A_{UF} ,
- v hodnotách koeficientu prostředí π_E , který je součástí definičních vztahů (14), (15) pro výpočet intenzity λ poruch součástek,
- na celkové intenzitě poruch modulu vysílače λ_{MODUL} , jejíž hodnota je pro standardní podmínky prostředí G_F několikanásobně nižší.

Další významné ukazatele spolehlivosti pro modul vysílače jako pravděpodobnost poruchy $Q(t)$, hustotu pravděpodobnosti poruchy $f(t)$, dobu bezporuchového provozu $R(t)$ nebo střední doba mezi poruchami $MTBF(t)$ lze vypočítat pomocí vztahů (6) až (9) dosazením hodnoty celkové intenzity poruch modulu vysílače λ_{MODUL} . Na Obrázku 5 jsou uvedeny závislosti pravděpodobnosti poruchy $Q(t)$ na $\dot{\tau}$ hodin pro uvažované provozní podmínky v leteckém prostředí A_{IF} , A_{UF} a pro idealizované (standardní) podmínky v prostředí pozemním G_F (označení $Q_{ST}(t)$).



Obrázek 5: Pravděpodobnost poruchy $Q(t)$ modulu vysílače v závislosti na čase t pro různá prostředí

Závěr a diskuse výsledků

V provedených spolehlivostních výpočtech modulu vysílače byl potvrzen vliv prostředí na hodnoty spolehlivostních parametrů. Pro běžné provozní podmínky modulu vysílače platí letecké prostředí A_{IF} resp. A_{UF} . Hodnoty součinitele prostředí π_E součástek pro tato prostředí jsou několikanásobně vyšší než pro prostředí pozemní G_F , a proto se významnou měrou podílejí na vyšší hodnotě celkové intenzity poruch analyzovaného modulu vysílače.

Vliv teplotních podmínek v okolí součástek modulu vysílače s ohledem na uvažovaná prostředí je dán hodnotami základních intenzit poruch λ_b a není tak výrazný vzhledem k předpokládaným hodnotám teplot v okolí součástek T_A . Pro letecká prostředí A_{IF} , A_{UF} jsou hodnoty základní intenzity poruch λ_b mírně zvýšené oproti pozemnímu prostředí G_F .

Hodnoty ostatních součinitelů π_K , π_P , π_Q , které vystupují ve výpočtech dílčích intenzit poruch jednotlivých součástek λ_i , jsou pro prostředí pozemní G_F i prostředí letecká A_{IF} , A_{UF} stejné. Celková intenzita poruch modulu vysílače λ_{MODUL} je dána součtem dílčích hodnot intenzit poruch součástek modulu a její hodnota dosahuje pro prostředí letecká A_{IF} , A_{UF} dvacetinásobku oproti prostředí pozemnímu G_F . Zejména hodnota intenzity poruch speciálního potenciometru P1 je pro prostředí letecká výrazně vyšší (téměř 50x) než v prostředí pozemním.

Pro názornější reprezentaci výsledků spolehlivostní analýzy byla vypočtena závislost pravděpodobnosti poruchy $Q(t)$ na čase t v intervalu 0 až 100.000 h, pro uvažované provozní podmínky v leteckých prostředích A_{IF} resp. A_{UF} a také závislost $Q_{ST}(t)$ pro idealizované (standardní) podmínky v prostředí pozemním G_F , viz Obrázek 5. Je patrné, že v obou případech pravděpodobnost poruchy $Q(t)$, resp. $Q_{ST}(t)$ s časem exponenciálně narůstá. Za idealizovaných (standardních) podmínek pracovního prostředí modulu vysílače v pozemním prostředí G_F je však tento nárůst pravděpodobnosti poruchy $Q_{ST}(t)$ pozvolnější než v případě běžných provozních podmínek tohoto leteckého vybavení, viz průběh $Q(t)$ na Obrázku 5. To znamená, že pravděpodobnost poruchy při idealizovaných podmínkách $Q_{ST}(t)$ je v daném časovém intervalu několikanásobně menší než pravděpodobnost poruchy $Q(t)$ při běžných leteckých podmínkách.

Závěrem lze na základě analýzy spolehlivosti jednoho z modulů leteckého vybavení - ukazatele podélného vyvážení letounu souhrnně konstatovat, že rozbor provozních podmínek zařízení má velký vliv na výsledek spolehlivostní analýzy. Na důležitosti toto téma nabývá zejména v případě analýzy spolehlivosti systémů, na jejichž funkci závisí chod tzv. kritických aplikací, kdy může být ohrožen lidský život. Příkladem takovýchto systémů jsou letecké systémy, elektrárenská zařízení, zařízení pro chemický průmysl, lékařské přístroje, apod.

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

JIRG, Miroslav; HAVLÍKOVÁ, Marie; BRADÁČ, Zdeněk. Vliv prostředí na spolehlivost systémů 2/2. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2013, roč. 6, č. 2. Dostupný z WWW: <<http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-02-2013/prostredi-spolehlivost-systll.html>>. ISSN 1803-3687.

Autor článku:

[Doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D](#)

[Ing. Marie Havlíková, Ph.D.](#)

[Ing. Miroslav Jirgl](#)