VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

METODY ANALÝZY SPOLEHLIVOSTNÍCH DAT Z PROVOZU A ZKOUŠEK LETADEL

METHODS OF RELIABILITY ANALYSES OF OPERATION AND TESTING DATA OF AIRPLANES

DOKTORSKÁ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE Ing. JOSEF NOVÁK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. KAREL TŘETINA, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2011

Abstrakt

Doktorská práce se zabývá možnými způsoby analýzy spolehlivostních dat z provozu a zkoušek letadel. Požadavky amerického leteckého předpisu FAR 23 a evropského ekvivalentu CS 23 na certifikaci hydraulických soustav jsou brány v úvahu. Tyto předpisy pokrývají širokou oblast letounů od sportovních až po 19 místné určené pro tzv. sběrnou dopravu.

V doktorské práci jsou uvedeny možné vstupy do prediktivních analýz spolehlivosti (testová a provozní data, komerční databáze). Praktická aplikace je provedena na podvozkové hydraulické soustavě vyvíjeného malého dopravního letounu. Je navržena karta poruch pro sběr provozních dat.

Hlavní přínos práce by měl být výběr a aplikace nejvhodnějších postupů pro zajištění předepsané úrovně bezpečnosti leteckých hydraulických soustav. Je ukázáno, které postupy jsou vhodné a které nikoliv. Jsou porovnána možná vstupní data pro spolehlivostní analýzy a uvedeny závěry. Složité elektronické soustavy, ale i hydraulické jsou běžnou součástí i menších letadel. Zde se jedná o kategorii, která tvoří hlavní náplň českého leteckého průmyslu.

Abstract

The doctoral thesis deals with reliability (dependability) analyses of operation and testing data of the Airplanes. Requirements of airworthiness regulations on aircraft hydraulic systems (with a focus on US FAR-23 and European CS-23 regulations) are taken into account. Mentioned regulations include requirements for the structural design, design of systems, etc. They cover wide range of airplanes from small sport airplanes to 19-seats transport aircraft. Also options for predictive reliability analyses (resources) and reliability tests are discussed in the doctoral thesis. Practical application is done on small transport airplane (currently in the development). The failure report is designed.

Expected major contribution of the work is selection and practical application of the most suitable procedures for safety assessment on the field of aircraft hydraulic systems, with a focus on the small transport aircraft. Also the comparison to different data source is shown.

Klíčová slova

Zkoušky spolehlivosti, spolehlivost, bezporuchovost, letadlová technika, intenzita poruch, prediktivní analýzy spolehlivosti, FMEA, RBD, FTA

Key Words

Reliability testing, dependability, reliability, aircraft, failure rate, predictive reliability analyses, FMEA, RBD, FTA

Bibliografická citace

NOVÁK, J. *Metody analýzy spolehlivostních dat z provozu a zkoušek letadel.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 165 s. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Karel Třetina, CSc..

Prohlášení autora o původnosti práce

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma Metody analýzy spolehlivostních dat z provozu a zkoušek letadel vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Brně dne ………………………………

Ing. Josef Novák

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat prof. Ing. Antonínu Píštěkovi, CSc. za pomoc poskytnutou při vypracování disertační práce a za možnost praktické aplikace popisovaných metod analýz v rámci Leteckého ústavu. Dále děkuji doc. Ing. Karlu Třetinovi, CSc. za poskytování odborných konzultací a pomoc při řešení úkolů souvisejících s tématem disertační práce. Poděkování patří také Ing. Janu Hyskému a doc. Ing. Jiřímu Hlinkovi, Ph.D za poskytnutí cenných rad, za informace a zkušenosti z řešení problematiky spolehlivosti v leteckém průmyslu.

OBSAH

KAPITOLA NÁZEV STRANA

POUŽITÉ ZKRATKY ... **6**

POUŽITÉ OZNAČENÍ ... **7**

1 ÚVOD ... **8**

2 VYMEZENÍ OBSAHU A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE ... **9**

3 HISTORIE A SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY ... **10**

3.1 HISTORIE ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY ... 10

3.2 SPOLEHLIVOST A ZKOUŠKY SPOLEHLIVOSTI LETECKÉ TECHNIKY ... 11

3.3 PREDIKTIVNÍ ANALÝZY SOUSTAV LETADEL ... 13

4 METODY ZPRACOVÁNÍ DATOVÝCH SOUBORŮ ... **16**

4.1 OBECNÉ POSTUPY ZKOUŠEK SPOLEHLIVOSTI ... 16

4.2 VÝBĚR METOD PRO URČENÍ UKAZATELŮ SPOLEHLIVOSTI ... 25

4.3 PLÁNOVÁNÍ A ZKOUŠKY BEZPORUCHOVOSTI ... 32

4.4 ANALÝZA PROVOZNÍCH DAT ... 34

5 AKCEPTOVATELNÉ PRŮMYSLOVÉ STANDARDY ... **35**

6 NÁVODY SBĚRU DAT ... **46**

6.1 ÚVOD ... 46

6.2 NÁVRH KARTY PORUCH PRO MALÝ DOPRAVNÍ LETOUN ... 48

6.3 NÁVOD K VYPLŇOVÁNÍ KARTY PORUCH ... 56

7 SPOLEHLIVOSTNÍ ANALÝZA HYDRAULICKÉ SOUSTAVY MALÉHO DOPRAVNÍHO LETOUNU ... **62**

7.1 CHARAKTERISTIKA SYSTÉMU ... 62

7.2 FUNKCE SYSTÉMU ... 62

7.3 PRINCIPY VESTAVĚNÉ BEZPEČNOSTI ... 67

7.4 PŘEHLED PORUCHOVÝCH STAVŮ ... 68

7.5 SPECIFICKÉ PŘEDPOKLADY ... 70

7.6 TABULKA VSTUPNÍCH DAT ... 70

7.7 FMEA ... 75

7.8 BLOKOVÝ DIAGRAM PODVOZKOVÉ SOUSTAVY ... 89

7.9 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ ... 101

8 VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE ... **105**

9 ZÁVĚRY DISERTAČNÍ PRÁCE PRO VYUŽITÍ VÝSLEDKŮ V PRAXI ... **107**

10 LITERATURA ... **108**

11 PUBLIKACE AUTORA ... **109**

12 AUTOROVO CURRICULUM VITAE ... **110**

Použité zkratky

AC	Advisory Cirular – Poradní oběžník (součást leteckých předpisů FAR a CS)
AMSAA	Army Materiel Systems Analysis Activity
CAT	Catastrophic – Katastrofické (klasifikace poruchových stavů)
CS	Certifications Specifications – Specifikace pro certifikaci
EASA	European Aviation Safety Agency – Evropská agentura pro bezpečnost letectví
IEC	International Electrotechnical Commission – Mezinárodní elektrotechnická komise
FAA	Federal Aviation Administration – Federální letecký úřad (USA)
FAR	Federal Aviation Regulations – Federální letecké předpisy
FHA	Functional Hazard Assessment – Rozbor funkčních rizik (obdoba „předběžné analýzy rizik“)
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis – Analýza druhů poruchových stavů a jejich důsledků (někdy též: Analýza způsobů a důsledků poruch)
FTA	Fault Tree Analysis – Analýza pomocí stromu poruchových stavů, často značená pouze FT
HALT	Highly Accelerated Life Test – Vysoce akcelerovaný test životnosti
HAST	Highly Accelerated Stress Test – Vysoce akcelerovaný test napětím
HAZ	Hazardous – Nebezpečné (klasifikace poruchových stavů)
LÚ	Letecký ústav, VUT FSI v Brně
MAJ	Major – Závažné (klasifikace poruchových stavů)
MIN	Minor – Nezávažné (klasifikace poruchových stavů)
MTBF	Mean Time Between Failures – Střední doba mezi poruchami
MTTR	Mean Time To Repair – Střední doba do opravy
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PFHA	Preliminary Functional Hazard Assessment – Předběžné hodnocení nebezpečnosti funkcí
QUALT	Quantitative Accelerated Life Test – Kvantitativní zrychlený test životnosti
RBD	Reliability Block Diagram Analysis – Analýza spolehlivosti pomocí blokových schémat
VZLÚ	Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s.

Další zkratky jsou vysvětleny v textu.

Použité označení

D_L	- rozptyl
E(x)	- střední hodnota
f(x)	- funkce hustoty pravděpodobnosti
F(x)	- distribuční funkce
L, $\overline{L}_0$	- zatížení (Loads)
MTBF	- střední doba mezi poruchami (Mean Time Between Failures)
N_f, n	- počet cyklů
N_{ekv}	- ekvivalentní počet cyklů
P(A)	- pravděpodobnost nastoupení jevu A
Q	- pravděpodobnost nastoupení poruchy (probability of failure)
r	- počet poruch, počet platných poruch během zkoušek
R	- pravděpodobnost bezporuchového provozu (Reliability)
t	- čas
T_{OE}	- ekvivalentní doba zkoušky
T*	- celková kumulovaná doba zkoušky
x_i , y_i	- hodnoty souřadnic v grafu
$t_p(\nu)$	- hodnota kvantilu Studentova rozdělení
α ($\hat{\alpha}$)	- hodnota (odhad) parametru měřítka Weibullova rozdělení
β ($\hat{\beta}$)	- hodnota (odhad) parametru tvaru Weibullova rozdělení
γ	- úroveň konfidence
Γ(η)	- funkce gamma rozdělení
δ	- střední doba do obnovy
η	- charakteristická doba života
λ	- okamžitá intenzita poruch (Instantaneous Failure Rate)
μ, ($\hat{\mu}$)	- střední hodnota (odhad střední hodnoty)
ν	- počet stupňů volnosti
σ ($\hat{\sigma}$)	- hodnota (odhad) směrodatné odchylky
σ_a	- amplituda napětí
τ_0	- doba zkoušky
χ^2	- hodnota rozdělení chí-kvadrát

1 Úvod

Přijatelná úroveň bezpečnosti byla vždy jedním z nejdůležitějších požadavků v civilním letectví již od samého počátku. Pojem akceptovatelná úroveň bezpečnosti se postupem let vyvíjel a posouval se k vyšší úrovni bezpečnosti. Postupem času (60. léta minulého století) se požadavky na spolehlivost stávají součástí stavebních předpisů nejprve pro dopravní letouny, pak i pro sportovní letadla a zároveň nutnou podmínkou při certifikaci letadla.

Letouny vyvíjené v dnešní době včetně sportovních již nelze označit za „relativně jednoduché“, jak tomu bylo dříve, v minulosti většina letadel měla obdobnou strukturu sestávající z křídla, trupu, ocasních ploch, podvozku, pohonné jednotky a jednoduchého mechanického systému řízení. U těchto jednoduchých letadel bylo možné deterministicky předepsat návrhové postupy (včetně výpočtových postupů používajících koeficienty bezpečnosti), které zajistí určitou úroveň spolehlivosti letadla. Tato úroveň byla prověřená historickými zkušenostmi z podobných konstrukcí.

S poválečným rozvojem velkých dopravních letadel, které současně obsahovaly nové typy soustav (hydraulické, elektronické, …) přestal tento přístup dostačovat. Bylo třeba najít nové postupy, které zaručí bezpečnost cestujících a posádky. Řešení bylo nalezeno v analýzách bezpečnosti. Tyto soustavy se staly nedílnou součástí i malých sportovních letadel.

Pro certifikaci letounů i této kategorie je pak nutné vypracovat spolehlivostní analýzy, tento přístup nebyl dosud běžný. Pro tyto analýzy je důležité znát různé parametry o spolehlivosti použitých součástí. Jejich věrohodnost se pak odráží v závěrech o celé soustavě. Jedná se tedy o velmi důležitý parametr, respektive základní podmínku správné analýzy.

Tato data mohou být různého původu. Mohou být z provozu stávajících letadel, z komerčních databází a ze zkoušek spolehlivosti. Jejich dostupnost pro analýzy může být komplikovaná.

Další neméně důležitou oblastí, kromě určení dat pro analýzy spolehlivosti, je určení provozní spolehlivosti, která se dostává i do mnoha komerčních smluv týkající se nejen letounů, ale i dalších průmyslových produktů. Problematika úzce souvisí s moderními postupy údržby.

2 Vymezení obsahu a cíle disertační práce

Práce navazuje na předchozí práce vytvořené na Leteckém ústavu VUT v Brně, věnované metodám posuzování spolehlivosti letadlové techniky např. literatura [16] a rozšiřuje je o oblast zkoušek spolehlivosti.

Úvod práce je věnován seznámení s historií a požadavky předpisů vydaných EASA a FAA, norem v oblasti vyhodnocení provozních dat, zkoušek spolehlivosti a matematickými nástroji. Použity jsou zejména předpisy týkající se menších letadel certifikovaných podle CS 23 a FAR 23. Následující část je věnována návodům sběru dat, plánování zkoušek a zpracování dat ze zkoušek spolehlivosti ve spolupráci se společností Jihlavan, a.s.. Jedná se o hydraulické přístroje a soustavy. V další kapitole je provedena spolehlivostní analýza vybrané hydraulické soustavy malého dopravního letounu (podvozková). Dále je provedeno porovnání s několika zdroji vstupních dat. Z provozních dat z použitých přístrojů od výrobce, komponentními zkouškami nových přístrojů a komerčními databázemi. V těchto kapitolách je aplikována spolupráce s průmyslem při praktickém vývoji malého dopravního letounu.

Zjištěné poznatky a srovnání jsou shrnuty do návodů, kde se nachází doporučení pro použití vstupních dat v analýzách. Taková srovnání a doporučení nejsou zatím k dispozici. Vzhledem k častější aplikaci spolehlivostních analýz a aplikaci i tam, kde to nebylo dříve běžné, platí stále pravidlo, že vstupní data jsou základní podmínkou správné spolehlivostní analýzy. Dále jsou zpracována doporučení pro návrh databázových programů vyhodnocující provozní spolehlivost, návrh tzv. karty poruch. Řešení zapadá do celkové koncepce aplikace moderních metod zajištění bezpečnosti a spolehlivosti letadlové techniky v kategorii všeobecného letectví (General Aviation) a úzce souvisí s problematikou řešení údržby s využitím moderních postupů s ohledem na ekonomické aspekty.

Jednotlivé cíle:

1. *získání a shrnutí dostupných informací v oblasti zkoušek a vyhodnocování provozních dat*

2. *vytvoření návodů při sběru dat, návrhu a plánování zkoušek, vyhodnocení a zpracování dat*

3. *provedení analýzy spolehlivosti na hydraulické podvozkové soustavě malého dopravního při spolupráci s průmyslem (firmy Jihlavan, a.s., Evektor, spol. s r.o.) při vývoji malého dopravního letounu*

4. *aplikace prediktivních postupů analýz inherentní spolehlivosti využívající pro odhady úrovně spolehlivosti akceptované průmyslové standardy (komerční databáze), standové zkoušky a provozní data*

5. *vypracování závěrů z provedených prediktivních analýz spolehlivosti s různými vstupními daty a návodů pro použití těchto dat v analýzách spolehlivosti*

6. *zpracování podkladů a návrhů pro doplnění softwarové aplikace zabývající se zpracováním dat z provozu a zkoušek a doporučení pro návrh databázových programů vyhodnocujících provozní spolehlivost, návrh tzv. karty poruch*

3 Historie a současný stav řešené problematiky

3.1 Historie řešení problematiky

Matematické základy v oblasti spolehlivosti objektů byly položeny ve 30. a 40. letech 20. století. Použití balistických raket a letecké techniky za II. světové války vedlo k vymezení nového oboru - spolehlivost. Poválečná léta přinesla rozvoj techniky a kosmických letů. Vůdčí velmocí se staly Spojené státy americké, kde byla zpracována řada postupů a metod vypracovaných např. v NASA. Použití složitých konstrukcí a soustav u dopravních letadel přináší rozšíření těchto metod v celosvětovém měřítku.

V Československu byly vytvořeny spolehlivostní analýzy, které byly zaměřeny na bezpečnost jaderných elektráren (Ústav jaderného výzkumu Řež) a leteckou techniku.
V omezené míře u letounu Z-37, kde se řešila únava (subvlastnost spolehlivosti), dále u L 410, L 610, L-39. U letounu L-39, výrobce Aero Vodochody, a.s., se u několika soustav sledovala provozní spolehlivost. Významnou roli má Aircraft Industries, a.s. (bývalý Let Kunovice), kde se nadále sleduje provozní spolehlivost uvedeného letounu L 410. Údaje o provozní spolehlivosti soustav a jednotlivých přístrojů jsou shromažďovány, dále jsou zpracovány výrobcem, např. Jihlavan, a.s. a odesílány dozorujícímu Úřadu pro civilní letectví. Další významnou roli v oblasti spolehlivosti má VZLÚ a Výzkumný ústav stavebních a zemních strojů. Jsou publikovány normy, které řeší problematiku spolehlivosti.

V 90. letech minulého století nejen v České republice dochází k útlumu letecké výroby. Dnešní doba přináší postupné oživení leteckého průmyslu. Jsou vypracovány spolehlivostní analýzy pro L-159, při certifikaci letounu Ae 270, VUT 100 a nyní vyvíjeného malého dopravního letounu EV 55.

Vznikají vědecké práce zabývající se spolehlivostí letadel a aplikací moderních metod analýz pocházející např. z VZLÚ, Univerzity obrany (UO Brno) a také z VUT FSI v Brně.

Obr. 3.1: L 410 M, VUT 100, EVE 55, zdroj: J. Hlinka a [26]

3.2 Spolehlivost a zkoušky spolehlivosti letecké techniky

Předpisy FAR 23 [1], CS 23 jsou stanovené obecné požadavky při návrhu a certifikaci na spolehlivost. Nalezneme je v poradním oběžníku AC 23.1309 [2]. Zde jsou uvedeny maximální přípustné pravděpodobnosti nastoupení událostí a další podmínky, které jsou uvedeny níže a v tabulce 3.1.

Pokud jsou vyžadovány zkoušky pro průkaz vybraných prvků podle těchto požadavků, pak se jimi řídí výrobci nebo certifikační zkušebny.

Simulace provozu je základ zkoušek spolehlivosti. Vzhledem k požadovaným nízkým pravděpodobnostem událostí, musí mít i jednotlivé prvky velmi nízkou pravděpodobnost selhání neboli intenzitu poruch. Nejen proto jsou zkoušky finančně a časově velmi náročné. V některých případech není navíc možné prokázat v dostupném čase požadované parametry (např. extrémně nízké intenzity poruch – obzvláště u mechanických prvků). Často se omezují na skupinu základních prvků. Další doporučení pro zkušební prostředí a postupy palubních zařízení je dán v RTCA/DO-160D [3].

Základní požadavky předpisů je možné stručně shrnout následovně:

Doporučení poradního oběžníku AC 23.1309

- **selhání samostatného prvku nesmí způsobit katastrofickou událost,**
- **max. přípustné pravděpodobnosti nastoupení událostí jsou vztaženy k jejich důsledkům.**

Vztah mezi přípustnými pravděpodobnostmi nastoupení událostí a jejich následky definuje tabulka 3.1.

Hodnota max. přípustné pravděpodobnosti nastoupení události s katastrofickými důsledky pro letouny sběrné dopravy (třída 4) je totožná s dopravními letouny vyšší kategorie. Vychází z požadavku (vydedukovaného na základě historických statistik), aby u tohoto typu letounů míra katastrof nepřevýšila počet **1 katastrofická nehoda na 10^7** hodin. Pokud navíc budeme uvažovat, že u každého letounu mohou nastat řádově stovky událostí s katastrofickými důsledky, vychází pro max. přípustnou pravděpodobnost nastoupení každé takové události požadavek, aby pravděpodobnost nastoupení katastrofické události byla menší než 10^{-9} na 1 letovou hodinu. Obdobným způsobem byly stanoveny číselné požadavky pro letouny všeobecného letectví.

Požadavky předpisů na zkoušky spolehlivosti (CS 23, FAR 23), odkazují na standardní postupy při vyhodnocování dat a zkoušek z provozu letadel.

Vhodné a používané postupy se nacházejí v mezinárodních normách vydaných IEC (International Electrotechnical Commission – Mezinárodní elektrotechnická komise) nebo lze použít vojenské standardy MIL (původem z USA).

V případě norem IEC se jedná o široce akceptovaný standard. Tyto normy řada států přejala za své národní normy, včetně České republiky. V ČR jsou tyto normy označovány jako ČSN IEC. Pro provádění odhadů je podstatná norma ČSN IEC 60605-4 literatura [20].

Tab. 3.1: Doporučení poradního oběžníku AC 23.1309 (překlad oběžníku)

Klasifikace poruchových stavů	**Bez vlivu na bezpečnost**	**Nezávažné (Minor)**[1]	**Závažné (Major)**[1]	**Nebezpečné (Hazardous)**[3]	**Katastrofické (Catastrophic)**[2]
Důsledek pro letadlo	Žádný důsledek pro provozní schopnosti a bezpečnost	Mírné snížení funkčních schopností nebo rezerv bezpečnosti	Významné snížení funkčních schopností nebo rezerv bezpečnosti	Velké snížení funkčních schopností nebo rezerv bezpečnosti	Běžně zahrnuje zkázu trupu
Důsledek pro cestující	Nepohodlí pro cestující	Fyzické potíže pro cestující	Fyzické strádání u cestujících včetně možných zranění	Vážné nebo smrtelné zranění jednoho cestujícího	Několikanásobné smrtelné zranění cestujících
Důsledek pro letovou posádku	Bez důsledku pro letovou posádku	Mírný nárůst pracovního zatížení posádky nebo použití nouzových postupů	Fyzické potíže nebo značný nárůst pracovní zátěže	Fyzické strádání nebo nadměrné pracovní zatížení posádky narušuje schopnost plnit úkoly	Smrtelná zranění nebo zbavení způsobilosti
Rozdělení letadel:	Přípustné pravděpodobnosti (za 1 letovou hodinu)				
Třída 1 (Typicky SRE pod 6000 lb.)	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-4}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-6}$
Třída 2 (Typicky MRE nebo STE pod 6000 lb.)	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-6}$	$< 10^{-7}$
Třída 3 (Typicky SRE, STE, MRE a MTE rovno nebo větší než 6000 lb.)	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-7}$	$< 10^{-8}$
Třída 4 (Typicky Commuter - pro sběrnou dopravu)	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-7}$	$< 10^{-9}$

SRE - Single Reciprocating Engine - jednomotorový letoun s pístovým motorem
MRE - Multiple Reciprocating Engine - vícemotorový letoun s pístovými motory
STE - Single Turbine Engine - jednomotorový letoun s turbínovým motorem
MTE - Multiple Turbine Engine - vícemotorový letoun s turbínovými motory

Pozn.: 1 - obvykle není požadována kvantitativní analýza pro *nezávažné* a *závažné* poruchové stavy.
2 - Na úrovni funkce celého letounu nebude mít samostatná porucha za následek vznik situace s katastrofickými následky.
3 - Na úrovni funkce celého letounu nebude mít samostatná porucha za následek vznik *nebezpečné* situace.

Pozn.: V tabulce jsou oproti předpisu vynechány pasáže, které se zabývají hodnocením úrovně bezpečnosti softwaru. Zdroj: [4]

Vojenské standardy MIL udávají postupy použitelné při vyhodnocování datových souborů získaných z provozních dat a ze zkoušek spolehlivosti. Výhodou těchto standardů je jejich široká dostupnost. Jsou také široce uznávané jako informační zdroj. Pro účely vyhodnocení dat lze použít postupy uvedené v MIL-HDBK-338B [8].

Kromě těchto všeobecných požadavků na spolehlivost soustav a vybavení, jsou kladeny předpisem CS 23, nebo FAR 23 **další požadavky např. na hydraulické soustavy a zkoušky** podle AC 13.1435 [2], které je nutno prokázat.

(citace z předpisu [2] § 23.1435)

(a) *Návrh konstrukce.* Konstrukce každé hydraulické soustavy musí být navržena tak, aby splňovala následující požadavky:

(1) Každá hydraulická soustava a její prvky musí vydržet bez deformací zatížení konstrukce, předpokládané společně s hydraulickým zatížením.
(2) Letová posádka musí mít k dispozici zařízení, udávající tlak v každé hydraulické soustavě, která zabezpečuje dvě nebo více základních funkcí.
(3) Musí existovat prostředky, zajišťující, že tlak - včetně přechodného (nárazového) tlaku v kterékoliv části soustavy nepřekročí bezpečnou mez nad návrhovým provozním tlakem a které zabrání nadměrnému tlaku, vznikajícímu z objemových změn kapalin ve všech vedeních, která pravděpodobně zůstanou uzavřena dosti dlouho, aby takové změny mohly vzniknout.
(4) Minimální návrhový početní tlak, při kterém by mohlo dojít k prasknutí, musí být 2,5 násobek provozního tlaku.

(b) *Zkoušky.* Způsobilost každé soustavy musí být prokázána zkouškami zkušebním tlakem. Při tlakové zkoušce nesmí žádná část soustavy selhat, nesprávně fungovat nebo vykazovat trvalé deformace. Zkušební zatížení každé soustavy musí být nejméně 1,5 násobek maximálního provozního tlaku této soustavy.

(c) *Akumulátor.* Na motorové straně protipožární stěny může být instalován hydraulický akumulátor nebo nádrž, jestliže:
(1) je integrální částí motorové nebo vrtulové soustavy.
(2) nádrž není tlaková a celkový objem všech nádrží bez tlaku je 1 quart (1,14 l) nebo méně.

3.3 Prediktivní analýzy soustav letadel

Pro zajištění bezpečnosti a spolehlivosti se již ve fázi návrhu využívají prediktivní postupy odhadu úrovně spolehlivosti. Tyto postupy využívají obvykle následující metody: FHA, FMEA, RBD a FTA. Součástí disertační práce je porovnání výstupů z těchto metod s analýzou provozních dat a různých zdrojů vstupních dat.

Poradní oběžník AC 23.1309 doporučuje k prokázání bezpečnosti a bezporuchovosti níže uvedené metody. Detailní postupy a návody k řešení jsou obsaženy v normách SAE (The Engineering Society For Advancing Mobility in Land, Sea, Air and Space) jako jsou ARP 4754 a 4761 [12].

Základní rozdělení analýz [6]:

Prediktivní analýzy spolehlivosti
- analýzy neopravovaných systémů
- analýzy opravovaných systémů

Prediktivní analýzy spolehlivosti
- kvalitativní - jejich výstupem jsou obvykle hodnocení způsobů a důsledků poruch a kritičnosti prvků pro systém, nebo jiné nečíselné závěry.
- kvantitativní - jejich výstupem jsou obvykle číselné hodnoty pravděpodobností nastoupení sledovaných událostí.

Prediktivní analýzy spolehlivosti
- deduktivní - takové analýzy systémů, které jsou prováděny „shora-dolů“, tzn. od globálních problémů k problémům elementárním (od analýzy poruch na nejvyšší úrovni se postupuje k elementárním prvkům).
- induktivní – analýzy systémů prováděné „zdola-nahoru“, tzn. od elementárních problémů k problémům globálnějším (od analýzy poruch elementárních prvků se postupuje k prvkům na vyšších úrovních).

Stručný popis metod prediktivní analýzy:

- **FHA** (Functional Hazard Assessment) – Funkční analýza rizik se používá od ranných fází návrhu až po certifikaci. Obvykle zahrnuje seznam základních funkcí a poruchových stavů letounu. FHA je systematické prověření funkcí (ve všech fázích letu) a často je rozdělena na úroveň letadla a úroveň soustav. Jde o základní dokument pro navazující detailní analýzy (výběr soustav pro detailní analýzy je založen na FHA letadla).

- **FMEA/FMECA** (Failure Mode and Effects Analysis / Failure Mode, Effects and Critically Analysis) – Analýza způsobů a důsledků poruch (Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch) se používá k identifikaci důsledků poruch samostatných prvků. Je tak prokazována shoda s požadavkem, aby „nevznikl

katastrofický poruchový stav v důsledku selhání jednoho prvku“. Dále prokazuje, že u žádného prvku nepřevýší pravděpodobnost nastoupení jednotlivých poruchových stavů povolené max. hodnoty pravděpodobností. Analýzy FMEA/FMECA používají prakticky všichni výrobci větších letadel (u nás například AERO Vodochody, a.s. či dříve LET Kunovice, dnes Aircraft Industries, a.s.).

- **RBD** (Reliability Block Diagrams) – Blokové diagramy bezporuchovosti jsou společně s FTA používány pro analýzu složitých poruchových stavů (současné selhání více prvků). Obvykle je jejich použití omezeno na poruchové stavy s nebezpečnými (HAZARDOUS) nebo katastrofickými (CATASTROPHIC) důsledky. Blokové digramy bezporuchovosti byly často používány např. v Aircraft Industries, a.s..

- **FTA** (Fault Tree Analysis) – Stromy poruchových stavů se používají ke stejnému účelu jako blokové diagramy bezporuchovosti. Tato metoda byla používána např. v Aeru Vodochody, a.s. a velkým uživatelem je i Boeing (kromě dalších velkých leteckých výrobců).

- **MA** (Markov Analysis) – Markovovy řetězce jsou během vývoje a certifikace používány pro řešení velmi složitých poruchových stavů (obvykle tam, kde není možné použít RBD či FTA).

4 Metody zpracování datových souborů

4.1 Obecné postupy zkoušek spolehlivosti

Pokud nejsou dostupná data pro stanovení odhadů parametrů spolehlivosti, je možné naplánovat a provést zkoušky spolehlivosti u vybraných prvků a systémů. Zkoušky spolehlivosti jsou pak založeny na principu „simulace provozu“. Jsou však finančně a časově velmi náročné. V některých případech není navíc možné prokázat v dostupném čase požadované parametry (např. extrémně nízké intenzity poruch – obzvláště u mechanických prvků). Proto je vhodné, použít je pouze pro velmi omezenou skupinu prvků, u kterých nebylo možné získat odhady jiným způsobem (kapitola 4.3, 5).

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, je možné použít obecné postupy. Nacházejí se např. v normách MIL a nebo v normách IEC. Zde se jedná o široce akceptovaný standard. Dále se více zaměříme na normy IEC. Vhodná je norma ČSN IEC 60605-4 [20]: Zkoušky bezporuchovosti zařízení, Část 4: Statistické postupy pro exponenciální rozdělení – Bodové odhady, konfidenční intervaly, předpovědní intervaly a toleranční intervaly, kde se nacházejí postupy pro vyhodnocení datových souborů. Na Leteckém ústavu VUT v Brně a v rámci aktivit Centra pro letecký a kosmický výzkum byla vytvořena i jednoduchá softwarová aplikace vycházející z této normy pro analýzu datových souborů s využitím uznávaných standardů a souborů s extrémně malým rozsahem dat. Aplikace umožňuje odhady s využitím postupů uvedených v ČSN IEC 605-4 [5]. V roce 2002 tato norma byla nahrazena výše uvedenou ČSN IEC 60605-4 [20]. Rozdíly jsou uvedeny v dalších kapitolách. Pro Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti je vhodný standard ČSN EN 61649 Weibullova analýza [21]. Tyto postupy doplňuje o analýzu vývoje parametrů bezporuchovosti metodou AMSAA (U.S. Army Materiel Systems Analysis Activity) a o možnost vyhodnocování souborů s extrémně malým rozsahem. Rozsah znamená, u zkoušek založených na čase, kumulovaná platná doba zkoušky a počet poruch.

Zjednodušeně lze říci, že zkouška spolehlivosti je experimentální určení nebo ověření ukazatelů spolehlivosti.

Protože z praktického hlediska je ukazatelem spolehlivosti vždy konkrétní parametr rozdělení náhodné veličiny, je cílem zkoušek určení nebo ověření hodnot parametru rozdělení příslušné náhodné veličiny. Neboli lze říci, že pomocí zkoušek spolehlivosti je obvyklou snahou získání vstupních dat pro další analýzy nebo také ověření, že jsou zvoleny správné postupy pro zabezpečení spolehlivosti - např. **pravděpodobnosti selhání či intenzity poruch** jednotlivých prvků RBD, FTA.

Základní rozdělení zkoušek:

zkoušky → ověřovací zkoušky, určovací zkoušky

zkoušky → provozní, standové

zkoušky → bezporuchovosti, udržovatelnosti, pohotovosti, životnosti

zkoušky → normální, zkrácené, zrychlené

Obr. 4.1: Standová zkouška soustavy řízení vztlakové klapky, respektive celé hydraulické soustavy malého dopravního letounu v Jihlavanu, a.s., zdroj: J. Novák

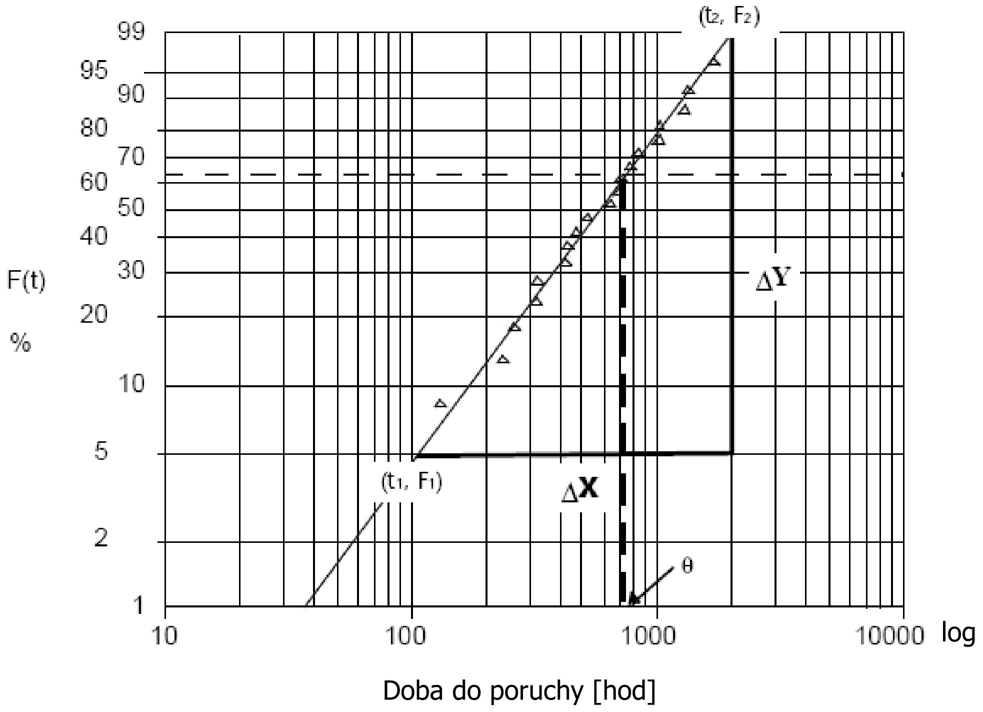
Dále jsou uvedeny návody pro vyhodnocení datových souborů, které se nacházejí ve vojenských standardech publikovaných vládou Spojených států amerických, ministerstvem obrany. V MIL-HDBK-338B [8] jsou uvedeny postupy založené na:

a) grafických metodách

b) statistických analýzách

a) Grafické metody

V mnoha praktických případech jsou grafické metody jednodušší a dávají adekvátní výsledky. Matematicky jsou založeny na mediánovém pořadí (median rank). K výsledku se dojde v několika krocích a zakreslení hodnot do pravděpodobnostního grafu. Tyto postupy jsou shodné s postupy uvedených normách ČSN EN 61649 [21].



$\theta = 739.41$

$$\beta = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{ln ln\left(\frac{1}{1-F(t_2)}\right) - ln ln\left(\frac{1}{1-F(t_1)}\right)}{ln\, t_2 - ln\, t_1} = 1.53$$

Obr. 4.2: Příklad grafického určení parametrů Weibullova rozdělení podle [8]

b) Statistická analýza

V normě [8] jsou uvedeny matematické postupy k určení spolehlivostních parametrů např. střední doba mezi poruchami (MTBF), intenzita poruch. V postupech se vychází z klasické matematické statistické analýzy. Pro statistická rozdělení jsou uvedeny vztahy a příklady výpočtu. Dále jsou zde uvedeny Kolmogorovův-Smirnovův test a chí-kvadrát test dobré shody a jejich použití.

Navržené návody pro vyhodnocení datových souborů v této práci se v základech shodují s touto normou.

4.1.1 Zkoušky prototypů

Zkoušky prototypů slouží k ověření vlivu konstrukčních úprav během vývoje. Během vývoje jsou typické úpravy systémů s cílem odstranit nedostatky a vylepšit jejich funkční parametry. Zda vedou tyto úpravy ke zvýšení či snížení spolehlivosti sledovaných systémů lze posoudit použitím zkoušek prototypů a zejména provozem prototypů.

Základní modely zkoušek prototypů, zdroj [6]:

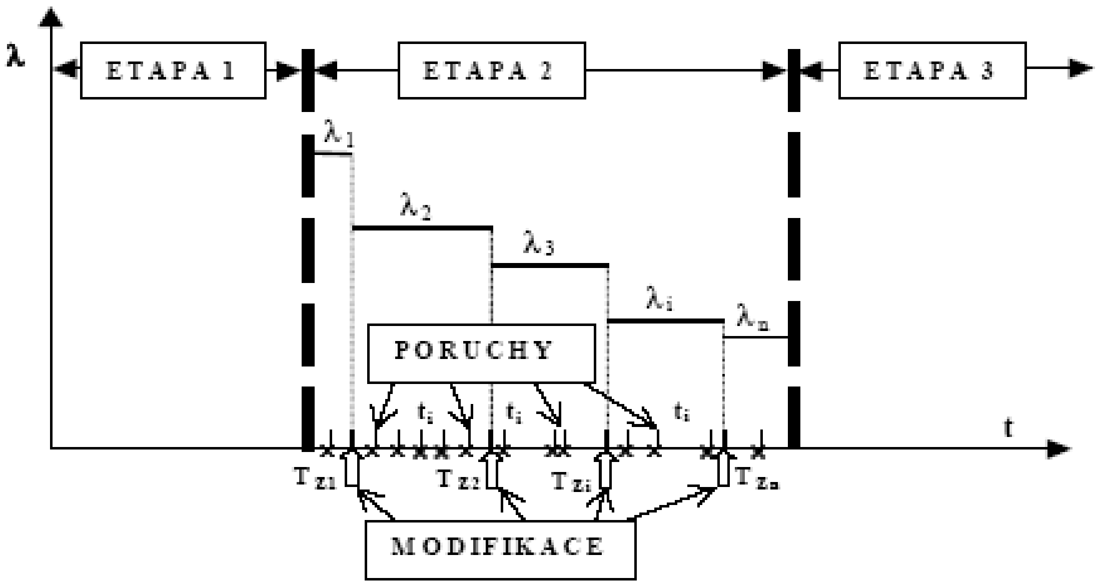
- AMSAA
- Duanův model

a) AMSAA

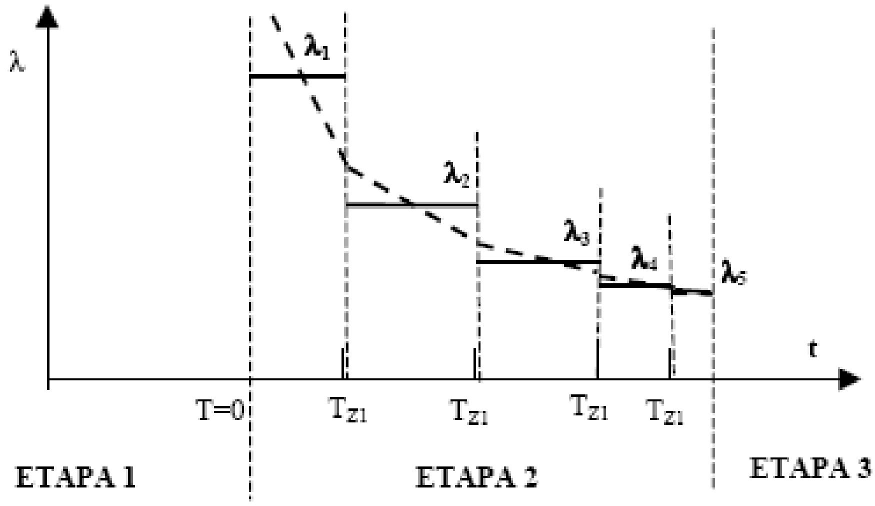
Název metody je odvozen od původce jejího vzniku: US Army Materiel Systems Analysis Activity. Je aplikovatelná u systémů, jejichž provoz probíhá ve spojitém a delší dobu trvajícím provozu, měřitelném v odpovídajících jednotkách (např. v hodinách, km, počtech cyklů). Metoda využívá vlastností Weibullova rozdělení (konkrétně parametru tvaru β).

Zjednodušený princip použití metody:

Období vývoje a testování prototypu se rozdělí na několik časových úseků. Každý časový úsek vyjadřuje zkušební provoz po provedení úprav na prototypu. U každého časového úseku nezávisle se vyhodnotí střední intenzitu poruch. Zjištěnými středními intenzitami poruch se proloží křivka (provede se vyhodnocení parametrů Weibullova rozdělení). Pokud bude výsledný parametr tvaru β menší než 1, je výsledkem zlepšování parametrů spolehlivosti u sledovaného prototypu (snižuje se intenzita poruch, zvyšuje se MTBF).



Obr. 4.3: Obvyklé vývojové etapy projektu, zdroj: [6]



Obr. 4.4: Aproximace průběhu intenzity poruch během etapy vývoje, zdroj: [6]

b) Duanův model

Patří mezi grafické konstrukční metody, které se používají při analýze vývojových tendencí spolehlivosti především v etapě vývoje nového výrobku, kdy se často provádějí technické, technologické a jiné změny. Tyto změny mají obvykle významný vliv i na ukazatele spolehlivosti, které se mohou podstatně měnit. K objektivizaci jejich změn slouží právě Duanova metoda. Bližší popis metody se nachází v literatuře [6].

4.1.2 Zrychlené zkoušky spolehlivosti

Vzhledem k požadovaným nízkým hodnotám pravděpodobnostem událostí, není možné prokázat v dostupném čase požadované parametry (kapitola 4.3, str. 31). Většina postupů zrychlených zkoušek, které jsou již dobře zpracovány, se týká elektronických součástí. Pro příklad je uvedeno několik modelů zrychlených zkoušek. Některé vztahy lze využít i pro modely mechanických součástí. Zrychlené zkoušky spolehlivosti mohou být **kvalitativní** nebo **kvantitativní** zdroj [7] a [9].

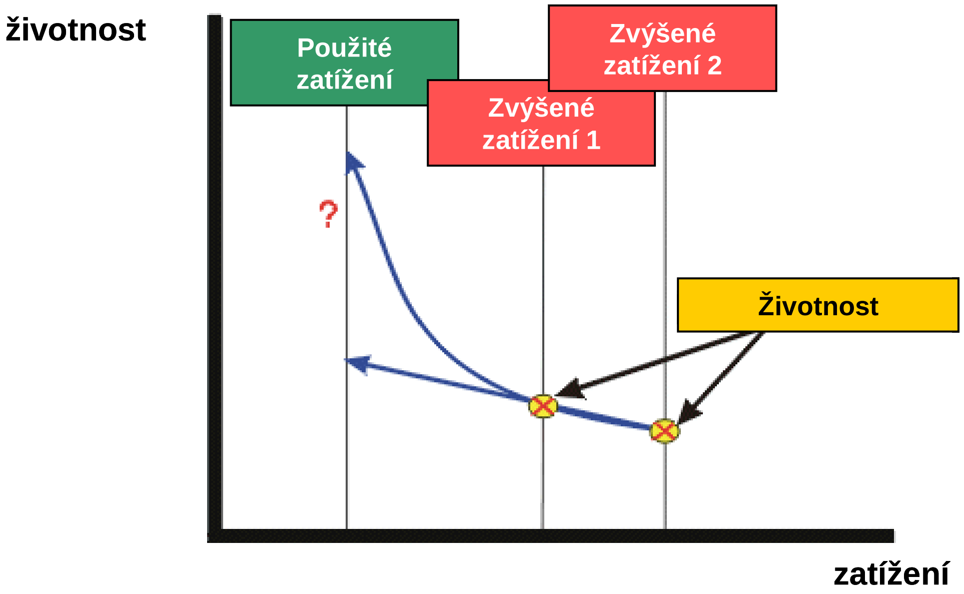
a) Kvalitativní

Kvalitativní zkoušky (např. HALT, HAST, Torture tests nebo Shake and Bake tests) spočívají v tom, že je při zkoušce aplikováno vyšší zatížení. V důsledku toho dojde dříve než za normálního provozu k poruše. Zkouška samotná však nevypovídá nic o tom, kolik vydrží daný prvek za normálního provozu (jaké jsou jeho parametry spolehlivosti v normálním provozu). Tento způsob zkoušky se používá výlučně pro odhalení „nejslabších" míst v návrhu. Zesílením takto objeveného místa konstrukce by mělo vést ke zvýšení parametrů spolehlivosti. Postup lze několikrát opakovat – může vést k výraznému zvýšení spolehlivosti výrobku.

b) Kvantitativní

Při kvantitativních zrychlených zkouškách (QALT) je stejně jako v případě kvalitativních zkoušek aplikováno zvýšené zatížení. Rozdíl je v tom, že na rozdíl od kvalitativních zkoušek je snaha o odhad parametrů spolehlivosti při normálním zatížení (na základě výsledků ze zvýšeného napětí).

Zrychlené zkoušky mohou použít buď zrychlení simulace provozních cyklů (používají se standardní metody vyhodnocování) nebo zvýšením vybraných parametrů zatížení (např. tlak, teplota, zatížení, pulsace, vibrace,…). Vyhodnocení u druhého jmenovaného způsobu je podstatně složitější než u prvního. Je třeba vytvořit vhodné vztahy pro přepočet parametrů spolehlivosti při vyšším zatížení na parametry při nižším zatížení. Obvykle se přepočítává funkce hustoty pravděpodobnosti (pdf). Použitelné modely pro přepočet „život-zatížení“ (life-stress) jsou např. **Arrhenius**, **Eyring** a „**inverse power law models**“.



Obr. 4.5

Vyjmenované modely slouží pro analýzy zrychlených zkoušek s jedním typem zvýšeného zatížení (např. teplotou nebo vlhkostí). Pro analýzu výsledků zkoušek s aplikací dvou typů zvýšeného zatížení současně se používají např. modely „teplota-vlhkost“ nebo „teplota-neteplotní vztahy“. Obecné modely „log-linear“ a „proportional hazards“ mohou být použity tam, kde jsou uvažovány více než dva typy zatížení. U modelů, kde se zatížení s časem mění byly vyvinuty modely „kumulativního poškození“ (cumulative damage, cumulative exposure).

1) Arrheniúv model

Používá se, pokud je zvýšené zatížení simulováno zvýšenou teplotou během testu. Tento model byl vytvořen pro zkoušky elektronických prvků. Jde o nejčastěji používaný model u zrychlených zkoušek.

2) Eyring model

Používá se často pro teplotní zvýšení zátěže (stejně jako u Arrheniova modelu), ale na rozdíl od Arrheniova modelu je také použitelný pro jiné typy zvýšení zátěže (často se používá např. pro vlhkost) a podobně jako předchozí model je vhodný pro elektronické prvky. Model je založen na principech kvantové mechaniky.

3) Nepřímý mocninný model (Inverse power law model)

Inverse power law model (nepřímý mocninný model) se používá pro zrychlené zkoušky, kde se pro zvýšení zátěže nepoužívá zvýšení teploty. Základní vztah je:

$$L(V) = \frac{1}{KV^n},$$

L …označuje měřitelnou dobu života jakou je střední životnost, typická životnost, mediánová životnost B(x) atd.,
V …označuje úroveň napětí
K…parametr k určení, (K > 0)
n …je další parametr modelu k určení.

Aplikace inverse power law při vykreslení na log-log papír vytváří přímku. Základní vztah pak byl rozpracován a přizpůsoben jednotlivým typům rozdělení.

4) Model „teplota-vlhkost“ (Temperature-Humidity)

Model „teplota-vlhkost“ se používá v případě, že zvýšení zatížení je simulováno zvýšením teploty a vlhkosti zároveň. Kombinovaný model je dán vztahem:

$$L(V,U) = Ae^{\frac{\phi}{V}+\frac{b}{U}},$$

ϕ …jeden ze tří parametrů k určení,
b… druhý parametr (také znám jako aktivační energie pro vlhkost),
A …je konstanta a třetí parametr,
U … je relativní vlhkost (decimální nebo v procentech),
V … teplota (v absolutních jednotkách).

Vztah teplota-vlhkost je možné linearizovat a vykreslit do grafu „život vs. zatížení“. Pro linearizaci se využívá přirozený logaritmus.

Základní vztah pak byl rozpracován a přizpůsoben jednotlivým typům rozdělení.

5) Model „teplota-neteplotní vztah“ (Temperature-NonThermal Relation)

Model je kombinací Arrheniova modelu a „Inverse power law“ modelu. Základní vztah je:

$$L(U,V) = \frac{C}{U^n e^{-\frac{B}{V}}},$$

U …je netepelné napětí (např. napětí, vibrace, atd.),
V …teplota (v absolutních jednotkách)
B, C a n …parametry k určení.

Uvedený vztah lze opět linearizovat. Tento vztah pak byl rozpracován a přizpůsoben jednotlivým typům rozdělení.

6) Log-lineární modely (Log-linear models)

Obecné modely „**log-linear**“ a „**proportional hazards**“ mohou být použity tam, kde jsou uvažovány více než 2 typy zatížení (většina praktických realizací). Základní matematický model „**log-linear**“ využívá vektor zatížení $\overrightarrow{X}$:

$$L\left(\overrightarrow{X}\right) = e^{\alpha_o + \sum_{j=1}^{n} a_j \overrightarrow{X}_j} ,$$

a_j ...jsou parametry modelu

$\overrightarrow{X}$ …je vektor n napětí.

Tento vztah může být dále upraven za použití transformace a může být zredukován do vztahů uvedeného níže. Provede se inverzní transformace na X, tzn. V = 1 / X.

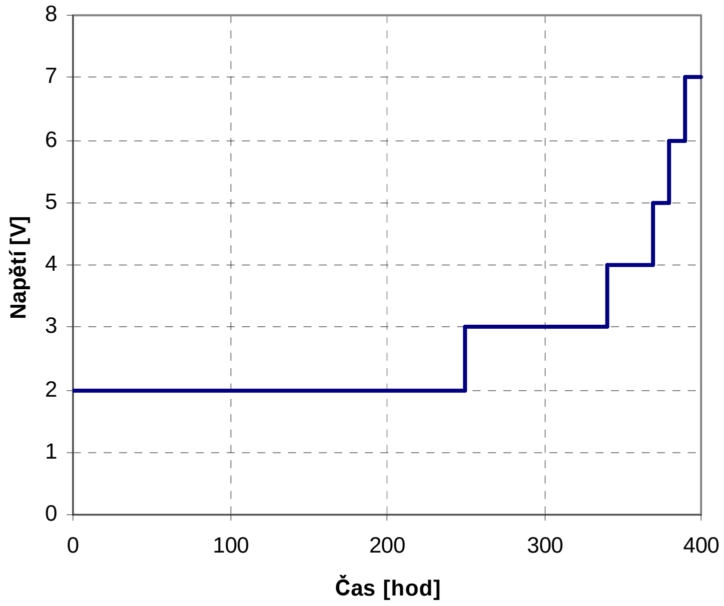
$$L(V) = e^{\alpha_o + \frac{\alpha_1}{V}} = e^{\alpha_o} \cdot e^{\frac{\alpha_1}{V}} .$$

Model „**proportional hazards**“ byl dříve využíván zejména v lékařských aplikacích. Nyní se však stále častěji prosazuje i v inženýrských oborech. Specifikem modelu je to, že se jedná o neparametrický model. Definice se nachází v literatuře [7].

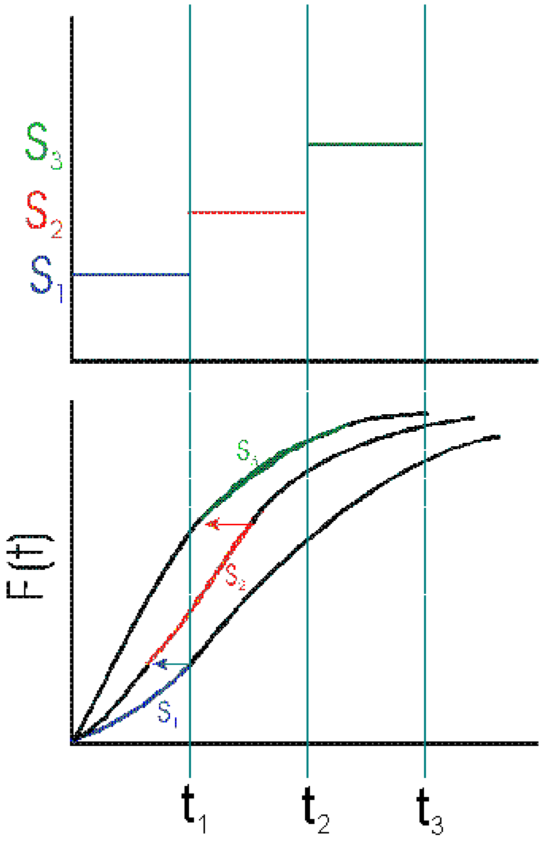
7) Model „kumulativního poškození“ (cumulative damage, cumulative exposure)

U modelů, kde se zatížení s časem mění byly vyvinuty modely „**kumulativního poškození**“ (cumulative damage, cumulative exposure). Nevýhodou těchto modelů je, že pro stejné rozsahy testovacích souborů vykazují tyto modely vyšší míru nejistoty oproti tradičním testům s konstantním zatížením.

Průběh testu se skládá z jednotlivých kroků, ve kterých se postupně zvyšuje zatížení (obr. 4.6). V průběhu testu jsou posupně odstraňovány prvky, které selžou a jejich doby testu jsou zaznamenávány. Problémem vyhodnocení je formulace vztahů mezi parametry prvků, které selžou na jednotlivých hladinách zatížení (obr. 4.7).



Obr. 4.6: Krokový profil pro test samostatným voltaickým napětím



Obr. 4.7: Krokový profil napětí a odpovídající distribuční funkce životnosti

Ze zkušeností se zkouškami (zejména únavových) v rámci Leteckého ústavu, VUT-FSI v Brně vyplývá, že v případě simulovaného provozu mechanických prvků konstrukce letounu

bylo možné po třech měsících zrychlených zkoušek prokazovat hodnoty intenzit poruch až v řádu $1\cdot10^{-5}$ h^{-1}.

Prokazování řádově nižších hodnot by se odrazilo v ekvivalentně delší době zkoušky. Určení pravděpodobnosti selhání pomocí zkoušek se nejeví jako reálné s ohledem na narůstající dobu zkoušky.

Malé rozsahy souborů dat a z toho vyplývající velké konfidenční intervaly obdržené při zkouškách podtrhují důležitost sledování a vyhodnocování dat získaných z provozu a nutnost zvýšené opatrnosti při návrhu nových neověřených konstrukcí. Dále se potvrzuje předpoklad předpisů, podle kterého nemá z hlediska celkové úrovně spolehlivosti letadla výrazné zvyšovaní úrovně spolehlivosti jednotlivých systémů letounu navrhovaných podle odstavce 23.1309 smysl.

Vliv takového zvyšování úrovně spolehlivosti např. MTBF by se projevilo pouze nepatrně na celkovém zvýšení úrovně spolehlivosti letadla (literatura [4]).

4.2 Výběr metod pro určení ukazatelů spolehlivosti

Nejprve je definována pro nezápornou náhodnou veličinu X se spojitým rozdělením intenzita poruch vztahem:

$\lambda(x) = \lim_{h \longrightarrow 0} \frac{P[X \in (x, x+h) \mid X > x]}{h} = \frac{f(x)}{1-F(x)}$, kde: *F(x)< 1*, *f* je hustota pravděpodobnosti a *F* je distribuční funkce *X*. Představuje-li *X* dobu do poruchy, intenzita λ(x) vyjadřuje, že pokud do času x nedošlo k poruše, tak pravděpodobnost, že k ní dojde v následujícím okamžiku malé délky h, je přibližně λ(x). Intenzita charakterizuje rozdělení nezáporné náhodné veličiny:

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\int_0^x \lambda(t)dt\right),$$ x > 0 zdroj [15].

Základní vztažnou jednotkou doby provozu celého objektu je z provozních důvodů obvykle počet hodin, ujetých kilometrů, motohodin, zátěžných cyklů a pod. Při výpočtu ukazatelů spolehlivosti je nutný převod na jednu základní jednotku doby provozu a tou je „počet hodin“.

Při vyhodnocení dat, je nejprve nutné provést test dobré shody na předpokládaný typ rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny. Obecně platí, že exponenciální typ rozdělení se předpokládá u vysoce spolehlivých, složitých technických systémů (konstantní intenzita poruch). Toto rozdělení se často používá u leteckých součástí a přístrojů za předpokladů uvedených v kapitole 7.3 a 7.5. Weibullovo rozdělení dobře popisuje vliv opotřebení, únavy, koroze a dalších degradačních procesů, atd. v závislosti na parametru β – tvaru rozdělení. Logaritmicko-normální rozdělení je vhodné pro popis, kde se projevuje únava materiálů, vliv opotřebení nebo jiné degradace, ale i pro popis chování při tzv. zahořování elektronických součástek.

V první fázi vyhodnocení dat v předkládané práci se uvažuje s předpokladem konstantní intenzity poruch, pak se pro stanovení bodových odhadů intenzity poruch a střední doby mezi poruchami (u opravovaných vzorků) nebo střední doby do poruchy (u neopravovaných vzorků) použijí uvedené numerické a grafické postupy. Grafické postupy jsou uvedeny a popsány v literatuře [21].

Platnost předpokladu konstantní intenzity poruch (exponenciální rozdělení pravděpodobnosti) se má před výpočtem bodových odhadů a konfidencích intervalů testovat,

přednostně podle IEC 60605-6 [10] Zkoušení bezporuchovosti zařízení, část 6: Testy platnosti a odhad konstantní intenzity poruch a konstantního parametru proudu poruch.

a) Bodové odhady pro zkoušky ukončené časem:

- bodový odhad (pozorovaná hodnota) intenzity poruch : $\hat{\lambda} = \frac{r}{T^*}$, (4.1)

r…..celkový počet platných poruch
*T**…kumulovaná platná doba zkoušky.

- bodový odhad střední doby do poruchy nebo mezi poruchami: $\hat{\mu} = \frac{T^*}{r}$. (4.2)

Starší norma *ČSN IEC 605-4* [5] doporučuje tento bodový odhad intenzity poruch:

- pokud nebyly do bodu ukončení zkoušky pozorovány žádné poruchy, *tj. r=0:*

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{3T^*}. \tag{4.3}$$

Toto doporučení je založeno na výzkumech E. Welkera a M. Lipowa publikovaných v článku Estimating the Exponential Failure Rate from Data with No Failure Events (Odhad intenzity poruch exponenciálního rozdělení z dat s nulovým počtem výskytu poruch), Proceeding 1974 Annual Reliability and Maintainability Symposium, str. 420-427. V nové normě ČSN IEC 60605 - 4 [20] se neuvádí a doporučují se jiné postupy.

Srovnání postupů je uvedeno níže.

Výše uvedená norma (nová) [20] upozorňuje, jestliže nebyly během zkoušky pozorovány žádné poruchy nelze bodový odhad získat. Lze však odhadnout dolní mez jednostranného konfidenčního intervalu MTTF a horní mez jednostranného konfidenčního intervalu intenzity poruch.

Bodový odhad rovnice 4.2 je vychýlený. Pro malé hodnoty r (například menší než 10) může toto vychýlení být sníženo tím, že se místo r dosadí (r + 1). Pro větší hodnoty je vychýlení přijatelné.

b) Konfidenční intervaly pro zkoušky ukončené časem:

Konfidenční meze pro skutečnou intenzitu poruch λ při konfidenční úrovni 90% jsou uvedeny dále. Metody jsou založené na chí-kvadrátu χ^2 rozdělení pravděpodobnosti.

- Jednostranný konfidenční interval s horní mezí:

$$\lambda < \hat{\lambda}\frac{\chi_{0,90}^{2}(2r+2)}{2r} \text{ nebo } \lambda < \frac{\chi_{0,90}^{2}(2r+2)}{2T^*}. \tag{4.4}$$

- Dvoustranný konfidenční interval s horní mezí:

$$\hat{\lambda}\frac{\chi_{0,05}^{2}(2r)}{2r} < \lambda < \hat{\lambda}\frac{\chi_{0,95}^{2}(2r+2)}{2r} \text{ nebo } \frac{\chi_{0,05}^{2}(2r)}{2T^*} < \lambda < \frac{\chi_{0,95}^{2}(2r+2)}{2T^*}. \tag{4.5}$$

Není-li pozorována žádná porucha, může se stanovit pouze jednostranný konfidenční interval s horní mezí. Vzorec založený na $\hat{\lambda}$ nelze použít.

- Jednostranný konfidenční interval pro střední dobu do poruchy, dolní mez:

$$\mu > \hat{\mu}\frac{2r}{\chi_{0,90}^{2}(2r+2)} \text{ nebo } \mu > \frac{2T*}{\chi_{0,90}^{2}(2r+2)}. \tag{4.6}$$

- Dvoustranný konfidenční interval pro střední dobu do poruchy:

$$\hat{\mu}\frac{2r}{\chi_{0,95}^{2}(2r+2)} < \mu < \hat{\mu}\frac{2r}{\chi_{0,05}^{2}(2r)} \text{ nebo } \frac{2T*}{\chi_{0,95}^{2}(2r+2)} < \mu < \frac{2T*}{\chi_{0,05}^{2}(2r)} . \tag{4.7}$$

Není-li pozorována porucha může se stanovit pouze dolní mez. Obdobné vztahy se nacházejí v normě ČSN IEC 60605-4 pro zkoušky ukončené poruchou. Podle definice je porucha jev spočívající v ukončení provozuschopného stavu objektu při stanovených parametrech. Kritéria poruchy se stanovují v technické dokumentaci.

Test konstantní intenzity poruch

V normě ČSN IEC 60605-6 se nacházejí grafické a numerické postupy pro testování platnosti konstantní intenzity poruch nebo konstantního parametru proudu poruch.

Test slouží:

- k testování, zda jsou doby do poruchy objektů exponenciálně rozděleny, tj. zda je intenzita poruch konstantní
- k testování, zda nemají doby mezi poruchami jediného opravitelného objektu nějaký časový trend, tj. zda parametr proudu poruch nevykazuje rostoucí nebo klesající trend.

Požadavky:
Aby byly postupy specifikované v této normě platné, je nutné, aby byly splněny následující požadavky:

Při testování předpokladu konstantnosti intenzity poruch pomocí n neopravitelných objektů:

- u numerických postupů je k dispozici nejméně deset dob do poruchy;
- u grafických postupů jsou k dispozici nejméně čtyři doby do poruchy.

Při testování předpokladu konstantnosti parametru proudu poruch pomocí jediného opravitelného objektu:

- objekt musí být odzkoušen po tak dlouhou dobu, aby bylo k dispozici nejméně šest dob mezi poruchami.

Numerické postupy pro velké výběry jsou uvedeny níže, pro velmi malé výběry, které se mohou očekávat v leteckém průmyslu, je k dispozici pouze subjektivní grafická metoda.

Statistický test konstantní intenzity poruch

Provozní podmínky musí být pro všechny zkušební vzorky stejné. Na konci období zkoušení nemusejí mít všechny vzorky poruchu. V tomto čase bude existovat celkem r zaznamenaných platných dob do poruchy.

Doby do poruchy se uspořádají ve vzestupném pořadí a hodnot a uspořádaný výběr se označí $t_1, t_2, \ldots, t_r$.

Pro i = 1 až r se vypočte kumulovaná doba do i - té poruchy jako:

$$T_i = \sum_{k=1}^{i} t_k + (n-i)t_i \ . \qquad (4.8)$$

Vypočte se kumulovaná celková doba zkoušky jako (zkouška ukončená poruchou):

$$T^* = \sum_{k=1}^{r} t_k + (n-r)t_r \ . \qquad (4.9)$$

a) Rozsah výběru mezi 10 a 40 poruchami (numerický postup)

Vypočte se testová statistika:

$$\chi^2 = 2\sum_{i=1}^{d} \ln\left(\frac{T^*}{T_i}\right). \qquad (4.10)$$

Vypočtená hodnota χ^2 se porovná s teoretickými hodnotami $\chi^2(v)$ uvedenými v příloze 1 pro $v = 2r$.

Provede se dvoustranný test na hladině významnosti 10% s použitím tabulky [1] v příloze 1 takto:

Jestliže $\chi^2 < \chi^2{}_{0,05}(v)$, potom se předpoklad konstantnosti intenzity poruch zamítá.
Intenzita poruch se pravděpodobně zvětšuje.

Jestliže $\chi^2 > \chi^2{}_{0,95}(v)$, potom se předpoklad konstantnosti intenzity poruch rovněž zamítá.
Intenzita poruch se pravděpodobně zmenšuje.

Jestliže žádná z uvedených nerovností neplatí, předpoklad konstantnosti intenzity poruch se nezamítá.

b) Rozsah výběru větší než 40 poruch

Pro rozsah výběru větší než 40 norma ČSN IEC 60605-6 uvádí další numerický postup. Při zkoušení přístrojů nebo části letadel se nepředpokládají takové výběry.

c) Rozsah výběru mezi 4 a 9 poruchami (grafický postup)

Grafický postup je subjektivní. Riziko (α) nesprávného zamítnutí předpokladu, že intenzita poruch konstantní, tudíž nelze kvantifikovat.

Posloupnost uspořádaných dob do poruchy t_1, t_2, ..., t_r se vynese na lineární stupnici semilogaritmického papíru. Logaritmická stupnice se použije pro pomocnou funkci *F(i,n)*, kde i je index odpovídající doby do poruchy t_i a n je rozsah výběru:

$$F(i,n) = \frac{n+0{,}4}{n-i+0{,}7}. \tag{4.11}$$

Jestliže se vynesené body této funkce sledují na semilogaritmickém papíru lineární průběh, potom se má tento předpoklad zamítnout.

Opatření prováděná v případě zamítnutí předpokladu konstantnosti intenzity poruch

Jestliže byl předpoklad konstantnosti poruch zamítnut, doporučuje se data podrobněji analyzovat, aby se určila možná příčina. Numerická analýza má být pokud možno podložena fyzikálním vyšetřením a inženýrskými úvahami.

Je možné, že objekty podléhají v uvažovaném časovém intervalu opotřebení nebo zde může působit mechanismus vyvolávající časné poruchy.

Existuje také možnost, že objekty nepocházejí ze stejného homogenního základního souboru a v tomto případě je možné, že existuje směs několika (konstantních) intenzit poruch. Všechny tyto situace vyžadují další vyšetření.

Jestliže se předpokládají časné poruchy nebo opotřebení, mají se použít postupy podle IEC 61649. Jestliže se na druhou stranu předpokládá směs různých souborů, má se vynaložit úsilí na identifikování a oddělení různých souborů a na jejich samostatnou analýzu.

Ať je příčina zamítnutí předpokladu konstantnosti intenzity poruch jakákoliv, metody ověřovacích zkoušek, které vyžadují, aby byl tento předpoklad platný, se v takovém případě nemají používat.

Jestliže nebyl předpoklad konstantnosti intenzity poruch zamítnut, vyplývá z toho závěr, že není nutné dokazovat, zda se doby do poruchy odchylují od předpokladu platnosti exponenciálního rozdělení.

Pokud není splněn předpoklad konstantní intenzity poruch (exponenciální rozdělení), pak se vybere jiné vhodné rozdělení např. Weibullovo nebo normální. Návody se nacházejí v normě ČSN IEC 61649 Weibullova analýza [21].

Platnost předpokladu kteréhokoliv z těchto rozdělení se má přednostně testovat s použitím pravděpodobnostních papírů popsaných níže nebo jinou uznávanou metodou.

Historie zkušebních vzorků musí být při jejich nasazení do zkoušky obdobná. Metody vyhodnocení jsou vhodné pouze pro doby do první poruchy. Zkouška však nemusí pokračovat dokud nedojde k poruše u všech vzorků, s výjimkou metody uvedené v kapitole níže, viz. normální rozdělení, numerická metoda.

U každého zkušebního vzorku, který má poruchu, se stanoví platná doba zkoušky t_i. Doba t_i je definována jako platná doba zkoušky mezi okamžikem, kdy byl vzorek nasazen do zkoušky (t = 0), a okamžikem vzniku poruchy ($t = t_i$). Doby t_i se seřadí podle velikosti:

$t_1 < t_2 < \ldots\ldots < t_r$,

Pomocí těchto dob a pravděpodobnostního papíru pro Weibullovo nebo normální rozdělení je možno odhadnout parametry rozdělení a současně získat představu o tom, jak se tyto doby přiléhají k předpokládanému rozdělení.

Weibullovo rozdělení

Výraz pro distribuční funkci Weibullova rozdělení je vyjádřen rovnicí , zdroj literatura [21]:

$$F(x)=1-\exp^{\left[-\left(\frac{x-c}{\alpha}\right)^{\beta}\right]}. \qquad (4.12)$$

α…parametr polohy rozdělení, β… parametr tvaru rozdělení, c…parametr posunutí počátku rozdělení (v praxi se často setkáme s c = 0, dvou-parametrické rozdělení)

$x \geq 0$, $\alpha > 0$, $\beta > 0$, $c \geq 0$

Pro malé výběry je vhodná grafická metoda pro stanovení bodových odhadů. Postup je shodný s MIL standardy, které byly zmíněny výše a spočívají v zakreslování dat do Weibullova pravděpodobnostního papíru, proložení přímky daty, interpretaci grafu a odhadu parametrů s použitím speciálního pravděpodobnostního papíru odvozeného pomocí transformace Weibullovy rovnice na lineární tvar.

Pravděpodobnostní papír je navržen tak, aby distribuční funkce dob do poruchy, která se řídí Weibullovým rozdělením, tvořila přímku. Příklad takového papíru se nachází v příloze 1.

V aktuální verzi normy [21] pro malý rozsah výběru (≤ 20) a pro nulový počet poruch se doporučuje Weibayesova analýza.

Při Weibayesově analýze se předpokládá, že je znám parametr tvaru β na základě historických dat o poruchách, z předchozích zkušeností nebo inženýrských znalostí fyziky poruch. Weibayesova analýza je definována jako Weibullova analýza s daným parametrem β. Je to Weibullovo rozdělení s jediným parametrem (η). Weibayesova analýza se může použít k analýze datových souborů s poruchami i bez nich, kde oba typy dat mohou mít vyloučení.

Charakteristická doba života η je pak dána vztahem:

$$\eta=\left[\sum_{i=1}^{N}\frac{t_i^{\beta}}{r}\right]^{1/\beta}, \qquad (4.13)$$

kde:

t je doba nebo počet cyklů
r počet porouchaných objektů
N celkový počet poruch plus vyloučení
η odhad charakteristické doby života metodou maximální věrohodnosti

Weibullovo rozdělení je určeno předpokládanou hodnotou β a hodnotou η vypočtenou rovnicí 4.13, Weibayesova čára se zakreslí na Weibullův pravděpodobností papír. Weibayesův graf se používá stejně jako jakýkoliv jiný Weibullův graf. Z Weibayesovy analýzy lze získat odhady dob života, předpovědi poruch a pravděpodobnost bezporuchového provozu.

Test dobré shody Weibullova rozdělení

Postup tohoto testu:

Krok 1 – Všech r dob do poruchy se seřadí do vzestupného pořadí a vypočte se přirozený logaritmus těchto dob: $\ln(t_1) = x_1$, $\ln(t_2) = x_2$, …, $\ln(t_r) = x_r$, $x_1 \le x_2 \ldots \le x_r$.

Krok 2 – Vypočtou se následující veličiny l_i pro i = 1 až (r - 1):

$$l_i = \frac{x_{i+1} - x_i}{\ln\left[\ln\left(\frac{4(n-i+1)+3}{4n+1}\right) \Big/ \ln\left(\frac{4(n-i)+3}{4n+1}\right)\right]} . \qquad (4.14)$$

Krok 3 – Vypočte se veličina H s použitím veličin získaných v kroku 2:

$$H = \frac{\sum_{i=\lfloor r/2 \rfloor+1}^{r-1} \frac{l_i}{\lfloor (r-1)/2 \rfloor}}{\sum_{i=1}^{\lfloor r/2 \rfloor} \frac{l_i}{\lfloor r/2 \rfloor}} , \qquad (4.15)$$

kde se značka $\lfloor x \rfloor$ používá k vyznačení největšího celého čísla menšího než x nebo rovného x.

Krok 4 – Jestliže $H \ge F_\gamma\left(2\lfloor (r-1)/2 \rfloor, 2\lfloor r/2 \rfloor\right)$, potom se hypotéza, že data sledují Weibullovo rozdělení, zamítá na hladině významnosti $\gamma \cdot 100\%$ a v analýze se nepokračuje.

Jinak nebyl zjištěn žádný důkaz pro zamítnutí hypotézy, že doby do poruchy mají Weibullovo rozdělení, a v analýze se může pokračovat.

Hodnoty kvantilů rozdělení F jsou uvedeny příloze 1 (zdroj tabulka IV normy ISO 2854 A).

Normální rozdělení

Hustota pravděpodobnosti normálního rozdělení je dána výrazem:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m_f)^2}{2\sigma^2}} . \qquad (4.16)$$

Toto rozdělení je vhodné pro doby do poruchy za předpokladu, že $m_f > 3\sigma$

Bodové odhady

Numerické odhady střední doby do poruchy a směrodatné odchylky, uvedené v tomto odstavci, jsou použitelné pouze tehdy, pokud všech n zkušebních vzorků je zkoušeno dokud u nich nenastane porucha.

Bodový odhad střední doby do poruchy je:

$$\mu = m_F = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i \ . \tag{4.17}$$

Bodový odhad směrodatné odchylky:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i - m_F)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{n\sum_{i=1}^{n} t_i^2 - \left[\sum_{i=1}^{n} t_i\right]^2}{n(n-1)}} \ . \tag{4.18}$$

Konfidenční meze skutečné střední doby do poruchy m_f uvedené dále se vztahují ke konfidenční úrovni 90%. Hodnoty kvantilů Studentova rozdělení $t_p(\nu)$ jsou uvedeny v tabulce 4.1.

$$m_F > \hat{m}_f - t_{0,90}(n-1)\frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \ . \tag{4.19}$$

Dvoustranný konfidenční interval:

$$\hat{m}_F - t_{0,95}(n-1)\frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} < m_F < \hat{m}_F + t_{0,95}(n-1)\frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \ . \tag{4.20}$$

Stupně volnosti ν	$t_{0,90}\nu$	$t_{0,95}\nu$
1	3,08	6,31
2	1,89	2,92
3	1,64	2,35
4	1,53	2,13
5	1,48	2,02
6	1,44	1,94
7	1,41	1,89
8	1,40	1,86
9	1,38	1,83
10	1,37	1,81
12	1,36	1,78

Tab. 4.1

Lineární interpolace pro mezilehlé hodnoty ν je dostatečně přesná

4.3 Plánování a zkoušky bezporuchovosti

Plánování zkoušek soustavy je nutné věnovat patřičnou pozornost. S ohledem na očekávanou střední dobu do poruchy souvisí délka zkoušky, resp. kumulovaná platná doba zkoušky (T*).

Naznačený příklad postupu odhadu předpokládá konstantní intenzitu poruch (exponenciální rozdělení). Využívá se metody založené na chí-kvadrátu χ^2 rozdělení pravděpodobnosti.

Střední doba do poruchy soustavy se dle těchto postupů určí podle vztahu $\mu = \dfrac{1}{\lambda}$, kumulovaná platná doba zkoušky je pak dána vztahem $T^* = \dfrac{\mu \cdot \chi^2}{2}$.

Vzhledem k vysoké požadované úrovni bezporuchovosti je pak nutné hledat různé cesty ke zkrácení doby zkoušky, aby bylo možné provést alespoň omezené vyhodnocení. Např. pro přípustnou hodnotu nastoupení pravděpodobnosti selhání $1 \cdot 10^{-5}$ za 1 letovou hodinu podle doporučení předpisu [1] by za normálních podmínek bylo nutné simulovat (při 90% úrovni konfidence, $\chi^2 = 4{,}61$, $\mu = 100000$ hod) po dosazení do vzorce pro kumulovanou platnou dobu zkoušky se získá v tomto případě **26,3 let** provozu zařízení. Pokud by se v průběhu zkoušky vyskytlo více poruch, kumulovaná platná doba zkouška by se ještě prodloužila. Samozřejmě není možné uskutečnit takovou zkoušku v „neakcelerované podobě“ a je potřeba hledat vhodný faktor zrychlení, který umožní zkrácení doby zkoušky na řádově několik měsíců, jak bylo uvedeno.

Zkoušky se řídí podle tzv. zkušebního plánu, toje soubor pravidel kodifikující způsob provedení zkoušky. Tato pravidla se nacházejí například v literatuře [6]. V tabulce 4.2 se nachází shrnutí pro výpočet ekvivalentní doby zkoušky pro různé zkušební plány.

Exponenciální rozdělení:			
Necenzurované (úplné) soubory:	$T_{OE} = \sum_{i=1}^{i=n} t_i$	kde t_i – jsou jednotlivé doby do poruchy	
Cenzurované soubory:			
$[n,U,r_o]$	$T_{OE} = \sum_{i=1}^{i=r_o} t_i + (n - r_o) \cdot \tau$	kde $(n-r_o)\cdot\tau$ - součet všech dob zkoušky u prvků, u kterých nenastala porucha	Neopravované objekty
$[n,U,\tau_o]$	$T_{OE} = \sum_{i=1}^{i=r} t_i + (n - r_o) \cdot \tau_o$	kde τ_o - plánovaná doba zkoušky	
$[n,R,r_o]$	$T_{OE} = n \cdot \tau$		
$[n,R,\tau_o]$	$T_{OE} = n \cdot \tau_o$		
$[n,M,r_o]$	$T_{OE} = \sum_{i=1}^{i=r_o} t_i + \sum_{j=1}^{j=n-1} \delta_j$	kde δ_j – je interval bezporuchového provozu	Opravované objekty
$[n,M,\tau_o]$	$T_{OE} = \sum_{i=1}^{i=r} t_i + \sum_{j=1}^{j=n} \delta_j$		

Tab. 4.2: Výrazy pro určení ekvivalentní doby zkoušky T_{OE}

4.4 Analýza provozních dat

Provozní data patří mezi nejlepší podklady pro odhady parametrů spolehlivosti jednotlivých prvků a systémů. Zavedený výrobce má obvykle již v průběhu práce na novém typu letadla k dispozici data z provozu předcházející generace letadel. Na základě těchto dat je možné provést kvalitní odhady potřebných parametrů spolehlivosti. To platí zejména u dopravních letadel. Naproti tomu v kategorii malých letadel velmi často nejsou tato data k dispozici (nejsou k dispozici data od provozovatelů nebo nově zaváděný systém nemá vhodný ekvivalent u předchozí generace letadel). Tento zdroj také předpokládá, že firma je dlouhodobě zavedená na trhu a vyrábí delší dobu letadla s obdobnými systémy.

Doporučení jsou součástí poradního oběžníku AC23-1309 [2]. Zde je zmíněno použití konvenčních postupů matematické statistické analýzy. Pro samotné vyhodnocení dat je možné použít stejné postupy a standardy jako při vyhodnocení zkoušek spolehlivosti odstavec 2.

5 Akceptovatelné průmyslové standardy

V případě, že nejsou k dispozici provozní data, je možné použít pro odhady parametrů spolehlivosti metodiky založené na všeobecně uznávaných standardech (vojenských a průmyslových) nebo komerční databáze spolehlivosti prvků a systémů. K používaným standardům patří zejména:

[12] **MIL-HDBK-217F** (Reliability Prediction of Electronic Equipment) - vojenský standard USA používaný pro odhad intenzit poruch u elektronických zařízení. Podklady pro tento standard pochází z velkého množství dat nashromážděných ozbrojenými složkami USA a tvoří často používaný základ pro odhady v této oblasti.

Pro predikci parametrů spolehlivosti mechanických prvků a systémů se často objevují odkazy na:

[13] **NSWC 98/LE1** (Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment) - dokument vypracovaný Naval Surface Warfare Center (spadající opět pod ozbrojené složky USA)

Mezi další zdroje pro odhady parametrů spolehlivosti patří:

5.1.1 Komerční databáze

Komerční databáze velmi usnadňují práci v hledání a získání spolehlivostních dat. V dalších kapitolách jsou představeny komerční databáze. Tyto podklady jsou zpracovány z databází, které jsou dostupné na VUT FSI v Brně, Letecký ústav pro školní potřeby. Dalším zdrojem pro níže uvedené kapitoly jsou internetové stránky výrobců tohoto softwaru.

- Databáze SPIDR™
  (System and Part Integrated Data Source)

Výrobcem je společnost SRC -System Reliability Center (USA), zdroj [23]. Svými produkty pokrývá širokou oblast problematiky a nabízí tyto softwarové balíčky:

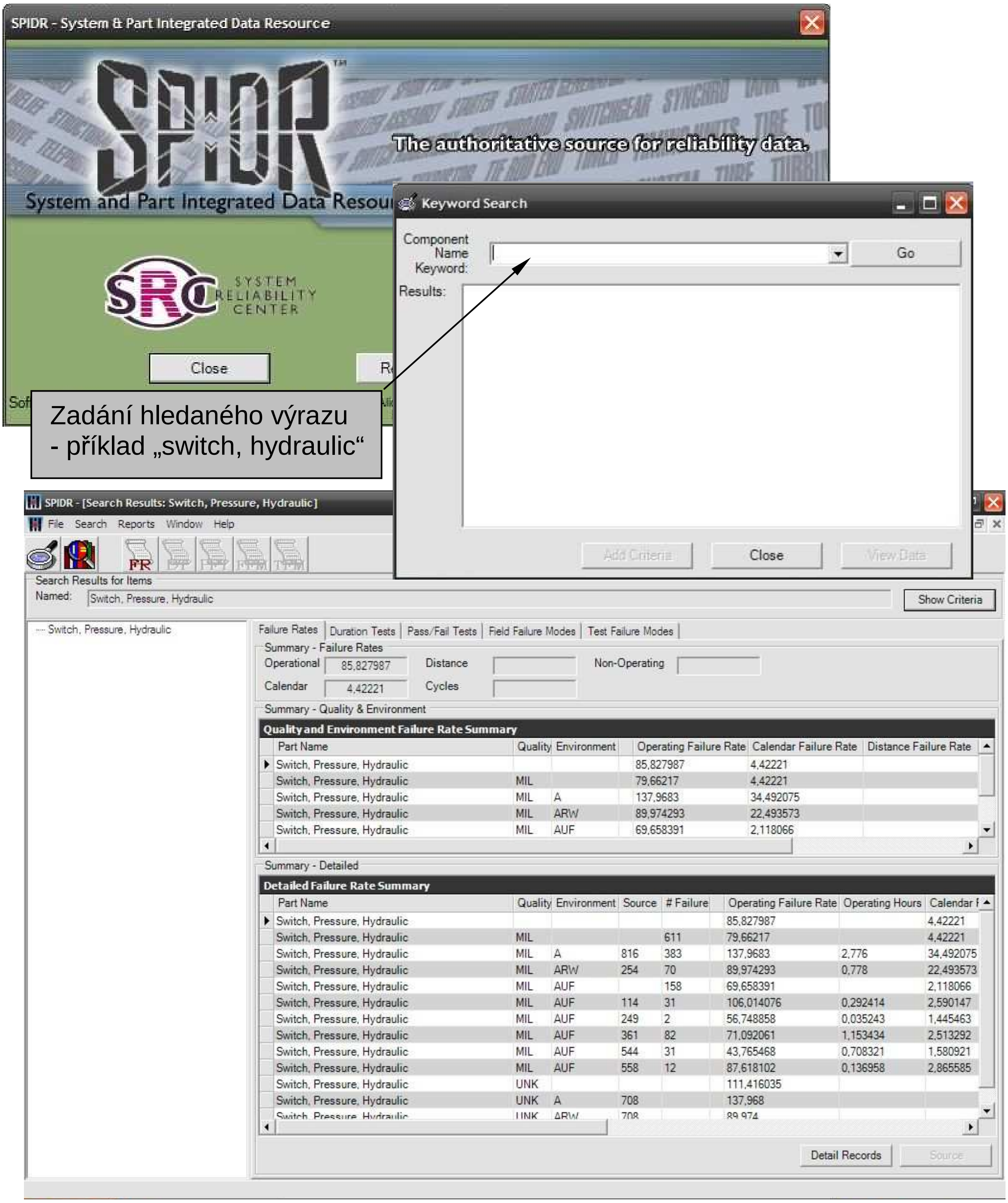
- Spolehlivostní programy – Reliability Programs
- Sběr a analýza dat spolehlivosti – Reliability Data Collection/Analysis
- Modelování a predikce spolehlivosti – Reliability Modeling/Prediction
- Programy na kontrolu částí a kvantifikaci – Parts Control Programs/Part Qualification
- Řešení spolehlivostních problematik – Reliability Problem Solving
- Životnost soustav a vybavení – Systems/Equipment Lifetime
- FMECA – Failure Mode, Effects & Criticality Analysis

- Stromy poruchových stavů – Fault Tree Analysis
- Analýza nejhoršího případu obvodu – Worst Case Circuit Analysis
- Analýzy testovatelnost a schopnosti údržby – Testability and Maintainability Analysis
- Spolehlivost zaměřená na údržbu – Reliability-centered Maintenance
- Analýzy součástí s náchylností k elektrostatickému vybíjení – Electrostatic Discharge Susceptibility Analysis
- Plánování a řízení spolehlivosti/udržovatelnosti – Reliability/Maintainability Test Planning and Control
- Atd. Environmental Stress Screening Planning, Mechanical Reliability and Maintainability, Finite Element Analysis, Quantitative Services, Total Quality Management, Environmental Characterization, Component Obsolescence

Databáze programu SPIDR obsahuje data z databází, zdroj [23]:

- Nonelectronic Part Reliability Data (NPRD-95) – Spolehlivostní data neelektronických součástí
- Electronic Part Reliability Data (EPRD-97) – Spolehlivostní data elektronických součástí
- Failure Mode and Mechanism Distributions (FMD-97) – Poruchový stav a rozdělení mechanismů
- Electrostatic Discharge Susceptibility Data 1995 (VZAP) – Data obsahující součásti s náchylností k elektrostatickému vybíjení

Grafické rozhraní programu:



Obr. 5.1: Ukázka práce s databází, dolní obrázek okno s výsledky

Ukázka „vytisknutí“ výsledků do souboru .pdf

Failure Rate Report 14 IX 2009

Summary

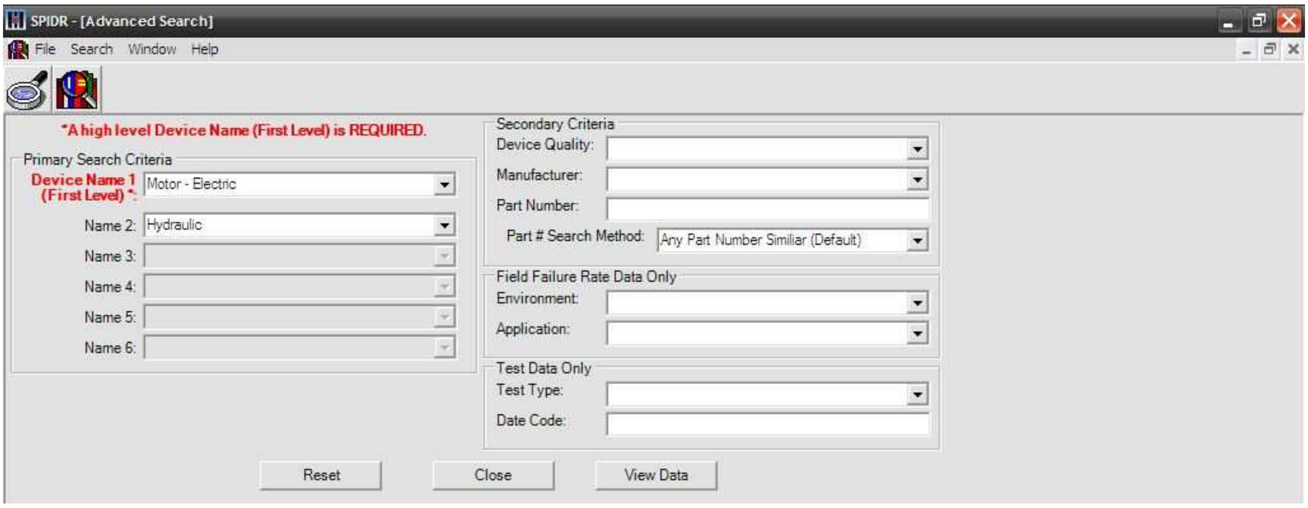
Part Description	Quality	Environment	# Failed	Failure Rates Operating	Calendar	Distance	Cycling	Non-Op
Switch, Pressure, Hydraulic				85.8280	4.4222			
	MIL		611	79.6622	4.4222			
	MIL	A	383	137.9683	34.4921			
	MIL	ARW	70	89.9743	22.4936			
	MIL	AUF	158	69.6584	2.1181			
	UNK			111.4160				
	UNK	A		137.9680				
	UNK	ARW		89.9740				

Detailed Failure Rate Summary

Part Description

Quality	Environment	Source	Total Failed	Operating Hours Duration	Operating Hours FR	Calendar Hours Duration	Calendar Hours FR	Miles	Distance FR	Cycles	Cycling FR	Non-Operating Hours Duration	Non-Operating Hours FR
Switch, Pressure, Hydraulic													
					85.8280		4.4222						
MIL			611		79.6622		4.4222						
MIL	A	816	383	2.7760	137.9683	11.1040	34.4921						
MIL	ARW	254	70	0.7780	89.9743	3.1120	22.4936						
MIL	AUF		158		69.6584		2.1181						
MIL	AUF	114	31	0.2924	106.0141	11.9684	2.5901						
MIL	AUF	249	2	0.0352	56.7489	1.3836	1.4455						
MIL	AUF	361	82	1.1534	71.0921	32.6265	2.5133						
MIL	AUF	544	31	0.7083	43.7655	19.6088	1.5809						
MIL	AUF	558	12	0.1370	87.6181	4.1876	2.8656						
UNK					111.4160								
UNK	A	708			137.9680								
UNK	ARW				89.9740								

Možnosti rozšířeného hledání



Výstup do zprávy:

Failure Rate Report 14 IX 2009

Summary

Part Description	Quality	Environment	# Failed	Failure Rates Operating	Calendar	Distance	Cycling	Non-Op
Motor - Electric, Hydraulic	UNK	GB		4.3000				

Detailed Failure Rate Summary

Part Description

Quality	Environment	Source	Total Failed	Operating Hours Duration	Operating Hours FR	Calendar Hours Duration	Calendar Hours FR	Miles	Distance FR	Cycles	Cycling FR	Non-Operating Hours Duration	Non-Operating Hours FR
Motor - Electric, Hydraulic													
UNK	GB	819			4.3000								

Databáze RELEX

Výrobce je společnost Relex Software Corporation (USA), zdroj [24].

Jedná se o výrobce softwaru s 24 letou tradicí. Dodává software a služby firmám po celém světě. Nabídka firmy je i v možnosti školení, lze získat certifikát (ASQ CRE - American Society for Quality Certified Reliability Enginer).

Stručný popis programu:

Relex Architekt – Relex Reliability Prediction

- Výpočet spolehlivosti systému (Estimate system reliability), MTBF, intenzity poruch (failure rate)

  Podporované výpočty:

  - Intenzita poruch – (Failure Rate)
  - MTBF
  - MTTR
  - Spolehlivost (Reliability)
  - Pohotovost (Availability)
  - Mission Profile Results
  - Uživatelem definované (User-Definable)

- Podporuje široký rozsah všeobecně uznávaných standardů pro predikci a obsahuje - FIDES Guide 2004, MIL-HDBK-217 Parts Stress and Parts Count, Telcordia, PRISM, 217 Plus, a další. Uvedené databáze jsou ponechány bez odkazu na literaturu. Bližší informace lze dohledat v literatuře [24].

  Podporované standardy predikce:

  - FIDES Guide 2004
  - MIL-HDBK-217 Part Stress and Parts Count
  - Telcordia
  - PRISM
  - 217Plus
  - RDF 2000
  - IEC TR 62380
  - NSWC Mechanical
  - Siemens SN29500
  - Chinese GJB/z 299C
  - HRD5

- Uvnitř spojuje modely jednoduchých analýz pro komplexní výsledky.

- Umožňuje analýzu použitím těchto standardů.

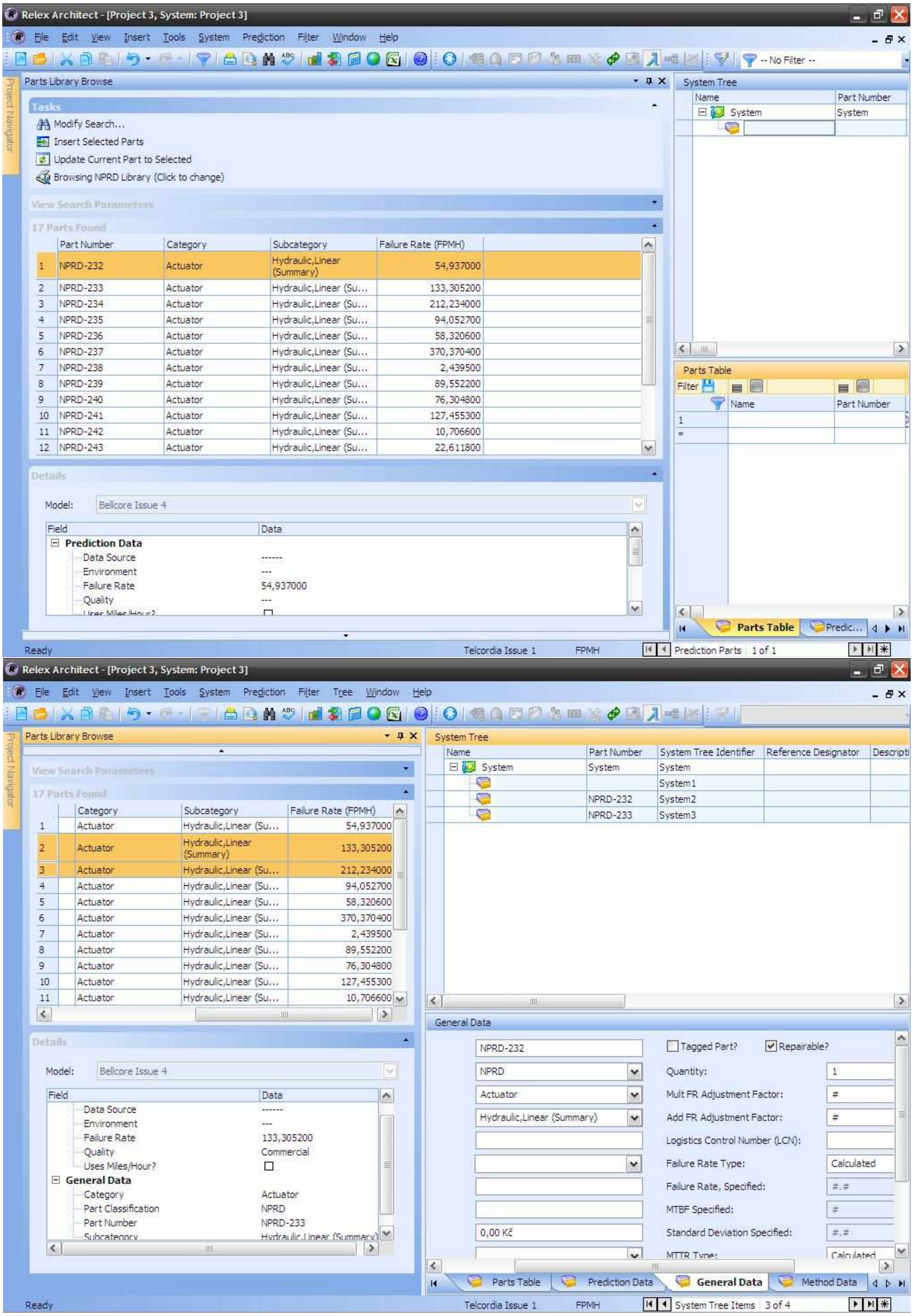
Obsažené standardy:

  - AS-4613A
  - AS-4613B
  - AS-4613C
  - MIL-HDBK-1547
  - MIL-STD-975M
  - TE000-AB-GTP-010

- Uvedeny jsou provozní podmínky a zatížení, jako jsou teplota, prostředí, napětí a rozsah zatížení.
- Využívané knihovny

  - Relex parts knihovna s více než 400 000 částmi
  - NPRD knihovna s 13 000 částmi
  - EPRD knihovna s více než 17 000 částmi
  - Uživatelem definovaná knihovna

- Programové rozhraní obsahuje snadný import dat z existujících souborů. Účinné filtrování, vyhledání dat a uživatelsky přizpůsobitelné listování a okna.



Obr. 5.2: Grafické rozhraní, ukázka práce s databází

Možnost exportu dat do PDF souboru:

Relex

Reliability Prediction Summary

File Name: Project 3.rfp
System: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate:
MTBF (hrs):
Temperature: 30
Environment: GB, GC - Ground Benign, Controlled

Assembly Name	Part Number	Ref Des	Quantity	Failure Rate	MTBF
System	System		1		

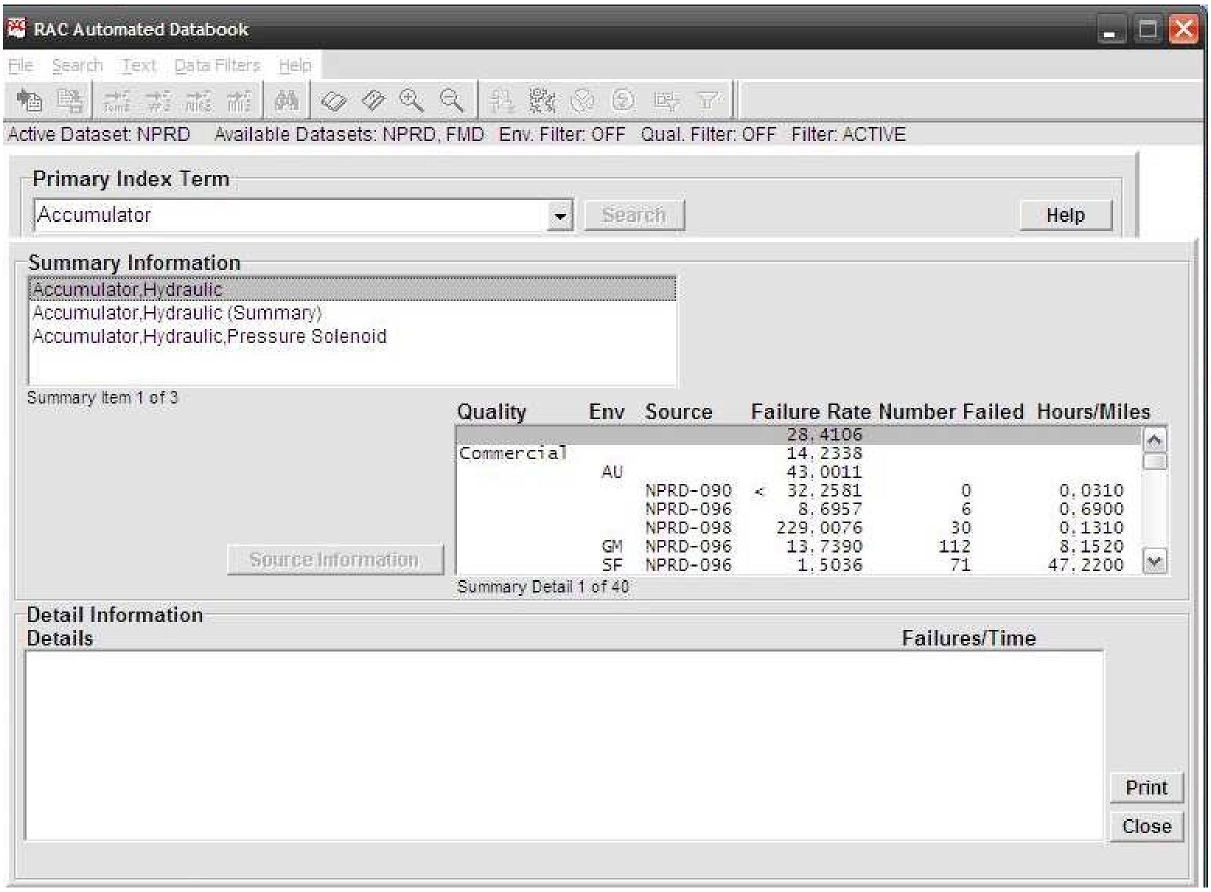
DATABÁZE RAC PRISM

PRISM je nový softwarový nástroj od společnosti RAC s novou generací databází, jak pro elektronické tak i mechanické součásti.

- následuje po úspěšné NPRD a EPRD sérii datových knihoven, náhrada MIL-HDBK-217.

PRISM obsahuje tyto nástroje, zdroj [25]**:**

- Systémově úrovňový model intenzit poruch - A System Level Failure Rate Model
- Nová generace součástí - Next Generation Component Reliability Models (RACRates©)
- RAC spolehlivostní databáze pozorované intenzity poruch ve vyhledavatelném formátu. - RAC's Reliability Databases of observed failure rates in searchable format
- Plně dostupné přiblížení modelu od částí po komplexní analýzu. - Fully Scalable Modeling Approaches from "Parts Count" to Comprehensive Analysis
- Schopnost využít jak intenzity poruch, tak intenzity bezporuchové funkce - Ability to Model Both Operating & Non-Operating Failure Rates
- Vývoj systému - System Development - Process Grading Methodology
- Schopnost použití - Ability to Use -Predecessor System Data
- Schopnost použití Test & Field dat - Ability to Use Systems Test & Field Data
- Obsahuje uživatelskou část databáze - Customizable Part Library
- Komplexní knihovna pro zprávy - Comprehensive Reports Library
- Detailní možnost specifických reportů - Detailed System Specific Reports
- Rozsáhlá on-line dokumentace - Extensive On-Line Documentation
- Možnost exportu dat - Database File Export Capability
- Hodnocení - Non-component Failure Causes through Process Assessment
- Interaktivní uživatelské rozhraní - Interactive User Interface
- Klasické Windows rozhraní - Standard Windows Editing Capabilities
- RAC závazek k soft. podpoře RAC's Commitment to Software & Model Support



Obr. 5.3: Grafické rozhraní, ukázka práce s databází

Copyright (c) 1994-1998 IIT Research Institute. May not be reproduced or cited without this notice.

Device Type Description
Accumulator,Hydraulic

Quality	Env	Source	Failure Rate	Number Failed	Hours/Miles
			28,4106		
Commercial			14,2338		
	AU		43,0011		
		NPRD-090	< 32,2581	0	0,0310
		NPRD-096	8,6957	6	0,6900
		NPRD-098	229,0076	30	0,1310
	GM	NPRD-096	13,7390	112	8,1520
	SF	NPRD-096	1,5036	71	47,2200
Military			78,2919		
	ARW		200,4459		
		NPRD-070	500,0000	7	0,0140
		NPRD-091	80,3571	45	0,5600
	AU		109,8277		
		25199-000	153,2030	1136	7,4150
		NPRD-082	206,8966	96	0,4640
		NPRD-106	41,7941	164	3,9240
	DOR		0,4960		
		13253-000	0,4965	640	1288,9676
		NPRD-108	< 1,0753	0	0,9300
		NPRD-111	< 6,0606	0	0,1650
		NPRD-116	< 2,6110	0	0,3830
	GF	25199-000	166,6667	1	0,0060
	GM		111,8346		
		10812-000	37,5276	17	0,4530
		25199-000	55,8546	664	11,8880
		NPRD-050	2500,0000	10	0,0040
		NPRD-095	29,8507	2	0,0670
	SF	10219-034	< 1,8484	0	0,5410
Unknown			11,2102		
	A	14182-001	118,2750	-	--------
	ARW	14182-001	80,3570	-	--------
	G	14182-001	7,3510	-	--------
	GB	27027-000	6,1800	-	--------
	GF		1,0419		
		14182-001	0,3000	-	--------
		18354-000	3,6184	33	9,1200
	GM		62,9794		
		14182-001	14,9930	-	--------
		18459-000	264,5503	1	0,0038
	SF	14182-001	1,5040	-	--------

Obr. 5.4: Ukázka výpisu dat z databází, ilustrační obr.

Další stručný přehled a popis databází:

- **FMD-91, FMD-97** [14] (Failure Mode/Mechanism Distributions) původ dokumentu opět spadá pod ministerstvo obrany USA. Dokument obsahuje data, podle kterých je možné rozdělit celkové zjištěné intenzity poruch prvků na jednotlivé druhy poruch. Část údajů z FMD-91 je obsažena také v MIL-HDBK-338 (Electronic Reliability Design Handbook) [8].

- **FIDES** evropský ekvivalent MIL-HDBK-217 pro elektronické vybavení

- **NSWC 98/LE1** (Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment) databáze pro mechanických součástí, vyvinut Naval Surfaře Warfare Center, USA

- **GJB/z (299B)** čínský ekvivalent MIL-HDBK-217 pro elektronické vybavení

- **RAC EPRD-97** (Electronic Parts Reliability Database) odhady pro elektronické vybavení
- **TELCORDIA (Bellcore)** odhady pro elektronické vybavení
- **RDF 2000** odhady pro elektronické vybavení - France Telecom
- **HRD5** odhady pro elektronické přístroje a součásti - British Telecommunications

- **TELEX TELCORDIA**
- **CNET**
- **BELLCORE**
- **EPRD**
- **NPRD**
- **RDF (2000)**
- **GJB/z (299B)**
- **British Telecom**

Tab. 5.1: Příklad odhadu intenzity poruch pro prvek systému hydraulické soustavy

prvek/ Typ	**způsob poruchy**		**intenzita poruch λ [hod^{-1}]**	**zdroj informací**	**poznámka**
hydraulický akumulátor	poruchy celkem		$4{,}3\cdot10^{-5}$	NPRD-95C	zdroj databáze SRC SPIDR, prostředí AU, více viz. příloha 3
		netěsnost	$2{,}87\cdot10^{-5}$	FMD-97	
		prasknutí/lom	$2{,}63\cdot10^{-6}$		
		bez funkce	$2{,}63\cdot10^{-6}$		
		trhlina, porušení	$1{,}29\cdot10^{-6}$		

Mezi hlavní nevýhody tohoto zdroje dat patří omezený soubor prvků a systémů zpracovaných ve standardech nebo spolehlivostních databázích. Tento problém je ještě umocněný omezenými podmínkami provozu, pro které je daný odhad k dispozici (např. odhad intenzity poruch alternátoru pro použití v malém letounu není k dispozici – pouze pro použití u dopravního letadla provozovaného v jiných podmínkách). Navíc je obvykle problém zjistit na jaké úrovni konfidence byly údaje získány. Výjimkou je databáze NPRD, kde lit. [15] udává konfidenční úroveň 90%. Úrovně konfidence 90%, resp. 95% pak patří k nejčastěji používaným hodnotám při odhadech parametrů.

6 Návody sběru dat

6.1 Úvod

Návody sběru dat by měly sloužit k vytvoření databáze dat sledující spolehlivost jednotlivých přístrojů a zároveň soustavy jako celku. Takto získaná data jsou nejhodnotnější z hlediska spolehlivosti.

Někteří provozovatelé tak mohou sledovat provozní spolehlivost své flotily, pohotovost a další veličiny.

V těchto případech je pak nutné vypracovat katalog kódování poruch letecké techniky. Tak aby bylo umožněno zpracování dat.

Karta poruch je v současné době v provedení „papírovém“ (obr. 6.4 a 6.5), zdroj [22] a [8]. Výstupem zpracování Karet poruch je Přehled poruch letadel.

Tato data by pak měla sloužit k ověření předpokladů spolehlivostních analýz a sledování provozní spolehlivosti. Tyto parametry se pak odrážejí v ekonomice provozu a úzce souvisí s problematikou údržby.

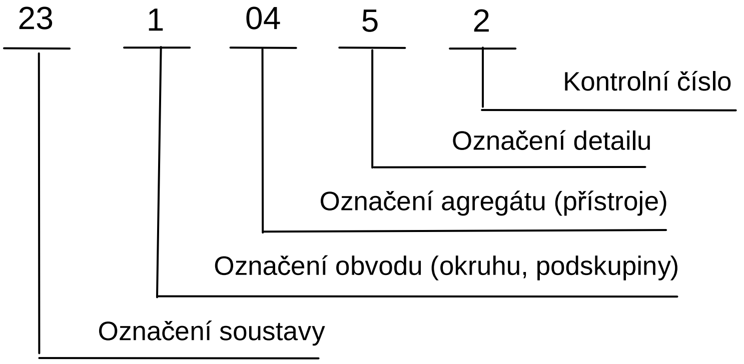
Důležitá je klasifikace a kategorizace poruch pro zpracování dat. Musí být jednoznačně uvedeno, zda se jedná o pojem „porucha“ (failure), nebo „chybná funkce“ (fault).

6.1.1 Katalog kódování

Pro vytvoření standardní databáze je nutné vytvořit jednoduchý systém. Pro zpřehlednění je pak důležité připravit si jisté kódování poruch pro jednoduché vyhodnocení. Z tohoto důvodu je zde uveden obecný katalog kódování poruch. Katalog je určen pro kódování poruch letecké techniky zjišťovaných v leteckém provozu a při opravách, tj. pro označování vadných součástí katalogovým číslem na všech formulářích a hlášeních, kde je katalogové číslo předepsáno. Dále by měl sloužit jako pomůcka k vyplňování „Karet poruch letecké techniky" a „Přehledu poruch letadel“ a ke zpracování a vyhodnocování informací o spolehlivosti a bezpečnosti letecké techniky, zdroj [22].

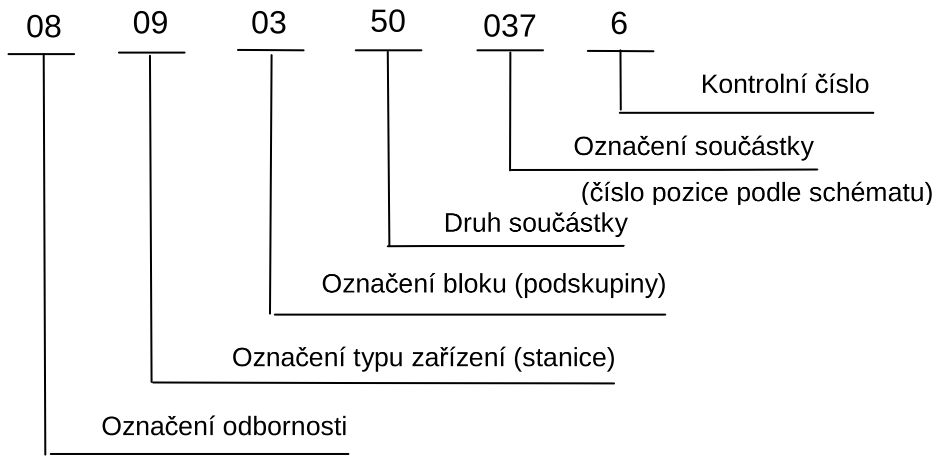
Struktura katalogového čísla pak může vypadat následovně:

a) pro všechny odbornosti je možno použít např. tento sedmimístný kód s touto strukturou:



Obr. 6.1: Struktura katalogového čísla 1

b) pro rádiové, radiotechnické, navigační vybavení je možno použít jedenáctimístný kód např. s touto strukturou:



Obr. 6.2: Struktura katalogového čísla 2

Katalog pro kódování poruch LT by měl být zpracován po typech a rozčleněn po odbornostech.

Odlišnosti jednotlivých verzí (modifikací) a konstrukční změny by měly být postiženy tak, že v příslušném obvodu (okruhu) by měly být uvedeny nejprve agregáty základní verze, pro kterou je vypracován a za nimi odlišné agregáty postupně zaváděné do provozu v důsledku změn.

Katalog by měl být sestaven podle funkčního principu. Znamená to, že rozčlenění obvodů ve všech soustavách je provedeno tak, aby odpovídalo uceleným funkcím. Jako příklad je možno uvést, že elektrické vybavení letadla, které zabezpečuje funkci hydraulické soustavy, je začleněno v systému kódování hydraulické soustavy (s počátečním dvojčíslím např. 25). Stejným způsobem mohou být kódovány i kontrolní přístroje každé letadlové soustavy. Ve všech těchto případech je však dodržena zásada jejich zařazení do katalogu příslušné odbornosti.

Případy tzv. smíšených agregátů. Kdy se agregát skládá z mechanické a elektrické části (např. palivové elektrické čerpadlo) a na jeho obsluze v provozu se mohou podílet dvě odbornosti, by měly být řešeny tak, že agregátu by mělo být přiděleno jedno katalogové číslo podle funkčního principu a agregát by měl být uveden do katalogu pro obě odbornosti. Jeho detaily by měly být však děleny podle odborností (mechanické např. v odbornosti drak, elektrické v odbornosti elektrické vybavení

Struktura členění katalogového čísla by měla být dodržena až na výjimečné případy. Výjimku tvoří složité agregáty (palivové regulační agregáty, autopiloty, kurzové systémy), kterým byly přiděleny kódy obvodů a podskupinám těchto agregátů kódy na úrovni agregátů.

Zvolený systém zpracovávání katalogů (kromě rádiového a radiotechnického vybavení) neumožňuje identifikaci a zakódování všech agregátů a detailů letadla. Na úrovni agregátů nelze jmenovitě zakódovat všechny hadice, potrubí, táhla řízení, vodiče a podobně, ale jenom některé z nich, vybrané podle principu funkčního významu.

U jednotlivých agregátů by mělo být rovněž podle funkčního významu uvedeno maximálně 8 detailů (pro přehlednost). Zbývající detaily by měly být zahrnuty do položky „ostatní“.

Katalog pro radiové a radiotechnické vybavení by měl být zpracován podle schémat tohoto vybavení, popřípadě podle dělby do modulů.

6.2 Návrh karty poruch pro malý dopravní letoun

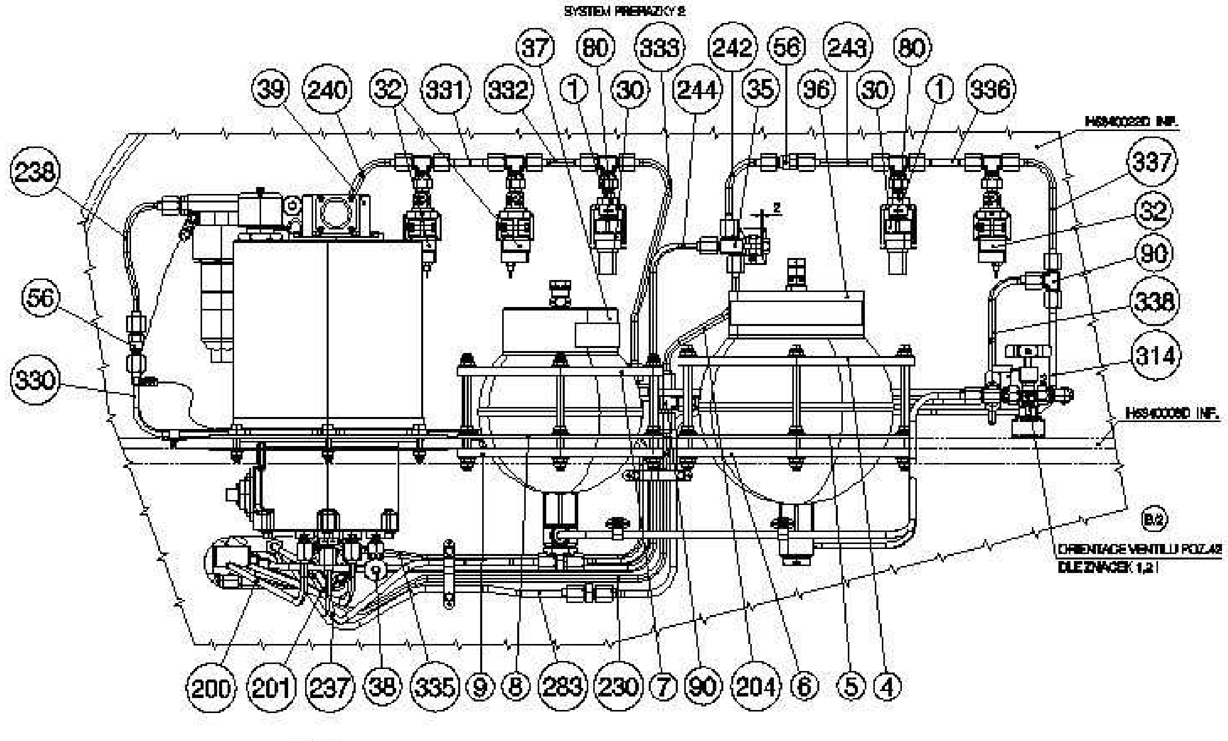
S ohledem k předchozím standardům je součástí disertační práce navržení Karty poruch a Přehledu poruch letadel pro malý dopravní letoun EV 55. Karta poruch a Přehled poruch letadel jsou připraveny v excelovských tabulkách tak, aby jejich zpracování bylo co nejjednodušší. Je upravena struktura katalogového čísla viz. schéma na obrázku 6.1, aby byla v souladu se systémem značení používaného v projektu malého dopravního letounu EV 55. Jednotlivé výkresy mají své unikátní číslo. Toto značení začíná písmenem H a pokračuje dvoučíselným označením skupiny (tabulka 6.1). Poté následují další čísla, které označují příslušný detail, podle značení výrobce atd..

Jednotlivé přístroje a systémy jsou popsány v katalogu a měly by být dodávány s letounem. Použitím tohoto katalogu a výše uvedených postupů pro vyplnění karty poruch se získají přehledy o sledovaných údajích – provozní spolehlivost, pohotovost atd. Návrh karty poruch je znázorněn na obrázku 6.6. Velmi jednoduše lze využít internetu pro odeslání výrobci, popřípadě provozovateli a její další zapracování do tabulky Přehled poruch letounu EV 55 (obr. 6.7) a její vyhodnocení podle výše uvedených postupů v kapitole 4.2.

Katalog kódování a návod pro vyplnění Karty poruch je uveden v následující kapitole.

ID	označení sestavy	ID	označení sestavy
H 21	systém přetlakování a klimatizace	H 52	dveře
H 22	automatické řízení letu	H 53	trup
H 23	komunikace	H 54	gondoly
H 24	zdroje elektrické energie	H 55	ocasní plochy
H 25	vnitřní vybavení	H 56	zasklení
H 26	požární ochrana	H 57	křídlo
H 27	řízení	H 61	vrtule
H 28	palivo	H 71	pohonná jednotka
H 29	hydraulika	H 72	motor
H 30	ochrana proti námraze	H 73	palivová soustava motoru
H 31	záznamové - signalizační systémy	H 74	zapalování
H 32	podvozek	H 75	vzduch
H 33	světla	H 76	ovládání motoru
H 34	navigace a pitot - statika	H 77	indikátory motoru
H 35	kyslík	H 78	výfuk
H 36	elektrika - elektronika palubní desky	H 79	olej
H 51	konstrukce		

Tab. 6.1



Obr. 6.3: Ilustrační obrázek zdroje HS z Katalogu náhradních dílů EV 55

Grafické zpracování standardní karty poruch

Karta poruch LT

1 Kód letadla

2 Trupové číslo

3 Datum zjištění

4 Odbornost

drak - 1 SV - 6 RTV - 9
motor - 4 LV - 7
EV - 5 RV -8

5 Hod. draku od poč. provozu

6 Poč. GO draku

7 Klasifikace

1 nedošlo k PLN, LN
2 předpokla LN
3 poškození
4 havárie
5 katastrofa

8 Č. karty PLN, LN

9 Č.karty PSM

10A Záruka

1 záruka let. opraven
2 záruka VP
3 mimo záruku

10B Reklamace

1 reklamováno
2 nereklamováno

11 Okolnost zjištění poruchy letadla

11 předběžná příprava
12 předletová příprava
13 předání pilotovi do vzletu
14 příprava k opakovanému vzletu
15 poletová příprava
21 parkový den
22 účelová prohlídka
23 příprava na zim./let. provoz
51 předepsaná práce I
52 předepsaná práce II
53 předepsaná práce III
54 předepsaná práce IV
55 při SO, GO
61 převzetí ze skladu
62 při opravě (BO, DO)
63 při výměně motoru
64 při uložení a stání
65 při jiné práci
71 za letu (potvrzeno na zemi)
72 za letu (nepotvrzeno na zemi)

12 Kdo odstranil poruchu

1 letecký mechanik
2 servis
3 jiné

13 Doba opravy letadla

zaokrouhluje se na celé hodiny

14 Prům. počet prac. při opravě

15 Obecná příčina poruchy

1 konstrukční, výrobní, materiálová vada
2 personák
3 nekvalitní oprava 1
4 nekvalitní oprava 2
5 nekvalitní oprava VP
6 padáková služba
7 vnější vlivy
8 létající personál
9 nezjištěno

16 katalogové číslo

soustava

agregát

detail

17 Příznaky poruchy agregátu

(podle tabulky 1)
slovy:

18 Způsob opravy

1 seřízení
2 výměna detajlu
3 výměna agregátu
4 výměna motoru
5 oprava detailu
6 oprava agregátu
7 letadlo odesláno do opravy
8 letadlo zrušeno
9 jiné

19 Jak naloženo s agregátem

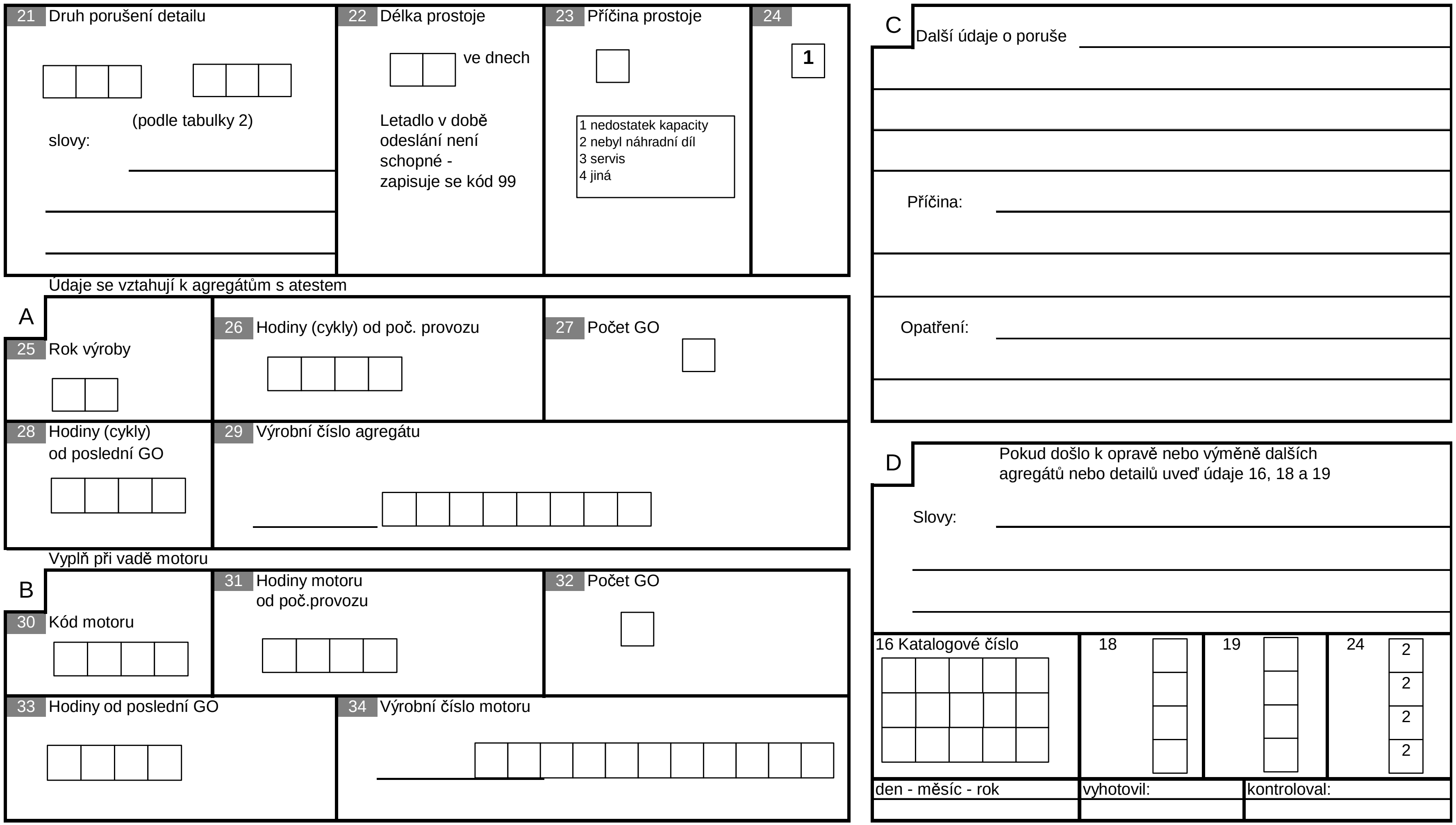
1 opraven
2 odeslán mimo
3 zrušen

20A Následky pro provoz

1bez následků
2 letadlo odstaveno (nešlo na let)
3 letadlo vráceno ze startu
4 let s porouchaným agregátem
5 let na jeden motor
6 nouzové (vynucené) přistání
7 mimořádná událost na zemi
8 jiné

20B Letový úkol

1 splněn
2 nesplněn



21 Druh porušení detailu
(podle tabulky 2)
slovy:

22 Délka prostoje
ve dnech
Letadlo v době odeslání není schopné - zapisuje se kód 99

23 Příčina prostoje
1 nedostatek kapacity
2 nebyl náhradní díl
3 servis
4 jiná

24
1

Údaje se vztahují k agregátům s atestem

A
25 Rok výroby
26 Hodiny (cykly) od poč. provozu
27 Počet GO
28 Hodiny (cykly) od poslední GO
29 Výrobní číslo agregátu

Vyplň při vadě motoru

B
30 Kód motoru
31 Hodiny motoru od poč.provozu
32 Počet GO
33 Hodiny od poslední GO
34 Výrobní číslo motoru

C
Další údaje o poruše
Příčina:
Opatření:

D
Pokud došlo k opravě nebo výměně dalších agregátů nebo detailů uveď údaje 16, 18 a 19
Slovy:

16 Katalogové číslo
18
19
24
2
2
2
2

den - měsíc - rok
vyhotovil:
kontroloval:

Obr. 6.4: Karta poruch , zdroj: [22]

MIL-HDBK-338B

SECTION 8: RELIABILITY DATA COLLECTION AND ANALYSIS, DEMONSTRATION, AND GROWTH

DOC. NO. ☐ SECONDARY DOCUMENT ☐ CONTINUED DOCUMENT	TRAC FAILURE AND DEFECT REPORT				DATE
	MFG. JOB ITEM	PT. NO. (FAILED ITEM)	NOMENCLATURE	SER .NO. OR DATE CODE	CONTINUED TO DOC. NO.

IF EITHER, ENTER PRIMARY DOC. NO. HERE	SHOP ORDER	SUBMISSION NO.	TEST NO.	TEST COMPLETED	FATP	LOT SIZE	SAMPLE SIZE	# ACCEPTED	# REJECTED	TEST UNIT	TESTER	COGNIZANT FOREMAN

DEF. #	CHAR. #	DEFECT CODE	QTY.	DESCRIPTION OF DEFECT	WHEN MORE THAN ONE SN OR DATE CODE, LIST EACH HERE		DISP. #	AUTHORIZATION	

TROUBLESHOOTING/REPAIR									PART VERIFICATION			SECONDARY DOC #
DEF. #	REPAIR CODE	DESCRIPTION	FAILURE CAUSE	CIRCUIT DESIGNATOR	PART NAME	REPLACED ITEM PART NO.	SUB-ASSY S/N OR PT. DATE CODE	CONNECTED BY	INSP.	VERIFIED GOOD	VERIFICATION FINDINGS	

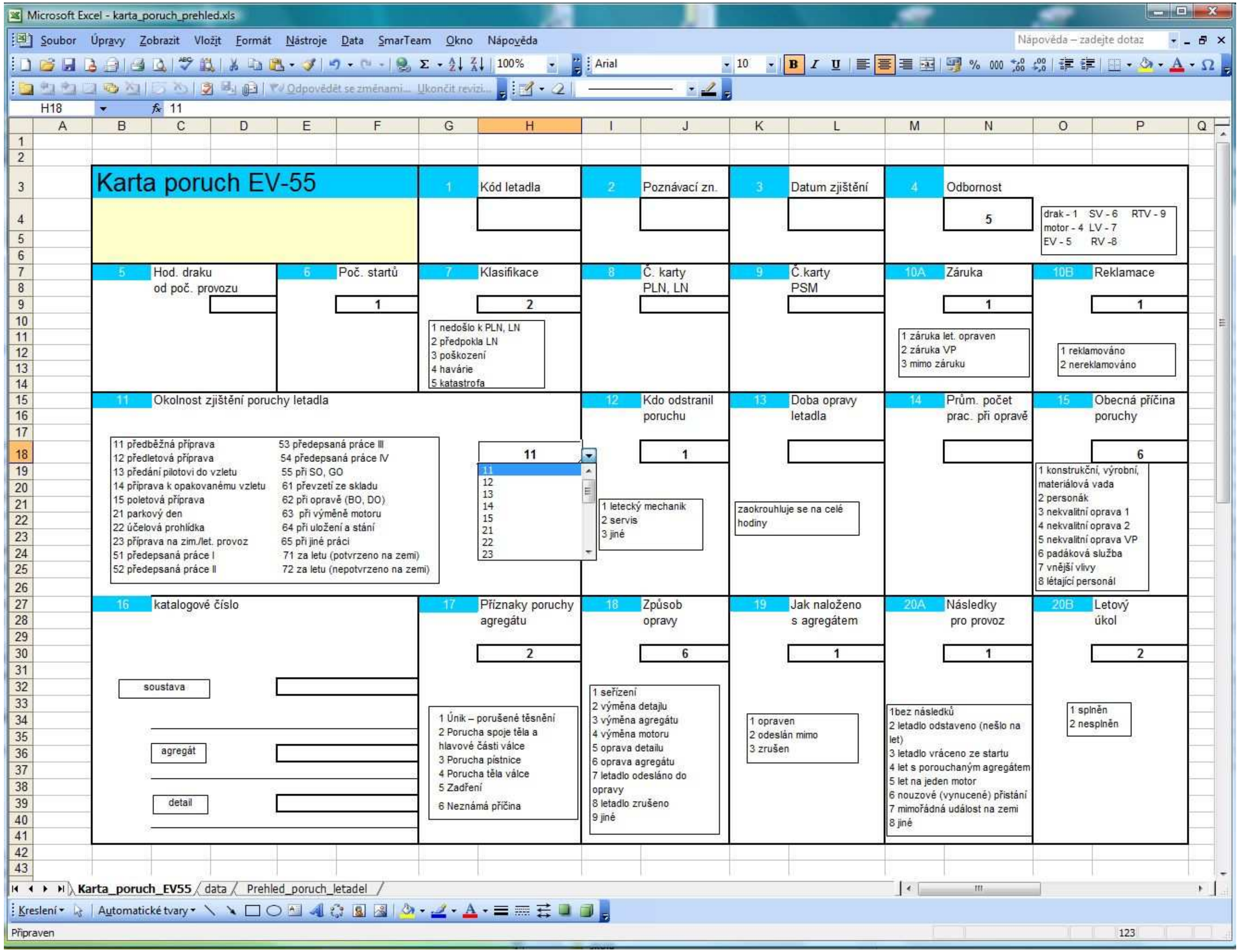
QUALITY & COMPONENT REVIEW					CLEARED BY
DEF #	DISP. #	COMMENT	CONNECTED BY	INSP.	
Q.E.	DATE	P&E/ET/PROGRN.	ENGR		DATE

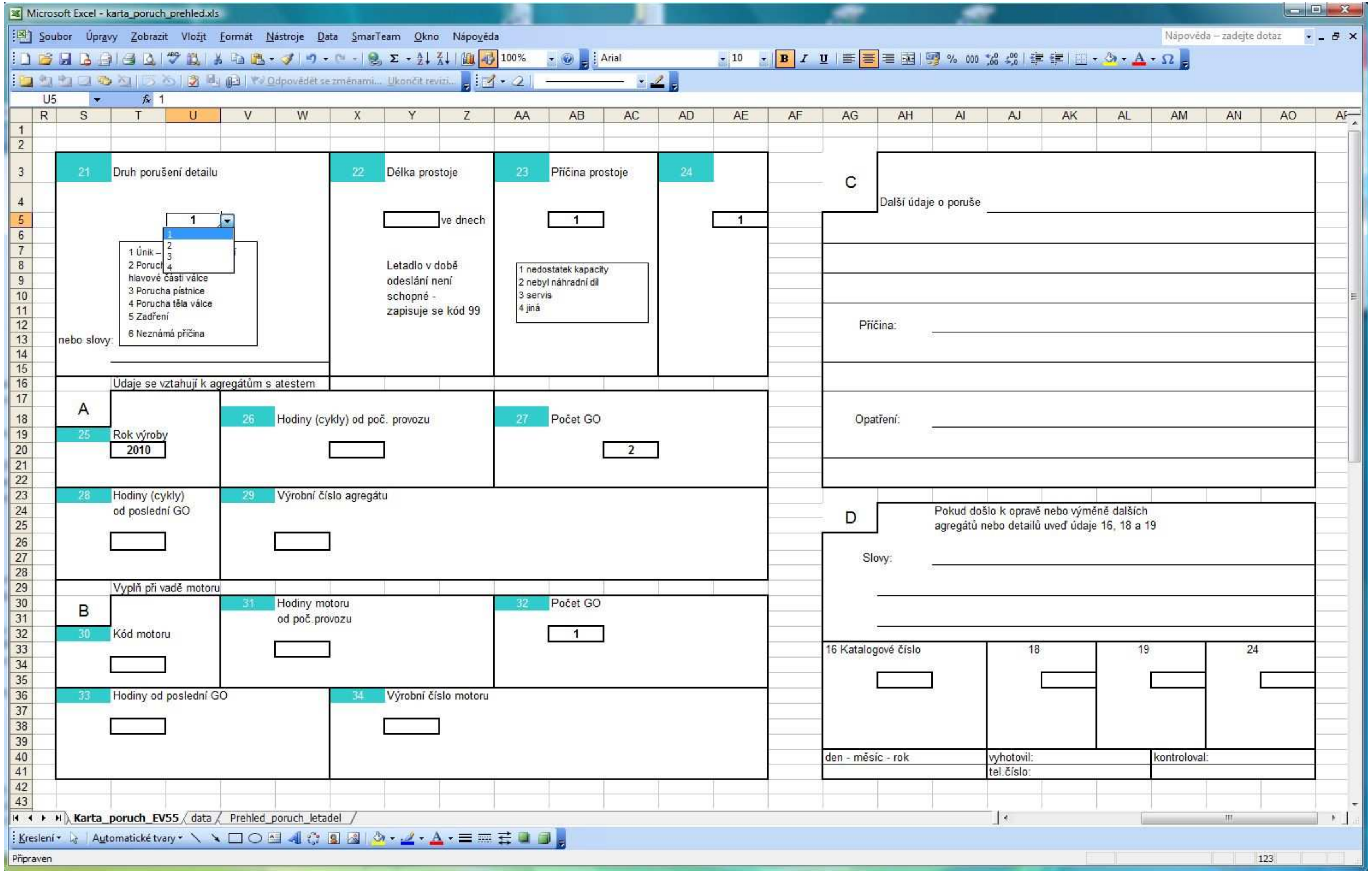
FAILURE ANALYSIS REPORT				
DEF #	MANUFACTURER	ANALYST	DATE	FAILURE ANALYSIS REPORT NO.
				FAILURE CAUSE CODE

THIS DOCUMENT STAYS WITH ORIGINAL FAILED ITEM UNTIL CLEARED. FOREMAN SHOULD MAKE COPIES FOR EACH SEPARATED COMPONENT PART. FOREMAN SHOULD ENTER APPROPRIATE DEFECT NUMBER ON COPIES IN QUALITY AND COMPONENT REVIEW SECTION. AT COMPLETION OF INITIAL DISPOSITION FOR SEPARATED COMPONENT PARTS A SECONDARY DOCUMENT SHOULD BE FILLED OUT FOR EACH SEPARATE ASSEMBLY.

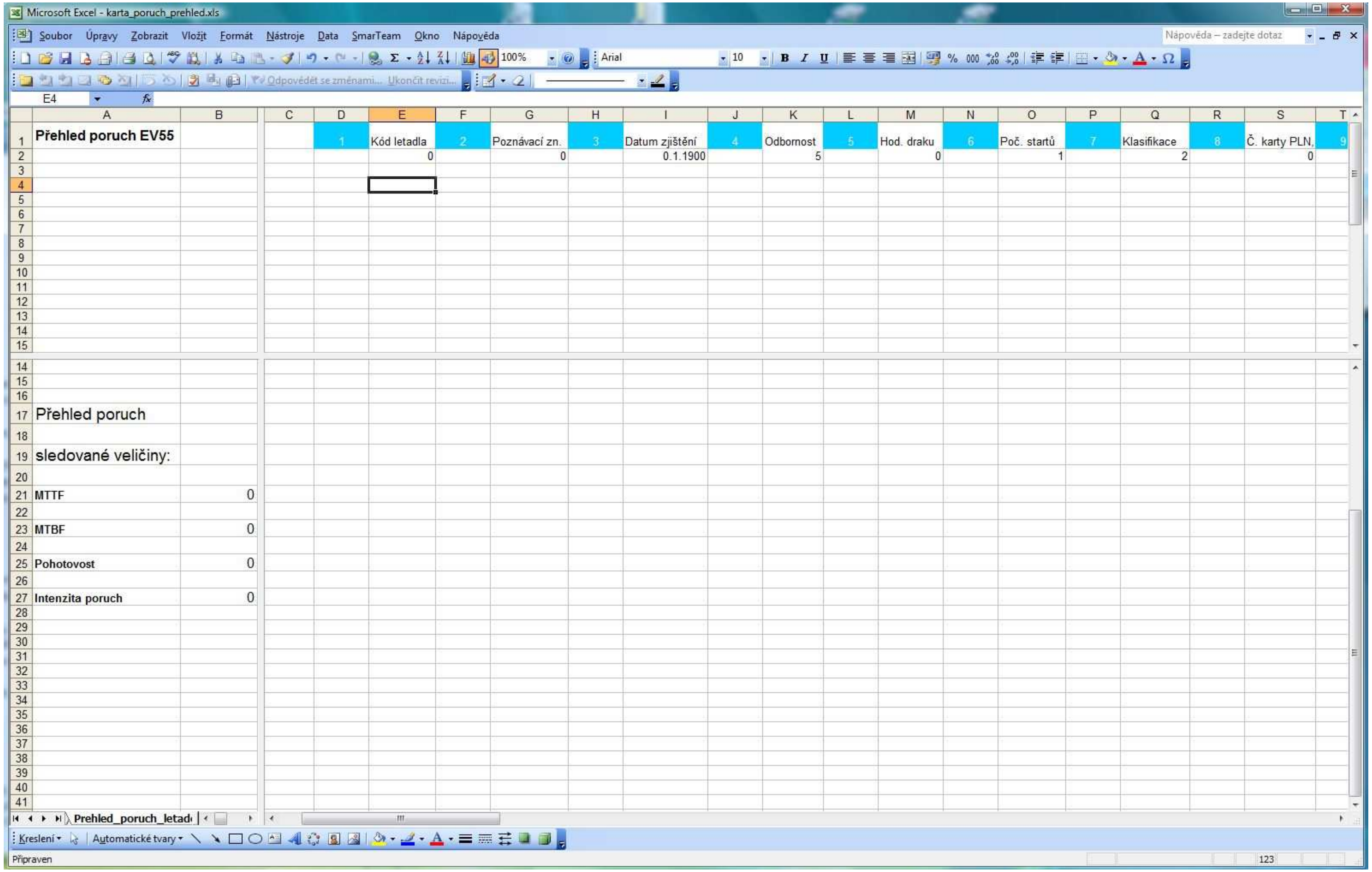
FIGURE 8.2-2: EXAMPLE OF FAILURE REPORT FORM

Obr. 6.5: Karta poruch podle MIL-HDBK-338B [8]


Microsoft Excel - karta_poruch_prehled.xls
Karta poruch EV-55
1 Kód letadla
2 Poznávací zn.
3 Datum zjištění
4 Odbornost
5
drak - 1 SV - 6 RTV - 9
motor - 4 LV - 7
EV - 5 RV -8
5 Hod. draku od poč. provozu
6 Poč. startů
1
7 Klasifikace
2
1 nedošlo k PLN, LN
2 předpokla LN
3 poškození
4 havárie
5 katastrofa
8 Č. karty PLN, LN
9 Č.karty PSM
10A Záruka
1
1 záruka let. opraven
2 záruka VP
3 mimo záruku
10B Reklamace
1
1 reklamováno
2 nereklamováno
11 Okolnost zjištění poruchy letadla
11 předběžná příprava
12 předletová příprava
13 předání pilotovi do vzletu
14 příprava k opakovanému vzletu
15 poletová příprava
21 parkový den
22 účelová prohlídka
23 příprava na zim./let. provoz
51 předepsaná práce I
52 předepsaná práce II
53 předepsaná práce III
54 předepsaná práce IV
55 při SO, GO
61 převzetí ze skladu
62 při opravě (BO, DO)
63 při výměně motoru
64 při uložení a stání
65 při jiné práci
71 za letu (potvrzeno na zemi)
72 za letu (nepotvrzeno na zemi)
11
12 Kdo odstranil poruchu
1
1 letecký mechanik
2 servis
3 jiné
13 Doba opravy letadla
zaokrouhluje se na celé hodiny
14 Prům. počet prac. při opravě
15 Obecná příčina poruchy
6
1 konstrukční, výrobní, materiálová vada
2 personák
3 nekvalitní oprava 1
4 nekvalitní oprava 2
5 nekvalitní oprava VP
6 padáková služba
7 vnější vlivy
8 létající personál
16 katalogové číslo
soustava
agregát
detail
17 Příznaky poruchy agregátu
2
1 Únik – porušené těsnění
2 Porucha spoje těla a hlavové části válce
3 Porucha pístnice
4 Porucha těla válce
5 Zadření
6 Neznámá příčina
18 Způsob opravy
6
1 seřízení
2 výměna detajlu
3 výměna agregátu
4 výměna motoru
5 oprava detailu
6 oprava agregátu
7 letadlo odesláno do opravy
8 letadlo zrušeno
9 jiné
19 Jak naloženo s agregátem
1
1 opraven
2 odeslán mimo
3 zrušen
20A Následky pro provoz
1
1bez následků
2 letadlo odstaveno (nešlo na let)
3 letadlo vráceno ze startu
4 let s porouchaným agregátem
5 let na jeden motor
6 nouzové (vynucené) přistání
7 mimořádná událost na zemi
8 jiné
20B Letový úkol
2
1 splněn
2 nesplněn
Karta_poruch_EV55
data
Prehled_poruch_letadel
Připraven



Obr. 6.6: Návrh karty poruch pro malý dopravní letoun EV 55



Obr. 6.7: Přehled poruch letounu EV 55

6.3 Návod k vyplňování Karty poruch

- Karta poruch slouží k zaznamenávání, rozborům a uchovávání informací o poruchách LT v leteckém provozu a při opravách letecké techniky. Podle Karty poruch se vyplňují Přehledy poruch letadel.

- Karta poruch se vyplňuje bezprostředně po zjištění a odstranění závady s výjimkou případů, kdy se letadlo odesílá do opravy nebo v důsledku čekání na opravu vzniká na letadle prostoj přesahující určitou mez. V těchto případech Karta poruch by se měla vyplnit bezprostředně po přijmutí rozhodnutí o opravě letadla, nejpozději před danou uzávěrkou.

- Karta poruch se vyplňuje na všechny vady letecké techniky s výjimkou drobných závad (poškození laku nefunkčního charakteru, uvolnění šroubů, poškození zajišťovacích drátů, malých promáčklin apod.), a to i na poruchy LT, které byly příčinnou nebo byly jinak spojeny s předpokladem k letecké nehodě, nehodou a předčasným sejmutím motoru.

Karta poruch se nevyplňuje

- s ohledem na předpoklady k leteckým nehodám, kdy nedošlo k poruše letecké techniky.
- při výměnách agregátů a součástí LT z důvodu vyčerpání technického života (resursu).

Jednotlivé údaje na Kartě poruch se mají vyplňovat takto:

1 - kód letadla - uvádí se kód letadla – imatrikulační značka.

2 - trupové číslo- podle trupového čísla letadla.

3 - datum zjištění - vyplňuje se den a měsíc zjištění vady podle vzoru na "Kartě".

4 - odbornost- číslo odbornosti podle číselníku na Kartě.

5 - hodiny draku od počátku provozu – uvede se celkový počet nalétaných hodin draku podle záznamníku letadla (drakové knihy); počet hodin se zapisuje se zprava, což znamená, že jednotky hodin se uvádí do posledního okénka, desítky do předposledního atd. Např. 375 hodin se zapíše:

	3	7	5

6 - počet GO draku –uvede se počet generálních oprav draku, tj. 0, 1, 2;

7 - klasifikace (let-1-5)- vyplňuje se podle číselníku na Kartě.

8 - číslo karty PLN, LN - vyplňuje se číslo karty předpokladu nebo evidenční karty letecké nehody (LN), pokud k nim došlo. Zápis se provádí zprava. Je-li na příklad "číslo karty 21, zapíše se:

	2	1

9 - číslo karty PSM - vyplňuje se číslo karty předčasně sejmutého motoru, pokud k předčasnému sejmutí došlo. Zápis se provádí stejným způsobem jako v předešlém případě.

10A - záruka - podle číselníku na Kartě se uvede údaj o záruce.

10B - reklamace podle číselníku na Kartě

11 - okolnost zjištění poruchy letadla podle číselníku na Kartě. Vysvětlivky zkratek: SO-střední oprava, GO-generální oprava, BO-běžná oprava, DO-drobná oprava

12 - kdo poruchu odstranil - podle číselníku na Kartě.

13 - doba opravy letadla – uvede se průběžná doba trvání prací na letadle potřebných ke zjištění a odstranění poruchy včetně doby potřebné na provedení kontrolně měřících prací. Do této doby se nezahrnují prostoje. Zápis by se měl provádět podle návodu uvedeného na Kartě.

14 - průměrný počet pracovníků při opravě – uvede se průměrný počet pracovníků, kteří na opravě pracovali po dobu uváděnou v údaji 13. Průměrný počet pracovníků by se mělo odhadovat s přesností na jedno desetinné místo. Na příklad 1, 7 pracovníka znamená, že jeden pracovník pracoval na opravě během celé doby opravy a druhý jenom tři čtvrtiny doby.

15 - obecná příčina poruchy - podle číselníku na kartě.

Výklad k používání číselníku

1 - Konstrukční, výrobní a materiálová porucha

Kód 1 se má použít jen:

a) pro zjevné konstrukční, výrobní a materiálové poruchy, poruchy, u kterých to bylo prokázáno šetřením.

b) pro poruchy vznikající v důsledku provozního opotřebení za předpokladu, že byla dodržena platná ustanovení technické dokumentace, předpisů a nařízení pro obsluhu, údržbu, skladování a opravy letecké techniky a porucha vznikla před vyčerpáním stanoveného technického života (resursu) součásti.

2 - Personál- do této kategorie poruch se mají zahrnovat poruchy způsobené členy posádky, mechaniky v důsledku neúplné nebo nekvalitní přípravy techniky k letům a narušení platných ustanovení technické dokumentace, předpisů a nařízení pro obsluhu, údržbu, skladování a opravy letecké techniky.

3 - Nekvalitní oprava 1. Kód 3 se má použít jen v těchto případech:
a) popř. šetřením by bylo prokázáno jejich zavinění.
b) k poruše došlo v procesu leteckého provozu v opravnách v důsledku neúplné nebo nekvalitní přípravy letecké techniky k letům, narušení platných ustanovení technické

dokumentace, předpisů a nařízení pro obsluhu, údržbu a opravy letecké techniky a nekvalitního nebo neúplného provedení opravy.

4 - Nekvalitní oprava 2. Kód 4 se má použít jen v těchto případech:
a) výrobek byl v záruce, porucha byla reklamována a reklamace uznána;
b) komisionelním šetřením bylo prokázáno zavinění opravnami (byl zpracován “Protokol o výsledcích šetření). Toto ustanovení se vztahuje i na nekvalitní práci servisu;
c) k poruše došlo v procesu leteckého provozu v leteckých opravnách a byla způsobena personálem v důsledku neúplné nebo nekvalitní přípravy letecké techniky k letům, a narušením platných ustanovení technické dokumentace, předpisů a nařízení pro obsluhu, údržbu, skladování a opravy letecké techniky a nekvalitního nebo neúplného provedení opravy.

5 - Nekvalitní práce servisu VP (výrobního podniku) Kód 5 se má použít jen v těchto případech:
a) nekvalitní práce příslušníka servisu výrobního podniku nebo dodavatele byla řádně reklamována;
b) zavinění příslušníka servisu výrobního podniku nebo dodavatele bylo prokázáno komisionelním šetřením (byl zpracován “Protokol o výsledcích šetření na LT“).

6 - Padáková služba
Do této kategorie poruch se mají zahrnout vady padákové techniky způsobené příslušníky padákové, záchranné a výsadková služby v důsledku neúplné nebo nekvalitní přípravy padákové techniky k letům a narušení platných ustanovení technické dokumentace, předpisů a nařízení pro údržbu, skladování a opravy padákové techniky.

7 - Vnější vlivy
Mají vést k zakódování všech poruch LT způsobených
a) živelnými pohromami (blesk, krupobití apod.);
b) nedostatky v povětrnostním zabezpečení létání;
c) nedostatky v letištním technickém zabezpečení létání, pokud nebyly způsobeny personálem;
d) nedostatky ve zdravotnickém zabezpečení létání;
e) nedostatky v radiotechnickém zabezpečení létání;
f) nasátím cizích předmětů na zemi i za letu (včetně nasátí ptáka) kromě případů, kdy došlo k nasátí cizího předmětu z viny personálu nebo létajícího personálu (ponechání cizích předmětů, nečistot v oblasti nasátí).

Létající personál

Do této kategorie poruch se zahrnují všechny vady LT způsobené:
a) létajícím personálem včetně palubních techniků v důsledku:
- chyb a nedostatků v technice pilotáže, navigaci, popř. bojovém použití;
- chyb a nedostatků v používání letecké techniky na zemi i za letu;
- nekázně;
b) v důsledku chyb a nedostatků dispečerů řízení letového provozu;
c) příslušníky létajícího personálu v důsledku chyb a nedostatků v organizaci létání.

9 - Nezjištěno - tento kód se má použít jen pro ty poruchy LT, kdy šetřením nebyla zjištěna příčina vady, šetření nemohlo být provedeno, nebo k termínu uzávěrky nebylo dokončeno.

16 - Katalogové číslo - slouží k lokalizaci poruchy na konkrétní součásti letecké techniky. Údaj v okénku 16 by se měl skládat ze dvou částí:
a) slovní (soustava, agregát, detail) k zapsání názvu vadné součásti LT nebo k jinému označení (číslem výkresu, značkou apod.);
b) vlastního katalogového čísla součásti LT, které by mělo určovat podle tohoto katalogu. Katalogové číslo se zpravidla uvádí pro součást LT, u které došlo k prvotní poruše.

Pokud tuto součást není možné identifikovat a zakódovat (na příklad agregát nelze demontovat), užije se kódu součásti vyššího řádu, tj. agregátu, obvodu apod. V případech, kdy došlo k většímu poškození LT a jeho příčina nebyla způsobena poruchou některé konkrétní součásti, mělo by se uvádět katalogové číslo hlavní poškozené součásti. V případech, kdy porucha má za následek výměnu dalších agregátů nebo detailů, tyto by se měly kódovat v části D "Karty poruch LT" na její druhé straně. Katalogové číslo by se mělo do předtištěných okének zapisovat takto:

17 - Příznaky poruchy agregátu se zapisují nejprve slovně vhodným heslem. Potom pomocí tabulky 1 (část 6.3 katalogu) se vybírají odpovídající kódy k jejich zakódování. Kód hlavního příznaku se uvádí do levé skupiny tří okének a kód vedlejšího nebo doplňujícího příznaku do pravé skupiny. Pokud nedošlo k vedlejším příznakům, pravá skupina okének se nevyplňuje;

18 - Způsob opravy - kódovat podle číselníků na Kartě;

19 - Jak naloženo s agregátem - kódovat podle číselníku na Kartě;

20A- Následky pro provoz - kódovat podle číselníku na Kartě.

20B - Letový úkol - podle číselníku na kartě se má kódovat splnění nebo nesplnění letového úkolu.
Poznámka: částečně splněný nebo částečně nesplněný letový úkol by se měl kódovat jako nesplněný letový úkol, tj. uvádí se kód 2;

21 - druh porušení detailu - se zapisuje nejprve slovně vhodným heslem. Potom pomocí tabulky 2 (část 6.4 tohoto katalogu) se vybyrají odpovídající kódy k jeho zakódování. Kód hlavního druhu porušení by se měl uvést do levé skupiny tří okének a kód vedlejšího nebo upřesňujícího druhu porušení do pravé skupiny. Pokud je druh porušení dostatečně popsán jedním kódem, není třeba pravou skupinu okének vyplňovat.

Poznámky:

1. Kód druhu porušení detailu se nevyplňuje, pokud k porušení nedošlo nebo druh porušení nelze stanovit.

2. V případě, že tabulka 2 neumožňuje zakódování příznaku (tabulka příznak neobsahuje), má se použít kódu 999;

22 - délka prostoje – se uvádí zaokrouhleně ve dnech. Činí-li např. prostoj 2,6 dne má se zapsat do posledního předtištěného okénka 3, tj.

0	3

V případech, kdy letadlo v době uzávěrky není schopné, zapsat kód 99;

23 - příčina prostoje - kódovat podle číselníku na Kartě;
24 - nevyplňuje se (pevná předtištěn kód 1);

Část A: 25 až 29 tyto údaje se mají vyplňovat jen při vzniku poruchy na agregátu s atestem;

25 - rok výroby - vyplňuje se poslední dvojčíslí z roku výroby. Např. u agregátu vyrobeného v roce 2009 se má zapsat.

0	9

26 - hodiny (cykly) od počátku provozu se má uvádět ten parametr agregátu, který měří jeho technický život (resurs) tj. počet hodin, přistání, výstřelů, spuštění apod. od počátku provozu. Zápis se má provádět tak, že jednotky se zapisují do posledního okénka, desítky do předposledního atd. Příklad zápisu: Agregát odpracoval 29 hodin.

		2	9

27- počet GO - počet generální oprav agregátu, tj. 0,1,2;

28 - hodiny (cykly) od poslední GO, se mají vyplňovat obdobně jako údaje 26.

29 - výrobní číslo se má zapisovat tak, aby nezávisle na velikosti výrobního čísla (počtu míst) agregátu byla koncová část čísla v předtištěných okénkách vždy uvedena. V případě, že číslo agregátu má více než 8 míst, zápis se začíná ve vytečkované části před předtištěnými okénky. Do každého okénka se má psát vždy jen jeden znak, t.j. číslice, písmeno (kromě písmene CH), tečka, rozdělovací znaménko apod. Má-li výrobní číslo méně míst než 8, je možné zápis začínat v libovolném okénku, tedy i prvním a nemá se zaplňovat poslední okénka.

Příklady zápisu:

v.č. 3451A7…………	3	4	5	1	A	7		
v.č. 56-13/2…………		5	6	-	1	3	/	2
v.č. 2174261875……21	7	4	2	6	1	8	7	5

Část B: 30 až 34 - vypisovat jen při vzniku vady motoru;

30 - kód motoru - uvádět kód motoru nebo v.č.(viz. od 6.2).

31 - hodiny motoru od počátku provozu se mají vyplňovat počet odpracovaných hodin podle motorové knihy (záznamníku motoru). Zápis se provádí podle stejných zásad jako u údaje 26.

32 - počet GO - uvádět počet generálních oprav motoru, tj. 0, 1, 2.

33 - hodiny od poslední GO - vyplňovat obdobně jako údaj 31.

34 - výrobní číslo motoru - zapisovat stejným způsobem jako výrobní číslo agregátu (údaj 29).

Část C : slouží k zapsání slovních informací o poruše v předepsaném členění.

Část D : vyplňuje se jen v těch případech, kdy v důsledku vzniku poruchy LT došlo k opravě nebo výměně dalších agregátů nebo detailů, než udává údaj 16 na první straně "Karty poruch" LT.

Údaje **16** se kódují podle tohotu katalogu a údaje **18** a **19** podle číselníku na první straně "Karty poruch" LT.

Tab. 6.2: Příklad poruch hydraulických přístrojů, v „Kartě poruch“ značeno jako tab. 1

1	Únik – porušené těsnění
2	Porucha spoje těla a hlavové části válce
3	Porucha pístnice
4	Porucha těla válce
5	Zadření
6	Neznámá příčina

7 Spolehlivostní analýza hydraulické soustavy malého dopravního letounu

Následující kapitoly jsou věnovány spolehlivostní analýze hydraulické soustavy malého dopravního letounu. Slouží zejména jako podklad pro porovnání kvality výstupů různých zdrojů dat a postupů vyhodnocení. Zde jsou aplikována data, která byla získána metodami uvedenými výše. Schéma hydraulické soustavy je uvedeno v příloze 2.

7.1 Charakteristika systému

Pro další analýzy hydraulické soustavy je dále uveden stručný popis funkcí hydraulické soustavy malého dopravního letounu.

Typická hydraulická soustava tohoto typu letounu zajišťuje zasouvání a vysouvání podvozku, natáčení kola příďového podvozku, brzdění kol a ovládání klapek.

Hydraulická soustava se skládá ze dvou základních soustav - hlavního a nouzového okruhu.

7.2 Funkce systému

HLAVNÍ OKRUH

Hlavní okruh zajišťuje zasouvání a vysouvání podvozku, natáčení kola příďového podvozku, brzdění kol hlavního podvozku a jeho krátkodobé parkování, vysouvaní klapek do polohy vzlet, přistání a zasouvání klapek.

Zdrojem hydraulické energie je elektrohydraulický agregát. Pro udržování stálého tlaku v hlavním okruhu je zde akumulátor.

Čerpadlo nasává hydraulickou kapalinu přes sací filtr z nádrže. Kapalina postupuje do akumulátoru, který zajistí stálou dodávku kapaliny bez tlakových špiček. Dále kapalina postupuje přes zpětný ventil a výtlačný filtr do okruhu stálého tlaku (20,7 MPa), na který jsou napojeny pracovní okruhy rozvádějící hydraulickou energii k jednotlivým přístrojům. Soustava je jištěna pojistným ventilem, který chrání okruh proti tlakovému přetížení. Při zvýšení tlaku nad stanovenou hodnotu přepouští ventil kapalinu zpět do nádrže. Dále jsou v okruhu snímače tlaku hydraulické kapaliny. Signalizátor tlaku v akumulátoru ovládá přímo hydraulický agregát, přepouštěcí a měnící ventily ovládající klapky, brzdy a nouzový režim systému.

Celé ovládání okruhu zajišťují elektromagnetické třícestné rozvaděče pro zasouvání podvozku a klapek.

Ovládání natáčení přídového kola zajišťuje servořízení, které plní funkci tlumiče bočních kmitů a při vychýlení řídícího šoupátka slouží k řízení letounu při pojíždění. Brzdění je zajišťováno pouze u kol hlavního podvozku na přání provozovatele vybaveným systémem antiblokové ochrany ABS.

Hydraulické válce hlavních podvozku jsou zajištěny proti přídavným silám mechanickými zámky v obou krajních polohách válců. Válec vztlakových klapek má fixovány tři polohy (0°, 20°, 38°) a to zámky hydraulickými.

Pro pohyb letounu po zemi je příďový podvozek, řízen pomocí mechanicko-hydraulického válce. Řízení probíhá ve dvou režimech. V prvním režimu pro vzlet a přistání je řízen od pedálu pilota v rozmezí ± 5°. V druhém režimu pro zatáčení o malých poloměrech je podvozek řízen pákou na levé spodní části palubní desky až do maximální výchylky ± 50°-5°. Aktivace druhého – ručního režimu je zprostředkována přepínačem na středním pultu se signalizací. Sekundární funkcí hydraulického válce ovládání přídového podvozku je tlumení případných kmitů.

Plnění hydraulické soustavy je zajištěno nalévacím otvorem na horní straně hydroagregátu, který je přístupný odklopným víkem v přídi. Pro plnění akumulátorů technickým dusíkem jsou v akumulátorech integrovány plnící přípojky.

NOUZOVÝ OKRUH

Nouzový okruh zajišťuje nouzové vysouvání podvozku a jejich polohovou aretaci, nouzové vysunutí vztlakových klapek do polohy 38° a zajištění hydraulickými zámky, nouzové brždění bez použití funkce ABS a krátkodobé parkování.

Směrové ovládání letounu při pojíždění v tomto režimu není možné.

Zdrojem energie je nouzový akumulátor, který je doplňován tlakovou kapalinou z hlavního okruhu.

Nouzový okruh zajišťuje nouzové funkce při výpadku hlavního zdroje hydraulické kapaliny nebo porušení hydraulických rozvodů hlavního okruhu.

Všechny ovládací prvky jsou soustředěny v pilotní kabině. Hydroagregát a oba akumulátory jsou umístěny mezi přepážkou 1 a 2 přední části trupu. Přístup do této části je přes snímací víko na levé a pravé straně. Zbytek hydraulických agregátů je umístěn v pravé přední části trupu mezi přepážkou 2 a 3. Přístup do této části je snímacím víkem v podlaze zavazadlového prostoru.

Popis funkce systému

Hydraulické schéma je rozděleno na následující logické bloky:

- hlavní okruh
- nouzový okruh
- okruh vztlakových klapek
- okruh brzd
- okruh řízení příďového podvozku.

Hlavní okruh A

Účelem hlavního okruhu je zásobení všech ostatních okruhů tlakovou kapalinou v hlavním režimu.

Hydroagregát **A01** LUN 6593.80 slouží jako zdroj tlakové kapaliny. Motor a čerpadlo spolu s nádrží tvoří jeden montážní celek válcového tvaru. Motor je ponořen do kapaliny tak, že i v případě minimální hladiny v nádrži je zcela ponořen, z důvodů chlazení.

Do tohoto bloku jsou dále zaintegrovány síťkové filtry. Součástí přístroje je rovněž pojistný ventil, který slouží k zabránění tlakového přetížení agregátu. Dále je agregát opatřen optickým hladinoměrem.

Zpětný ventil **A08** zabraňuje tomu, aby tlaková kapalina z hlavního akumulátoru neroztočila hydroagregát – tím by došlo k okamžité ztrátě tlaku v hlavním akumulátoru.

Filtr **A02** je hlavním tlakovým filtrem v okruhu. Jedná se o filtr s jemností 10/20 mikronů. Tyto filtry jsou běžně k dostání na trhu v USA.

Soustava signalizátorů tlaku **A04** a **A05** slouží k řízení hydroagregátu. Vysílač tlaku **A06** slouží k předepsané signalizaci.

Okruh je dále vybaven hlavním akumulátorem **A03**, který je jištěn pojistným ventilem kombinovaným **A07** pro případ zvýšení tlaku v důsledku zvýšení teploty. Další funkcí ventilu **A07** je vypuštění akumulátoru pro případ servisních činností.

Doplňování kapaliny do hydraulického okruhu se provádí prostřednictvím plnící přípojky sací **A09** v odpadní větvi nebo plnící přípojky tlakové zástavbové **A10** v tlakové větvi.

Nouzový okruh B

Účelem nouzového okruhu je zásobování okruhů podvozků, vztlakových klapek a brzd tlakovou kapalinou v nouzovém režimu.

Zdrojem tlaku je nouzový akumulátor **B01**. Tento akumulátor může být doplněn pouze v případě, kdy je letoun na zemi, s vysunutým podvozkem. Doplňování probíhá v pozici elektrohydraulického rozvaděče **F04** „podvozek vysunout“ přes přepouštěcí ventil **B06** a zpětný ventil **B05**.

Signalizátor tlaku **B02** slouží pro signál k doplnění akumulátoru. Vysílač tlaku **B03** slouží k signalizaci tlaku v nouzovém okruhu.

Okruh je dále vybaven pojistným ventilem kombinovaným **B04** pro případ zvýšení tlaku jako například důsledku zvýšení teploty. Další funkcí ventilu **B04** je vypuštění akumulátoru pro případ servisních činností.

Okruh vztlakových klapek C

Okruh vztlakových klapek slouží k ovládání vztlakových klapek.

Hydraulický válec vztlakových klapek **C01** je dimenzován na provozní sílu 15 kN. Jedná se o válec bez mechanických zámků, ale s integrovanými hydraulickými zámky. Signalizace koncových poloh a polohy start je řešena mimo tento válec.

Vztlakové klapky jsou koncipovány jako dvourychlostní. Elektrohydraulický rozvaděč **C02** v základní poloze přeruší přívod tlakové kapaliny do vztlakových klapek. Je to z důvodu dvojího jištění proti jejich samovolnému pohybu. Nižší rychlosti se dosáhne přepnutím rozvaděče **C02** na větev tlumícího ventilu **C07**. Ten redukuje průtok na hodnotu potřebnou pro dosažení nižší rychlosti pohybu vztlakových klapek. Vyšší rychlosti je dosaženo v případě, kdy je ventil **C07** vyřazen z funkce. Zpětné ventily **C08** a **C09** brání zpětnému

proudění kapaliny v tlakové větvi za rozvaděčem **C02**. Pojistný ventil **C10** zase brání překročení provozní síly 4,4kN na klapky za ventilem **C07**.

Směr pohybu vztlakových klapek ovládá elektrohydraulický rozvaděč **C03**, který k nim v základní poloze uzavírá přívod tlakové kapaliny. Jejich pohyb je dále tlumen a zpomalen pomocí hydraulických odporů-tlumivek, které jsou vestavěny ve válci **C01**. Dva jednostranné hydraulické zámky fixují polohu válce vztlakových klapek ve zvolené poloze jak při tlakovém, tak tahovém zatížení pístnice. Součástí hydraulických zámků jsou také dilatační pojistné ventily, které při nárůstu tlaku ve válci upustí kapalinu do odpadu. Všechny tyto přístroje jsou rovněž integrovány do válce **C01**. Zpětný ventil **C05** brání zpětnému proudění kapaliny v odpadní větvi směrem k trojici rozvaděčů.

V případě nouzové funkce jsou vztlakové klapky pouze jednorychlostní a pohybují se vyšší z obou rychlostí. V nouzovém režimu rovněž lze pohyb klapek zastavit pomocí ručního ventilu třícestného **C06**, v případě nezastavení pohybu jsou klapky vysunuty do polohy přistání. K realizaci nouzové funkce dojde po ručním přestavení ventilu **C06**, ten musí být ze strany tlakové větve nouzového okruhu ve všech režimech bezodkapový, aby nedocházelo k vybíjení nouzového akumulátoru. Po ručním přestavení tohoto ventilu dojde k přesunu šoupátka ve válci **C01** do nouzové polohy. Tím je válec vztlakových klapek od hlavního okruhu zcela odpojen a je zcela připojen na nouzový okruh.

Při běžném letovém cyklu se předpokládá, že nejprve dojde k vysunutí vztlakových klapek do polohy start, poté dojde k vytažení podvozku a následně k vysunutí vztlakových klapek do polohy přistání. To funkce nouzového okruhu neumožňuje. Přes nouzový okruh lze vztlakové klapky pouze vysunout a to hned do krajní polohy umožněné tlakem v nouzovém akumulátoru. Minimálním požadavkem pro nouzové vysunutí vztlakových klapek je vysunutí do polohy start.

Okruh brzd E

Okruh brzd slouží k brzdění hlavního podvozku.

Brzdy pracují s tlakem 5 MPa. Tohoto tlaku je dosaženo pomocí redukčnímu ventilu **E01**. Ovládací ventily brzd **E02L,P** slouží jako regulátory tlaku v jednotlivých brzdách.

Brzdy jsou koncipovány jako brzdy s ABS. Na hlavních podvozkových kolech jsou snímače otáček a elektronika porovnává velikost otáček. V případě zablokování kol při brzdění je snížen tlak z daného okruhu ventily ABS **E03L,P**.

Poté se kapalina dostane do měnících ventilů **E04L,P**, které slouží k přepínání hlavní a nouzové funkce.

Nouzový ventil brzd **E05** je kombinovaný přístroj sloužící ke třem funkcím. Jednak zabezpečuje dobrzdění kol při zatahování podvozku, jednak zajišťuje nouzovou funkci brzd a dále zajišťuje krátkodobé parkování, kde jako zdroj tlaku je nouzový akumulátor.

Okruh podvozku F

Okruh podvozku slouží k ovládání podvozku. Elektrohydraulický rozvaděč **F04** ovládá válec příďového podvozku **F03** a oba válce hlavního podvozku **F01** a **F02** v hlavním režimu. V nouzovém režimu potom ovládá podvozek ruční ventil třícestný **F05**.

Podvozkové válce mají v obou krajních polohách mechanické zámky. Do těchto válců je dále zaintegrováno šoupátko, které zajišťuje funkci válce v nouzovém režimu. K tomu, aby bylo možno realizovat nouzovou funkci vysunutí podvozku slouží hydraulický rozvaděč **F07**, který zabezpečí odvod kapaliny z válce do odpadu a to i v případě, kdy došlo k zaseknutí rozvaděče **F04** v poloze „podvozek zasunout“.

Zpětný ventil **F06** brání zpětnému proudění kapaliny v odpadní větvi.

Okruh řízení příďového podvozku G

Princip řízení příďového podvozku vychází z letounu L 410.

Podvozek je možno ovládat po přepnutí elektrohydraulického rozvaděče **G02**. K řízení kola příďového podvozku slouží válec servořízení včetně šoupátka **G01**. Tento válec pracuje v režimu malých výchylek v případě vysoké rychlosti a může pracovat i v režimu velkých výchylek při malé rychlosti. Koncepce válce umožňuje také otáčení podvozkového kola při vlečení letounu.

Ohraničení hydraulické soustavy, vymezení okruhu analýzy

Hydraulický systém zahrnuje prvky hlavního a nouzového okruhu včetně plnění tlakových nádrží a elektrohydraulický agregát. Všechny podpůrné systémy (např. elektrická soustava, ovládání v kabině) nejsou součástí hydraulického systému. Z měření a ovládání jsou uvažovány pouze čidla a akční členy – nejsou uvažovány zobrazovače informace a ovladače v pilotní kabině, ani signálové trasy.

Jako vstupy systému lze definovat podpůrné systémy:

- zdrojová elektrická soustava
- el. ovládání agregátu – zapnuto /vypnuto
- el. ovládání rozváděčů – otevřeno/zavřeno

Na straně výkonné (výstupy) je systém ohraničen písty hydraulických válců:

- klapek C01
- hlavního podvozku F01, F02,
- příďového podvozku F03,
- servořízení příďového podvozku G01,

a brzdovými ventily:

- E04L, E04P

Výstupy dále představuje signalizace (zobrazování):

- tlaku kapaliny hlavního okruhu
- tlaku kapaliny nouzového okruhu
- koncových zamčených poloh levého hlavního podvozku
- koncových zamčených poloh pravého hlavního podvozku

- koncových zamčených poloh příďového podvozku
- polohy klapek snímači na válci
- tlaku v levé brzdě
- tlaku v pravé brzdě

7.3 Principy vestavěné bezpečnosti

Obecné principy použité při návrhu hydraulické soustavy spočívají na následujících zásadách, které jsou uvedeny. Při aplikaci těchto podmínek se dá očekávat, že nastoupení poruch dochází ze zcela náhodných příčin a nikoliv v důsledku opotřebení (mechanické opotřebení, únava materiálu apod.). To vede k výběru exponenciálního rozdělení pravděpodobnosti pro vyhodnocení spolehlivosti leteckých součástí a přístrojů.

- Volby prvků o vysoké inherentní spolehlivosti, dosažené kontrolovaným vývojem prvků ve spolupráci s jejich výrobcem, použitím prvků osvědčených v provozu letounů této kategorie a samozřejmostí je použití prvků, které mají certifikát ÚCL pro použití v letectví.
- Systémem v letectví zavedených a propracovaných kontrol a pravidelných prohlídek (vstupní a výstupní, výrobní, montážní a dalšími standardními nástroji pro zajištění kvality provozu).
- Všechny mechanické prvky použité v hydraulickém systému a namáhané mechanickými silami, tlaky, rozdílem teplot apod. jsou konvenčního a osvědčeného typu. Proto se mechanická porucha prvků hydraulického systému vedoucí ke ztrátě těsnosti systému považuje v souladu s požadavky předpisu FAR/CS 23 [1] za extrémně nepravděpodobnou. Z tohoto hlediska prvky vyhovují bezpečnostním požadavkům bodu 23.1309 předpisu FAR/CS.
- Hydraulická soustava:
    - Musí splnit svou funkci za jakýchkoliv předvídatelných provozních podmínek.
    - Výskyt jakékoliv poruchy, která by mohla ohrozit bezpečnost letu a přistání letounu, musí být vysoce nepravděpodobný.
    - Výskyt jakékoliv jiné poruchy, která by mohla podstatně snížit schopnost letounu nebo posádky vyrovnat se s nepříznivými provozními podmínkami, musí být nepravděpodobný.
    - V případě nesprávné činnosti soustavy musí být generována výstražná informace, umožňující posádce provést příslušné korekční opatření. Soustavy, ovládání a připojené kontrolní a varovné prostředky musí být navrženy tak, aby minimalizovaly chyby posádky, které by mohly vyvolat další nebezpečí.

Princip jednotlivé poruchy / Single Failure Concept

Cílem tohoto přístupu při návrhu je umožnit, aby letoun pokračoval v bezpečném letu a přistání s jakoukoliv jednotlivou poruchou. Je uplatněna ochrana před vícenásobnými

chybami funkcí nebo poruchami, které nemohou být zjištěny během normálního provozu. Tyto ochrany zahrnují předletové testy. První chyba funkce nebo porucha by neměly nevyhnutelně vyvolat další chybu funkce nebo poruchu.

Konkrétní konstrukční principy použité při návrhu hydraulického systému

Všechny součásti hydraulické soustavy jsou dodávány renomovaným výrobcem a jsou osvědčené konstrukce. Konstrukce byla prováděna tak, aby případné typy poruch pokud možno neohrozily důležité funkce systému.

Zdrojem tlaku pro výkonné členy jsou dva za letu na sobě nezávislé okruhy se samostatnými tlakovými nádobami, jejichž interakce se omezuje pouze na doplnění nouzového systému tlakovou kapalinou při přípravě na start.

Stav hydraulické soustavy, tj. tlak a polohy prvků jsou indikovány v kokpitu pilotů.

Elektrohydraulický agregát a potrubí jsou instalovány tak, aby nedocházelo k nadměrnému chvění a odolávaly předpokládaným provozním zatížením bez vlivu na jejich funkci.

7.4 Přehled poruchových stavů

Rozebrány jsou možné poruchové stavy hydraulického systému a je provedeno hodnocení důsledků poruch. Toto hodnocení je pak použito v analýze FMEA, v odstavci 7.

- Úplná ztráta tlaku v systému

Systém nedodává tlak do okruhu podvozků, brzd, vztlakových klapek. V krajním případě může vést tento poruchový stav k destrukci letounu a smrtelnému zranění, resp. ztrátám na životech posádky a cestujících.

Důsledek poruchy: KATASTROFICKÉ - CATASTROPHIC (CAT)

- Ztráta funkce hlavního a nouzového okruhu brzd

Nedojde k brzdění letounu pomocí brzd hlavního podvozku, nebo dojde k asymetrickému brzdění letounu.

Posádka musí k brzdění letounu na zemi použít jiné brzdící prostředky (vztlakové klapky). Důsledkem poruchy v systému brzd dojde k výraznému prodloužení délky dojezdu. Prodloužení délky dojezdu nebude pokryto ani bezpečnostními koeficienty požadovanými pro stanovení potřebné délky vzletu dle provozního předpisu JAR-OPS 1.530, což může vést až k destrukci letounu a smrtelným zraněním, resp. ztrátám na životech posádky a cestujících.

Hodnocení důsledků poruchového stavu: KATASTROFICKÉ - CATATROPHIC (CAT)

- Nevysunutí celého a nebo části podvozku hlavním ani nouzovým okruhem

Podvozek nelze vysunout. Dochází k velkému snížení bezpečnostních rezerv letounu a nadměrnému pracovnímu zatížení posádky. Letoun přistává „na břicho“. Možné vážné nebo smrtelné zranění jednoho cestujícího.

Hodnocení důsledků poruchového stavu: NEBEZPEČNÉ - HAZARDOUS (HAZ)

- Ztráta tlaku v hlavním i nouzovém okruhu vztlakových klapek

Nevysunutí nebo nezasunutí vztlakových klapek hlavním ani nouzovým okruhem. Letoun přistává bez vysunutých klapek. Díky vyšší přibližovací a dosedací rychlosti dojde k prodloužení délky přistání, což může vést k přejetí přistávací dráhy, možné destrukci letounu vážnému nebo smrtelnému zranění jednoho cestujícího.

Hodnocení důsledků poruchového stavu: NEBEZPEČNÉ - HAZARDOUS (HAZ)

- Ztráta tlaku v okruhu řízení příďového kola.

Nelze řídit příďové kolo podvozku. Letoun nejde ovládat nožním ani ručním řízením, ale lze jej druhotně ovládat diferencovaným brzděním L a P kola hlavního podvozku.

Hodnocení důsledků poruchového stavu: NEZÁVAŽNÉ - MINOR (MIN)

- Chybná indikace tlaku v hydraulické soustavě

Nesprávná indikace tlaku v hlavním akumulátoru vede ke zbytečnému běhu agregátu, ale ten nevytvoří takový tlak, který by vedl ke ztrátě integrity hlavního okruhu. Chybná indikace tlaku v nouzovém může vést ke zbytečné změně letového plánu. Ani v jednom případě nedojde k přímému ohrožení letounu.

Hodnocení důsledků poruchového stavu: NEZÁVAŽNÉ - MINOR (MIN)

7.5 Specifické předpoklady

Všechny poruchy, které vedou pouze ke zhoršení funkce hydraulického systému, ale nezpůsobí fatální selhání této funkce, nejsou v blokových modelech uvažovány. Příkladem může být zaseknutí šoupátka přepouštěcího ventilu v otevřené poloze, které zapříčiní pomalé vysouvání podvozku, ale nevede k jeho nevysunutí. Zrovna tak drobné netěsnosti mohou vést ke zpomalení provedení některých funkcí, popř. k častějšímu běhu hydroagregátu.

Poruchy, u kterých se předpokládá jejich identifikace v předletové přípravě, resp. při startu a vedly by k bezpečnému přerušení vzletu, nejsou zpravidla modelovány. Příkladem je opět zaseknutí šoupátka přepouštěcího ventilu, tentokrát ale v zavřené poloze.

Poruchy typu zadření nebo „zatuhnutí“ součástek v nežádoucí poloze připadají v úvahu v podstatě jen při dlouhodobém neprovozování letounu bez řádného důkladného odzkoušení všech systémů v souladu s předpoklady dokumentací. Proto nejsou tyto typy poruchy v průběhu letu v modelu explicitně uvažovány, jsou ale někdy zahrnuty do souhrnných nebo nespecifikovaných poruch komponent.

K poruchám typu ucpání filtrů může dojít pouze hrubou technologickou nekázní a provozováním v rozporu s odpovídajícími příručkami k provozu a údržbě letounu. Proto nejsou do analýz zahrnuty.

V některých případech není porucha komponenty diagnostikována přímo, ale předpokládá se, že mechanismus poruchy je takový, že bude docházet k postupné degradaci, kterou musí posádka zaznamenat při předchozích letech (bez toho, že dojde ke kritickému projevu s ohledem na bezpečnost letu) a zaznamená ho do letového deníku a následně je provedena údržba. Příkladem mohou být netěsnosti, které povedou k nezvykle frekventovanému spouštění hydraulického agregátu nebo přidírání válců.

7.6 Tabulka vstupních dat

V tabulce vstupních dat jsou uvedeny hodnoty intenzit poruch a komentáře, které byly vyhledány v komerčních databázích. Další hodnoty a vysvětlení je uvedeno v příloze 3.

Uvedené hodnoty jsou dále použity v odstavci 8.

Tab. 7.1: Intenzity poruch použitých přístrojů a součástí

No.	Přístroj / Poruchový mód Component / Failure mode	Počet dílů	Intenzita poruch λ (h^{-1})	Zdroj	Poznámka
1	Nádržka hydraulické kapaliny Tank Hydraulic Reservoir	1	$1{,}03 \cdot 10^{-5}$	NPRD-95C	AUT*, Commercial, NPRD-098 (failure rate); NPRD-3 (failure distribution)
	Únik - Leaking Prasklá/Zlomená/Cracked/Fractured Protržená/Roztržená Burst/Ruptured ProraženáCut/Scarred/Punctured Chybná funkce/False Operation Neznámá příčina/Unknown		$6{,}63 \cdot 10^{-6}$ $7{,}97 \cdot 10^{-7}$ $2{,}69 \cdot 10^{-7}$ $2{,}69 \cdot 10^{-7}$ $2{,}69 \cdot 10^{-7}$ $2{,}12 \cdot 10^{-6}$	FMD-97	
2	Hydraulické čerpadlo, poháněno elektrickým motorem Pump Hydraulic, Electric Motor Driven	1	$1{,}21 \cdot 10^{-4}$	NPRD-95C	A*, Souhrn porovnán s daty SRC SPIDR *(Pump, Hydraulic, With Drive, Engine Driven, A*,* Commercial, $1{,}46.10^{-4}$)
	Porucha za běhu -Fails to Run Porucha při nabíhání - Fails to Start		$6{,}66 \cdot 10^{-5}$ $5{,}44 \cdot 10^{-5}$	Component Failure Data Handbook; Gentillon,C. D.	
3	Válec, Actuator (Hydraulic)	7	$9{,}41 \cdot 10^{-5}$	NPRD-95C	*NPRD-95C: Actuator Hydraulic Linear*, AUC*, Commercial (failure rate); Data porovnány s databází SRC SPIDR *(Actuator, Hydraulic, Linear, A*,* Commercial, $7{,}72.10^{-5}$) *FMD-97: Actuator*, *Piston, Cylinder* (failure modes) Data porovnány s databází SRC SPIDR (*Cylinder*)
	Únik – (porušené těsnění) Leaking (seal failure) Porucha spoje těla a hlavové části válce - Body/Head Joint Failure Porucha pístnice - Piston Rod Failure Porucha těla válce - Cylinder Body Failure Neznámá příčina - Unknown		$6{,}76 \cdot 10^{-5}$ $9{,}69 \cdot 10^{-6}$ $4{,}80 \cdot 10^{-6}$ $2{,}45 \cdot 10^{-6}$ $9{,}60 \cdot 10^{-6}$	FMD-97	
4	Hydraulický akumulátor, Hydraulic Accumulator	2	$4{,}3 \cdot 10^{-5}$	NPRD-95C	*SRC SPIDR: Accumulator Hydraulic, AU*,* Commercial Data porovnány s databází Compared with data from ref. [19]
	Únik - Leaking Prasklý/Zlomený/Cracked/Fractured Bez funkce - No Operation Trhlina - Breach Bez specifikace - Out of Specification Prvek ucpán - Stuck Closed Neznámá příčina - Unknown		$2{,}87 \cdot 10^{-5}$ $2{,}63 \cdot 10^{-6}$ $2{,}63 \cdot 10^{-6}$ $1{,}29 \cdot 10^{-6}$ $1{,}29 \cdot 10^{-6}$ $1{,}29 \cdot 10^{-6}$ $5{,}2 \cdot 10^{-6}$	FMD-97	
5	Elektro-mag. Rozvaděč, Electro-magnetic Valve	2	$8{,}58 \cdot 10^{-5}$	SRC SPIDR	*Valve, Hydraulic, Solenoid*, A*, více v příloze 3. Data porovnány s NPRD-95C *(Valve, Hydraulic, Electronic Activated, A*,* Military, NPRD-082, <$1{,}43.10^{-4}$) Poruchové módy - FMD-97, *Valve, Hydraulic* (nejbližší dostupná aplikace).
	Nestabilní funkce - Unstable operation Únik - Leaking Nesprávná funkce vstup//bez zpřesnění Improper flow/Out of spec. Zadřený - Stuck		$4{,}29 \cdot 10^{-5}$ $1{,}72 \cdot 10^{-5}$ $8{,}58 \cdot 10^{-6}$ $1{,}72 \cdot 10^{-5}$	FMD-97	

No.	Přístroj / Poruchový mód Component / Failure mode	Počet dílů	Intenzita poruch λ (h^{-1})	Zdroj	Poznámka
6	Ovládací ventil Hydraulic Limiter Valve	1	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$	NPRD-95C	Valve, Hydraulic Restrictor, Hughes Aircraft Copany Poruchové módy - FMD-97, Valve, Hydraulic (nejbližší dostupná aplikace).
	Nestabilní funkce - Unstable operation Únik - Leaking Nesprávná funkce vstup//bez zpřesnění Improper flow/Out of spec. Zadřený - Stuck		$1{,}0 \cdot 10^{-5}$ $4{,}0 \cdot 10^{-6}$ $2{,}0 \cdot 10^{-6}$ $4{,}0 \cdot 10^{-5}$	FMD-97	
7	Zpětný ventil, Return Valve	5	$7{,}37 \cdot 10^{-6}$	NPRD-95C	Valve, Hydraulic Check, A*, Military Poruchové módy - FMD-97, Valve, Hydraulic, Check
	Únik - Leaking Zadřený - Stuck Nesprávná fce - Improper Flow Přerušovaná funkce - Intermittent Operation Bez specifikace - Out of Specification		$5{,}96 \cdot 10^{-6}$ $5{,}38 \cdot 10^{-7}$ $2{,}06 \cdot 10^{-7}$ $1{,}62 \cdot 10^{-7}$ $1{,}25 \cdot 10^{-7}$	FMD-97	
8	Pojistný ventil Relief Valve	3	$3{,}55 \cdot 10^{-5}$	SRC SPIDR	Valve, Relief, Hydraulic Porovnáno s daty NPRD-95C (Valve Hydraulic Relief, AT*, Commercial, NPRD-093, $1{,}46.10^{-5}$) Poruchové módy - FMD-97, Valve, Hydraulic, Relief.
	Únik - Leaking Neznámá příčina -Unknown		$2{,}58 \cdot 10^{-5}$ $9{,}69 \cdot 10^{-6}$	FMD-97	
9	By-Pass Valve	1	4,3·10-5	NPRD-95C	Valve, Hydraulic, By-Pass (Summary) Data porovnána s daty SRC SPIDR (Valve Bypass, Hydraulic) Poruchové módy - FMD-97, Valve, Hydraulic (nejbližší dostupná aplikace).
	Nestabilní funkce - Unstable operation Únik - Leaking Nesprávná funkce vstup//bez zpřesnění Improper flow/Out of spec. Zadřený - Stuck		$1{,}32 \cdot 10^{-5}$ $5{,}86 \cdot 10^{-6}$ $1{,}47 \cdot 10^{-6}$ $5{,}86 \cdot 10^{-6}$	FMD-97	
10	„selektor“ Change-Over Valve	2	$8{,}79 \cdot 10^{-5}$	SRC SPIDR	Regulator, Pressure, Commercial, Data porovnány s daty NPRD-95C (Regulator, Hydraulic, Pressure, A*, NPRD-090, $7{,}79.10^{-5}$) Poruchové módy - FMD-97, Valve, Hydraulic (nejbližší dostupná aplikace).
	Nestabilní provoz -Unstable operation Únik - Leaking Nesprávná funkce vstup/bez zpřesnění - Improper flow/Out of spec. Zadřený - Stuck		$3{,}96 \cdot 10^{-5}$ $1{,}76 \cdot 10^{-5}$ $4{,}39 \cdot 10^{-6}$ $1{,}76 \cdot 10^{-5}$	FMD-97	

No.	Přístroj / Poruchový mód Component / Failure mode	Počet dílů	Intenzita poruch λ (h^{-1})	Zdroj	Poznámka
11	Disproportional Valve	2	$1{,}96\cdot10^{-5}$	SRC SPIDR	Valve, Shut-Off, Hydraulic Poruchové módy z FMD-97, Valve, Hydraulic (nejbližší dostupná aplikace).
	Nestabilní provoz -Unstable operation Únik - Leaking Nesprávná funkce vstup/bez zpřesnění - Improper flow/Out of spec. Zadřený - Stuck		$8{,}82\cdot10^{-6}$ $3{,}92\cdot10^{-6}$ $9{,}80\cdot10^{-7}$ $3{,}92\cdot10^{-6}$	FMD-97	
12	Proportional Valve	4	$8{,}58\cdot10^{-5}$	SRC SPIDR	Valve, Hydraulic, Solenoid Poruchové módy z FMD-97, Valve, Hydraulic (nejbližší dostupná aplikace).
	Nestabilní provoz -Unstable operation Únik - Leaking Nesprávná funkce vstup/bez zpřesnění - Improper flow/Out of spec. Zadřený - Stuck		$3{,}86\cdot10^{-5}$ $1{,}72\cdot10^{-5}$ $4{,}29\cdot10^{-6}$ $1{,}72\cdot10^{-5}$	FMD-97	
13	Rozvaděč - Distribution Valve	5	$1{,}18\cdot10^{-4}$	SRC SPIDR	Valve, Control, Hydraulic, A*, podrobnosti jsou uvedeny v příloze 3 Data porovnány s NPRD-95C (Valve Hydraulic Control, AT*, Commercial, NPRD-090, 1,62.10-4) Poruchové módy z FMD-97, Valve, Hydraulic (nejbližší dostupná aplikace).
	Nestabilní provoz -Unstable operation Únik - Leaking Nesprávná funkce vstup/bez zpřesnění - Improper flow/Out of spec. Zadřený - Stuck		$5{,}9\cdot10^{-5}$ $2{,}36\cdot10^{-5}$ $1{,}18\cdot10^{-5}$ $2{,}36\cdot10^{-5}$	FMD-97	
14	Tlakový spínač - Pressure Switch	3	$8{,}58\cdot10^{-5}$	SRC SPIDR	Switch, Pressure, Hydraulic, see Appendix B for more details Data porovnány s NPRD-95C (Switch, Pressure, Hydraulic, ARW*, Military, NPRD-062, $8{,}99.10^{-5}$) Poruchové módy z FMD-97, Switch, Pressure (Summary).
	Degraded Operation Spurious/False Operation Loss of Control Mechanická porucha Intermittent Operation Shorted		$2{,}33\cdot10^{-5}$ $1{,}94\cdot10^{-5}$ $1{,}48\cdot10^{-5}$ $1{,}11\cdot10^{-5}$ $1{,}05\cdot10^{-5}$ $6{,}78\cdot10^{-6}$	FMD-97	
15	Hydr. filtr -Hydraulic Filter	3	$6{,}47\cdot10^{-5}$	NPRD-95C	Mechanical Filter, Hydraulic, AUT, Commercial, NPRD-090 Data porovnány s SRC SPIDR (Filter Assembly – Mechanical, Hydraulic, AUF*, $7{,}8.10^{-5}$) Poruchové módy z FMD-97, Mechanical Filter, Hydraulic, Fuel (nejbližší dostupná aplikace).
	Únik - Leaking, Fractured, Broken Out of spec./Improper Flow		$1{,}46\cdot10^{-5}$ $5{,}01\cdot10^{-5}$	FMD-97	

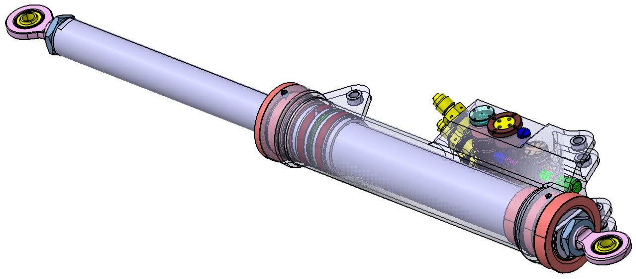
Číslo	Přístroj / Poruchový mód Component / Failure mode	Počet dílů	Intenzita poruch λ (h^{-1})	Zdroj	Poznámka
16	Manometer	2	$1 \cdot 10^{-4}$	NPRD-95C	Gauge Pressure, AIT*, Commercial, NPRD-096
	Drift Binding/Sticking Leaking/Opened/Shorted Nestabilní funkce/Unstable Operation		$4{,}09 \cdot 10^{-5}$ $2{,}73 \cdot 10^{-5}$ $2{,}73 \cdot 10^{-5}$ $4{,}5 \cdot 10^{-6}$	FMD-97	
17	Teplotní čidlo -Sensor Temperature	1	$1{,}78 \cdot 10^{-5}$	NPRD-95C	AU*, neznámý, Zdroj: 27009-000
	Degraded Output Zero or Maximum Output No Output Function without Signal Change in Resistance Shorted Unknown		$7{,}42 \cdot 10^{-6}$ $6{,}58 \cdot 10^{-6}$ $1{,}16 \cdot 10^{-6}$ $9{,}96 \cdot 10^{-7}$ $1{,}6 \cdot 10^{-7}$ $1{,}6 \cdot 10^{-7}$ $1{,}32 \cdot 10^{-6}$	FMD-97	
18	Indicator Temperature	1	$1{,}03 \cdot 10^{-4}$	NPRD-95C	A*, Source: 14182-001
19	Hoses, Tubes, Pipes	~ 167	$1{,}76 \cdot 10^{-6}$	NPRD-95C	Hose Hydraulic Flexible; DOR, Military, Source: NPRD-114
	Leakage Stuck		$1{,}76 \cdot 10^{-6}$ No values available	FMD-97	
20	Spojení trubek - Pipe Connections	~ 50	$3{,}9 \cdot 10^{-6}$	NPRD-95C	Fitting Hydraulic; ARW*, Unknown, Source: 14182-001
	Leakage, Broken Ucpání - Stuck		$3{,}9 \cdot 10^{-6}$ No values available	FMD-97	
21	Plnicí ventil, Supply Valve	2	$7{,}37 \cdot 10^{-6}$	NPRD-95C	Valve, Hydraulic Check, A*, Military Poruchové módy z FMD-97, Valve, Hydraulic, Check
	Únik - Leaking Zadřený - Stuck Improper Flow Intermittent Operation Bez specifikace - Out of Specification		$5{,}96 \cdot 10^{-6}$ $5{,}38 \cdot 10^{-7}$ $2{,}06 \cdot 10^{-7}$ $1{,}62 \cdot 10^{-7}$ $1{,}25 \cdot 10^{-7}$	FMD-97	

7.7 FMEA

Na konkrétní hydraulické soustavě malého dopravního letounu je v tabulce 7.3 provedena analýza způsobů a důsledků poruch. Jedná se o soustavu ovládání, vysouvání a zasouvání hlavního a příďového podvozku, schéma je uvedeno v příloze 2. Pro účely disertační práce, nebyla analyzována celá soustava, ale její část s ohledem na rozsah a pracnost vypracování této analýzy. FMEA analýza se používá k identifikaci důsledků poruch samostatných prvků. Je tak prokazována shoda s požadavkem předpisu, aby „nevznikl katastrofický poruchový stav v důsledku selhání jednoho prvku". Dále prokazuje, že u žádného prvku nepřevýší pravděpodobnost nastoupení jednotlivých poruchových stavů povolené max. hodnoty pravděpodobností.

V kapitole 5.3 jsou uvedeny specifické předpoklady, ty se uplatňují i při této analýze.

Při tvorbě analýzy FMEA je nutné být dobře seznámen s vlastní konstrukcí jednotlivých součástí.



Obr. 7.1: Hydraulický válec ovládání vztlakových klapek

Definice letových fází a doby:

kód letové fáze	typická délka letové fáze		popis
	min	hod	
TAOU	4	0,07	Taxi Out / pojíždění před vzletem
TOFF	0,25	0,04	Take OFF to 50 ft / vzlet do 50 ft
CL1	0,6	0,01	Climb to 400 ft / stoupání do 400 ft
DS2	15	0,25	Descent to 200 ft / klesání na 200 ft
DS3	0,25	0,005	Descent to 50 ft / klesání na 50 ft
LNDG	0,25	0,005	Landing / přistání
TAIN	4	0,07	Taxi In / pojíždění po přistání
ALL	60	1	All phases / všechny fáze letu
-	< 1	-	pohyb klapek
-	< 1	-	brzdění

Tab. 7.2

FMEA - Hlavní hydraulický okruh

označení a název prvku	popis funkce	způsob poruchy	příčina poruchy	důsledek poruchy	způsob zjištění poruchy	fáze letu	hodnocení důsledků poruchy na letoun	doporučení pro posádku	poznámky
agregát hydraulický LUN 6593 (A01) - Jihostroj	dodává tlakovou kapalinu do systému	nedodává kapalinu	porucha elektromotoru	nedoplní se akumulátory, ztráta tlaku v systému	signalizace na přístrojovém panelu	ALL	MAJ		
			zadření čerpadla						
			porucha elektroniky						
			přerušení vodičů						
			ucpaný vnitřní filtr						
			porucha ventilu						
			nedostatek kapaliny v nádrži						
			překročení mezní teploty v elektronice i hydraulice						
			výpadek napájení						
		snížení dodávky	snížená účinnost čerpadla	prodloužení doby plnění akumulátorů a doby funkcí	předletová kontrola	ALL	MIN		
			zanesený filtr						
			sednutí pružiny ventilu						
		nedostatečný tlak kapaliny	snížená účinnost čerpadla	nestačí pokrýt požadavky systému na tlakovou kapalinu, nedoplní se akumulátory a neprovedou se funkce	signalizace na přístrojovém panelu	na zemi	MIN		
			sednutí pružiny ventilu			za letu	MAJ	funkce provést nouzově	
			zanesený filtr						

označení a název prvku	popis funkce	způsob poruchy	příčina poruchy	důsledek poruchy	způsob zjištění poruchy	fáze letu	hodnocení důsledků poruchy na letoun	doporučení pro posádku	poznámky
		netěsnost vnější (vnitřní)	vadné těsnění	únik kapaliny, snížená funkčnost	předletová kontrola	ALL	MIN		
agregát hydraulický LUN 6593 (A01) – Jihostroj (pokr.)	dodává tlakovou kapalinu do systému	nedostatek kapaliny a chyba signalizace	porucha spínače hladiny	žádná informace pilotovi	skrytá závada	ALL	MAJ	kontrola snímače min. výšky hladiny kapaliny v nádrži při PP	souběh 2 poruch
		dostatek kapaliny, chyba signalizace	porucha spínače hladiny	žádná informace pilotovi	skrytá závada	ALL	MAJ	vizuální kontrola výšky hladiny kapaliny	
		překročení teploty v nádrži, chyba signalizace	porucha termostatu	žádná informace pilotovi	skrytá závada	ALL	MAJ		souběh 2 poruch
		teplota v nádrži ok, chyba signalizace	porucha termostatu	žádná informace pilotovi	skrytá závada	ALL	MAJ		
zpětný ventil LUN 8037 (A08)	slouží k zabránění zpětného toku ve výtlaku v hlavní větvi	vnitřní netěsnost	poškozené sedlo kuličky	snížení tlaku v hlav. akumulátoru	signalizace na přístrojovém panelu	ALL	MIN	funkce provést nouzově	
			prasklá pružina	snížení tlaku v hlav. akumulátoru	signalizace na přístrojovém panelu	ALL	MIN		
		vnější netěsnost	prasklé těleso levé nebo pravé	únik kapaliny v hlav. okruhu	předletová kontrola	ALL	MIN		
filtr vysokotlaký (A02)	systémový filtr, odstraňuje pevné nečistoty z kapaliny	zvýšená tlaková ztráta filtru	zanesený filtr	prodlouží se doba plnění funkcí	předletová kontrola	ALL	MIN		
		prasknutí vložky	vadná vložka	únik nečistot do systému	předepsaná údržba	ALL	MIN		nebezpečí zadření šoupátka u některého z přístrojů v okruhu
		vnější netěsnost	vadné těsnění	únik kapaliny, snížená funkčnost	předletová kontrola	ALL	MIN		

označení a název prvku	popis funkce	způsob poruchy	příčina poruchy	důsledek poruchy	způsob zjištění poruchy	fáze letu	hodnocení důsledků poruchy na letoun	doporučení pro posádku	poznámky
plnící přípojka tlaková	slouží k plnění hydraulické soustavy	vnější netěsnost	prasklé těleso	únik kapaliny, nefunkčnost hlav. okruhu	předletová kontrola	na zemi	MIN	použít nouzový okruh	
			poškození sedla kuličky v tělese	únik kapaliny, nefunkčnost hlav. okruhu	předletová kontrola	na zemi	MIN	použít nouzový okruh	
akumulátor hlavní LUN 6960 (A03)	slouží jako zásobník tlakové kapaliny pro hlavní okruh	vnitřní netěsnost	poškození vaku nebo rozrušení sítka nebo matice	zvýšené nároky na doplňování, nefunkčnost	předletová kontrola, signalizace	DS2, DS3, LNDG, TOFF, CL1	MIN	použít nouzový okruh	indikace od snímače výšky min. hladiny kapaliny
		porucha plnícího ventilu	netěsnost pln. ventilu nebo poškoz. těsnění	ztráta tlaku dusíku v akumulátoru	signalizace na přístroj. panelu, předlet. kontrola	DS2, DS3, LNDG, TOFF, CL1	MIN	použít nouzový okruh	indikace od snímače výšky min. hladiny kapaliny
		vnější netěsnost	rozrušení závěrného šroubu nebo tělesa nebo matice	únik kapaliny v hlav. okruhu, nefunkčnost	signalizace na přístroj. panelu, předlet. kontrola	DS2, DS3, LNDG, TOFF, CL1	MIN	použít nouzový okruh	

<table>
<tr><th>označení a název prvku</th><th>popis funkce</th><th>způsob poruchy</th><th>příčina poruchy</th><th>důsledek poruchy</th><th>způsob zjištění poruchy</th><th>fáze letu</th><th>hodnocení důsledků poruchy na letoun</th><th>doporučení pro posádku</th><th>poznámky</th></tr>
<tr><td rowspan="8">válec příďového podvozku LUN 7121 (F03)</td><td rowspan="8">zajišťuje zasunutí a vysunutí příďového podvozku a jeho zajištění v krajních polohách</td><td>ztráta pohyblivosti mechanicky-nevysunuto</td><td>zadření plov.pístu 5 ve válci nebo pístnice v ucpávce nebo plov. pístu 5 na čepu 7 nebo pístu ve válci</td><td>nedojde k vysunutí nohy příďového podvozku</td><td>signalizace na přístrojovém panelu</td><td>DS2, DS3, LNDG</td><td>HAZ</td><td>přistát nouzově se zataženým podvozkem</td><td>co nejvíce prodloužit fázi výdrže při přistání, nebrzdit</td></tr>
<tr><td>ztráta pohyblivosti mechanicky-nezasunuto</td><td>zadření plov. pístu 6 na pístnici nebo ve válci nebo rozrušení závitu šroubu - 81nebo čepu 7</td><td>nedojde k zasunutí nohy příďového podvozku</td><td>signalizace na přístrojovém panelu</td><td>TOFF, CL1</td><td>MIN</td><td>nechat vysunutý podvozek a návrat na letiště</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">ztráta pohyblivosti mechanicky-ztráta el. řízení</td><td rowspan="2">závada říd. mikrospínače nebo porušení vodičů</td><td>nedojde k zasunutí nohy příďového podvozku</td><td>signalizace na přístrojovém panelu</td><td>TOFF, CL1</td><td>MIN</td><td>nechat vysunutý podvozek a návrat na letiště</td><td></td></tr>
<tr><td>nedojde k vysunutí nohy příďového podvozku</td><td>signalizace na přístrojovém panelu</td><td>DS2, DS3,LNDG</td><td>MIN</td><td>vysunout podvozek nouzově případně opakovaným násobkem</td><td></td></tr>
<tr><td>ztráta signalizace zamknutí v poloze přistání</td><td>závada kompletu mikrospínače signalizace vysunuto</td><td>nedojde k bezpečnému zamčení nohy příď. podvozku</td><td>signalizace na přístrojovém panelu</td><td>DS2, DS3,LNDG</td><td>MAJ</td><td>vysunout podvozek nouzově případně opakovaným násobkem</td><td></td></tr>
<tr><td>ztráta signalizace zamknutí v poloze let</td><td>závada kompletu mikrospínače signalizace zasunuto</td><td>nedojde k bezpečnému zamčení nohy příď. podvozku</td><td>signalizace na přístrojovém panelu</td><td>TOFF, CL1</td><td>MIN</td><td>podvozek zkusit znovu vysunout a zasunout</td><td></td></tr>
<tr><td>ztráta pohyblivosti hydraulicky,nelze vysunout</td><td>zadření mechanického zámku zasunuté polohy</td><td>nedojde k vysunutí nohy příď. podvozku</td><td>signalizace na přístrojovém panelu</td><td>DS2, DS3,LNDG</td><td>HAZ</td><td>zkusit nouzově vysunout podvozek, při nezdaru zasunout, přistát na břicho</td><td></td></tr>
<tr style="display:none"></tr>
<tr><td>válec příďového podvozku LUN 7121 (F03)-pokr.</td><td>zajišťuje zasunutí a</td><td>ztráta pohyblivosti hydraulicky,nelze zasunout</td><td>zadření mechanického zámku vysunuté polohy</td><td>nedojde k zasunutí nohy příď. podvozku</td><td>signalizace na přístrojovém panelu</td><td>TOFF, CL1</td><td>MIN</td><td>nechat vysunutý podvozek a návrat na letiště</td><td></td></tr>
</table>

označení a název prvku	popis funkce	způsob poruchy	příčina poruchy	důsledek poruchy	způsob zjištění poruchy	fáze letu	hodnocení důsledků poruchy na letoun	doporučení pro posádku	poznámky
válec příďového podvozku LUN 7121 (F03)-pokr.	vysunutí příďového podvozku a jeho zajištění v krajních polohách Zajišťuje zasunutí a vysunutí příďového podvozku a jeho zajištění v krajních polohách	ztráta kapaliny (vnější netěsnost)	upadnutí bloku signalizace nebo hydrauliky, prasklá trubka, prasklý válec nebo těs. kroužek 86	nedojde k vysunutí nebo zasunutí nohy příď. podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	ALL	MIN nebo HAZ	vysunout podvozek nouzově nebo přistát nouzově se zataženým podvozkem	MIN pro případ možnosti nouzového vysunutí podvozku, HAZ pro přistání se zataženým podvozkem
		píst nezamkne v poloze přistání	zadření zámku nebo prasknutí pružiny 67 nebo zadření čípku 37 nebo dorazu 31	nedojde k aretaci vysunuté nohy příď. podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	DS2, DS3, LNDG	MAJ		co nejvíce prodloužit fázi výdrže při přistání, nebrzdit
		píst nezamkne v poloze let	zadření zámku nebo prasknutí pružiny 66	nedojde k aretaci zasunuté nohy příď. podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1	MIN	nechat vysunutý podvozek	
		ztráta nouzové funkce	ztráta přepouštění nebo nepřepne šoupátko 42 nebo teče zpětný ventil	nedojde k úplnému vysunutí a aretaci v krajní poloze	signalizace na přístrojovém panelu	DS2, DS3, LNDG	HAZ	přistát nouzově se zataženým podvozkem	co nejvíce prodloužit fázi výdrže při přistání, nebrzdit
		ztráta mechanické vazby přístroje	rozrušení pístu nebo ucpávky nebo vidlice nebo válce nebo oka nebo ložiska	podvozkovou nohu nelze ovládat	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1, DS2, DS3, LNDG	HAZ	přistát nouzově se zataženým podvozkem	co nejvíce prodloužit fázi výdrže při přistání, nebrzdit

označení a název prvku	popis funkce	způsob poruchy	příčina poruchy	důsledek poruchy	způsob zjištění poruchy	fáze letu	hodnocení důsledků poruchy na letoun	doporučení pro posádku	poznámky
válec příďového podvozku LUN 7121 (F03)-pokr.	Zajišťuje zasunutí a vysunutí příďového podvozku a jeho zajištění v krajních polohách	zablokování pístnice	ucpání tlumivky, prasknutí pružiny 86	ztráta možnosti ovládat směr pojezdu příďovým kolem	ztráta ovládání	TAOU, TOFF, LNDG, TAIN	MIN	ovládat směr směrovým kormidlem nebo diferencovaným brzděním	
		ztráta mechanické vazby přístroje	rozrušení vidlice 104, oka, ucpávek, pístnice, čepu, ložiska						
		ztráta pohyblivosti zadřením	zadření pístnice	ztráta možnosti ovládat směr pojezdu příďovým kolem	ztráta ovládání	TAOU, TOFF, LNDG, TAIN	MIN	ovládat směr směrovým kormidlem nebo diferencovaným brzděním	
		samovolný pohyb pístnice	prasknutí pružin 95, 106, zadření šoupátka 103, uvolnění zátky 108 nebo pouzdra 110	ztráta možnosti ovládat směr pojezdu příďovým kolem	ztráta ovládání	TAOU, TOFF, LNDG, TAIN	MIN	ovládat směr směrovým kormidlem nebo diferencovaným brzděním	
		ztráta kapaliny (vnější netěsnost)	rozrušení spoj. matic, uvolnění zátky 5 nebo šroubu poz.112, prasklé těleso	ztráta kapaliny, snížená funkčnost	předletová kontrola	ALL	MIN		
plnící přípojka sací	slouží k plnění hydraulické soustavy	vnější netěsnost	prasklé těleso	únik kapaliny, nedostatek kapaliny v nádrži	předletová kontrola	na zemi	MIN	použít nouzový okruh	
			poškození sedla kuličky v tělese	únik kapaliny, nedostatek kapaliny v nádrži	předletová kontrola	na zemi	MIN	použít nouzový okruh	

označení a název prvku	popis funkce	způsob poruchy	příčina poruchy	důsledek poruchy	způsob zjištění poruchy	fáze letu	hodnocení důsledků poruchy na letoun	doporučení pro posádku	poznámky
rozvaděč elektro-hydraulický (G02)	ovládání řízení příďového podvozku	ventil se neotevře	zadření pístu	ztráta možnosti ovládat směr pojezdu příďovým kolem	ztráta ovládání	TAOU, TOFF, LNDG, TAIN	MIN	ovládat směr směrovým kormidlem nebo diferencovaným brzděním	
			zadření jádra magnetu						
			přerušení vodičů						
			zablokování kuličky na prvním stupni						
			ulomení jehly						
		ventil se nezavře	zadření pístu	ztráta možnosti odpojit přívod tlakové kapaliny	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF	MIN		v důsledku přirozené vnitřní netěsnosti válce řízení příď. podvozku bude agregát ve funkci častěji
			zadření jádra magnetu						
			zablokování kuličky na prvním stupni						
			ucpání lokálního filtru						
		samovolné zavření ventilu	přerušení vodičů	ztráta možnosti ovládat směr pojezdu příďovým kolem	ztráta ovládání	TAOU, TOFF, LNDG, TAIN	MIN	ovládat směr směrovým kormidlem nebo diferencovaným brzděním	
rozvaděč elektro-hydraulický (G02) (pokr.)	ovládání řízení příďového podvozku (pokr.)		výpadek proudu						
		netěsnost	vadné těsnění	únik kapaliny, snížená funkčnost	předletová kontrola	ALL	MIN	ovládat směr směrovým kormidlem nebo diferencovaným brzděním	
			nečistota						
			ulomení jehly						
zpětný ventil LUN 8037 (G03)	zamezuje zpětnému toku mezi odpadní větví a servořízením	vnitřní netěsnost	poškozené sedlo kuličky	neklasifikováno	neklasifikováno	ALL	MIN		
			prasklá pružina	neklasifikováno	neklasifikováno	ALL	MIN		
		únik kapaliny (vnější netěsnost)	prasknutí tělesa levého nebo pravého	ztráta možnosti ovládat směr pojezdu příďovým kolem	ztráta ovládání	TAOU, TOFF, LNDG, TAIN	MIN	ovládat směr směrovým kormidlem nebo diferencovaným brzděním	

označení a název prvku	popis funkce	způsob poruchy	příčina poruchy	důsledek poruchy	způsob zjištění poruchy	fáze letu	hodnocení důsledků poruchy na letoun	doporučení pro posádku	poznámky
válec hlavního podvozku LUN 7120 (F01, F02)	zajišťuje zasunutí a vysunutí hlavního podvozku a jeho zajištění v krajních polohách	ztráta pohyblivosti mechanicky-nevysunuto	zadření plov.pístu 5 ve válci nebo pístnice v ucpávce nebo plov. pístu 5 na pístnici nebo pístu ve válci	nedojde k vysunutí jedné nohy hlavního podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	DS2, DS3, LNDG	HAZ	přistát nouzově se zataženým podvozkem	
		ztráta pohyblivosti mechanicky-vysunuto	zadření plov. pístu 6 na pístnici nebo ve válci nebo rozrušení závitu šroubu - 81nebo čepu 7	nedojde k zasunutí jedné nohy hlavního podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1	MIN	nechat vysunutý podvozek a návrat na letiště	
		ztráta pohyblivosti mechanicky ztráta el.řízení	závada říd. mikrospínače nebo porušení vodičů	nedojde k zasunutí nohy hlavního podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1	MIN	nechat vysunutý podvozek a návrat na letiště	
				nedojde k vysunutí nohy hlavního podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	DS2, DS3,LNDG	MIN	vysunout podvozek nouzově případně opakovaným násobkem	
		ztráta signalizace zamknutí v poloze přistání	závada kompletu mikrospínače signalizace vysunuto	nedojde k bezpečnému zamčení nohy podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	DS2, DS3,LNDG	HAZ	vysunout podvozek nouzově případně opakovaným násobkem	poruchový stav podvozku - úplná ztráta informace
		ztráta signalizace zamknutí v poloze let	závada kompletu mikrospínače signalizace zasunuto	nedojde k bezpečnému zamčení nohy podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1	MIN	podvozek zkusit znovu vysunout a zasunout	poruchový stav podvozku - úplná ztráta informací
		ztráta pohyblivosti, nelze vysunout	zadření mechanického zámku zasunuté polohy	nedojde k vysunutí nohy podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	DS2, DS3,LNDG	HAZ	přistát nouzově se zataženým podvozkem	
		ztráta pohyblivosti, nelze zasunout	zadření mechanického zámku vysunuté polohy	nedojde k zasunutí nohy podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1	MIN	nechat vysunutý podvozek a návrat na letiště	

označení a název prvku	popis funkce	způsob poruchy	příčina poruchy	důsledek poruchy	způsob zjištění poruchy	fáze letu	hodnocení důsledků poruchy na letoun	doporučení pro posádku	poznámky
válec hlavního podvozku LUN 7120 (F01, F02)-	zajišťuje zasunutí a vysunutí hlavního podvozku a jeho zajištění v krajních polohách	únik kapaliny (vnější netěsnost)	upadnutí bloku signalizace nebo hydrauliky, prasklá trubka, prasklý válec nebo těs. kroužek 86	nedojde k vysunutí nebo zasunutí nohy podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	ALL	MIN nebo HAZ	vysunout podvozek nouzově nebo přistát nouzově "na břicho"	MIN pro případ možnosti nouzového vysunutí podvozku
		píst nezamkne v poloze přistání	zadření zámku nebo prasknutí pružiny -67 nebo zadření čípku -37 nebo dorazu -31	nedojde k aretaci vysunuté nohy podvozku	signalizace na přístrojovém panelu, přidírání - mělo by být zaznamenáno v LD	DS2, DS3, LNDG	HAZ	přistát nouzově se zataženým podvoz-kem nebo skluzem s uzamčenou nohou vepředu	kontrola polohy podvozku z řídící věže nečistota kapaliny bude hodnocena pouze kvalitativně
		píst nezamkne v poloze let	zadření zámku nebo prasknutí pružiny -66	nedojde k aretaci zasunuté nohy podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1	MIN	nechat vysunutý podvozek	
		ztráta nouzové funkce	ztráta přepouštění nebo nepřepne šoupátko -42 nebo teče zpětný ventil	nedojde k úplnému vysunutí a aretaci v krajní poloze	signalizace na přístrojovém panelu, periodická kontrola	DS2, DS3, LNDG	HAZ (jen v případě sehání normálního okruhu)	přistát nouzově se zataženým podvozkem	
		ztráta mechanické vazby přístroje	porušení pístu nebo ucpávky nebo vidlice nebo válce nebo oka nebo ložiska	podvozkovou nohu nelze ovládat	signalizace na přístrojovém panelu, periodická diagnostika se neprovádí, jen v případě enormního zatížení při přistání defektoskopie	TOFF, CL1, DS2, DS3, LNDG	HAZ	přistát nouzově "na břicho"	důsledek poruchy podle vnějších okolností(např.stav VPD)

označení a název prvku	popis funkce	způsob poruchy	příčina poruchy	důsledek poruchy	způsob zjištění poruchy	fáze letu	hodnocení důsledků poruchy na letoun	doporučení pro posádku	poznámky
rozvaděč elektro- hydraulický (F04)	doplňování nouzového akumulátoru, vytažení podvozku, zatažení podvozku	ventil 1 se neotevře a rozvaděč se nepřestaví do polohy plnění akumulátoru a vysouvání podvozku	přidření pístku přidření jádra magnetu přerušení vodičů ulomení jehly zablokování kuličky na prvním stupni	nelze doplnit nouzový akumulátor, nelze vysunout podvozek	signalizace na přístrojovém panelu	DS2, DS3, LNDG	MIN	přerušit vzlet	
		ventil 2 se neotevře a rozvaděč se nepřestaví do polohy zasouvání podvozku	přidření pístku přidření jádra magnetu přerušení vodičů ulomení jehly zablokování kuličky na prvním stupni	nelze zasunout podvozek	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1	MIN	nechat vysunutý podvozek, vrátit se na letiště	nesplnění úkolu
		ventil 1 se nezavře a rozvaděč se nevrátí zpět do výchozí polohy	přidření pístku přidření jádra magnetu zablokování kuličky na prvním stupni ucpání lokálního filtru	nelze zasunout podvozek- rozvaděč zůstane v poloze vysouvání podvozku, válce podvozků zůstanou zatížené	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1	MIN	nechat vysunutý podvozek, vrátit se na letiště	nesplnění úkolu
		ventil 2 se nezavře a rozvaděč se nevrátí zpět do výchozí polohy	přidření pístku přidření jádra magnetu zablokování kuličky na prvním stupni ucpání lokálního filtru	nelze vysunout podvozek- rozvaděč zůstane v poloze zasouvání podvozku, válce podvozků zůstanou zatížené	signalizace na přístrojovém panelu	DS2, DS3, LNDG	MIN (jen pokud funguje nouzový okruh, jinak HAZ)	vysunout podvozek nouzově	
rozvaděč elektro- hydraulický (F04)-pokr.	doplňování nouzového akumulátoru,	ventil 1 se nezavře a současně dojde k	přidření pístku přidření jádra magnetu	podvozek zůstane viset v poloze-tlak bude působit	signalizace na přístrojovém panelu	DS2, DS3, LNDG, TOFF, CL1	MAJ	vysunout podvozek nouzově, popřípadě nechat vysunutý	

označení a název prvku	popis funkce	způsob poruchy	příčina poruchy	důsledek poruchy	způsob zjištění poruchy	fáze letu	hodnocení důsledků poruchy na letoun	doporučení pro posádku	poznámky
	vytažení podvozku, zatažení podvozku	otevření ventilu 2 rozvaděče (nebo naopak)	zablokování kuličky na prvním stupni	současně na obě strany pístu				podvozek	
			ucpání lokálního filtru						
		samovolné přestavení ventilu 1 rozvaděče z polohy otevřeno do výchozí polohy	porucha bloku elektroniky podvozků	nelze doplnit nouz. akum., podvozek zůstane část. vysunutý	signalizace na přístrojovém panelu	DS2, DS3	MIN	vysunout podvozek nouzově	
		samovolné přestavení ventilu 1 rozvaděče z polohy otevřeno do výchozí polohy	porucha bloku elektroniky podvozků	samovolné zasunutí podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	LNDG, TOFF	MAJ až HAZ		při vzletu před odpoutáním, při přistání při dosednutí
		samovolné přestavení ventilu 2 rozvaděče z polohy otevřeno do výchozí polohy	porucha bloku elektroniky podvozků	podvozek se nezasune zcela	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1	MAJ	vysunout podvozek a přistát	nesplnění úkolu
		netěsnost	vadné těsnění	únik kapaliny, snížená funkčnost	předletová kontrola	ALL	MIN		
			ulomení jehly						
			nečistota						
zpětný ventil LUN 8037 (F06)	zamezuje zpětnému toku mezi odpadní větví a rozvaděčem F04	vnitřní netěsnost	poškozené sedlo kuličky	možné zvýšení tlaku v hrdlech č.1 a 2 podvoz. válců	neklasifikováno	ALL	MIN		
			prasklá pružina						
		únik kapaliny (vnější netěsnost)	prasknutí tělesa levého nebo pravého	nedokončení vysouvání nebo zasouvání podvozku hlavním okruhem	signalizace na přístrojovém panelu	TAOU, TOFF, LNDG, TAIN	MIN nebo MAJ	vysunout nouzově	v případě nezasunutí podvozku nesplnění úkolu

označení a název prvku	popis funkce	způsob poruchy	příčina poruchy	důsledek poruchy	způsob zjištění poruchy	fáze letu	hodnocení důsledků poruchy na letoun	doporučení pro posádku	poznámky
hydraulický rozváděč LUN 8221 (F07)	umožní odtok zpětné kapaliny při nouzovém vys. podv. při zaseknutí rozvaděče F04 v poloze "podvozek zasunut" nebo v neutrálu	šoupátko nepřepne	zadření šoupátka ve výchozí poloze	podvozek se nouzově nevysune	signalizace na přístrojovém panelu	ALL	HAZ	přistát nouzově "na břicho"	pouze v kombinaci se zaseknutím rozvaděče F04 v poloze "podvozek zasunut" nebo v neutrálu, závisí na kvalitě údržby (čistotě kapaliny)
		šoupátko se nevrátí	zadření šoupátka v přesunuté poloze nebo prasklá pružina	ani po opravě F 04 nelze zasunout podvozek	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1	MIN	nechat vysunutý podvozek a návrat na letiště	nesplnění úkolu
		vnitřní netěsnost	poškozený těsnící kroužek 5	snížení rychlosti zatahování podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1	MIN		
		únik kapaliny (vnější netěsnost)	rozrušení tělesa nebo hrdla	nezasunutí podvozku nebo ztráta funkce nouz. vysouv. podvozku	signalizace na přístrojovém panelu, periodická kontrola	ALL	HAZ		
ruční ventil třícestný LUN 8006 (F05)	vpouští tlak do okruhu nouzového vysouvání podvozku	neotvírá do nouze	zadření šoupátka nebo uvolnění kolíku	nelze připojit nouzový okruh vysouvání podvozku	vizuálně	DS2, DS3, LNDG	HAZ (jen pokud nejde normální okruh)	přistát nouzově "na břicho"	
		nepouští do odpadu	zadření šoupátka nebo uvolnění kolíku	podvozky nelze zasunout	signalizace na přístrojovém panelu	TOFF, CL1	MIN		nesplnění úkolu
		netěsnost mezi nouzí a odpadem	poškození sedla v šoupátku nebo prasknutí pružiny	rychlé vybíjení nouz. akumulátoru, pomalé nouz. vysouvání podvozku	signalizace na přístrojovém panelu	DS2, DS3, LNDG	MIN	v případě fungujícího hlav. okruhu pokračovat v letu	
							MAJ	v případě nefungujícího hlav. okruhu nouzově vysunout a přistát	
		únik kapaliny (vnější netěsnost)	rozrušení zátky nebo tělesa nebo převl.matice	ztráta kapaliny, nefunkčnost nouz. okruhu	předletová kontrola	ALL	HAZ		

Tabulka 7.3: FMEA

Obr. 7.2, zdroj [27]

Z analýzy vyplývá:

Obecný závěr a výstup FMEA analýzy je potvrzení nebo vyvrácení předpokladu, že při selhání jednotlivého prvku nedochází k nástupu katastrofického poruchového stavu. Tak se prokazuje shoda s požadavkem, aby „nevznikl katastrofický poruchový stav v důsledku selhání jednoho prvku“. Analyzovaná podvozková soustava není hodnocena podle odstavce 4, str. 67, jako kritická. Bylo by nutné rozšíření analýzy o další soustavy, např. brzdová.

Shrnutí výsledků analýzy FMEA pak poskytuje podklady pro tvorbu plánů údržby založených na posouzení důležitosti jednotlivých prvků pro celý systém. Zpravidla není nutné provádět časté kontroly prvků, jejichž selhání je bez důsledků pro bezpečnost nebo má pouze nezávažné důsledky – to vede k úsporám provozních nákladů. Podvozková soustava patří mezi páteřní soustavy letounu, z tohoto důvodu byla i provedena analýza, a hodnocení bez důsledků se v tabulce nevyskytuje. Pak nelze uvedený přístup v tomto konkrétním případě použít.

7.8 Blokový diagram podvozkové soustavy

Pro určení spolehlivosti podvozkové soustavy byl vybrán výpočet pomocí blokových diagramů (RBD).

Pro neopravované systémy podle [6] platí:

Pravděpodobnost bezporuchového stavu sériového systému:

$$R_S = P(A_S) = P(A_1 \cap A_2 \cap \ldots\ldots\ldots\ldots \cap A_i \cap \ldots\ldots\ldots\ldots \cap A_N) = P\left(\bigcap_{i=1}^{i=N} A_i\right)$$

$$R_S = P(A_S) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot \ldots\ldots\ldots\ldots \cdot P(A_i) \cdot \ldots\ldots\ldots \cdot P(A_N) = \prod_{i=1}^{i=N} R_i$$

Pravděpodobnost poruchového stavu:

$$Q_S = 1 - R_S$$

Pravděpodobnost poruchového stavu paralelního systému:

$$Q_S = P(\overline{A_S}) = P(\overline{A_1} \cap \overline{A_2} \cap \ldots\ldots\ldots \cap \overline{A_i} \cap \ldots\ldots\ldots \cap \overline{A_{N-1}} \cap \overline{A_N}) = P\left(\bigcap_{i=1}^{i=N} \overline{A_i}\right)$$

$$Q_S = P(\overline{A_S}) = P(\overline{A_1}) \cdot P(\overline{A_2}) \cdot \ldots\ldots\ldots\ldots \cdot P(\overline{A_i}) \cdot \ldots\ldots\ldots \cdot P(\overline{A_N}) = \prod_{i=1}^{i=N} Q_i$$

Pravděpodobnost bezporuchového stavu:

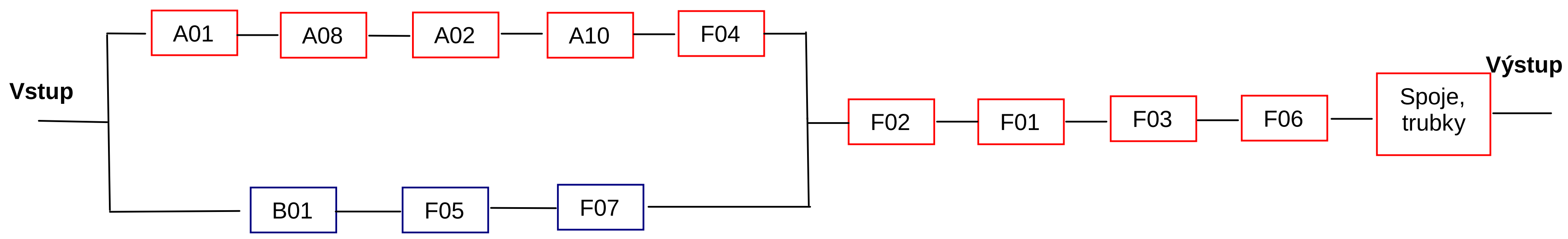
$$R_S = 1 - Q_S = 1 - \prod_{i=1}^{i=N} Q_i$$

$$R_S = 1 - \prod_{i=1}^{i=N} (1 - R_i)$$

V praxi se vyskytují především smíšené soustavy (kombinace sériového a paralelního systému).

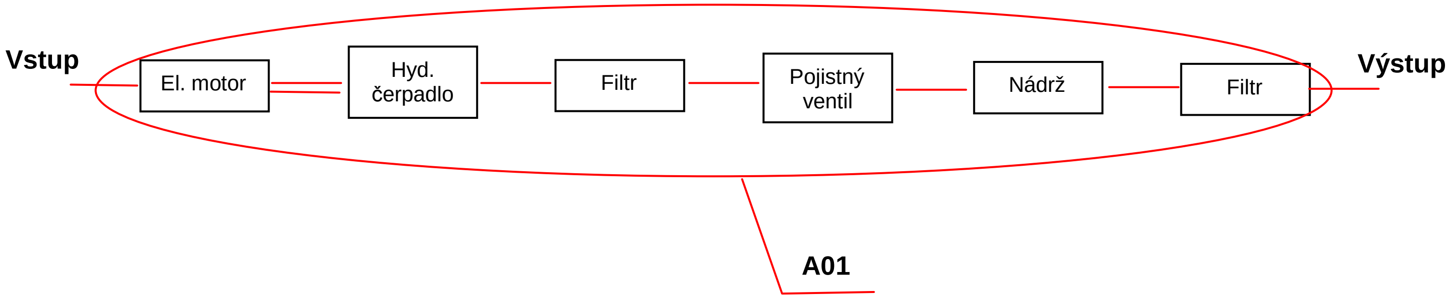
Následující analýzy jsou věnovány podvozkové hydraulické soustavě malého dopravního letounu. Funkce jednotlivých přístrojů byly uvedeny a popsány. Soustava je modelována podle schéma uvedeného v příloze [2], je využito blokových diagramů RBD.

Model vysunutí celého podvozku hlavním nebo nouzovým okruhem



Obr. 7.3: Blokový diagram vysunutí celého podvozku hlavním nebo nouzovým okruhem

Model bezporuchové funkce hydroagregátu



Obr. 7.4: Blokový diagram hydroagregátu LUN 6593

7.8.1 Vstupní data - komerční databáze

Modelováno je nevysunutí celého a nebo části podvozku hlavním a ani nouzovým okruhem.Výpočty jsou provedeny v excelovském sešitu, který je elektronickou přílohou této práce (ukázka je na obr. 1 v příloze 3). Modelovány nebyly bezporuchové funkce, ale poruchy. Pravděpodobnosti poruch jsou převzaty z tabulky 7.1, str. 70 až 73 a nastoupení jevu je vztaženo na 1 letovou hodinu.

Hydroagregát A01	
el.hydraulický agregát	1,21E-04
filtr	6,47E-05
pojistný ventil	3,55E-05
nádržka hydr. kapaliny	1,03E-05
filtr	6,47E-05
Pravděpodobnost poruchového stavu	
	2,96E-04

Tab. 7.4

Hlavní okruh		
A01	hydroagregát	2,96E-04
A08	zpětný ventil	7,37E-06
A02	filtr	6,47E-05
A10	plnicí přípojka	7,37E-06
F04	elektrohydraulický rozvaděč	8,58E-05
	Pravděpodobnost poruchového stavu -hlavni okruh	
		4,61E-04

Tab. 7.5

Akumulátor nouzový B01	
akumulátor	4,30E-05
plnící ventil	7,37E-06
Pravděpodobnost poruchového stavu	
	5,04E-05

Tab. 7.6

Záložní větev		
B01	akumulátor nouz.	5,04E-05
F05	trojcestný ventil	8,79E-05
F07	rozvaděč	1,18E-04
	Pravděpodobnost poruchového stavu	
		2,56E-04

Tab. 7.7

Přístroje		
F01	válec levý	9,41E-05
F02	válec pravý	9,41E-05
F03	válec přední	9,41E-05
F06	zpětný ventil	7,37E-06
	trubky	1,76E-06
	spojeni	3,90E-06
Pravděpodobnost poruchového stavu -přístroje		
		2,95E-04

Tab. 7.8

Hlavní a záložní větev
1,18E-07

Výsledná pravděpodobnost poruchy
2,95E-04

Tab. 7.9 a 7.10

Blokovými diagramy je určena výsledná pravděpodobnost poruchy modelované soustavy. Zároveň je zjištěno, že největší vliv má větev přístrojů, která je v sériovém zapojení. Snížením hodnot pravděpodobností poruch na této větvi by vedlo ke snížení hodnoty výsledné pravděpodobnosti poruchy.

7.8.2 Vstupní data – odborná literatura

Pravděpodobnosti poruchy pro tuto analýzu jsou brány z literatury [18] Modelování systémů s hydraulickými mechanismy.

Způsob modelování a postupy výpočtů jsou shodné s předchozími odstavci.

Hydroagregát A01	
hydromotor rotační	4,30E-06
filtr	7,90E-07
pojistný ventil	5,70E-06
nádržka hydr. kapaliny	1,50E-06
filtr	7,90E-07
elektromotor	4,30E-06
Pravděpodobnost poruchového stavu	
	1,74E-05

Tab. 7.11

Hlavní okruh		
A01	hydroagregát	1,74E-05
A08	zpětný ventil	5,70E-06
A02	filtr	7,90E-07
A10	plnicí přípojka	1,03E-06
F04	elektrohyd. rozvad.	5,40E-08
Pravděpodobnost poruchového stavu -hlavni okruh		
		2,50E-05

Tab. 7.12

Akumulátor nouzový B01	
akumulátor	6,80E-06
plnici ventil	1,03E-06
Pravděpodobnost poruchového stavu	
	7,83E-06

Tab. 7.13

Záložní větev		
B01	akumulátor nouz.	7,83E-06
F05	trojcestný ventil	5,00E-07
F07	rozvaděč	1,12E-06
Pravděpodobnost poruchového stavu		
		9,45E-06

Tab. 7.14

Přístroje		
F01	válec levý	8,00E-08
F02	válec pravý	8,00E-08
F03	válec přední	8,00E-08
F06	zpětný ventil	5,70E-06
	trubky	1,03E-06
	spojeni	1,03E-06
Pravděpodobnost poruchového stavu -přístroje		
		8,00E-06

Tab. 7.15

Hlavní a záložní větev
2,36E-10

Výsledná pravděpodobnost poruchy
8,00E-06

Tab. 7.16 a 17

Z analýzy vyplývá výsledná pravděpodobnost poruchy modelované soustavy vztažená na 1 letovou hodinu. Znovu se potvrzuje, že největší vliv má větev přístrojů, která je v sériovém zapojení. Jako vhodné využití tohoto zdroje je v první fázi vývoje, kdy je velmi málo dostupných dat o použitých komponentech.

7.8.3 Vstupní data – katalog KILPS [19]

Pravděpodobnosti poruch pro tuto analýzu jsou brány z literatury [19] Katalog intenzit poruch letadlových soustav.

Postup modelování a postupy výpočtu jsou shodné s předchozími odstavci.

Hydroagregát A01	
el.hydraulický agregát	8,70E-06
filtr	1,64E-04
pojistný ventil	5,84E-04
nádržka hydr. kapaliny	1,65E-04
filtr	1,64E-04
Pravděpodobnost poruchového stavu	
	1,09E-03

Tab. 7.18

Hlavní okruh		
A01	hydroagregát	1,09E-03
A08	zpětný ventil	1,00E-06
A02	filtr	1,64E-04
A10	plnicí přípojka	4,60E-06
F04	elektrohyd. rozvad.	4,30E-04
Pravděpodobnost poruchového stavu -hlavni okruh		
		1,68E-03

Tab. 7.19

Akumulátor nouzový B01	
akumulátor	3,37E-06
plnici ventil	4,60E-06
Pravděpodobnost poruchového stavu	
	7,97E-06

Tab. 7.20

Záložní větev		
B01	akumulátor nouz.	3,37E-06
F05	trojcestný ventil	1,90E-04
F07	rozvaděč	5,50E-06
Pravděpodobnost poruchového stavu		
		1,99E-04

Tab. 7.21

Přístroje		
F01	válec levý	2,10E-05
F02	válec pravý	2,10E-05
F03	válec přední	2,10E-05
F06	zpětný ventil	1,00E-06
	trubky, spojeni	1,80E-08
Pravděpodobnost poruchového stavu -přístroje		
		6,40E-05

Tab. 7.22

Hlavní a záložní větev
3,35E-07

Výsledná pravděpodobnost poruchy
6,44E-05

Tab. 7.23 a 24

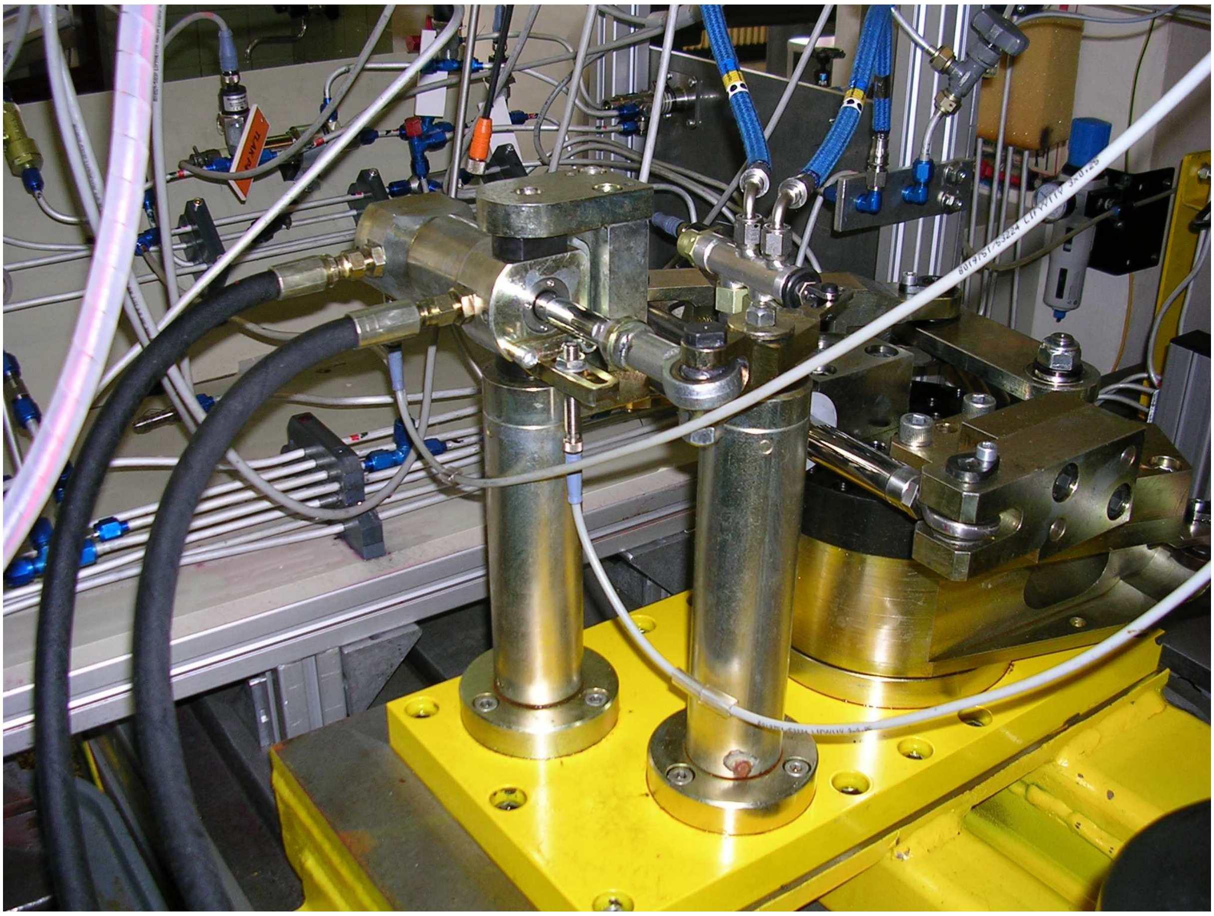
Výsledná pravděpodobnost poruchy modelované soustavy je vztažená na 1 letovou hodinu. Největší vliv má větev přístrojů, která je v sériovém zapojení.

V katalogu jsou zpracována provozní data z části flotily letounů L-39, jedná se o vojenskou oblast s rozdílným zatížením a podmínkami provozu. Katalog intenzit poruch letadlových soustav je přesto velmi kvalitní zdroj provozních dat s ohledem na používanou technologii výroby a materiály přístrojů, které jsou víceméně shodné s civilní výrobou.

7.8.4 Vyhodnocení standových dat

Ve firmě Jihlavan, a.s. byla zkoušena funkčnost a spolehlivost hydraulické soustavy. Jedná se o stejnou hydraulickou soustavu, které byly věnovány předchozí kapitoly. Dále je uvedena prokázaná intenzita poruch a její intervalový odhad. Data jsou vyhodnocena podle kapitoly 4.2. Vyhodnocení je provedeno podle vztahů pro exponenciální rozdělení. Toto rozdělení je často používáno pro vyhodnocení spolehlivosti leteckých přístrojů a součástí.

Hlavní důvod standových zkoušek je v prokázání funkčnosti a odzkoušení předpokladu, aby v následujících letových zkouškách nedošlo k časné poruše.



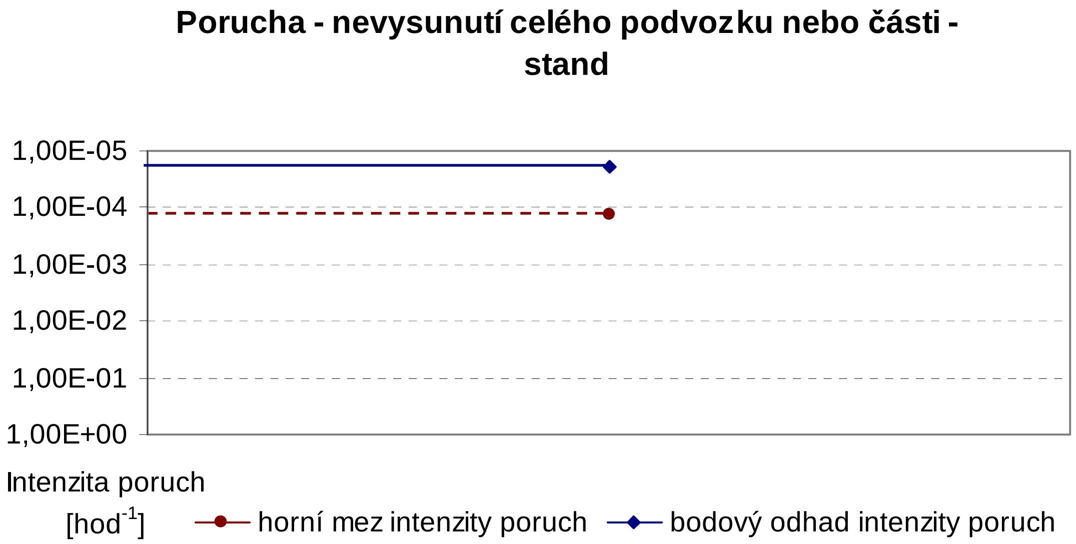
Obr. 7.5: Část hydraulické soustavy, Jihlavan, a.s., zdroj J. Novák

Standová zkouška proběhla v období od roku 2007 do roku 2010 16876 cyklů, doba běhu standu odpovídá přibližně 2,5 roku. Závažná porucha nevysunutí podvozku nebo části nebyla pozorována.

- bodový odhad podle vzorce (4.3): $\lambda_{s\tan d} = \frac{1}{3T*} = \frac{1}{3 \cdot 16876} = 1{,}975 \cdot 10^{-5}\, hod^{-1}$,

- horní mez jednostranného konfidenčního intervalu intenzity poruch při konfidenční úrovni 90% podle vzorce (4.4):

$$\lambda_{u_stand} = Q_{u_stand} = \frac{\chi_{0,90}^{2}(2r+2)}{2T^{*}} = \frac{4,61}{2 \cdot 16876} = 1,366 \cdot 10^{-4}\, hod^{-1}.$$

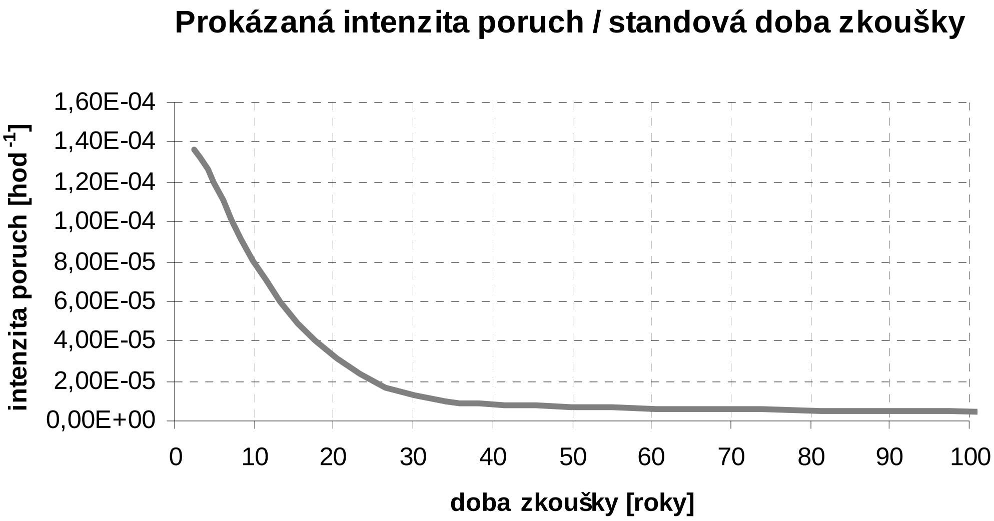


Graf 7.1

V grafu 1 je zobrazeno srovnání poloh bodového odhadu poruch a horního intervalu intenzity poruch. Tento očekávaný výsledek vede ke konzervativnímu přístupu v použití horní meze intenzity poruch. V literatuře se často setkáváme pouze s bodovými odhady.

S ohledem na známou délku standové zkoušky pro prokázání intenzity poruch 10^{-4} byl sestrojen graf 2. Na ose y se nachází prokázaná požadovaná intenzita poruch, na ose x se nachází doba zkoušky v letech. Graf by platil v případě nevyskytnutnutí poruchy. Kdyby se porucha vyskytla, byla by délka zkoušky ještě delší.

intenzita poruch [hod^{-1}]	doba zkoušky [roky]
1,37E-04	2,5
1,00E-05	34,15
1,00E-06	341,5



Graf 7.2

Prokázání nižších hodnot intenzity poruch než 1.10^{-4} hod^{-1} není při standových zkouškách reálné. Dílčí závěr potvrzuje předpoklad a princip standových zkoušek, který spočívá v prokázání funkčnosti a dále že v následujících letových zkouškách nedojde k časné poruše.

7.8.5 Data z provozu letounu kategorie FAR 23 / CS 23 Commuter

Pro porovnání výsledků byl vybrán letoun v kategorii pro sběrnou dopravu (Commuter) s obdobnou hydraulickou soustavou. Z více než 40 leté zkušenosti provozu malého dopravního letounu L 410 se ukazuje vysoká spolehlivost a plnění podmínek předpisu pro tuto kategorii letadel.

Obr. 7.6: Let L 410 UVP-E slovinského letectva, Let L 410 MU, zdroj [17]

a) Výrobce sleduje provozní spolehlivost, bohužel se nepodařilo v rámci této disertační práce získat podrobnější informace od výrobce Aircraft Industries a.s. Podle vyjádření výrobce je v provozu přibližně 400 letounů L 410 UVP-E a průměrný nálet na jedno letadlo je 10 000 hodin. Roční nálet letadel např. v Brazílii činí 1250 hod. Délka jednoho letu je v průměru 1 hod. Některé lety jsou i pod 1hod. V průměru se dá říci, že počet letových hodin je přibližně stejný jako počet vzletů a přistání. Jsou L 410, které mají nálet i 2000 letových hodin za rok.

Letoun je certifikován podle předpisu FAR 23 Amendement 41 v kategorii commuter – letoun pro sběrnou dopravu. Z provozu vyplývá (příloha 4), že nedochází k nehodám způsobenými hydraulickou soustavou a plní pravděpodobnost nastoupení poruchy pro podvozkovou soustavu - porucha nevysunutí celého a nebo části podvozku hlavním ani nouzovým okruhem. A lze očekávat pravděpodobnost poruchy (plnění předpisu), nastoupení jevu je vztaženo na 1 letovou hodinu:

$$Q_{FAR23} = 1 \cdot 10^{-7}\, hod^{-1} \ldots \text{požadavek předpisu nastoupeni poruchy [1].}$$

V příloze 4 je proveden rozbor nehod podle dostupných dat a nebyla nalezena nehoda způsobena nevysunutím podvozku. Pak lze podle výše uvedených předpokladů určit horní mez jednostranného konfidenčního intervalu intenzity poruch při konfidenční úrovni 90%, výpočet je proveden za předpokladů a podle kapitoly 4.2:

$$\lambda_{u_provoz_L410} = Q_{u_provoz_L410} = 5{,}76 \cdot 10^{-7}\, hod^{-1}.$$

b) Vyhodnocení provozní spolehlivosti přístrojů a agregátů vyráběných ve firmě Jihlavan, a.s. a instalovaných na letounech řady L 410 (zdroj: Jihlavan, a.s.)

Vyhodnocení provozní spolehlivosti bylo provedeno na základě zjištěných statistických údajů z provozu letounů v Rusku v letech 1992 až 1996. Během uvedených období byla data čerpána z provozu níže popsaného počtu letounů.

Celkem 56 letadel s celkovým náletem:

- 22ks L 410 UVP 51 714 let. hodin

*Tato data byla v roce 2002 zpracována podle metodiky: „ Výpočet provozní spolehlivosti letadel“, autor Prof. Ing.R. Holub CSc., Vojenská akademie Brno

** Data jsou zpracována podle kapitoly 4.2, je určena horní mez jednostranného konfidenčního intervalu intenzity poruch při konfidenční úrovni 90%, podle uvedeného předpokladu se intenzita poruch přibližně rovná pravděpodobnosti poruchy:

název	ks	*pravděpodobnost poruchy na L 410 UVP	MTTF L 410 UVP	**pravděpodobnost poruchy L 410 UVP
elektrohydrulický rozvaděč	2	3,41E-06	293255	3,76E-05
akumulátor brzd	1	6,81E-06	146843	7,52E-05
hydraulický akumulátor	1	6,81E-06	146843	7,52E-05
hydraulický akumulátor	1	1,93E-05	51813	7,52E-05
válec hlavního podvozku s nouzovým ventilem	1	1,34E-05	74627	7,52E-05
válec hlavního podvozku s nouzovým ventilem	1	1,34E-05	74627	7,52E-05
odjišťovací válec	1	6,81E-06	146843	7,52E-05
odjišťovací ventil	2	3,41E-06	293255	3,76E-05
válec klapek	1	3,93E-06	254453	1,06E-04
válec příďového podvozku	1	1,34E-05	74627	7,52E-05
ventil ruční	2	3,41E-06	293255	3,76E-05
měnicí ventil brzd	2	3,41E-06	293255	3,76E-05
měnicí ventil	2	3,41E-06	293255	3,76E-05
pojistný ventil	1	6,81E-06	146843	7,52E-05
pojistný ventil	1	6,81E-06	146843	7,52E-05
tlumicí ventil	2	3,41E-06	293255	3,76E-05
plnicí přípojka tlaková	1	6,81E-06	146843	7,52E-05
plnicí přípojka sací	1	6,81E-06	146843	7,52E-05

Tab. 7.25

Do hydraulické soustavy ovládání podvozku, kapitola 7.8, jsou dosazena vstupní data z tabulky 31, sloupec - *pravděpodobnost pro L 410 UVP. Výpočtem v excelovském sešitu (ukázka příloha 3, obr.1) je určena výsledná pravděpodobnost poruchy vztažená na 1 letovou hodinu.

Výsledná pravděpodobnost poruchy
4,14E-05

Tab. 7.26

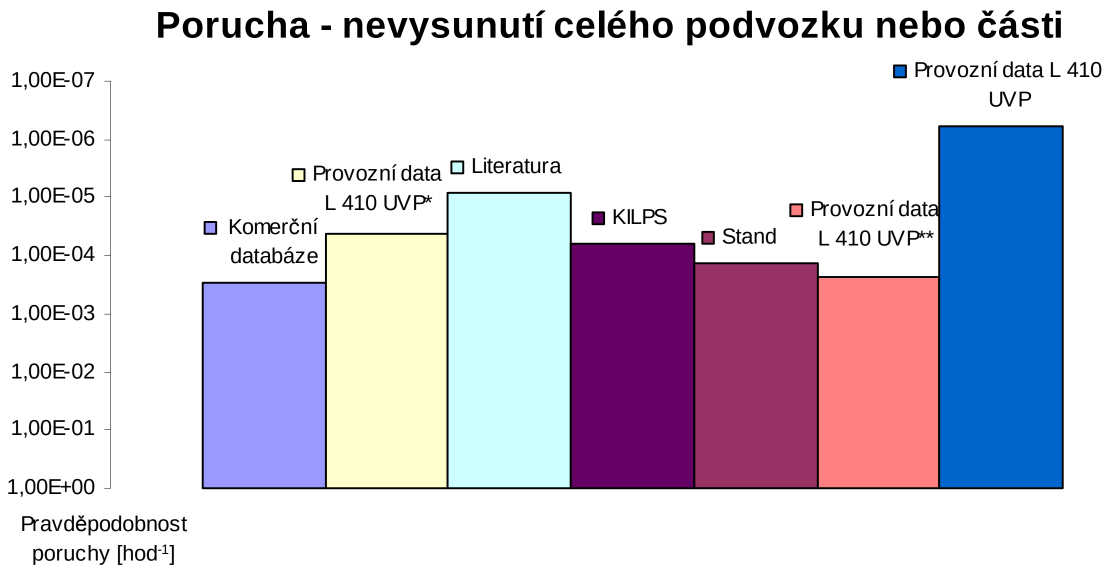
Do hydraulické soustavy ovládání podvozku, kapitola 7.8, jsou dosazena vstupní data z tabulky 31, sloupec - **pravděpodobnost poruchy L 410 UVP. Znovu je využit program MS Excel a je určena výsledná pravděpodobnost poruchy vztažená na 1 letovou hodinu.

Výsledná pravděpodobnost poruchy
2,27E-04

Tab. 7.27

7.9 Srovnání výsledků

V této kapitole je provedeno srovnání výsledků a statistické testování výsledných veličin (pravděpodobnosti poruch) z provedených prediktivních analýz spolehlivosti.



Graf 7.3

7.9.1 Testy významnosti

Hledány jsou významné rozdíly mezi porovnávanými výslednými veličinami. Data jsou testována pomocí t - testu.

U výběru je předpokládáno normální rozdělení N(μ, σ^2). Je testována hypotéza o rovnosti středních hodnot H_0: $\mu = \mu_0$ oproti hypotéze H_1: $\mu \neq \mu_0$. V této kapitole není dodrženo použité označení veličin.Vyhodnocení a značení veličin je v souladu s literaturou [28]. Je zvolena hladina významnosti $\alpha = 10\%$.

Testovací statistika má tvar: $$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s}\sqrt{n}\,.$$

Kde s je výběrová směrodatná odchylka: $$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}\,.$$

Za předpokladu platnosti hypotézy H_0 je t realizací náhodné veličiny se Studentovým rozdělením (t-rozdělením) t(ν) s počtem stupňů volnosti $\nu = n - 1$. Obor kritických hodnot W je pak dán (oboustranná alternativa):

$$\mathrm{H_1}: \ \mu \neq \mu_0 : W = \left(-\infty, t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1) \right) \cup \left(t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1), \infty \right).$$

Jsou testovány výsledky z odstavce 8, do výběru nejsou zahrnuta provozní data L 410 UVP.

7.9.2 Test databází 1 až 6

(značení databází je v souladu s tabulkou 7.28)

Vypočtené hodnoty:

Aritmetický průměr: $\bar{x}$ =1,288E-04
Směrodatná odchylka: s=1,638E-04

V tabulce pro Studentovo rozdělení je vyhledána hodnota 95% kvantilu:
$t_{0,05\,(5)}$ = 2,015 (tabulka 4.1, str. 32)

Pro Studentovo rozdělení platí, že $t_p = -t_{1-p}$

a) Kritický obor je: $\mathrm{H_1}\ \mu \neq \mu_0 : W = (-\infty, -2{,}015) \cup (2{,}015, \infty)$.

Pro $t \notin W$ se hypotéza na hladině významnosti $\alpha = 10\%$ nezamítá.

č.	**databáze**	**pravd.poruchy μ_0**	**t**	**hypotéza H_0**
1	komerční databáze	2,95E-04	-2,492	se zamítá
2	provozní data L 410 UVP*	4,14E-05	1,307	se nezamítá
3	literatura	8,00E-06	1,806	se nezamítá
4	KILPS	6,44E-05	0,963	se nezamítá
5	stand	1,37E-04	-0,117	se nezamítá
6	provozní data L 410 UVP**	2,27E-04	-1,467	se nezamítá

Tab. 7.28

b) Jednostranná alternativa: $\mathrm{H_1}\ \mu < \mu_0 : W = (-\infty, t_\alpha)$,
$t_{0,10\,(5)}$ = 1,476 (tabulka 4.1, str. 32)
$\mathrm{H_1}\ \mu < \mu_0 : W = (-\infty, -1{,}476)$,
Kritické hodnoty t jsou uvedeny v tab. 7.28.

Jen pro komerční databáze se jednostranná hypotéza $\mathrm{H_1}$ nezamítá na hladině významnosti 10%.

7.9.3 Test komerčních databází a provozních dat L 410**

Vypočtené hodnoty:

Aritmetický průměr: $\bar{x}$ = 2,611E-04
Směrodatná odchylka: s= 4,850E-05

V tabulce pro Studentovo rozdělení je vyhledána hodnota 95% kvantilu:
$t_{0,05\,(1)}$ = 6,3138 (tabulka 4.1, str. 32).

Kritický obor je: H_1 $\mu \neq \mu_0 : W = (-\infty, -6{,}3138) \cup (6{,}3138, \infty)$.

Pro $t \notin W$ se hypotéza na hladině významnosti $\alpha = 10\%$ nezamítá.

č.	***databáze***	***pravd.poruchy*** μ_0	***t***	***hypotéza*** H_0
1	komerční databáze	2,95E-04	-1	se nezamítá
6	provozní data L 410 UVP**	2,27E-04	1	se nezamítá

Tab. 7.29

7.9.4 Test databáze KILPS a provozních dat L 410 UVP*

Vypočtené hodnoty:

Aritmetický průměr: $\bar{x}$ = 5,285E-05
Směrodatná odchylka: s= 1,178E-04

V tabulce pro Studentovo rozdělení je vyhledána hodnota 95% kvantilu:
$t_{0,05\,(1)}$ = 6,3138.

Kritický obor je: H_1 $\mu \neq \mu_0 : W = (-\infty, -6{,}3138) \cup (6{,}3138, \infty)$.
Pro $t \notin W$ se hypotéza na hladině významnosti $\alpha = 10\%$ nezamítá.

č.	***databáze***	***pravd.poruchy*** μ_0	***t***	***hypotéza*** H_0
2	provozní data L 410 UVP*	4,14E-05	1,381E-01	se nezamítá
4	KILPS	6,44E-05	-1,381E-01	se nezamítá

Tab. 7.30

7.9.5 Závěry ze srovnání a testů databází

1. Z uvedeného srovnání výstupů z analýz a statistického testování výsledků vychází pro tento konkrétní případ hydraulické podvozkové soustavy, že komerční data patří mezi konzervativnější zdroje ve srovnání s ostatními databázemi na hladině významnosti 10%. To ukazuje i jednostranná alternativa testu, že uvedená hodnota je statisticky významně odlišná. Oproti vlastnímu porovnání mezi komerčními databázemi se záznamy z provozních dat přístrojů (provozní data L 410 UVP**) na uvedené hladině významnosti testovací statistika neukazuje významný rozdíl. Tato data jsou vyhodnocena podle vybraných postupů (kapitola 4.2 str. 25 -32).

2. Srovnání dat z Katalogu intenzit poruch [19] s provozními daty přístrojů (provozní data L 410 UVP*) vychází statisticky shodné na uvedené hladině významnosti. Potvrzuje se ohled na použitou shodnou metodiku výpočtu a technologii výroby (výrobce přístrojů – Jihlavan, a.s.).

3. Standové data – prokázaná intenzita poruchy, vyhodnocení je provedeno podle postupu uvedeného v kapitole 4.2, strana 26, je zobrazena v grafu 7.3. Intenzita poruchy přibližně odpovídá pravděpodobnosti poruchy, předpoklad ze strany 25. Prokázání nižší pravděpodobnosti poruchy v časovém horizontu dalších dvou až tří let se podle kapitoly 7.8.4, strana 96 - 98, jeví jako nereálné. Princip a důvod standových zkoušek spočívá v prokázání funkčnosti a v následujících letových zkouškách nedojde k časné poruše.

4. Použití dat podle literatury [18] vede k mírnému podhodnocení pravděpodobnosti poruch ve srovnání s ostatními daty. Statisticky je tato odchylka nevýznamná na 10% hladině významnosti. V první fázi vývoje, kdy je snaha odhalit kritický prvek, je tento zdroj použitelný a zjištěný rozdí je statisticky nevýznamný. Nevýhodou tohoto zdoje je malý rozsah a omezený počet prvků.

5. Srovnání vypočtených dat z různých zdrojů nevede k prokázání nenastoupení poruchy nevysunutí podvozku celého a nebo části podvozku hlavním a ani nouzovým okruhem klasifikované jako Nebezpečné – Hazardous.
Podle kapitoly 7.8, strana 90 - 95, se kritické přístroje nacházejí na větvi přístrojů - např. hydraulické válce vysouvání/zasouvání podvozku. Zrychlené zkoušky těchto kritických komponent by mohly vést k prokázání požadované úrovně pravděpodobnosti poruchy $1 \cdot 10^{-7} hod^{-1}$ předpisy FAR/CS 23. Ve srovnání s provozními daty flotily letounů L 410 UVP (podle rozboru nehod) se jeví uvedené zdroje konzervativní.

8 Výsledky disertační práce

Práce popisuje metody zkoušek spolehlivosti a vyhodnocování provozních dat s ohledem na návaznost použití takto získaných dat v analýzách spolehlivosti.

Vymezení jednotlivých cílů:

1. *získání a shrnutí dostupných informací v oblasti zkoušek a vyhodnocování provozních dat*

2. *vytvoření návodů při sběru dat, návrhu a plánování zkoušek, vyhodnocení a zpracování dat*

3. *provedení analýzy spolehlivosti na hydraulické podvozkové soustavě malého dopravního při spolupráci s průmyslem (firmy Jihlavan, a.s., Evektor, spol. s r.o.) při vývoji malého dopravního letounu*

4. *aplikace prediktivních postupů analýz inherentní spolehlivosti využívající pro odhady úrovně spolehlivosti akceptované průmyslové standardy (komerční databáze), standové zkoušky a provozní data*

5. *vypracování závěrů z provedených prediktivních analýz spolehlivosti s různými vstupními daty a návodů pro použití těchto dat v analýzách spolehlivosti*

6. *zpracování podkladů a návrhů pro doplnění softwarové aplikace zabývající se zpracováním dat z provozu a zkoušek a doporučení pro návrh databázových programů vyhodnocující provozní spolehlivost, návrh tzv. karty poruch*

Shrnutí a dosažení jednotlivých cílů:

1. Jsou rozebrány různé metodiky vyhodnocení zkoušek a provozních dat, včetně návrhu postupů vyhodnocení a formulářů, nacházejí se v kapitole 3 a 4 strana 10 - 25. Jsou ukázány dostupné zdroje dat pro provádění spolehlivostních analýz včetně tzv. komerčních databází, jejich použití a příklady jsou uvedeny v kapitole 5 strana 35 - 45.

2. V kapitole 4.2 na stranách 25 - 32 jsou shrnuty vhodné návody na vyhodnocení dat, včetně statistických testů. Podle těchto návodů jsou vyhodnocena standová a provozní data. U standových dat je ukázáno s ohledem na délku zkoušky, že prokázání nižší intenzity poruch není reálné.

3. Analýzy spolehlivosti jsou prakticky aplikovány na hydraulické podvozkové soustavě malého dopravního letounu za spolupráce se společnostmi Jihlavan, a.s. a Evektor, spol. s r.o. Analýza druhů poruchových stavů a jejich důsledků (FMEA),

kapitola 7.7 strana 75 - 88 a výpočet pomocí blokových schémat (RBD) pro podvozkovou hydraulickou soustavu je uveden v kapitole 7.8 na stranách 89 - 95.

Shrnutí výsledků analýzy FMEA pak poskytuje podklady pro tvorbu plánů údržby založených na posouzení důležitosti jednotlivých prvků pro celý systém. Zpravidla není nutné provádět časté kontroly prvků, jejichž selhání je bez důsledků pro bezpečnost nebo má pouze nezávažné důsledky – to vede k úsporám provozních nákladů. S ohledem na důležitost analyzované podvozkové soustavy, nebylo možné tento přístup aplikovat.

Výpočty blokových schémat poruchy podvozku s různými vstupními daty jsou provedeny. Výsledky jsou shrnuty a použity do závěrů a výstupů disertační práce. Tyto závěry je možné aplikovat a měly by pomoci při provádění dalších analýz.

4. Jsou aplikovány prediktivní postupy analýz inherentní spolehlivosti využívající pro odhady úrovně spolehlivosti akceptované průmyslové standardy (komerční databáze), odbornou literaturu, standové zkoušky a provozní data (odstavec 3).

   Z uvedených srovnání a statistických testů vyplývá, že u hydraulických soustav jsou postupy prediktivní analýzy použitelné a v tomto konkrétním případě jsou konzervativní (na bezpečné straně) ve srovnání s provozními daty, kapitola 7.9 strana 101 - 104. Rozborem analyzované soustavy jsou zjištěny přístroje, které nejvíce zvyšují pravděpodobnost poruchy. Za daných podmínek není možné prokázat požadovanou úroveň spolehlivosti (strana 96 – 97). Zrychlené zkoušky těchto přístrojů by měly vést k prokázání požadovaných hodnot. Zde by bylo možné a vhodné navázat na tuto disertační práci a pokračovat v řešení této problematiky s ohledem na budoucí certifikaci letounu podle zmíněných předpisů.

5. Závěry pro použití vstupních dat v analýzách spolehlivosti jsou uvedeny v kapitole 7.9 na straně 104.

   Výše uvedená srovnání a doporučení nejsou k dispozici, zde se jedná o zásadní zjištění a přínos této disertační práce, které jsou přímo využitelné pro další činnost v oboru při provádění dalších analýz. Doporučení jsou vhodná pro první (předběžný) návrh, tak i při pozdější přesnější analýze s ohledem na možné zdroje vstupních dat.

6. Je popsána současná metodika sběru dat. S využitím těchto poznatků je vytvořena Karta poruch a přízpůsobena pro malý dopravní letoun EV 55 a Přehled poruch letounů EV 55. Postupy pro zpracování dat jsou zapracovány do konkrétní aplikace pomocí excelovských tabulek usnadňující zpracování provozních dat. Uvedené postupy v kapitole 6 na stranách 46 - 61 by měly sloužit k ověření předpokladů použitých při spolehlivostních analýzách. Další využití Přehledu poruch letounů souvisí s údržbou a ekonomikou provozu.

Podkladem byly zejména práce vzniklé na Leteckém ústavu, VUT FSI v Brně, na kterých se autor podílel, praktické analýzy bezpečnosti a spolehlivosti vybrané soustavy letounu provedené v disertační práci ve spolupráci s leteckým průmyslem a publikace [29, 33]. Dále zkušenosti ze zaměstnání při vývoji malého dopravního letounu.

9 Závěry disertační práce pro využití výsledků v praxi

Aplikace spolehlivostních analýz se v dnešní době stává nedílnou součástí certifikací i v oblasti menších letounů, což nebylo dosud běžné. Vyhodnocení provozní spolehlivosti je běžnou součástí komerčních smluv nejen v oblasti leteckého provozu. Problematika zároveň úzce souvisí s ekonomikou provozu a údržbou.

V disertační práci jsou navrženy a uvedeny vhodné návody sběru, vyhodnocení a doporučení pro zpracování dat, které by měly pomoci při provádění těchto analýz.

Na praktickém příkladu hydraulické soustavy malého dopravního letounu jsou aplikovány postupy vyhodnocení vybraného parametru spolehlivosti – intenzity poruch a dále pravděpodobnosti poruch. Jsou porovnány komerční databáze, data uvedená v literatuře Modelování systémů s hydraulickými mechanismy [18], Katalog intenzit poruch letadlových soustav [19], standová data a data z provozu letounu podobné kategorie. Taková srovnání a doporučení, s ohledem k častější aplikaci spolehlivostních analýz a aplikaci i tam, kde to nebylo dříve běžné, nebyla zatím k dispozici. Jak bylo zmíněno, jsou vstupní data základní podmínkou správné spolehlivostní analýzy. Uvedené výsledky by měly pomoci při přípravě dalších analýz v leteckém průmyslu, ale i v dalších průmyslových odvětvích.

V neposlední řadě práce přispívá k rozvoji vědního oboru spolehlivosti.

10 Literatura

[1] FAR Part 23. *Airplanes Airworthiness Standards: Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter Category Airplanes.* Federal Aviation Administration, Washington D.C., www.faa.gov, 7/2002.

[2] 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.

[3] RTCA DO-160D. *Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment*, Radio Technical Commission for Aeronautics, Washington D.C., 12/2002.

[4] Hlinka, J. *Vypracování metod posuzování spolehlivosti letadlové techniky*, (Disertační práce), Letecký ústav VUT-FSI v Brně, 2004.

[5] ČSN IEC 605-4. Norma: *Zkoušky bezporuchovosti zařízení (část 4: Postupy pro stanoven bodových odhadů a konfidenčních mezí z určovacích zkoušek bezporuchovosti zařízen).*

[6] Holub, R, Vintr, Z. *Spolehlivost letadlové techniky* (elektronická učebnice), VUT-FSI, Brno, 2001, 233 str., http://clkv.fme.vutbr.cz/clkv.html.

[7] ReliaSoft Corporation. [online]. 2008, [cit. 2008-03-05].

Dostupné z: < http://www.weibull.com/AccelTestWeb/>

[8] MIL-HDBK-338B.*Electronic Reliability Design Handbook, US Department of Defense*, Washington DC,10/1998, 1042 str.

[9] Nancy R. Mann, Ray. E. Schafer, Nozer D. Singpurwalla. *Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data*, John Willey & SONS 1974, 564 stran ISBN 0-471-56737-X.

[10] ČSN IEC 60605-6. Norma: *Zkoušení bezporuchovosti zařízení, část 6: Testy platnosti a odhad konstantní intenzity poruch a konstantního parametru proudu poruch.*

[11] ARP 4761. *Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment*, SAE Warrendale USA, 12/1996, 331 str.

[12] MIL-HDBK-217F. *Reliability Prediction of Electronic Equipment*, US Department of Defense, Washington DC 20301, 2/1991, 205 str.

[13] NSWC 98/LE1. *Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment*, Naval Surface Warfare Center, US Department of Defense, 5/1992, 264 str.

[14] FMD-97. *Failure Mode / Mechanism Distributions, IIT Research Institute – Reliability Analysis Center*, Rome, New York, http://rac.alionscience.com, 1999.

[15] Villemeur, A. *Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment – Volume 1*, John Willey & sons, Chichester, 1992, 363 str. ISBN 0 417 93048 2.

[16] Hlinka, J. Habilitační práce: *Posuzování bezpečnosti a spolehlivosti letadlové techniky v průběhu návrhu a certifikace*, Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně, Letecký ústav VUT-FSI v Brně, 2007. ISBN 978-80-214-3517-9.

[17] Flight Safety Foundation [online]. 2010, [cit. 2010-08-25].
Dostupné z: < http://aviation-safety.net/database/>

[18] Nepraž, Nevrlý, Peňáz, Třetina. *Modelování systémů s hydraulickými mechanismy*, 173 stran, ISBN 80-214-2187-8.

[19] Jelínek, M. *Katalog intenzit poruch letadlových soustav*, VZLÚ, 30.7.1985.

[20] ČSN IEC 60605-4. Norma: *Zkoušky bezporuchovosti zařízení, Část 4: Statistické postupy pro exponenciální rozdělení – Bodové odhady, konfidenční intervaly, předpovědní intervaly a toleranční intervaly*.

[21] ČSN EN 61649. Norma: *Weibullova analýza*, červenec 2009.

[22] *Katalog pro kódování vad letecké techniky*, VZS-031 Praha 1975.

[23] Oficiální stránky společnosti SRC – System Reliability Center
http://src.alionscience.com/spidr/

[24] Oficiální stránky společnosti Relex Software Corporation
http://www.relex.com/

[25] Oficiální stránky společnosti RAC
http://www.reliasoft.com/

[26] Oficiální stránky společnosti Evektor s.r.o.
http:/www.evektor.cz/

[27] Oficiální stránky společnosti Jihlavan, a.s.
http://www.jihlavan.cz/

[28] Karpíšek, Z. *MATEMATIKA IV Statistika a pravděpodobnost*, 170 stran, ISBN 80-214-2522-9.

11 Publikace autora

[29] Novák, J., Hlinka, J. *Spolehlivostní analýza a zkoušky části letadlové hydraulické soustavy*. In Proceedings of the 19th International Conference on Hydraulics and Pneumatics 1. Ostrava, Česká strojnická společnost, 2006, strana 106-114. ISBN 80-02-01809-5.

[30] Novák, J. Výpočtová zpráva: *Zatížení trupu*, letoun EV55, Evektor s.r.o., 2006. EV55530-00-L.

[31] Warchil, M., Novák, J. Výpočtová zpráva: *Zatížení spoje křídlo-trup*, letoun EV55, Evektor s.r.o., 2006. EV55530-01-L.

[32] Novák, J. Spolehlivostní analýza: *Předběžné posouzení systému avioniky*, letoun EV55, VUT FSI v Brně - Evektor s.r.o., 2005. EV55998-06-R.

[33] Hlinka J., Novák, J. *Reliability Analysis of Small Sport Airplane*. In Reliability, Safety and Diagnostics of Transport Structures and Means 2005. Pardubice, Czech Republic, University of Pardubice, 2005. strana 119-127. ISBN 80-7194-769-5.

12 Autorovo curriculum vitae

Jméno

Josef Novák, Ing.

Osobní údaje

- Datum narození: 6.ledna 1981
- Místo narození: Uherské Hradiště
- E-mail: novakjoschka@gmail.com
- Rodinný stav: svobodný

Vzdělání

- 1995-1999, Gymnázium Uherské Hradiště
- 1999-2004, Ing., Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, obor Letadlová technika

Studium

- 2004-současnost, postgraduální studium, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, specializace Konstrukční a procesní inženýrství

Znalost jazyků

- anglicky, německy - aktivní, francouzsky - pasivní

Přehled zaměstnání

- duben 2006-2010, vývojový pracovník - výpočtář, Evektor, spol. s r.o.
- srpen 2010, statik – i-Ttec Styria GmbH., Premium Aerotec GmbH. (externí zaměstnanec), Augsburg, Německo

Pedagogická činnost

- 11/2004, 11/2005 Výuka a cvičení předmětu Spolehlivost letadlové techniky - část zkoušky spolehlivosti. Letecký ústav VUT FSI v Brně.

Konference a semináře

- Technical Computing Prague 2007, Mezinárodní konference, 14.11.2007, Praha
- Seminář České společnosti pro jakost, odborná skupina pro spolehlivost, 09/2006, Novotného lávka 200/5, Praha
- Safety and Diagnostics of Transport Structures and Means 2005, Mezinárodní konference, 7-8.7.2005, Pardubice

Příloha č.: 1

Počet stran: 3

Statistické tabulky a grafy

OBSAH

KAPITOLA NÁZEV STRANA

1. STATISTICKÉ TABULKY A GRAFY 2

Tab. 1: Rozdělení χ^2 - zdroj ČSN IEC 60605-6

Stupně volnosti v	$\chi^2_{0,05}(v)$	$\chi^2_{0,90}(v)$	$\chi^2_{0,95}(v)$
2	0,10	4,61	5,99
4	0,71	7,78	9,49
6	1,64	10,65	12,59
8	2,73	13,36	15,51
10	3,94	15,98	18,31
12	5,23	18,55	21,03
14	6,57	21,06	23,69
16	7,96	23,54	26,30
18	9,39	25,99	28,87
20	10,85	28,41	31,41
22	12,34	30,81	33,92
24	13,85	33,20	36,42
26	15,38	35,56	38,89
28	16,92	37,92	41,34
30	18,49	40,26	43,77
32	20,09	42,57	46,17
34	21,70	44,88	48,57
36	23,30	47,19	50,96
38	24,91	49,50	53,36
40	26,51	51,81	55,76
42	28,16	54,08	58,11
50	34,76	63,17	67,51
52	36,45	65,42	69,82
60	43,19	74,40	79,08
62	44,90	76,63	81,37
70	51,74	85,53	90,53
72	53,47	87,74	92,80
80	60,39	96,58	101,88
82	62,14	98,78	104,13
90	69,13	107,57	113,15
92	70,89	109,76	115,39
100	77,93	118,50	124,34
102	79,70	120,68	126,57
110	86,79	129,38	135,48
112	88,57	131,56	137,70
120	95,71	140,23	146,57
122	97,49	142,40	148,78
200	168,28	226,02	233,99
u_p =	-1,64	+1,28	+1,64

Lineární interpolace mezilehlých hodnot je dostatečně přesná. Do tabulky jsou začleněny hodnoty pro v = 2*r* + 2 pro různé celočíselné hodnoty *r*.

Pro větší hodnoty v se používá vztah $\chi^2_p(v) = \frac{\left[\left(u_p + \sqrt{2v-1}\right)^2\right]}{2}$, kde u_p je *p*-kvantil distribuční funkce normovaného normálního rozdělení uvedený na posledním řádku každého sloupce.

Tab. 2: Rozdělení F, zdroj ČSN IEC 60605-6

0,90–kvantily

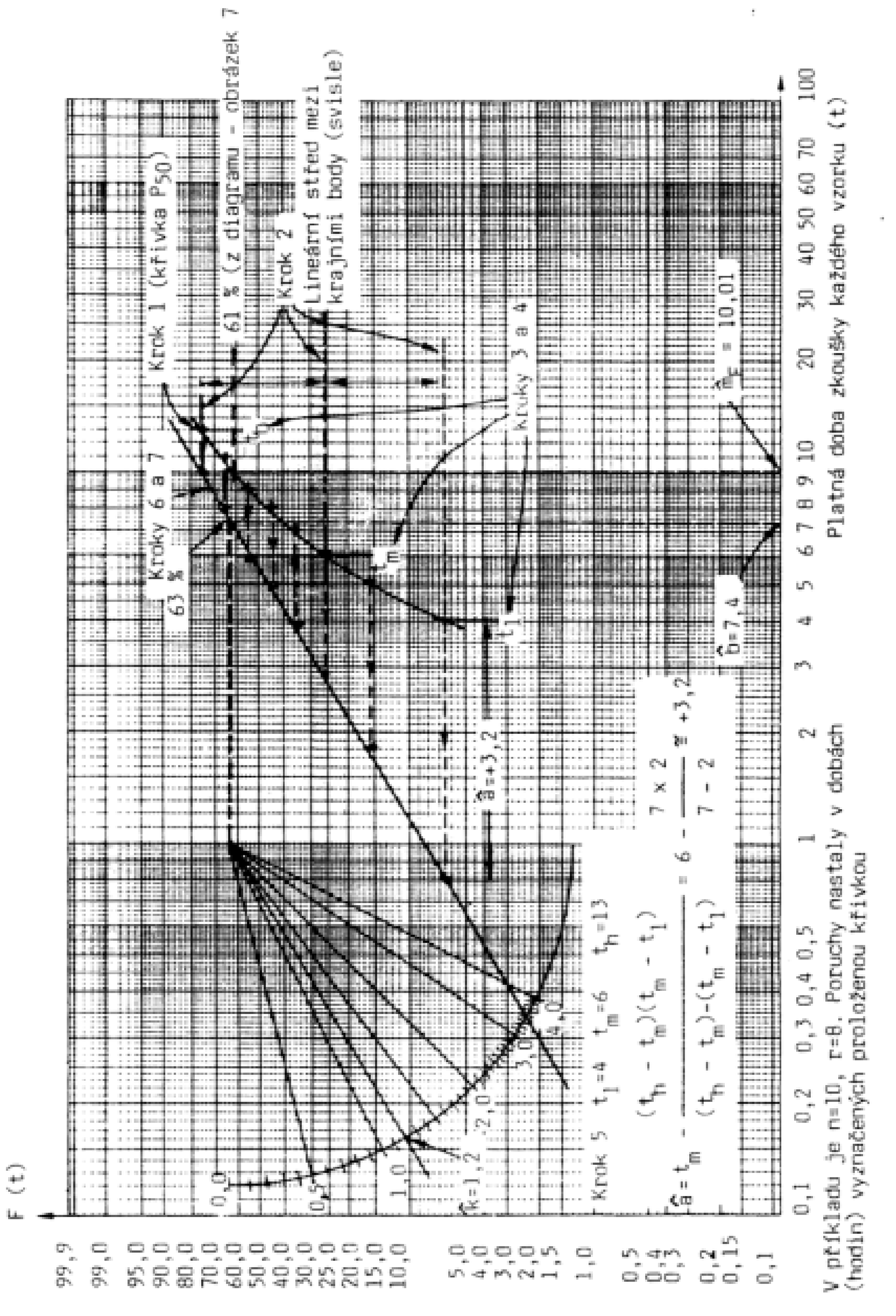
ν_2 \ ν_1	2	4	6	8	10	20	30	40	60	120	∞
2	9,00	9,24	9,33	9,37	9,39	9,44	9,46	9,47	9,47	9,48	9,49
4	4,32	4,11	4,01	3,95	3,92	3,84	3,82	3,80	3,79	3,78	3,76
6	3,46	3,18	3,05	2,98	2,94	2,84	2,80	2,78	2,76	2,74	2,72
8	3,11	2,81	2,67	2,59	2,54	2,42	2,38	2,36	2,34	2,32	2,29
10	2,92	2,61	2,46	2,38	2,32	2,20	2,16	2,13	2,11	2,08	2,06
12	2,81	2,48	2,33	2,24	2,19	2,06	2,01	1,99	1,96	1,93	1,90
14	2,73	2,39	2,24	2,15	2,10	1,96	1,91	1,89	1,86	1,83	1,80
16	2,67	2,33	2,18	2,09	2,03	1,89	1,84	1,81	1,78	1,75	1,72
18	2,62	2,29	2,13	2,04	1,98	1,84	1,78	1,75	1,72	1,69	1,66
20	2,59	2,25	2,09	2,00	1,94	1,79	1,74	1,71	1,68	1,64	1,61
30	2,49	2,14	1,98	1,88	1,82	1,67	1,61	1,57	1,54	1,50	1,46
40	2,44	2,09	1,93	1,83	1,76	1,61	1,54	1,51	1,47	1,42	1,38
60	2,39	2,04	1,87	1,77	1,71	1,54	1,48	1,44	1,40	1,35	1,29
120	2,35	1,99	1,82	1,72	1,65	1,48	1,41	1,37	1,32	1,26	1,19
∞	2,30	1,94	1,77	1,67	1,60	1,42	1,34	1,30	1,24	1,17	1,00

0,95–kvantily

ν_2 \ ν_1	2	4	6	8	10	20	30	40	60	120	∞
2	19,00	19,20	19,30	19,40	19,40	19,40	19,50	19,50	19,50	19,50	19,50
4	6,94	6,39	6,16	6,04	5,96	5,80	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
6	5,14	4,53	4,28	4,15	4,06	3,87	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
8	4,46	3,84	3,58	3,44	3,35	3,15	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
10	4,10	3,48	3,22	3,07	2,98	2,77	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
12	3,89	3,26	3,00	2,85	2,75	2,54	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
14	3,74	3,11	2,85	2,70	2,60	2,39	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
16	3,63	3,01	2,74	2,59	2,49	2,28	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
18	3,55	2,93	2,66	2,51	2,41	2,19	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
20	3,49	2,87	2,60	2,45	2,35	2,12	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
30	3,32	2,69	2,42	2,27	2,16	1,93	1.84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	3,23	2,61	2,34	2,18	2,08	1,84	1.74	1,69	1,64	1,58	1.51
60	3,15	2,53	2,25	2,10	1,99	1,75	1.65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	3,07	2,45	2,18	2,02	1,91	1,66	1,55	1,49	1,43	1.35	1,25
∞	3.00	2,37	2.10	1,94	1,83	1,57	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

Lineární interpolace mezilehlých hodnot ν je dostatečně přesná.
ν_1: stupně volnosti čitatele,
ν_2: stupně volnosti jmenovatele.

Obr. 1: Příklad použití Weibullova pravděpodobnostního papíru, zdroj ČSN IEC 605-4



Příloha č.: 2

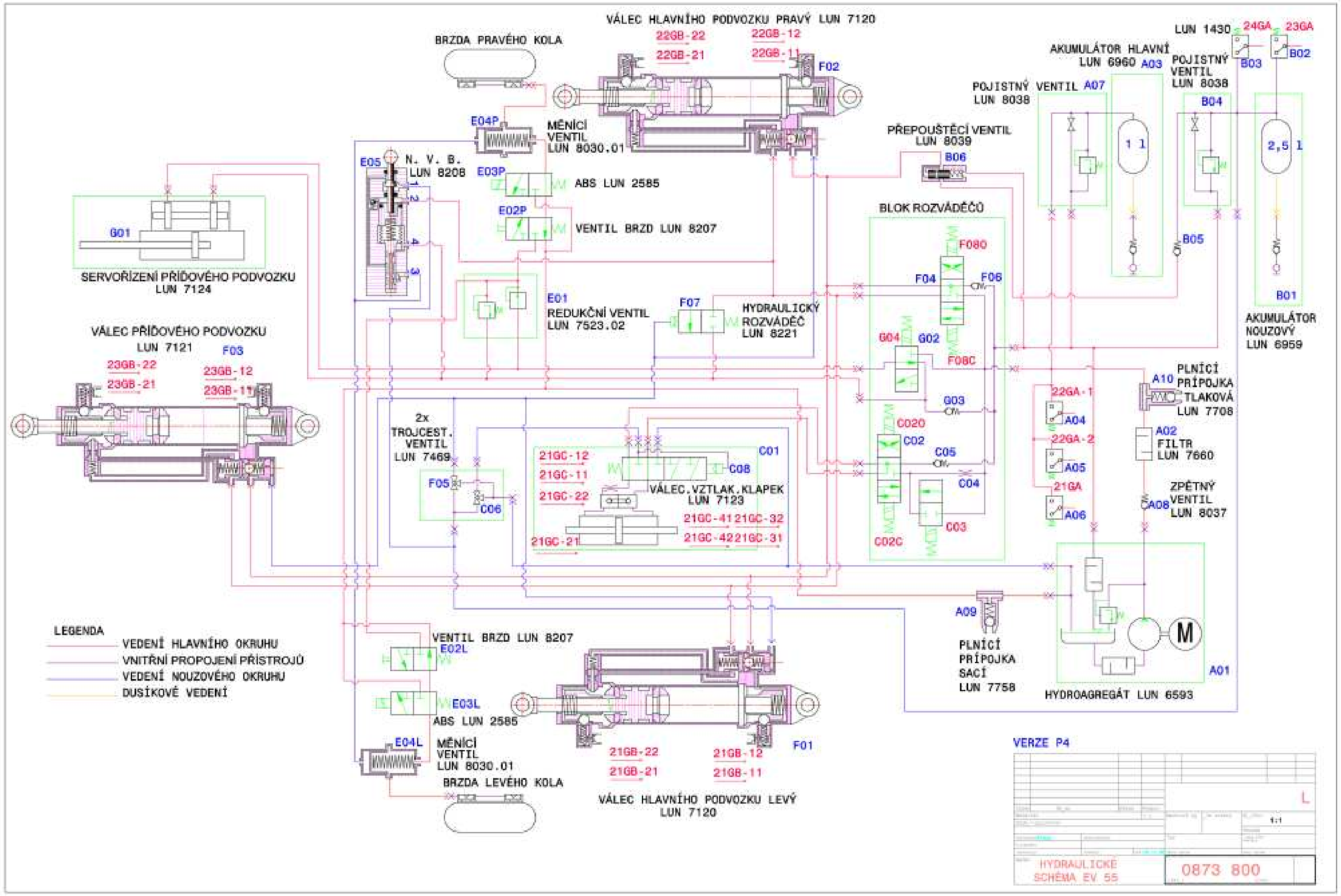
Počet stran: 2

Schematický nákres hydraulické soustavy

OBSAH

KAPITOLA NÁZEV STRANA

1. SCHEMATICKÝ NÁKRES HYDRAULICKÉ SOUSTAVY 2


VÁLEC HLAVNÍHO PODVOZKU PRAVÝ LUN 7120
BRZDA PRAVÉHO KOLA
MĚNÍCÍ VENTIL LUN 8030.01
N. V. B. LUN 8208
ABS LUN 2585
VENTIL BRZD LUN 8207
SERVOŘÍZENÍ PŘÍĎOVÉHO PODVOZKU LUN 7124
REDUKČNÍ VENTIL LUN 7523.02
HYDRAULICKÝ ROZVÁDĚČ LUN 8221
VÁLEC PŘÍĎOVÉHO PODVOZKU LUN 7121
2x TROJCEST. VENTIL LUN 7469
VÁLEC.VZTLAK.KLAPEK LUN 7123
BLOK ROZVÁDĚČŮ
PŘEPOUŠTĚCÍ VENTIL LUN 8039
POJISTNÝ VENTIL LUN 8038
AKUMULÁTOR HLAVNÍ LUN 6960
LUN 1430
AKUMULÁTOR NOUZOVÝ LUN 6959
PLNÍCÍ PŘÍPOJKA TLAKOVÁ LUN 7708
FILTR LUN 7660
ZPĚTNÝ VENTIL LUN 8037
PLNÍCÍ PŘÍPOJKA SACÍ LUN 7758
HYDROAGREGÁT LUN 6593
LEGENDA
VEDENÍ HLAVNÍHO OKRUHU
VNITŘNÍ PROPOJENÍ PŘÍSTROJŮ
VEDENÍ NOUZOVÉHO OKRUHU
DUSÍKOVÉ VEDENÍ
ABS LUN 2585
MĚNÍCÍ VENTIL LUN 8030.01
BRZDA LEVÉHO KOLA
VÁLEC HLAVNÍHO PODVOZKU LEVÝ LUN 7120
VERZE P4
HYDRAULICKÉ SCHÉMA EV 55
0873 800

Příloha č.: 3

Počet stran: 44

Intenzity poruch vybraných součástí

OBSAH

KAPITOLA NÁZEV STRANA

1. INTENZITY PORUCH VYBRANÝCH SOUČÁSTÍ 2

Definice prostředí pro přístroje

Prostředí - Environment	Zkratka prostředí - Environment Abbreviation	Popis - Description
Vzduch -Air (General)	A	Nejvíce zevšeobecněné podmínky provozu letadla a testování. The most generalized aircraft operation and testing conditions
Vzduch, bitevník, Air, Fighter (General)	AF	Zevšeobecněné podmínky Generalized fighter aircraft operation and testing conditions
Air, Inhabited (General)	AI	General conditions in inhabited areas without environmental extremes
Air, Inhabited Fighter	AIF	Typical conditions in cargo compartments occupied by aircrew without environment extremes of pressure, temperature, shock and vibration and installed on high performance aircraft such as fighters and interceptors
Air, Inhabited Trainer	AIT	Typical conditions in cargo compartments occupied by aircrew without environment extremes of pressure, temperature, shock and vibration and installed on high performance aircraft such trainer aircraft
Air, Rotary Wing	ARW	Equipment installed on helicopters, includes laser designators and fire control systems
Air, Trainer (General)	AT	Generalized trainer aircraft operation and testing conditions
Air, Uninhabited (General)	AU	General conditions of such areas as cargo storage areas, wing and tail installations where extreme pressure, temperature, and vibration cycling exist
Air, Uninhabited Cargo	AUC	Equipment bay, tail, or where extreme pressure, vibration, and temperature cycling may be aggravated by contamination from oil, hydraulic fluid and engine exhaust. Installed on high performance aircraft such as used for cargo aircraft
Air, Uninhabited Fighter	AUF	Bomb bay, equipment bay, tail, or where extreme pressure, vibration, and temperature cycling may be aggravated by contamination from oil, hydraulic fluid and engine exhaust. Installed on high performance aircraft such as fighters and interceptors
Air, Uninhabited Trainer	AUT	Bomb bay, equipment bay, tail, or where extreme pressure, vibration, and temperature cycling may be aggravated by contamination from oil, hydraulic fluid and engine exhaust. Installed on high performance aircraft such as used for trainer aircraft
Dormant/Storage	DOR	Component or equipment is connected to a system in the normal operational configuration and experiences non-operational and/or periodic operational stresses and environmental

		stresses
Ground (General)	G	The most generalized ground operation and test conditions
Ground, Benign	GB	Non-mobile, laboratory environment readily accessible to maintenance, includes laboratory instruments and test equipment, medical electronic equipment, business and scientific computer complexes
Ground, Fixed	GF	Condition less than ideal such as installation in permanent racks with adequate cooling air and possible installation in unheated buildings, includes permanent installation of air traffic control, radar and communications facilities
Ground, Mobile	GM	Equipment installed on wheeled or tracked vehicles, includes tactical missile ground support equipment, mobile communication equipment, tactical fire direction systems
Space, Flight	SF	Earth orbital. Approaches benign ground conditions. Vehicle neither under powered flight nor in atmosphere re-entry, includes satellites and shutles

Tank Hydraulic Reservoir

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C					62,2654		Data Records used in ‘Nonelectronic Part Reliability Data’, NPRD-3, 1985.
		Commercial	AUT	NPRD-096 NPRD-098	7,5630 3,1250 10,3448	0,3200 0,8700	

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Tank	Leaking Cracked/Fractured Burst/Ruptured Cut/Scarred/Punctured False Operation Unknown	80,6% 9,7% 3,2% 3,2% 3,2% -----	64,1% 7,7% 2,6% 2,6% 2,6% 20,5%	Source: Nonelectronic Parts Reliability Data, NPRD-3 This report, organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectronic part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

Hydraulic Pump

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C					45,6593		Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985.
	Pump, Hydraulic	Commercial	AIT	NPRD-081 NPRD-090 NPRD-096 NPRD-098	86,2750 42,6270 176,1905 16,7428 168,7500 6,6327	0,2100 1,3140 0,1600 3,9200	
	Pump, Hydraulic, Electric, Motor Driven				121,4423		
		Commercial	A AIT AUT	NPRD-098 NPRD-076 NPRD-093	29,8834 6,8894 387,3518 10,0000	2,9030 0,2530 0,1000	Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985.
	Pump, Hydraulic, Gear				1,7138		
SRC SPIDR	Pump, Hydraulic, With Drive, Engine Driven				146,0873		
		Commercial Military	A AIT AUT ARW		162,1677 18,5185 443,1373 239,0888 86,6667	 0,1620 0,5100 0,3000	

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Pump, Hydraulic (Summary for All)	Leaking Fails to Start Fails to Run Cracked/Fractured Degraded Noisy	56,4% 11,9% 11,6% 8,3% 6,1% 5,8%		Source: Nonelectronic Parts Reliability Data, NPRD-3 This report, organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectronic part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.
	Pump, Hydraulic, Electric, Motor Driven	Fails to Run Fails to Start	54,5% 54,5%	54,5% 54,5%	Source: Component Failure Data Handbook; Gentillon, C.D. This report presents generic component failure rates that are used in reliability and risk studies of commercial nuclear power plants. The rates are computed using plant specific data from published probabilistic risk assessments supplemented by selected other sources. Each data source is described. For rates with four or more separate estimates among the sources, plots show the data that are combined. The method for combining data from different sources is presented.
	Pump, Hydraulic, Gear	Leaking	100%	100%	Source: Nonelectronic Parts Reliability Data, NPRD-3 This report, organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectronic part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

Hydraulic Actuator

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Actuator, Hydraulic, Linear				50,3364		Source: 25199-000, Data Collection for Nonelectronic Reliability Handbook; Volumn II, Section I, Failure Rate Data; RADC-TR-68-114; AD-841-107 Source: NPRD; Source Proprietary, Data used in ‘Nonelectronic Part Reliability Data’ NPRD-3, 1985
		Commercial	 ARW AUC	25199-000 NPRD-062 NPRD-091 25199-000 NPRD-093 NPRD-096 NPRD-098	133,3052 212,2340 948,2201 103,5422 97,3684 94,0527 498,3352 65,8537 80,0857 29,7735	0,3090 0,7340 1,1400 1,8020 0,4100 4,6700 46,7530	
	Cylinder	Unknown	GB GM	 27027-000 27024-000	0,1261 0,0070 2,2727	 ----- 0,4400	
SRC SPIDR	Actuator, Hydraulic, Linear				77,2151		
		Commercial	ARW AUC	254 567 645 282 352 560 567	146,0638 212,0638 103,5422 948,2201 97,3684 110,3668 56,4543 65,8537 80,0857 498,3352	 0,7340 0,3090 1,1400 8,9630 0,4100 4,6700 1,8020	

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Actuator, Piston, Cylinder	Seal Failure Body/Head Joint Failure Piston Rod Failure Cylinder Body Failure Unknown	80,0% 11,4% 5,7% 2,9% -----	71,8% 10,3% 5,1% 2,6% 10,3%	Source: Source Proprietary This source contains failure rate and failure mode data on various industrial part types. Publisher in 1988.
SRC SPIDR	Actuator	False Operation Degraded Operation Mechanical Failure Worn No Operation Out of Specification Other Unknown Vendor Defect Workmanship	68,0498% 22,4066% 6,2241% 2,0747% 0,8299% 0,4149% ----- ----- ----- -----	52,90% 17,42% 4,8387% 1,61% 0,64% 0,32% 16,7% 4,52% 0,32% 0,64%	Source: IEEE Guide to the Collection and Presentation of Electrical, Electronic, Sensing Component, and Mechanical Equipment Reliability Data for Nuclear-Power Generati
	Cylinder	Leakage Loose Mechanical Failure Unknown	60% 20% 20% -----	42,86% 14,29% 14,29% 28,57%	Source: Failure Type Failure Rate Modifiers .

Hydraulic Accumulator

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Accumulator, Hydraulic (Summary)				32,0354		
		Commercial			14,2338	-----	
					43,0011	-----	
			AU		13,7390	-----	
			GM		1,5036	-----	
			SF				
	Accumulator, Hydraulic				28,4106		Source: NPRD; Source Proprietary Data used in 'Nonelectronic Part Reliability Data' NPRD-3, 1985
		Commercial	AU		14,2338		
					43,0011		
				NPRD-090	32,2581	0,0310	
			GM	NPRD-096	8,6957	0,6900	
			SF	NPRD-098	229,0076	0,1310	
				NPRD-096	13,7390	8,1520	
				NPRD-096	1,5036	47,2200	
SRC SPIDR	Accumulator, Pressurized, Hydraulic				43,0011		
		Commercial	AU		43,0011		
				282	229,0076	0,1310	
				560	8,6957	0,6900	
				685	32,2581	0,0310	

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Accumulator, Hydraulic	Leaking Cracked/Fractured No Operation Breach Out of Specification Stuck Closed Unknown	75,9% 6,9% 6,9% 3,4% 3,4% 3,4% -----	66,7% 6,1% 6,1% 3,0% 3,0% 3,0% 12,1%	Source: 20609-000, Nonelectronic Parts Reliability Data, NPRD-3. This report, organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectronic part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

Electro-magnetic Valve

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Valve, Hydraulic				3,0764		Source: NPRD; Source Proprietary Data used in 'Nonelectronic Part Reliability Data' NPRD-3, 1985
		Commercial			18,8979		
			AT		23,3073		
				NPRD-090	8,7588		
				NPRD-093	17,1007	3,9960	
			AU	NPRD-096	41,8967	6,3740	
			AUT	NPRD-098	47,0256	3,0790	
				NPRD-096	4,1929	10,2710	
				NPRD-093	29,0345	0,4770	
				NPRD-096	181,0345	0,3480	
					4,8027	2,9150	
	Valve, Hydraulic, Electronic Activated				28,4106		Source: NPRD; Source Proprietary Data used in 'Nonelectronic Part Reliability Data' NPRD-3, 1985
		Military	A		142,8571	0,0070	
			AU	NPRD-082	47,8589	0,3970	
				NPRD-082			
SRC SPIDR	Valve, Hydraulic, Solenoid				85,7685		
		Commercial	AT	352	29,8273	0,6370	
		Military			114,1044		
					71,3079		
			A	567	98,4467	4,5710	
				727	66,1515	1,1640	
				816	55,6769	0,9160	
			ARW		182,5857		
				200	500,0000	0,0140	
				254	101,4493	0,2070	
				645	120,0000	0,1000	
			A	708	44,4830		

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Valve, Hydraulic	Unstable Operation Leaking Stuck Closed Improper Flow Intermittent Operation Out of Specification Stuck Open	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	Source: 20609-000, Nonelectronic Parts Reliability Data, NPRD-3. This report, organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectronic part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

Hydraulic Limiter Valve

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Valve, Hydraulic, Restrictor				23,2070		Source: NPRD, Source Proprietary. Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985. Source: 14182-001, Nonelectronic Reliability Notebook; January 1975; AD-A005 657; RADC-TR-75-22; Huges Aircraft Company. This study has as its major objective the collection, analysis, and presentation of the failure rate data and analysis methods that form the state-of-the-art of nonelectronic reliability.
		Military Unknown	A GM A GF	NPRD-051 NPRD-082 NPRD-095 14182-001 14182-001	52,5215 53,1213 24,6914 114,2857 21,7391 10,3713 19,3740 5,5520	3,8880 0,1400 ----- -----	
SRC SPIDR	Valve, Restrictor				42,0727		
		Military	 AUC AUF		42,0727 53,8443 25,6592		

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Valve, Hydraulic	Unstable Operation Leaking Stuck Closed Improper Flow Intermittent Operation Out of Specification Stuck Open	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	Source: 20609-000, Nonelectronic Parts Reliability Data, NPRD-3. This report, organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectronic part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

Return Valve

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Valve, Hydraulic, Check				5,3725		Source: 25199-000, Data Collection for Nonelectronic Reliability Handbook; Volumn II, Section I, Failure Rate Data; RADC-TR-68-114; AD-841-107. Source: NPRD; Source Proprietary. Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985. Source: 16953-000, F-4D Field Experience- Reliability Part II Volumn 2, Technical Report AFFDLTR- 72-2; February 1972
		Military Unknown	A ARW AU AUF A	25199-000 NPRD-082 NPRD-086 NPRD-062 NPRD-091 NPRD-082 NPRD-106 16953-000 14182-001	4,8614 7,3748 30,3023 25,1889 0,5255 20,0502 10,0503 40,0000 18,8603 36,2319 9,8177 34,4828 12,6310	79,1690 0,3970 1,9030 0,5970 0,1500 0,2760 31,3720 0,1160 -----	
SRC SPIDR	Valve, Check, Hydraulic				13,8653		
		Military Unknown	A ARW AU AUF A		13,9651 7,3748 20,0502 18,8603 15,4110 12,6310		

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Valve, Hydraulic, Check	Leaking Stuck Open Cracked/Fractured Improper Flow Intermittent Operation Out of Specification Stuck Closed Other	82,3% 5,7% 3,4% 2,9% 2,3% 1,7% 1,7% -----	80,9% 5,6% 3,4% 2,8% 2,2% 1,7% 1,7% 1,7%	Source: 20609-000; Nonelectronic Parts Reliability Data, NPRD-3. This report organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectric part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

Relief Valve

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Valve, Hydraulic, Relief			0,9201			Source: NPRD, Source Proprietary. Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985. Source: 25199-000, Data Collection for Nonelectronic Reliability Handbook; Volumn II, Section I, Failure Rate Data; RADC-TR-68-114; AD-841-107. This document contains failure rate and failure mode data on a variety of nonelectronic part types. Released in 1968. Source: 16953-000, F-4D Field Experience - Reliability Part II Volumn 2. Technical Report AFFDLTR-72-2; February 1972. Source: 18212-000, F-15 AN/APG-63 Radar Case Study Report; August 1983; Goree, P.F.; AD-A142 071; Contract No. MDA903-79-C-0018; Institute for Defense Analysis; D-19.
		Commercial			5,3566		
			AT		9,8250		
				NPRD-093	14,5773	0,3430	
		Military		NPRD-096	8,0863	0,7420	
				NPRD-098	8,0460	0,8700	
					1,6968		
			A		67,1395		
				25199-000	26,8352	38,7550	
				NPRD-051	460,9844	1,6660	
				NPRD-082	24,4648	0,6540	
			AF	16953-000	202,5862	0,2320	
			AIF	18212-000	25,7646	0,0388	
			ARW		72,1483		
			AU	NPRD-062	22,9008	0,3930	
				NPRD-070	71,4286	0,0140	
				NPRD-091	405,0000	0,2000	
				NPRD-094	42,8571	0,1400	
				NPRD-106	7,8212	0,8950	
SRC SPIDR	Valve, Relief, Hydraulic				35,5536		
		Commercial	AT		5,8635		
		Military			60,8841		
			A		67,1395		
			AF		202,5862		

Database Type	**Index Term**	**Quality**	**Environment**	**Source**	**Failure Rate [10^6/h]**	**Hours [10^6/h]**	**Note**
SRC SPIDR	Valve, Hydraulic, Relief	Military Unknown	AIF ARW AU A ARW		25,7646 72,1483 7,8212 25,1237 14,7280 42,8570		Source: NPRD, Source Proprietary. Data Records used in

Database Type	**Index Term**	**Failure mode**	**Norm Dist**	**Fail Dist**	**Source**
NPRD-95C	Valve, Hydraulic, Relief	Leaking Unknown	100% -----	72,7% 27,3%	Source: 20609-000; Nonelectronic Reliability Data, NPRD-3. This report organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectric part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

By-Pass Valve

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Valve, Hydraulic, By-Pass (Summary)	Commercial	AT		29,2596		
	Valve, Hydraulic, By-Pass	Commercial	AT	NPRD-098	41,3793	1,3050	Source: NPRD-098; Source Proprietary. Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985
	Valve, Hydraulic, By-Pass, Motor	Commercial	AT	NPRD-098	20,6897	0,8700	Source: NPRD-098; Source Proprietary. Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985
SRC SPIDR	Valve, Bypass, Hydraulic				16,0077		
		Commercial	AUT		1,3793		
		Military			21,1348		
			AU		24,1040		
		Unknown	AUF		20,2189		
					8,9760		
			A				
			ARW		40,0000		

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Valve, Hydraulic	Unstable Operation Leaking Stuck Closed Improper Flow Intermittent Operation Out of Specification Stuck Open	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	Source: 20609-000; Nonelectronic Reliability Data, NPRD-3. This report organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectric part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

Change-Over Valve

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Valve, Hydraulic, Pressure Regulator	Unknown			15,4563	-----	Source: 14182-001; Nonelectronic Reliability Notebook; January 1975; AD-A005 657; RADC-TR-75-22; Huges Aircraft
			A	14182-001	28,3860	-----	
			GM	14182-001	8,4160		
	Regulator, Hydraulic, Pressure				20,0024		Source: NPRD-098; Source Proprietary. Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985
		Commercial			88,0419		
			A		120,0887		
				NPRD-090	77,9927	8,2700	
			AIT	NPRD-096	184,9057	0,2650	
					71,5837		
				NPRD-090	106,1678	7,9120	
				NPRD-096	42,9408	3,0740	
				NPRD-098	80,4598	0,8700	
SRC SPIDR	Regulator, Pressure, Hydraulic				69,3401		
		Commercial			87,9256		
			A		120,0887		
			AIT		71,4261		
					69,6789		
		Military	A		149,4983		
			AIF		79,8479		
			AIT		37,0757		
			ARW		70,0555		
			AU		178,8068		
			AUF		43,0074		
		Unknown			50,2169		
			A		67,5876		
			ARW		136,2130		
			AUT		10,2199		

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Valve, Hydraulic	Unstable Operation Leaking Stuck Closed Improper Flow Intermittent Operation Out of Specification Stuck Open	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	Source: 20609-000; Nonelectronic Reliability Data, NPRD-3. This report organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectric part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

Disproportional Valve

Database Type	**Index Term**	**Quality**	**Environment**	**Source**	**Failure Rate [10^6/h]**	**Hours [10^6/h]**	**Note**
NPRD-95C	Valve, Hydraulic, Flap	Commercial	AT	NPRD-098	11,4943	0,8700	Source: NPRD-098; Source Proprietary Data Records used in ‘Nonelectronic Part Reliability Data’, NPRD-3, 1985
SRC SPIDR	Valve, Gate, Hydraulic				49,9556		
		Military Unknown	 A ARW A ARW		48,1429 32,4484 71,4286 51,8364 37,6180 71,4290		
	Valve, Shut-Off, Hydraulic				19,6397		
		Commercial Military Unknow	 AT AU AUT A AF ARW AT AU AUF AUT		7,2075 4,1748 4,1929 28,1658 34,2072 66,2263 18,1518 158,0274 18,8679 12,1951 7,7957 20,4399		

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Valve, Hydraulic	Unstable Operation Leaking Stuck Closed Improper Flow Intermittent Operation Out of Specification Stuck Open	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	Source: 20609-000; Nonelectronic Reliability Data, NPRD-3. This report organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectric part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

Proportional Valve

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Valve, Hydraulic, Servo				13,9637		Source: 16953-000, F-4D Field Experience - Reliability Part II Volumn 2. Technical Report AFFDLTR- 72-2; February 1972.
		Commercial Military Unknown	AUT A ARW AUF A ARW	NPRD-093 NPRD-106 NPRD-091 16953-000 14182-001 14182-001	153,5299 110,0000 38,7302 31,5789 193,1818 158,1870 31,5790	 0,1000 1,5750 0,3800 0,1760 ----- -----	
SRC SPIDR	Valve, Servo				50,6097		
		Military	ARW AUC		65,2351 47,3301		
	Valve, Hydraulic, Solenoid				85,7685		
		Commercial Military Unknown	AT A ARW A		29,8273 114,1044 71,3097 182,5857 44,4830		

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Valve, Hydraulic	Unstable Operation Leaking Stuck Closed Improper Flow Intermittent Operation Out of Specification Stuck Open	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	Source: 20609-000; Nonelectronic Reliability Data, NPRD-3. This report organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectric part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

Distribution Valve

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Valve, Hydraulic, Control				57,7196		
		Commercial	AT	NPRD-090	162,1444	6,0810	
		Military			26,4372		
			AI	25199-000	94,9140	26,7400	
		Unknown	GM	10812-000	7,3638	5,4320	
					75,1869		
			A	14182-001	107,6360	-----	
			GF	18354-000	52,5202	-----	
SRC SPIDR	Valve, Control, Hydraulic				118,3214		
		Commercial	AT	685	162,1444	6,0810	
		Military	AI	567	94,9140	26,7400	
		Unknown	A	708	107,6360	-----	

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Valve, Hydraulic	Unstable Operation Leaking Stuck Closed Improper Flow Intermittent Operation Out of Specification Stuck Open	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	45,0% 20,0% 15,0% 5,0% 5,0% 5,0% 5,0%	Source: 20609-000; Nonelectronic Reliability Data, NPRD-3. This report organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectric part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

Pressure Switch

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Switch, Pressure, Hydraulic				111,4126		Source: NPRD-098; Source Proprietary. Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985 Source: 14182-001; Nonelectronic Reliability Notebook; January 1975; AD-A005 657; RADC-TR-75-22; Huges Aircraft
		Military			111,4163		
		Unknown	A	NPRD-051	137,9683	2,7760	
			ARW	NPRD-062	89,9743	0,7780	
					111,4160	-----	
			A	14182-001	137,9680	-----	
			ARW	14182-001	89,9740		
SRC SPIDR	Switch, Pressure, Hydraulic				85,8280		
		Military			79,6622		
			A		137,9683		
			ARW		89,9743		
			AUF		69,6584		
		Unknown			111,4160		
			A		137,9680		
			ARW		89,9740		

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Switch, Pressure	Degraded Operation Spurious/ False Operation Loss of Control Mechanical Failure Shorted No Output Lamp Failure Unknown	27,9% 23,2% 17,6% 13,2% 7,7% 5,5% 4,8% -----	13,8% 11,5% 8,7% 6,6% 3,8% 2,7% 2,4% 36,6%	Source: 23038-002; Source Proprietary. The data in these sources is from a U.S. Army maintenance system on elected components in various Army aircraft. The time period of data collected was January 1979 to June 1982. The aircraft corresponding to this source is OH-58A.

Hydraulic Filter

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Mechanical Filter, Hydraulic (Summary)				29,7370		
		Commercial			35,7762		
			AU		1,0417		
			AUT		22,1445		
			GM		129,9783		
	Mechanical Filter, Hydraulic						Source: NPRD, Source Proprietary. Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985.
		Commercial	AU	NPRD-079		0,9600	
			AUT	NPRD-090		2,7060	
			GM	NPRD-096		0,1600	
				NPRD-098		2,6100	
				NPRD-063			
				NPRD-106			
SRC SPIDR	Filter Assembly-Mechanical, Hydraulic						
		Military	AUF		77,9804		
			AUF	114	75,2358	0,2924	
			AUF	249	101,7372	0,0393	
			AUF	361	75,4269	1,1534	
			AUF	544	67,7659	0,7083	
			AUF	558	73,7028	0,1628	

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Mechanical Filter, Hydraulic, Fuel	Out of Specification Improper Flow Leaking Unknown	44,4% 33,3% 22,2% -----	42,1% 31,6% 21,1% 5,3%	Source: 20609-000, Nonelectronic Parts Reliability Data, NPRD-3 This report, organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectronic part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.

Manometer

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Gauge, pressure				12,4513		Source: NPRD, Source Proprietary. Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985. Source: 18459-000; Study and Investigation To Update The Nonelectronic Reliability Notebook, & RADC Nonelectronic Notebook; April 1985; AD-A157 242; Contract No. F30602-82-C-0127; RADC-TR-85-66 & RADC-TR-85-194; Huges Aircraft Company; FR 84-16-681
		Commercial	AIT	NPRD-096	100,0000	0,0500	
		Military	AI	NPRD-082	3,5185	5,4000	
			AU	NPRD-106	300,0000	0,0200	
		Unknown	AUT	18459-000	40,8797	0,1468	
SRC SPIDR	Gauge, Pressure				124,4668		
		Commercial	AIT		100,0000		
		Military			130,6337		
			AI		3,5185		
			AIC		201,7670		
			AIF		27,0745		
			ARW		198,3748		
			AU		300,0000		
			AUF		71,8005		
		Unknown			43,5196		
			A		46,3300		
			AUT		40,8797		

Database Type	**Index Term**	**Failure mode**	**Norm Dist**	**Fail Dist**	**Source**
NPRD-95C	Gauge, Pressure	Drift Binding/Sticking Leaking Opened Shorted Unstable Operation	40,9% 27,3% 9,1% 9,1% 9,1% 4,5%	40,9% 27,3% 9,1% 9,1% 9,1% 4,5%	Source: 24992-000; Information For Reliability Prediction. This source is from a General Electric Technical Memorandum written by Apollo Support Department in May of 1964. The data presented encompasses a wide range of part types.

Sensor Temperature

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Sensor, Temperature (Summary)				1,8268		
		Commercial	GB		0,1053		
		Military	DOR		5,0000		
		Unknown			7,6159		
			AU		17,7888		
			AUF		10,0062		
			GB		3,3000		
	Sensor, Temperature				2,3729		Source: 27009-000, Failure Rate Data of Temperature Sensors. This document contains failure rate data on temperature sensors.
		Commercial	GB		0,0273		
			DOR	13567-021	0,0277		
			AU	13567-022	1,6943		
			AUF	11233-000	5,0000		
			GB		7,6159		
				27009-000	17,7888	16,5834	
				27009-000	10,0062	0,0999	
				27009-000	3,3000		
SRC SPIDR	Sensor, Temperature				26,5008		
		Military			84,0433		
			AIF		66,3698		
			ARW		68,9612		
			AUC		86,0996		
			AUF		94,4587		
		Unknown			1,9654		
			AU		17,7888		
			AUF		10,0062		
			G		25,6920		
			GB		3,3000		
			GM		0,0099		

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Sensor, Temperature (Summary)	Degraded Output Zero or maximum output No Output Function Without Signal Change in Resistance Shorted	47,8% 37,4% 8,1% 5,9% 0,4% 0,4%		
	Sensor, Temperature	Degraded Output Zero or maximum output No Output Function Without Signal Change in Resistance Shorted Unknown	45,0% 40,0% 7,0% 6,0% 1,0% 1,0% -----	41,7% 37,0% 6,5% 5,6% 0,9% 0,9% 7,4%	Source: 18175-000, Source Proprietary. This source represents a compendium of failure mode data for a wide variety of part types.
SRC SPIDR	Sensor Temperature	Functional Failure Degraded Operation No Operation Out of Specification False Operation Leakage Intermittent Operation Mechanical Failure Other Unknown	41,18% 39,22% 6,86% 3,92% 3,27% 2,94% 1,63% 0,98% ----- -----	37,39% 35,61% 6,23% 3,56% 2,97% 2,67% 1,48% 0,89% 0,30% 8,90%	Source: 34, IEEE Guide to the Collection and Presentation of Electrical, Electronic, Sensing Component, and Mechanical Equipment Reliability Data For Nuclear-Power Generaci. This guide is intended to establish one method of collecting and presenting reliability data for use in nuclear-power generating station reliability calculations as outlined in IEEE-STD-352-1975, IEEE Guide for General Principles of Reliability Analysis of Nuclear-Power Generating Station Protections Systems. The data are normally used by design engineers in models developed by analysts.

Indicator Temperature

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate $[10^6/h]$	Hours $[10^6/h]$	Note
NPRD-95C	Indicator Temperature				94,2612		
		Unknown	A ARW GM	4182-001 14182-001 14182-001 27030-000	103,2170 130,8410 62,0160 62,0160	----- -----	
SRC SPIDR	Indicator, Temperature						
		Industrial Military	GF AIF	114 249 361 544 558	1,3297 580,0160 686,0792 1540,5168 939,0562 46,9605 1408,4278	 0,5174 0,0831 2,0340 1,1712 0,2464	

Hoses, Tubes, Pipes

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Hose, Hydraulic (Summary)				28,5393		
		Military	 A ARW DOR GM		28,5393 115,8301 161,7935 1,6133 4,4158		
	Hose, Hydraulic				45,5400		Source: NPRD, Source Proprietary. Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985.
		Military	 A ARW	 NPRD-082 NPRD-062 NPRD-070 NPRD-091	45,5400 115,8301 161,7935 450,0000 285,7143 32,9412	 0,2590 0,0800 0,0140 5,1000	
	Hose, Hydraulic, Flexible	Military	DOR	NPRD-114	1,7461		
SRC SPIDR	Hose, Hydraulic				17,5583		
		Military Unknown	 A ARW DOR GM GM		118,5406 115,8301 161,7935 2,4024 0,0006		

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Hose (Summary)	Broken Aged/Deteriorated Cracked/Fractured Leaking Liquid Leakage Defective	72,4% 10,9% 9,6% 3,2% 2,6% 1,3%		
	Hose, Hydraulic, Flexible	Leakage	100%		Source: 28565-000, Source Proprietary. This source provides test data on a military helicopter.
SRC SPIDR	Hose, Hydraulic	Leakage Mechanical Failure	66,67% 33,33%	66,67% 33,33%	

Pipe Connections

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate [10^6/h]	Hours [10^6/h]	Note
NPRD-95C	Connection, Hydraulic				0,5600		Source: 27027-000, Failure Rates - Reliability Physics 1962; Earles, D.R., Eddins, M.F.
		Unknown	GB	27027-000	0,5600	-----	
	Fitting, Hydraulic (Summary)						
		Military			26,0420		
		Unknown	A		8,9286		
			ARW		300,0000		
			AU		1118,9280		
			DOR		0,4611		
			GM		17,7583		
					1,2902		
			A		30,6120		
			ARW		3,8980		
			GF		0,0180		
	Fitting, Hydraulic	Unknown			0,2649		Source: 14182-001, Nonelectronic Reliability Notebook; January 1975; AD-A005 657; RADC-TR-75-22; Hughes Aircraft Company. This study has as its major objective the collection, analysis, and presentation of the failure rate data and analysis methods that form the state-of-the-art of nonelectronic reliability.
			ARW	14182-001	3,8980		
			GF	14182-001	0,0180		

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate $[10^6/h]$	Hours $[10^6/h]$	Note
NPRD-95C	Fitting, Hydraulic, Quick Disconnect	Military			26,0420		Source: NPRD, Source Proprietary. Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985.
			A	NPRD-082	8,9286	0,1120	
			ARW	NPRD-091	300,000	0,0100	
			AU	NPRD-106	1118,9280	0,5970	
			DOR		0,4611		
				NPRD-111	1,5106		
				NPRD-115	0,4993		
			GM		17,7583		
				10812-000	8,8300		
				NPRD-095	35,7143		
	Tubing, Hydraulic	Unknown	GB	27027-000	0,2240		Source: 27027-000, Failure Rates - Reliability Physics 1962; Earles, D.R., Eddins, M.F. This data source contained generic failure rates and generic life expectancies.

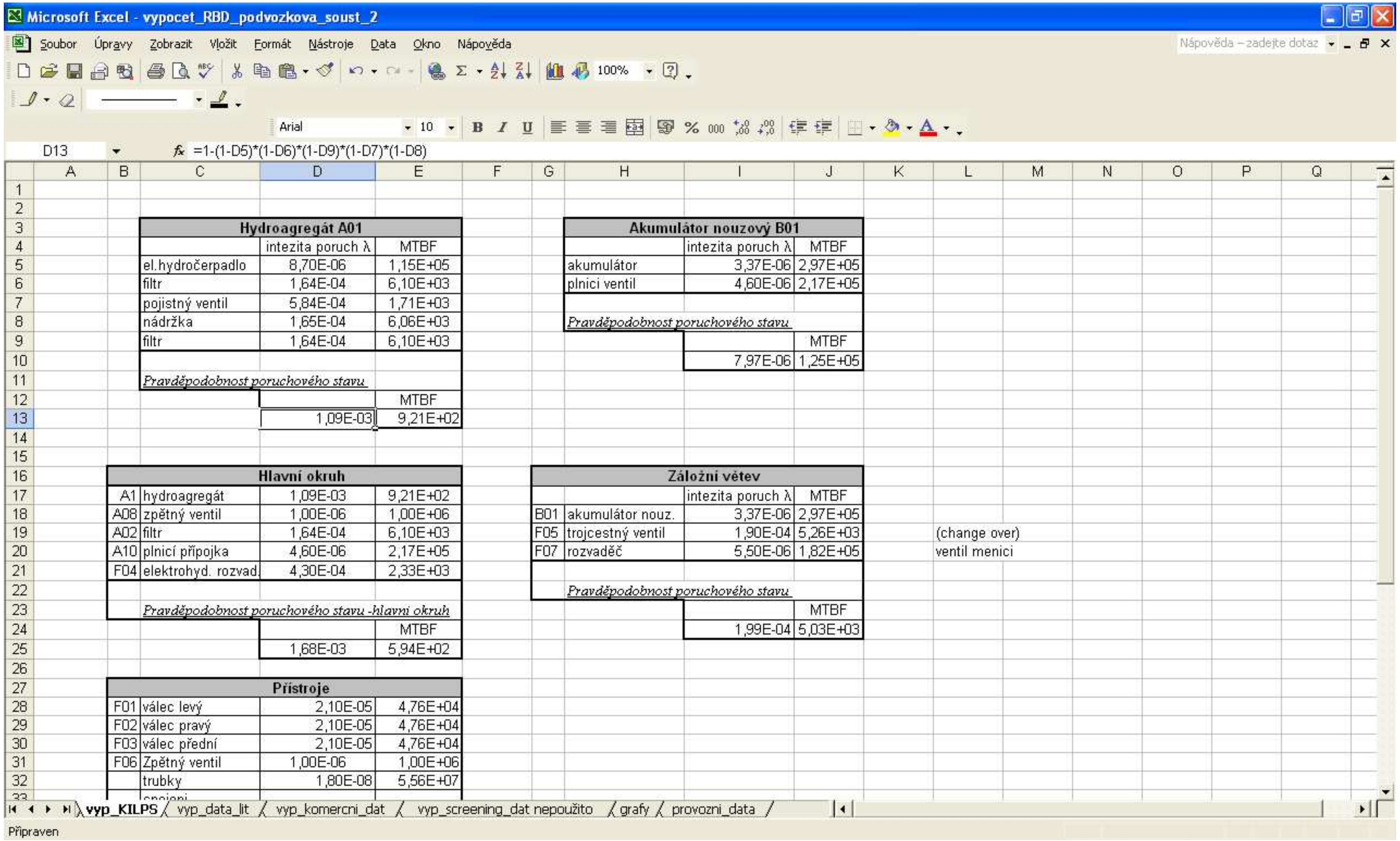
Coupling

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Coupling, Half, Quick Disconnect, Hydraulic	Leaking	100%	100%	Source: 28565-000, Source Proprietary. This source provides test data on a military helicopter.

Supply Valve

Database Type	Index Term	Quality	Environment	Source	Failure Rate $[10^6/h]$	Hours $[10^6/h]$	Note
NPRD-95C	Valve, Hydraulic, Check				5,3725		Source: 25199-000, Data Collection for Nonelectronic Reliability Handbook; Volumn II, Section I, Failure Rate Data; RADC-TR-68-114; AD-841-107. Source: NPRD; Source Proprietary. Data Records used in 'Nonelectronic Part Reliability Data', NPRD-3, 1985. Source: 16953-000, F-4D Field Experience- Reliability Part II Volumn 2, Technical Report AFFDLTR-72-2; February 1972.
		Military			4,8614		
			A		7,3748		
				25199-000	30,3023	79,1690	
				NPRD-082	25,1889	0,3970	
				NPRD-086	0,5255	1,9030	
			ARW		20,0502		
				NPRD-062	10,0503	0,5970	
				NPRD-091	40,0000	0,1500	
			AU		18,8603		
				NPRD-082	36,2319	0,2760	
				NPRD-106	9,8177	31,3720	
			AUF	16953-000	34,4828	0,1160	
		Unknown	A	14182-001	12,6310	-----	
SRC SPIDR	Valve, Check, Hydraulic				13,8653		
		Military			13,9651		
			A		7,3748		
			ARW		20,0502		
		Unknown	AU		18,8603		
			AUF		15,4110		
			A		12,6310		

Database Type	Index Term	Failure mode	Norm Dist	Fail Dist	Source
NPRD-95C	Valve, Hydraulic, Check	Leaking Stuck Open Cracked/Fractured Improper Flow Intermittent Operation Out of Specification Stuck Closed Othe	82,3% 5,7% 3,4% 2,9% 2,3% 1,7% 1,7% -----	80,9% 5,6% 3,4% 2,8% 2,2% 1,7% 1,7% 1,7%	Source: 20609-000; Nonelectronic Parts Reliability Data, NPRD-3. This report organized in four major sections, presents reliability information based on field operation, dormant state, and test data for more than 380 major nonelectric part types. The four sections are Generic Data, Background Information, Detailed Data, and Failure Modes and Mechanisms. Each device type contains reliability information in relation to the specific operational environments.



Hydroagregát A01		
	intezita poruch λ	MTBF
el.hydročerpadlo	8,70E-06	1,15E+05
filtr	1,64E-04	6,10E+03
pojistný ventil	5,84E-04	1,71E+03
nádržka	1,65E-04	6,06E+03
filtr	1,64E-04	6,10E+03
Pravděpodobnost poruchového stavu		
		MTBF
	1,09E-03	9,21E+02

Akumulátor nouzový B01		
	intezita poruch λ	MTBF
akumulátor	3,37E-06	2,97E+05
plnici ventil	4,60E-06	2,17E+05
Pravděpodobnost poruchového stavu		
		MTBF
	7,97E-06	1,25E+05

Hlavní okruh			
A1	hydroagregát	1,09E-03	9,21E+02
A08	zpětný ventil	1,00E-06	1,00E+06
A02	filtr	1,64E-04	6,10E+03
A10	plnicí přípojka	4,60E-06	2,17E+05
F04	elektrohyd. rozvad.	4,30E-04	2,33E+03
	Pravděpodobnost poruchového stavu -hlavní okruh		
			MTBF
		1,68E-03	5,94E+02

Záložní větev			
		intezita poruch λ	MTBF
B01	akumulátor nouz.	3,37E-06	2,97E+05
F05	trojcestný ventil	1,90E-04	5,26E+03
F07	rozvaděč	5,50E-06	1,82E+05
	Pravděpodobnost poruchového stavu		
			MTBF
		1,99E-04	5,03E+03

(change over)
ventil menici

Přístroje			
F01	válec levý	2,10E-05	4,76E+04
F02	válec pravý	2,10E-05	4,76E+04
F03	válec přední	2,10E-05	4,76E+04
F06	Zpětný ventil	1,00E-06	1,00E+06
	trubky	1,80E-08	5,56E+07
	spojení		

Obr.1.: Ukázka výpočtu pravděpodobnosti selhání podvozkové soustavy

Příloha č.: 4

Počet stran: 5

Vyhodnocení provozních dat

OBSAH

KAPITOLA NÁZEV STRANA

1. VYHODNOCENÍ PROVOZNÍCH DAT 5

Vyhodnocení provozních dat L 410

Význačné nehody, zdroj literatura [17]:

Datum	Typ	Imatrik.zn.	Provozovatel	Umrtí	Místo nehody	Fáze letu	*
date unk.	Let 410T	931	Libyan Arab AF		?	U	U1
date unk.	Let 410UVP	HR-ASF	Atlantic Airlines		La Ceiba ?	U	A1
18-APR-1972	Let 410		Slov Air	0	Nürnberg	H	H2
08-JUN-1972	Let 410A	OK-ADN	Slov Air	1	Latsch	H	H2
??-???-1975	Let 410A	OK-DKD	Let		?	STD	O1
07-JUL-1977	Let 410UVP	OK-162	Let	3	near Nedakonice	F	A1
06-AUG-1977	Let 410AF	HA-YFA	Air Service Hungary	1	Lake Balaton	F	A1
18-JAN-1979	Let 410M	CCCP-67210	Aeroflot / Central Region	3	near Belgorod	U	A1
03-AUG-1979	Let 410M	CCCP-67206	Aeroflot / Central Region	14	Leningrad	A	A1
18-FEB-1981	Let 410M	CCCP-67273	Aeroflot / Yakutsk			STD	O1
07-JAN-1982	Let 410M	CCCP-67290	Aeroflot / Georgia	18	near Gelendzhik	F	A1
10-FEB-1982	Let 410M	CCCP-67237	Aeroflot / Yakutsk	0	Yakutsk Airp...	STD	O1
14-AUG-1982	Let 410M	CCCP-67191	Aeroflot / Georgia	11	Sukhumi-Babu...	Taxi	A1
29-MAR-1983	Let 410M	CCCP-67190	Aeroflot / Georgia	6	Poti Airport	ICL	A1
19-OCT-1983	Let 410UVP	CCCP-67315	Aeroflot / Krasnoyarsk		Kransk	U	A1
04-JUL-1984	Let 410M	CCCP-67276	Aeroflot / Yakutsk		Chulman Airp...	L	A1
04-DEC-1984	Let 410MA	CCCP-67225	Aeroflot / Central Region	10	near Kostroma	F	A1
29-DEC-1984	Let 410UVP	CCCP-67140	Aeroflot / North Kavkaz		near Astrakhan	U L	A1
14-OCT-1985	Let 410M	CCCP-67264	Aeroflot / Yakutsk		Ust'Maya	IC	A1
31-DEC-1986	Let 410UVP	CCCP-67428	Aeroflot / Krasnoyarsk	0	Chernenko	U std	U1
13-JUN-1987	Let 410M	CCCP-67239	Aeroflot / Yakutsk			STD	O1
24-SEP-1987	Let 410MU	CCCP-67249	Aeroflot / Yakutsk	0	Yakutsk-Magan	T	A1
18-OCT-1987	Let 410UVP	CCCP-67334	Aeroflot / Privolzhsk	0	Saratov Airp...	L	A1
19-APR-1988	Let 410UVP	CCCP-67518	Aeroflot / East Siberia	17	near Bagdarin	F	A1
19-APR-1988	Let 410UVP	CCCP-67431	Aeroflot / East Siberia		Ulan-Ude Air...	U	A1
26-AUG-1988	Let 410MU	CCCP-67235	Aeroflot / Yakutsk	4	Irkutsk	A	A1
07-DEC-1988	Let 410UVP	CCCP-67127	Aeroflot / Krasnoyarsk	6	Kodinsk	A	A1
28-AUG-1989	Let 410UVP	CCCP-67104	Aeroflot / North Kavkaz		near Labinsk	L	A1
13-SEP-1989	Let 410M	OK-FDC	Aero Vodochody	0	Vodochody-Kl...	L	A1
12-OCT-1990	Let 410UVP	CCCP-67331	Aeroflot / Ukraine	0	Odessa-Centr...	L	A1
21-AUG-1991	Let 410UVP	CCCP-67091	Aeroflot / Far East	0	Poliny Osipenko	T	A1
27-AUG-1991	Let 410UVP	CCCP-67099	Aeroflot / Kazakstan	0	near Guriev	L	A1
27-SEP-1991	Let 410UVP	CCCP-67538	Aeroflot / Yakutsk	0	Magadan Airp...	T	A1
13-MAR-1992	Let 410UVP-E	OK-PDI	Slov Air	0	Zilina Airpo...	L	A1
04-APR-1992	Let 410UVP	CCCP-67130	Kamchatavia	1	near Baykovo	F	A1
26-AUG-1993	Let 410UVP-E	RA-67656	Sakha Avia	24	near Aldan Airpor...	L	A1
27-OCT-1993	Let 410UVP	UR-67536	Air Ukraine	0	Tyumen Airpo...	T	A2
??-APR-1994	Let 410UVP-E	CCCP-67608	Tuva Airlines	0	Kyzyl Airpor...	STD	O1
14-JUL-1994	Let 410UVP	RA-67470	Aeroflot / Far East	0	Blagoveshche...	T	A1
05-DEC-1994	Let 410UVP-E	J2-KBE	Puntavia	0	Aden Interna...	F	H2
20-JAN-1995	Let 410UVP	RA-67120	Abakan Airlines	3	near Krasnoyarsk ...	T	A1
23-JAN-1995	Let 410UVP	UR-67115	Air Ukraine	0	near Provedenia A...	A	A1
07-JUN-1995	Let 410UVP	146	Latvian AF	2	near Lielvarde	F	A1
18-MAY-1996	Let 410UVP-	VT-ETB	Archana Airways	0	Kanpur Airpo...	L	A1

Datum	Typ	Imatrik.zn.	Provozovatel	Umrtí	Místo nehody	Fáze letu	*
	E9D						
11-JUL-1996	Let 410UVP-E9D	VT-ETC	Archana Airways	9	near Kanda	A	A1
02-DEC-1996	Let 410UVP	RA-67436	Kostroma Air	0	Nyagan Airport	L	A1
03-MAR-1997	Let 410UVP-E	HR-IAS	Isleña Airlines	0	La Ceiba-Gol...	T	A1
26-SEP-1997	Let 410UVP	RA-67474	Vostok Aviakompania	0	near Khabarovsk	A	A1
13-JAN-1998	Let 410UVP-E3	YV-928CP	Aeroservice International	2	near Brno-Turany ...	A	A1
31-JAN-1998	Let 410		Atlantic Airlines	0	Puerto Limón...	H	H2
07-MAR-1998	Let 410UVP	HR-AQG	Aerolineas SOSA	0	La Ceiba	IC	A1
27-JUN-1998	Let 410UVP-E	S2-ADD	Air Parabat	0	near Dhaka	L	A1
22-APR-1999	Let 410UVP	YV-956C	Hélica	0	near Clesy	F	A1
29-MAY-1999	Let 410UVP-E	5Y-LET	Malindi Air Services	2	Ol Kiombo	IC	A1
07-DEC-1999	Let 410UVP-E	RP-C3883	Asian Spirit	17	Barangay Cacebu	F	A1
15-JAN-2000	Let 410UVP-E	YS-09-C	TACSA	5	San José	T	A1
23-JAN-2001	Let 410UVP	9L-LCG	Eagle Aviation ?	0	near Maiduguri	A	A1
12-SEP-2001	Let 410UVP-E	XA-ACM	Aero Ferinco	19	near Chichén Itzá	IC	A1
18-SEP-2001	Let 410UVP-E	TG-CFE	Atlantic Airlines	8	Guatemala Ci...	T	A1
27-NOV-2001	Let 410UVP	XA-SYJ	Aero Ferinco	0	near Playa del Ca...	F	A1
14-DEC-2001	Let 410A	5X-CNF	Eagle Air	6	Geti	F	O1
16-DEC-2001	Let 410UVP-E	HK-4175X	Heliandes	16	near San Antonio ...	F	A1
08-FEB-2002	Let 410UVP-E3	00-0292	USAF		Fort Bliss, TX	U	A1
17-MAR-2002	Let 410UVP-E	J2-KBC	Djibouti Airlines	4	near Djibouti-Amb...	A	A1
17-APR-2002	Let 410UVP-E9	5Y-UAS	United Airlines	0	Mara Ngerend...	T	A1
21-MAY-2002	Let 410UVP	9Q-CGX	Sky Executive	5	near Calabar Airp...	F	A1
28-NOV-2002	Let 410UVP-E20	5Y-ONT	Eagle Aviation	1	Mara Intrepi...	L	A1
27-DEC-2002	Let 410UVP	9XR-RB	Ocean Airlines	1	near Anjouan	F	A1
01-MAR-2003	Let 410UVP	FLARF-01032	Borki Air Club	11	near Borki	F	A1
13-JUL-2003	Let 410UVP-E	YV-1060CP	Ruiban and Duran	4	near San Cristobal	F	A1
13-AUG-2003	Let 410UVP	9XR-JT	Lexus Aviation	0	Rumbek	T	A1
24-AUG-2003	Let 410UVP-E3	HH-PRV	Tropical Airways	21	near Cap Haitien ...	F	A1
14-SEP-2003	Let 410UVP	9XR-AL	ACS Ltd.	0	Langkien	T	A1
01-DEC-2003	Let 410UVP-E	5N-BFL	Millenium Air	0	Kano-Aminu K...	T	O1
06-MAY-2004	Let 410UVP	9XR-EF	Air Cush	6	Jiech	T	A1
23-MAY-2004	Let 410UVP-E3	5Y-VVD	Blue Bird Aviation	2	near Mwingi	L-midair col	A1
23-MAY-2004	Let 410UVP-E9	5Y-VVA	Blue Bird Aviation	0	near Mwingi	L-midair col	A2
09-OCT-2004	Let 410UVP	9XR-KL	El Amiron Plus	0	?	L	A1
17-NOV-2004	Let 410UVP-E20	5H-PAC	Precisionair	0	Kilimanjaro ...	F	A1
27-JAN-2005	Let 410UVP-E4	HA-LAR	Farnair Hungary	2	near Iasi Airport...	F	A1
26-MAR-2005	Let 410UVP-E	HK-4146	West Caribbean Airways	9	Providencia-...	T-E	A1
28-APR-2005	Let 410UVP	EP-830	Peruvian Army	13	near Pisco	F-E	A1

Datum	Typ	Imatrik.zn.	Provozovatel	Umrtí	Místo nehody	Fáze letu	*
02-JUN-2005	Let 410UVP-E3	TG-TAG	TAG	0	near Zacapa Airport	T	A1
22-OCT-2005	Let 410UVP	XA-TAU	Aero Ferinco	0	Playa del Ca...	STD	O1
24-OCT-2005	Let 410UVP	XA-SXX	Mayair	0	Fort Lauderd...	STD	O2
30-OCT-2005	Let 410UVP-E19A	9A-BTA	Trade Air	3	Bergamo	T	A1
27-MAR-2006	Let 410UVP-E	ES-LLG	AirEst	0	Tallinn-Ulem...	STD	O2
31-MAR-2006	Let 410UVP-E20	PT-FSE	TEAM	19	near Rio Bonito, RJ	F	A1
04-AUG-2006	Let 410UVP-E	YV-867CP	?		near Puerto Ayacucho	L	A1
09-NOV-2006	Let 410UVP	9Q-CBQ	EU blacklist Goma Air	0+ 1	near Walikale	L-E	A1
17-MAY-2007	Let 410UVP	TN-AHE	EU blacklist Safe Air Company	3	near Walikale	L-E	A1
21-JUN-2007	Let 410UVP	9Q-CEU	EU blacklist Karibu Airways	1	near Kamina	T	A1
26-JUN-2007	Let 410UVP-E3	9Q-CTM	EU blacklist Business Aviation	0	near Brazzaville	L	A1
18-JUL-2007	Let 410UVP	9Q-CIM	EU blacklist Cargo Bull Aviation	0	near Bandundu	L	A1
24-SEP-2007	Let 410UVP	9Q-CVL	EU blacklist Free Airlines	1	Malemba Nkulu	L	A1
08-OCT-2007	Let 410UVP-E10A	HK-4055	Nacional de Aviación	18	near Cubarral	F	A1
10-DEC-2007	Let 410			0	Corentyne	STD	O1
04-JAN-2008	Let 410UVP-E3	YV2081	Transaven	14	near Los Roques A...	E	A1
12-DEC-2008	Let 410UVP-E	HK-4235	SERCA Colombia	0	Capurgana Ai...	L run out	A2
26-JUN-2009	Let 410UVP-E	HK-4094	TAC - Transporte Aéreo de Colombia	0	Capurganá Ai...	L run out	A2
25-AUG-2010	Let 410UVP-E20C	9Q-CCN	EU blacklist Filair	20	near Bandundu Air...	A	A1

Vysvětlivky:

Fáze:

A	přiblížení na přistání
L	přistání
T	vzlet
IC	počáteční stoupání
U	neznámé
STD	stání
E	porucha motorů (vysazení)
F	porucha za letu – neznámá příčina

*

1 = zničení
2 =opravitelné poškození

A = nehoda
I = Incident
H = únos
C = kriminální čin (sabotáž, sestřelení)
O= další (pozemní požár, sabotáž)

Je sledována porucha nevysunutí podvozku hlavním nebo nouzovým okruhem. Z rozboru nehod vyplývá, že taková porucha se nevyskytla.

Podle vyjádření AI (Aircraft Industries, a.s.) počet letounů v provozu L 410 UVP je přibližně 400, celkový počet letových hodin na jedno letadlo je v průměru 10 000, pak lze určit bodový odhad intenzity poruchy nevysunutí podvozku:

$$\widehat{\lambda} = \frac{1}{3T*} = \frac{1}{3 \cdot 400 \cdot 10000} = 8{,}33 \cdot 10^{-8}\, hod^{-1},$$

- horní mez jednostranného konfidenčního intervalu intenzity poruch při konfidenční úrovni 90% lze určit podle vzorce (4):

$$\lambda_{u_provoz_L410} = Q_{u_provoz_L410} = \frac{\chi_{0,90}{}^{2}(2r+2)}{2T*} = \frac{4{,}61}{2 \cdot 400 \cdot 10000} = 5{,}76 \cdot 10^{-7}\, hod^{-1} .$$