



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

FUNKČNÍ ANALÝZA RIZIK (FHA) MALÉHO LETOUNU

FUNCTIONAL HAZARD ASSESSMENT OF SMALL AIRCRAFT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MAT J HARTMAN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří HLINKA, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Matěj Hartman

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Letecký provoz (3708T011)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Funkční analýza rizik (FHA) malého letounu

v anglickém jazyce:

Functional Hazard Assessment of Small Aircraft

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte rozbor současného trhu jednomotorových typů místních sportovních a turistických letadel se zaměřením na soustavy těchto letadel. Na základě provedeného rozboru definujte typické vybavení moderního letounu této kategorie. Dále proveďte rešerši požadavků předpisu FAA FAR-23 na soustavy a vybavení v této kategorii letounů. Navrhněte koncepci soustav/vybavení nového letounu (předpokládá se provozování letounu za podmínek IFR). Zpracujte FHA (Funkční analýzu rizik) pro navrhovaný letoun.

Dále proveďte rešerši hlavních komponent elektrické soustavy letounu dané kategorie. Pro vybrané prvky proveďte odhad parametrů spolehlivosti.

Cíle diplomové práce:

- Statistika letadel v kategorii FAR-23 se zaměřením na soustavy (typy nejčastěji používaných soustav – např. elektrické ovládání vysouvání podvozku, mechanické ovládání vyvažovací plošky, apod.)
- Definice perspektivní koncepce soustav/vybavení nového letounu na základě rozboru
- Zpracování FHA (Funkční analýzy rizik) pro navrhovaný letoun (klíčový cíl práce)
- Předložení odhadu intenzity poruch vybraných prvků elektrické soustavy

Seznam odborné literatury:

- [1] Jane's: All the World's Aircraft, Jane's Information Group Limited, UK
- [2] Title 14 Code of Federal Regulations (14CFR) Part 23 Airplanes: Airworthiness Standards: Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter Category Airplanes. Federal Aviation Administration, Washington, D.C.
- [3] ARP 4761 Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment, SAE Warrendale USA, 12/1996, 331 str.
- [4] Tooley M., Wyatt D.: Aircraft, Electrical and Electronic Systems, Elsevier, ISBN 978-0-7506-8695-2, 2009

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 22.11.2012

L.S.

doc. Ing. Jaroslav Juraška, Ph.D.
veditel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
vedoucí katedry

Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je provedení Funkční analýzy spolehlivosti malého čtyřmístného letounu dle předpisů FAR-23, který bude korelovat s moderními letouny na současném trhu. Vstupní data pro analýzu byla získána rešerší používaných systémů u současných významných čtyřmístných letounů. Na základě získaných informací byla provedena Funkční analýza spolehlivosti na úrovni letadlových funkcí. Totální ztráta funkce elektrického systému byla klasifikována jako Katastrofická a je použita pro další hodnocení. V závěru práce je proveden předběžný odhad intenzity poruch typických prvků elektrické soustavy letounů daného typu. Pro nejkritičtější prvky je pak sestaven model systému a je vypočítána intenzita poruch.

Abstract

The object of this diploma thesis is to perform Functional Hazard Assessment of small four-seat aircraft according to Federal Aviation Regulations Part 23, which would be similar to present aircrafts on market. Input data were acquired by research of systems aircrafts use on current market. On this basis the Functional Hazard Assessment was performed ad aircraft level. Total loss of power supply was qualified as Catastrophic therefore is used in following assessment. A preliminary failure rate assessment of typical parts used in electrical system was performed at the end of diploma thesis. For the most crucial parts a simple model was created and failure rate computed.

Klíčová slova

Funkční analýza rizik, klasifikace poruchových stavů, určování spolehlivosti letadel

Key words

Functional hazard assessment, classification of failure rate, aircraft reliability assessment

Bibliografická citace

HARTMAN, M. *Funkční analýza rizik (FHA) malého letounu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 51 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FSI VUT v Brně.

V Brně dne 24. 5. 2013

Bc. Matěj Hartman

Rád bych zde poděkoval panu doc. Ing. Jiří Hlinkovi, Ph.D. za inspiraci ve výuce pro další směřování studia a v neposlední řadě za vedení, udílení cenných rad a připomínek při psaní diplomové práce.

Dále bych zde chtěl poděkovat rodičům za důvěru a podporu v průběhu celého studia, přátelům za neutuchající energii, která mne zde v Brně provázela a přítelkyni za trpělivost při psaní práce.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíle, kterých má být dosaženo.....	11
3	Rešerše letounů kategorie FAR 23 se zaměřením na použité soustavy.....	12
3.1	Vybraná letadla	12
3.2	Statistika letadel.....	13
3.2.1	Typ konstrukce.....	13
3.2.2	Kit-built	13
3.2.3	Definice Kit Built a související dokumenty.....	13
3.2.4	IFR – Instrument Flight Regulations	13
3.2.5	Soustava ovládání letounu	13
3.2.6	Podvozek.....	14
3.2.7	Navigační soustava	14
3.2.8	Odmrazovací soustava.....	14
3.2.9	Dodané letouny za rok 2012.....	14
3.3	Shrnutí statistiky.....	19
3.3.1	Konstrukce letounu	19
3.3.2	Přístrojové vybavení	19
3.3.3	Soustava ovládání letounu	20
3.3.4	Podvozek.....	20
3.3.5	Odmrazovací soustava.....	20
4	Navrhovaná koncepce pro prováděnou FHA.....	21
5	Rešerše požadavků FAR-23 kategorie Normal	22
5.1	Přístrojové vybavení (7).....	22
5.2	Motorové přístroje (7).....	22
5.3	Ochrana elektrických a elektronických instalací při zásahu bleskem	23
5.4	Elektronické přístrojové displeje.....	23

6	Úvod do určování spolehlivosti letadel	23
6.1	Požadavky spolehlivosti na letouny všeobecného letectví	25
6.1.1	Federal Aviation Regulations	25
6.1.2	Poradní oběžník – AC 23.1309-1E.....	25
6.1.3	SAE Aerospace Recommended Practice (14) (15)	27
6.1.4	Další související dokumenty:	28
7	Funkční analýza rizik	28
7.1	FHA na úrovni letadlových funkcí.....	30
7.2	FHA na úrovni systémů.....	31
7.3	Omezení FHA (17).....	33
7.4	Provedení funkční analýzy rizik	34
8	Vyhodnocení FHA	41
9	Elektrické soustavy	41
9.1	Určení spolehlivosti jednotlivých prvků	43
9.2	Vyhodnocení spolehlivosti modelového systému.....	44
9.2.1	Upořádání u vybraných letadel	44
9.2.2	Výpočet	45
9.2.3	Vyhodnocení.....	47
10	Závěr	48
11	Citovaná literatura	49
12	Seznam použitých zkratk	51

1 Úvod

Malá dvou až šestimístná letadla nás provázejí již po několik desetiletí. To, že jsou neustále oblíbená, dokazuje i fakt, že čtyřmístná Cessna 172 je nejprodávanějším letadlem celé letecké historie (1). Jako další příklad může posloužit Beechcraft Bonanza, pětimístný letoun, který je vyráběn již od roku 1947 a drží tak pomyslné první místo v historii co se týče délky výroby (2).

Kategorie malých letounů poskytuje velmi širokou nabídku, zahrnující velké množství modelů, včetně výše dvou zmíněných. Tato diplomová práce se zabývá úžeji vybranou skupinou významných letounů kategorie dle FAR 23 se zaměřením na čtyřmístné jednomotorové letouny, zahrnující i možnost jejich nákupu jako tzv. kitbuilt.

Práci lze rozdělit na dvě stěžejní části, kde první část je věnována rešerši letounů. Na základě takto provedeného rozboru a statistiky je navržena koncepce nového letounu, která je použita dále v FHA. Následuje část diplomové práce, která je věnována stručné rešerši požadavků v oblasti předpisu FAR 23 pro letouny provozované za podmínek IFR.

Druhou, praktickou a pro tuto práci klíčovou částí, je zpracování Funkční analýzy rizik, pro navrhovanou koncepci letounu a vyhodnocení nejkritičtějších soustav.

V závěru je provedena rešerše typických prvků elektrických systémů včetně provedení předběžného odhadu poruchovosti. Záměrem bylo porovnání výpočtů s požadavky příslušných předpisů.

Spolehlivost letadel je pro mě osobně velmi zajímavá oblast, proto jsem se rozhodl danému tématu věnovat blíže a rozšířit si tak znalosti získané během studijního programu. Spolehlivostním analýzám bych se rád věnoval i nadále v budoucnu, neboť se jedná o téma vhodné k hlubšímu a detailnějšímu studiu, než pokrývá diplomová práce.

2 Cíle, kterých má být dosaženo

Cílem práce je provést Funkční analýzu rizik na navrhovaném letadle. Dílčí cíle práce následují:

- Provést statistiku letadel v kategorii FAR-23, se zaměřením na 4 místná, jednomotorová vrtulová letadla a následně vyhodnotit nejčastější typy používaných soustav.
- Definovat perspektivní koncepci soustav/vybavení nového letounu na základě rozboru, které odpovídá modernímu konkurenceschopnému letounu provozovanému za podmínek IFR.
- Zpracovat Funkční analýzy rizik pro navrhovaný letoun (klíčový cíl práce) na základě poradního oběžníku AC 23.1309-1E.
- Provést předběžný odhad intenzity poruch vybrané elektrické soustavy a jejích prvků.

3 Rešerše letounů kategorie FAR 23 se zaměřením na použité soustavy

Statistika postihuje významné modely vybrané kategorie letadel a vychází zejména z počtu dodaných letounů za předcházející rok.

3.1 Vybraná letadla

Tabulka č. 1 uvádí seznam letadel společně se soustavami, které tato letadla obecně využívají. Cílem bylo zaznamenat letouny ze současného trhu, ve statistice se tak objevují jak poslední verze již dlouho prodávaných modelů, tak letouny, které byly na trh uvedeny teprve nedávno. Současně byly v tabulce uvedeny letouny nabízející možnost KitBuilt, jako specifický požadavek.

Na obrázku č. 1 se nachází letoun VUT 100 Cobra. Jak už název napovídá, letoun vyvíjený ve spolupráci s Vysokým učením technickým v Brně. Na obrázku č. 2 je Cessna 172 Skyhawk SP, jak již bylo dříve zmíněno, jedná se o nejprodávanější letadlo celé historie. Na obrázku č. 3 je Cessna Corvalis 350, nový model v portfoliu výrobce Cessna, zároveň první letoun s instalovaným systémem Garmin G2000, o kterém je zmínka níže. Následně pak na obrázku č. 4 lze vidět Cirrus SR22, v současnosti pravděpodobně nejprodávanější řada letounů v této kategorii.



Obr. č. 1 - VUT 100 Cobra (3)



Obr. č. 2 - Cessna 172S Skyhawk SP (4)



Obr. č. 3 - Cessna Corvalis 350 (5)



Obr. č. 4 - Cirrus SR22T (6)

3.2 Statistika letadel

V následujících podkapitolách jsou popsána kritéria zařazená do statistiky vybraných letadel z hlediska jejich významu při popisu jednotlivých modelů.

3.2.1 Typ konstrukce

Kovové konstrukce vychází z historických zkušeností jako pevné, spolehlivé a lépe udržovatelné, než konstrukce z kompozitních materiálů. Volba materiálů pro stavbu letounu je obor vyžadující hlubší studium, avšak v oblasti letounů pro sběrnou dopravu (Commuter) můžeme sledovat jisté rostoucí trendy v používání kompozitních materiálů pro snižování hmotnosti letadel a přispívání k větší ekonomičnosti provozu. Z tohoto důvodu postupného rozšiřování se kompozitních materiálů, byl zařazen do statistiky sledovaný prvek typ konstrukce.

3.2.2 Kit-built

Na základě specifického požadavku byly do statistiky zahrnuty i letouny nabízející možnost zakoupení letounu jako stavebnice.

3.2.3 Definice Kit Built a související dokumenty

Amateur-Built Aircraft (letoun postavený neprofesionálem) je definován dle CFR 14; FAR §21.191(g) jako letoun, který byl vyroben a sestaven z nadpoloviční části neprofesionálem a to za účelem osobního vzdělání nebo rekreace. Dle tohoto paragrafu letoun spadá do kategorie experimental (7).

Podrobnější informace a průvodce k certifikaci Kit-built letounům nabízí poradní oběžník AC20-27G, kde je taktéž definováno pravidlo „51 procent“, které říká, že maximálně 49% všech stavebních prací bude uskutečněno dodávající společností, nebo jinou externí najatou firmou, a obráceně minimálně 51% všech prací musí být uskutečněno osobou, která bude provozovat daný letoun. Práce spadající pod pravidlo „51 procent“ jsou definovány v příloze 8, poradního oběžníku AC20-27G: „The Amateur-Built Aircraft Fabrication and Assembly Checklist (2009)“. Letoun může být postaven na základě konstrukčního návrhu provozující osoby, na základě zakoupených podkladů a plánů, či ze zakoupené stavebnice (8).

3.2.4 IFR – Instrument Flight Regulations

Zadání diplomové práce předpokládá provozování uvažovaného letounu za podmínky IFR, proto byl tento prvek zařazen do statistiky. Lze předpokládat, že majoritní část bude certifikována pro tento provoz.

3.2.5 Soustava ovládání letounu

Převody hlavního řízení u letounů této kategorie jsou řešeny jako:

- Tuhé – táhlové
- Ohebné – lanové
- Smíšené – v určité části táhla, jinde lana (9)

Avšak u ovládání klapek a vyvážení se již objevuje řízení pomocí elektroniky, kde pilot dává signál elektromotorům pro nastavení konkrétních poloh.

3.2.6 Podvozek

V praxi se dnes u malých letounů využívají pouze 2 typy podvozků – záďový (též ostruhový) a tříkolý (s příďovým kolem). Do statistiky byl zařazen jako prvek mající vliv na bezpečnost letu a tedy pro další posouzení návrhu uvažovaného letounu.

3.2.7 Navigační soustava

V dnešní době je typické instalování integrovaných elektronických systémů jako přístrojového vybavení, s vysokou integrací jednotlivých systémů podávající pilotovi informace o letu v jednoduché podobě. Tyto systémy mají významný vliv na bezpečnost letu, proto je zde uveden seznam nejpoužívanějších typů.

3.2.8 Odmrazovací soustava

Odmrazovací soustava a prostředky proti vzniku námrazy jsou typické spíše pro vyšší kategorie letounů, ochrana proti námraze může být realizována několika způsoby:

- Náběžné hrany:
 - o Vyhřívání pomocí horkého vzduchu z motorů
 - o Nafukovací gumové pásy
 - o Kapalinové
- Vrtule:
 - o Kapalinové
 - o Odporové vyhřívání
- Ostatní část:
 - o Zejména odporové vyhřívání (pitot-statické trubice apod.)

3.2.9 Dodané letouny za rok 2012

Tato sledovaná hodnota byla zařazena pro lepší určení významnosti a komerční úspěšnosti jednotlivých typů. Zdrojem je výroční zpráva General Aviation Manufacturers Association (GAMA) za rok 2012 (10).

Tab. č. 1 - Rešerše systémů letadel

	Země původu	Typ konstrukce	Kit Built	IFR	Autopilot	Soustava ovládní letounu	Podvozek	Navigační soustava	Odmrazovací soustava	Dodaná letadala za rok 2012
Cessna 172S Skyhawk SP	USA	kovová	ne	ano	GFC 700 AFCS	hydraulické brzdy, elektronicky ovládané klapky a vyvážení	pevný tříkolý	Garmin G1000, GDU (Garmin Display Unit), PFD, MFD	žádná	113
Cessna 182T Skylane	USA	kovová	ne	ano	GFC 700 AFCS	hydraulické brzdy, elektronicky ovládané klapky a vyvážení	pevný tříkolý	Garmin G1000, GDU (Garmin Display Unit), PFD, MFD	žádná	48
Cessna T182T Skylane Turbo	USA	kovová	ne	ano	GFC 700 AFCS	hydraulické brzdy, elektronicky ovládané klapky a vyvážení	pevný tříkolý	Garmin G1000, GDU (Garmin Display Unit), PFD, MFD	žádná	48
Cessna Corvalis 350	USA	kompozitová	ne	ano	GFC 700 AFCS	elektronicky ovládané vyvážení	pevný tříkolý	Garmin G1000, GDU (Garmin Display Unit), PFD, MFD / G2000 TTx	žádná	1
Cirrus SR20 GTS G3	USA	kompozitová	ne	ano	S-TEC 20 S-TEC 30 S-TEC 55 S-TEC 55x	hydraulické brzdy, elektronicky ovládané klapky a vyvážení	pevný tříkolý	MFD (ARNAV ICDS 2000/ Avidyne FlightMax EX- 5000); PFD (Avidyne FlightMax Entegra)	žádná	84

Tab. č. 2 - Rešerše systémů letadel - pokračování

	Země původu	Typ konstrukce	Kit Built	IFR	Autopilot	Soustava ovládání letounu	Podvozek	Navigační soustava	Odmrazovací soustava	Dodaná letadla za rok 2012
Cirrus SR22 GTS G3	USA	kompozitová	ne	ano	GFC 700 AFCS S-TEC 30 S-TEC 55 SR S-TEC 55x	hydraulické brzdy, elektronicky ovládané klapky a vyvážení	pevný tříkolý	Avidyne FlightMax Entegra-Series PFD+MFD, optional G1000	Basic Ice protection/TKS Anti-Ice system	81
Cirrus SR22T	USA	kompozitová	ne	ano	GFC 700 AFCS S-TEC 55 SR S-TEC 55x	hydraulické brzdy, elektronicky ovládané klapky a vyvážení	pevný tříkolý	Avidyne FlightMax Entegra-Series PFD+MFD, optional G1001	Basic Ice protection/TKS Anti-Ice system	88
Diamond DA40 XLS	Rakousko	kompozitová	ne	ano	GFC 700 AFCS	elektronicky ovládané klapky	pevný tříkolý	G1000	žádná	93
Jabiru J430	Austrálie	kompozitová	ano	ne	volitelné	konvenční	pevný tříkolý	volitelné	žádná	N/A
Lambert Mission M212-400	Belgie	kompozitová	ano	ne	volitelné	konvenční	pevný tříkolý	volitelné	žádná	N/A

Tab. č. 3 - Rešerše systémů letadel - pokračování

	Země původu	Typ konstrukce	Kit Built	IFR	Autopilot	Soustava ovládaní letounu	Podvozek	Navigační soustava	Odmrazovací soustava	Dodaná letadla za rok 2012
Lancair Evolution	USA	kompozitová	ano	ano	Garmin GFC7X	elektronicky ovládané vyvážení a klapky	hydraulicky ovládaný zatahovatelný	Garmin G900x PFD+MFD	žádná	N/A
Maule MXT-7-180	USA	kovová	ne	n/a	volitelné	konvenční	pevný tříkolý/ ostruhový	volitelné	žádná	3
Mooney M20TN Acclaim S	USA	kovová	ne	ano	GFC 700 AFCS	elektronicky ovládané vyvážení a klapky	elektronicky ovládaný zatahovatelný tříkolý	Garmin G1000	žádná	0
Mooney Ovation3M20R	USA	kovová	ne	ano	GFC 700 AFCS	elektronicky ovládané vyvážení a klapky	zatahovatelný tříkolý	Garmin G1000	žádná	0
Piper Archer TX	USA	kovová	ne	ano	S-TEC 55x	konvenční	pevný tříkolý	Garmin G1000	žádná	4

Tab. č. 4 - Rešerše systémů letadel - pokračování

	Země původu	Typ konstrukce	Kit Built	IFR	Autopilot	Soustava ovládání letounu	Podvozek	Navigační soustava	Odmrazovací soustava	Dodaná letadla za rok 2012
Piper Arrow	USA	kovová	ne	ano	S-TEC 55x	konvenční, elektronicky ovládané vyvážení	zatahovatelný tříkolý	Garmin G500	žádná	2
SOCATA TB 200 Tobago XL	Francie	kovová	ne	ano	n/a	konvenční, elektronicky ovládané klapky	zatahovatelný tříkolý	n/a	žádná	-
Team Tango Foxtrot 4	USA	kompozitová	ano	ano	volitelné	konvenční	pevný tříkolý	volitelné	žádná	N/A
Tiger AG-5B Tiger	USA	sendvičový kompozit	ne	ano	n/a	konvenční	pevný tříkolý	Garmin G1000	žádná	0
VUT 100-120i Cobra	ČR	kovová	ne	ano	S-TEC 55	konvenční - táhla elektronicky ovládané klapky a vyvážení	zatahovatelný tříkolý	optional	žádná	N/A
Z 143 Lsi	ČR	kovová	ne	ano	S-TEC 55x	konvenční - táhla	pevný tříkolý	Garmin G500/Garmin G950	žádná	N/A

3.3 Shrnutí statistiky

Záměrem této kapitoly je přehledné vyhodnocení statistiky uvedené v Tabulce č. 1, která zahrnuje celkově 21 letadel.

3.3.1 Konstrukce letounu

U vybraných modelů je četnost použití kovové a laminátové konstrukce téměř shodná, co se počtu typů letadel týče, avšak letadla laminátové konstrukce vykazují větší počet prodaných letounů v poměru 218:347 – kovová:laminátová.

3.3.2 Přístrojové vybavení

Typickým vybavením letounů dané kategorie je elektronický integrovaný kokpit. Mezi nejčastěji používané výrobce patří: Garmin (G1000), který je možné si prohlédnout na obrázku č.5 a Avidyne (FlightMax Entegra)



Obr. č. 5 - Garmin G1000, Terrain awareness warning system (11)

Výrobci letadel k základnímu elektronickému vybavení letounů nabízejí velmi širokou škálu přístrojů, o které je možno rozšířit základní panel, jako je TAS – Traffic Advisory System, systém který upozorňuje na letadla v okolí vybavená odpovídáčem a zobrazuje jejich polohu na displeji. Další možností je TAWS – Terrain Awareness and Warning System. Systém, který upozorňuje na rychle se přibližující terén, ať už v případě příliš prudkého klesání, či při horizontálním letu při výskytu terénu přímo před letadlem.

Dalším téměř standardním vybavením letounu je Autopilot, který je schopný dle typu ovládat letoun v jedné až dvou osách. Na autopilota navazuje elektronické vyvažování klopení a klonění. Mezi nejčastěji používané autopiloty patří Cobham (S-TEC55) a Garmin G700 AFCS.

3.3.3 Soustava ovládání letounu

Ovládání primárních ovládacích ploch letounu této kategorie je přímé, buď pomocí soustavy lan, nebo pomocí táhel. Elektronické ovládání se objevuje pouze u nastavení vyvážení, které je pak v kompetenci autopilota a ulehčuje tak práci pilota.

Většina letadel používá rovněž elektronické ovládání vysouvání klapek, kde elektronický spínač předává informace do elektromotoru, který pak ovládá posuv obou klapek.

3.3.4 Podvozek

Celkem 15 letounů z hodnocených 21 má pevný podvozek, opatřený aerodynamickým krytem, s tříkolým rozložením.

V případě zatahovatelného podvozku se většinou jedná o elektronicky ovládaný elektromotor, který mechanicky zatahuje podvozek. Pouze letoun Lancair Evolution nabízí hydraulicky ovládaný zatahovatelný podvozek.

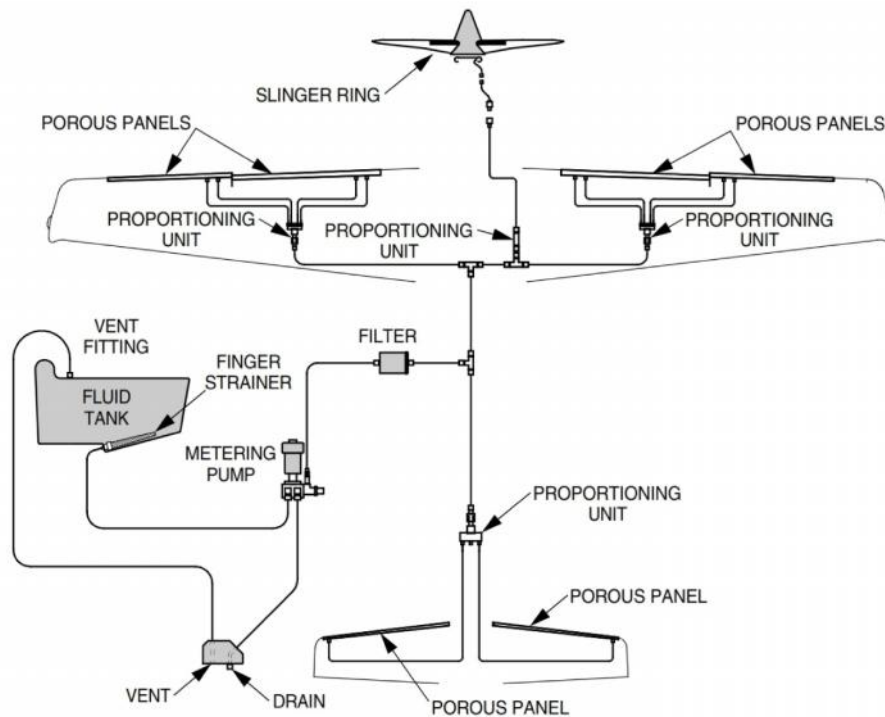
Standardním vybavením jsou hydraulické brzdy, které některé letouny využívají k řízení směru při pojíždění.

3.3.5 Odmrazovací soustava

Spíš výjimečnou soustavou je odmrazovací soustava. Z vybraných letadel pouze Cirrus nabízí dva typy odmrazovacích systémů.

Prvním je základní ochrana proti námraze, která má v podstatě pouze sloužit jako výpomoc, ochrana při náhodném vletění do oblasti s podmínkami vhodnými pro vznik námrazy. Systém není certifikovaný a záměrné létání v podmínkách možného vzniku námrazy je přímo zakázaný.

Druhý nabízený systém je certifikovaný a navržený pro dlouhodobý let v podmínkách námrazy. Systém poskytuje ochranu před námrazou a ledem po dobu 30-90 minut v závislosti na zvoleném módu, konstrukci soustavy naleznete na obrázku č. 6.



Obr. č. 6 - Odmrazovací soustava letounu Cirrus SR22T (12)

4 Navrhovaná koncepce pro prováděnou FHA

Následující tabulka č. 1 uvádí koncepci letounu, která vychází ze statistiky zmíněné výše. Jednotlivé prvky byly voleny na základě nejprodávanějších letounů.

Tab. č. 5 - Navrhovaná koncepce pro prováděnou FHA

Konstrukce	laminátová
Podvozek	pevný s uspořádáním trojkolky
Hlavní řízení	soustavou táhel
- vyvážení klonění a klopení	elektronické ovládání
- klapky	elektronické ovládání
Přístrojové vybavení	elektronický integrovaný kokpit
	autopilot (2 osé řízení)

Pro moderní letoun je téměř standardním vybavením elektronický integrovaný kokpit - Primary Flight Display (PFD) společně s Multifunctional Flight Display (MFD), přehledně zobrazující pilotovi veškeré relevantní a důležité informace o letu. Nejnověji je na trhu Garmin G2000 (Obr. č. 7), který bude pravděpodobně postupně nahrazovat široce rozšířený Garmin G1000. Oproti starší verzi nabízí Garmin G2000 integraci širší škály zařízení a jako první používá k ovládání dotykový displej.



Obr. č. 7 - Garmin G2000 (13)

5 Rešerše požadavků FAR-23 kategorie Normal

V této části je uveden stručný přehled povinného vybavení letounu certifikovaného podle IFR.

5.1 Přístrojové vybavení (7)

Následují požadované letové a navigační přístroje jako minimální vybavení dle §23.1303:

- Rychloměr
- Výškoměr
- Magnetický ukazatel směru
- Záložní magnetický ukazatel směru
- Záložní výškoměr
- Záložní rychloměr
- Umělý horizont

5.2 Motorové přístroje (7)

Následující jsou minimální požadované přístroje pohonu dle §23.1305:

- Ukazatel množství paliva pro každou nádrž
- Ukazatel teploty oleje
- Ukazatel množství oleje
- Ukazatel teploty vzduchu na sání, pro motory vybavené ohřevem vzduchu, pokud může dojít k překročení limitů předehřevu §23.1305(1)
- Ukazatel rychlosti pro každý motor (otáčkoměr)
- Ukazatel teploty hlav motoru (každý vzduchem chlazený motor s Cowl flaps (překlad?))
- Pro každý pump-fed engine prostředky:

- Které kontinuálně zprostředkovávají pilotovi informaci o tlaku či toku paliva, nebo
- Které kontinuálně monitorují palivový systém a varují pilota, pokud situace nasvědčuje, že může vést k výpadku motoru
- Ukazatel teploty chladícího media pro každý tekutinou chlazený motor

Pro certifikaci na IFR je povinností vyhřívaná Pitot-statická trubice (§23.1323), společně se signalizací funkce vyhřívání (§23.1326).

5.3 Ochrana elektrických a elektronických instalací při zásahu bleskem

§23.1306 Každý elektrický a elektronický systém, jejichž vypovězení funkce by zabránilo bezpečnému pokračování letu a přistání, musí být navržen a instalován tak, že:

- Funkce není negativně ovlivněna během a po zásahu blesku
- Systém včas obnoví svou funkci po zásahu bleskem
- (b) letadla certifikovaná pro IFR lety, elektrické a elektronické systémy musí být navrženy tak, aby po zásahu bleskem včas obnovily svoji funkci, či posádky reagovat na současné podmínky letu.

Současné trendy v letectví vykazují větší potřebu elektrických a elektronických systémů pro bezpečný provoz a snižování zátěže kladené na pilota. Proto by měly být brány v potaz elektromagnetické účinky a působení prostředí na přístrojové vybavení, systémy vykonávající let a navigaci. Dokumenty poskytující informace a vedení k ochraně před těmito vlivy jsou k nalezení v posledních verzích: AC 21-16F, AC 23-17C, AC 20-136A, a AC 20-158. (AC23-1309-1E (8))

5.4 Elektronické přístrojové displeje

§23.1311(a,5) Pro certifikaci IFR, musí mít ukazatel směru, výškoměr, rychloměr, umělý horizont:

nejméně dva nezávislé zdroje elektrické energie a manuální/automatické prostředky pro přepínání mezi zdroji.

nebo

Oddělený displej zobrazující směřování, výšku, rychlost a polohu letounu vůči horizontu, jehož zdroj energie je nezávislý na primárním zdroji elektrické energie letadla. (7)

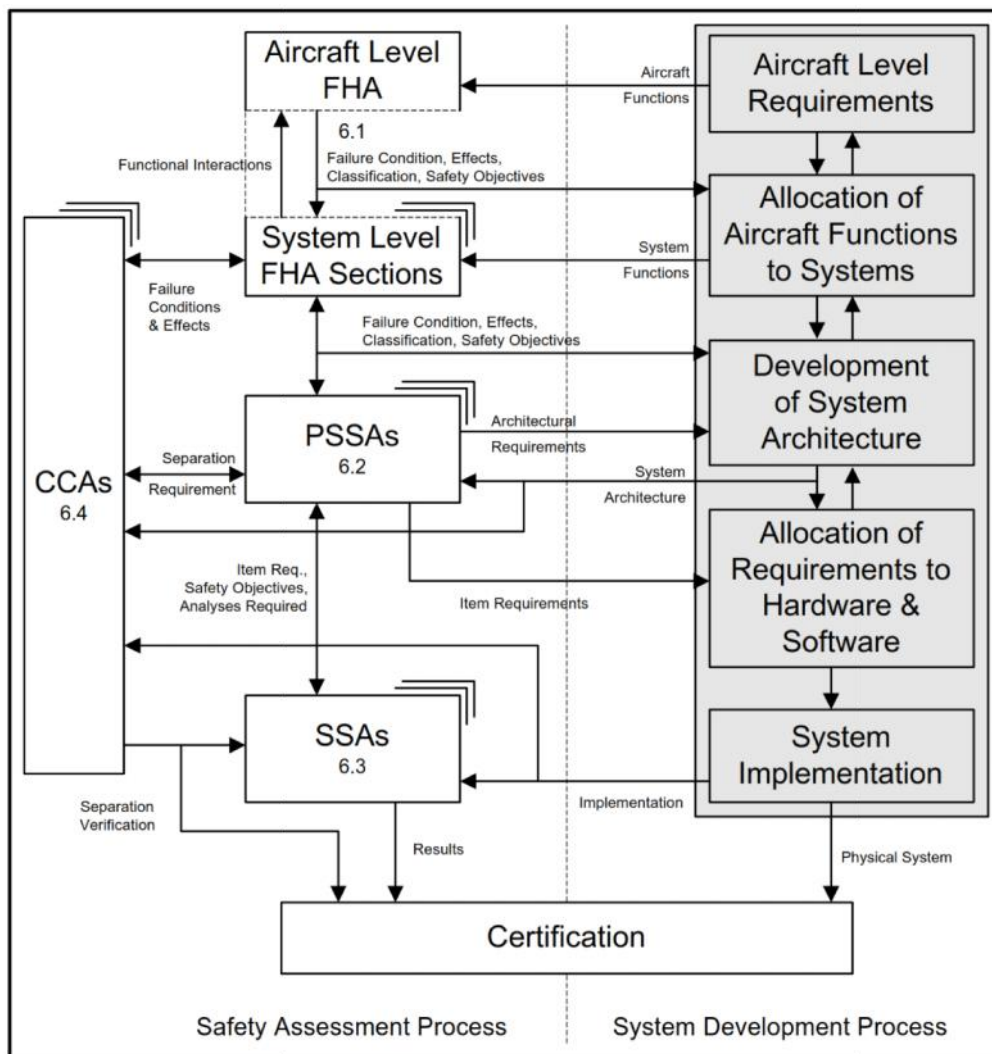
6 Úvod do určování spolehlivosti letadel

Určování spolehlivosti letadlových prvků a celých systémů je komplexní proces, jenž je nedílnou součástí vývoje letounu, jak je patrné z obrázku č. 8 níže. Proces určování spolehlivosti je zkoumání letadlových systémů na několika úrovních, od letadlových

požadavků a funkcí, architektury až po funkci jednotlivých subsystémů. Pro dosažení tohoto cíle se využívá několika metod hodnocení návrhu.

Z důvodu složitosti celého procesu je nutné jej řídit, kontrolovat a plánovat tak, aby bylo zaručeno prozkoumání všech relevantních poruchových stavů a významných kombinací všech poruch. (14)

Obrázek č. 8 ukazuje náhled na proces určování spolehlivosti a přiřazuje metody hodnocení návrhu k jednotlivým úrovním. Vývoj návrhu letounu je v podstatě iterační proces už od své podstaty. Proces začíná konceptem letounu, z něhož vychází spolehlivostní požadavky. Jak se návrh vyvíjí, vznikají nové požadavky, které je nutné opět vyhodnotit a přezkoumat. Celý proces vývoje končí ověřením, že návrh splňuje požadavky na spolehlivost a certifikaci letounu.



Obr. č. 8 - Proces certifikace a provádění spolehlivostních analýz (15)

6.1 Požadavky spolehlivosti na letouny všeobecného letectví

6.1.1 Federal Aviation Regulations

Zdrojovým dokumentem určující požadavky pro certifikaci letounů všeobecného letectví je dokument Code of Federal Regulations (CFR); Title 14 Aeronautics and Space; Part 23 - Airworthiness standards: Normal, Utility, Acrobatic and commuter category Airplanes, zkráceně FAR-23.

Dokument obsahuje požadavky na letoun ve všech důležitých oblastech – požadavky na letové schopnosti, konstrukci, vybavení a definuje operační limity letounu.

V České Republice a ve státech, které jsou členy Joint Aviation Authorities, se používají předpisy JAR – Joint Aviation Regulations, které vznikají v souladu s předpisy FAR, proto lze uvažovat předpisy FAR jako zdrojové.

6.1.2 Poradní oběžník – AC 23.1309-1E

Pro potřeby určování spolehlivosti letadlových systémů je zde Advisory Circular – AC 23.1309-1E, jehož cílem je poskytovat vedení, informace a prostředky pro prokázání plnění požadavků předpisu FAR §23.1309, který kvalitativně definuje požadavky na spolehlivost systémů instalovaných v letadlech.

Dále uvádí vztah mezi klasifikací poruchových stavů a pravděpodobností nastoupení tohoto jevu, jak následuje (8):

- (1) Pro poruchový stav bez vlivu na bezpečnost není požadována žádná pravděpodobnost.
- (2) Nezávažné (Minor) poruchové stavy mohou být pravděpodobné (Probable)
- (3) Závažné (Major) poruchové stavy musí být s řídkým výskytem (Remote)
- (4) Nebezpečné (Hazardous) poruchové stavy musí být s velmi řídkým výskytem (Extremely remote)
- (5) Katastrofické poruchové stavy musí být vysoce nepravděpodobné (Extremely improbable)

Tab. č. 6 - Klasifikace poruchových stavů (8), (16)

Klasifikace poruchových stavů	Bez vlivu na bezpečnost	Nezávažné (Minor)	Závažné (Major)	Nebezpečné (Hazardous)	Katastrofické (Catastrophic)
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 cestujících včetně možných zranění	Vážné nebo smrtelné zranění jednoho cestujícího	Několikanásobné smrtelné zranění cestujících
Důsledek pro letovou osádku	Bez důsledku pro letovou posádku	Mírný nárůst pracovního zatížení osádky nebo použití nouzových postupů	Fyzické potíže nebo značný nárůst pracovní zátěže	Fyzické strádání nebo nadměrné pracovní zatížení osádky narušuje schopnost plnit úkoly	Smrtelná zranění nebo zbavení způsobilosti
Rozdělení letadel	Přípustné pravděpodobnosti (za 1 letovou hodinu)				
Třída 1 (Typický SRE pod 6000lb.)	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-4}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-6}$
Třída 2 (Typický MRE, STE nebo MTE pod 6000lb.)	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-6}$	$< 10^{-7}$
Třída 3 (Typický SRE, STE, MRE a MTE rovno nebo větší než 6000lb.)	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-7}$	$< 10^{-8}$
Třída 4 (Typický Commuter - pro sběrnou dopravu)	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-7}$	$< 10^{-9}$
<p>Pozn.:</p> <p>1) Číselné hodnoty označují postup rozsahu pravděpodobnosti a jsou zde uvedeny jako reference</p> <p>2) Na úrovni letadlových funkcí nesmí vést selhání jednoho prvku ke katastrofickým poruchovým stavům</p> <p>SRE – Single Reciprocating Engine - jednomotorový letoun s pístovým motorem</p> <p>MRE – Multiple Reciprocating Engine - vícemotorový letoun s pístovými motory</p> <p>STE – Single Turbine Engine - jednomotorový letoun s turbinovým motorem</p> <p>MTE – Multiple Turbine Engine - vícemotorový letoun s turbinovými motory</p>					

Podle AC23.1309-1E by měl jako první krok před samotnou spolehlivostní analýzou letounu žadatel provést FHA.

Součástí tohoto poradního oběžníku je Příloha 1 – částečný seznam Funkční spolehlivostní analýzy letadla pro posouzení souladu s CFR 14, část 23 – požadavky pro letouny provozované za podmínek IFR, Třída 1.

6.1.3 SAE Aerospace Recommended Practice (14) (15)

Dokumenty ARP (Aerospace Recommended Practice) jsou vydávány společností SAE International. Ve vztahu ke spolehlivosti letadlových systémů podle FAR-23 a FAR-25 můžeme identifikovat dva dokumenty: ARP4754 a ARP4761.

6.1.3.1 ARP4754

Certification Considerations for Highly-Integrated Or Complex Aircraft Systems – Předpoklady pro certifikaci vysoce integrovaných nebo složitých systémů letadel.

Tento standard se zabývá vývojem a certifikací letadel, zahrnující ověřování systémových požadavků a kontrola implementace změn návrhu. Je zamýšlen pro použití společně s dokumenty DO-178, který se zabývá certifikací letadlového software a DO-254, který se zabývá certifikací letadlového hardwaru.

Informační a průvodní materiál v tomto dokumentu byl vytvořen v souladu s předpisy FAR-25 a JAR-25, tedy je cílen pro vyšší třídy letounů, na které jsou kladeny vyšší požadavky na bezpečnost a spolehlivost, a u kterých se vyskytují složitější systémy, vykonávající funkce na několika úrovních v ovládání a řízení letounu.

Dokument ARP4754A, vydán v prosinci 2010, se zabývá vývojem systémů, letadel přičemž bere v úvahu funkce a operační prostředí letounu.

6.1.3.2 ARP4761

Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment – Návod a metody pro provádění hodnocení bezpečnosti na palubních systémech a vybavení civilních letadel.

Dokument uvádí podrobný popis a návod pro provádění spolehlivostních analýz za účelem certifikace civilních letounů. Primárně je určen pro prokázání souladu s §23.1309 FAR/JAR, může být však použit i pro vybavení nespádající pod tento paragraf.

Cílem je poskytnout návod pro provádění hodnocení bezpečnosti, dokument vypisuje potřebné informace sloužící jako vstupní data a následně definuje výstupní data jednotlivých metod, ukazuje tak jejich provázanost.

Dokument obsahuje následující metody:

- FHA – Functional Hazard Assessment
- PSSA – Preliminary System Safety Assessment
- SSA – System Safety Assessment

- FTA – Fault Tree Analysis
- DD – Dependence Diagram
- MA – Markov Analysis
- FMEA – Failure Modes and Effects Analysis
- FMES – Failure Modes and Effects Summary
- CCA – Common Cause Analysis
 - o ZSA – Zonal Safety Analysis
 - o PRA – Particular Risks Analysis
 - o CMA – Common Mode Analysis

6.1.4 Další související dokumenty:

Dále jsou zde uvedeny další dokumenty související s prováděním spolehlivostních analýz.

- RTCA DO-178 Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification, RTCA Inc.
- RTCA DO-254 Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware
- MIL-HDBK-217 Reliability Prediction of Electronic Equipment, Reliability Analysis Center
- MIL-HDBK-338 Reliability Engineering Handbook
- MIL-HDBK-978 NASA Parts Application Handbook

7 Funkční analýza rizik

Funkční analýza rizik (Functional Hazard Assessment) je popsána jako systematické a rozsáhlé hodnocení funkcí pro identifikaci a klasifikaci poruchových stavů vzhledem k jejich závažnosti (14). FHA je významně doporučována dokumenty ARP 4754, ARP 4761, AC23.1309 jako první krok pro identifikaci nebezpečných stavů. Běžně je rozdělována na dvě úrovně, známé jako FHA na úrovni letadlových funkcí a FHA na úrovni systémů.

FHA se nejdříve provádí pro celý letoun, vycházející z jeho popisu a funkcí, které má splňovat. Následně se alokují jednotlivé funkce konkrétním systémům letadla a FHA se provádí pro každý systém zvlášť. Pokud se jedná o složitější systémy, které kombinují více funkcí, měly by být znovu přehodnoceny pomocí FHA. Výstup je použit jako počáteční bod pro provádění PSSA (14).

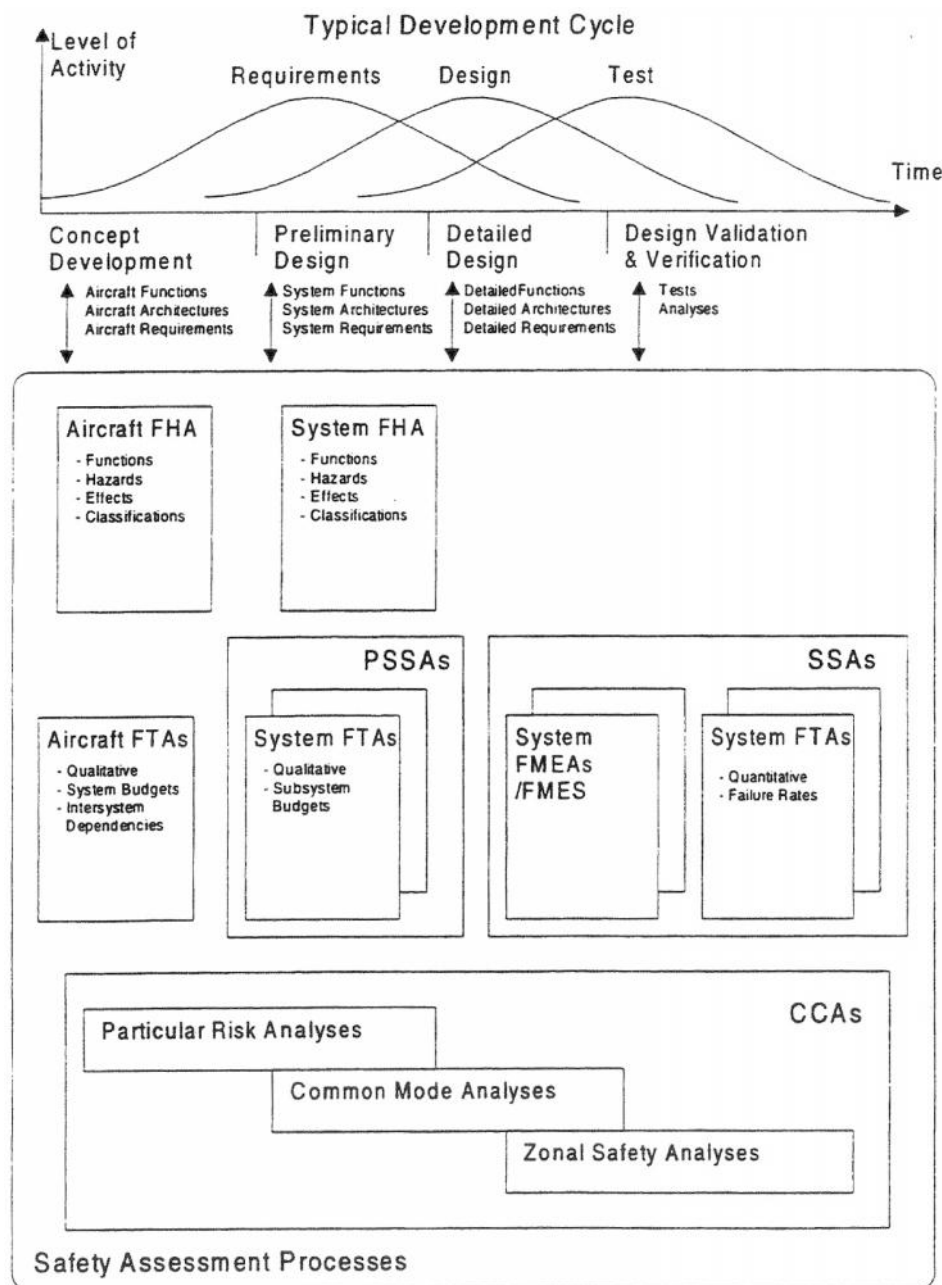
Konkrétní kroky při provádění analýzy (14):

- Určení všech funkcí na úrovni, jaké je prováděna analýza
- Definování účelu a chování funkcí
- Zvážení hypotetických poruchových stavů
- Stanovení účinků poruchových stavů
- Klasifikace účinků
- Zaznamenání dalších materiálů, které mohou zdůvodnit zaznamenanou klasifikaci

Vstupem pro identifikaci všech funkcí letounu jsou (14):

- Seznam funkcí letounu na nejvyšší úrovni (např.: tah, řízení letu apod.)
- Cíle, které má letoun splňovat a požadavky zákazníka (např.: počet míst pro pasažéry, dolet apod.)
- První rozhodnutí o konstrukci a uspořádání letounu

Na obrázku č. 9 jsou uvedeny souvislosti vývoje letounu a návaznost na další spolehlivostní analýzy.



Obr. č. 9 - Proces provádění funkční analýzy (14)

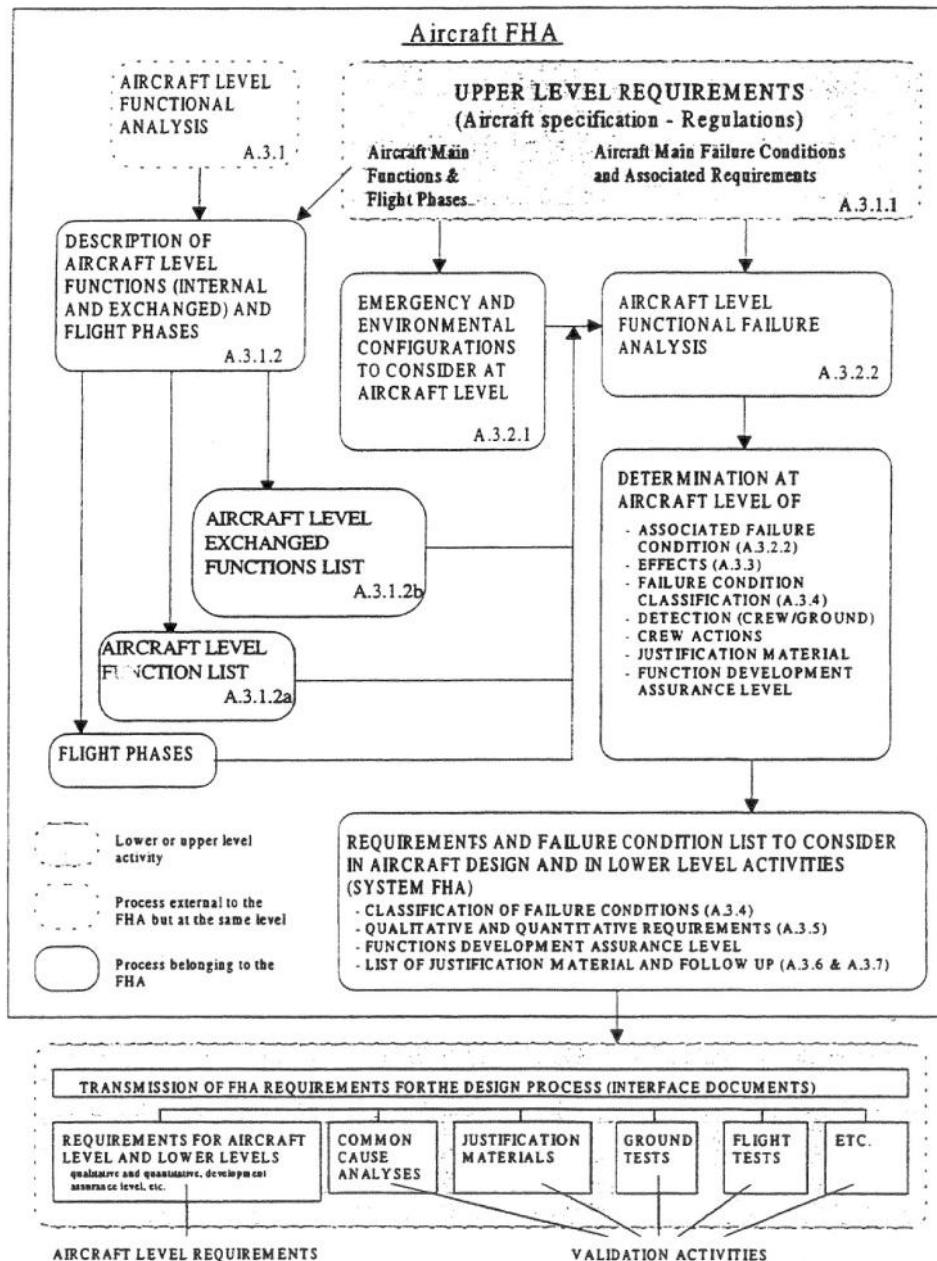
7.1 FHA na úrovni letadlových funkcí

Provádění FHA na této úrovni je kvalitativní hodnocení základních funkcí letounu, jak jsou definovány na počátku vývoje. Cílem provádění FHA je jasně identifikovat a klasifikovat poruchové stavy a zajistit tak dosažení spolehlivostních požadavků na dané funkce. Tabulka č. 4 uvádí rozložení dle AC23.1309-1E pro provádění FHA na úrovni letadlových funkcí.

Tab. č. 7 - Ukázka členění tabulky FHA dle AC23.1309-1E, Appendix1 (8)

Aircraft Function	Classification of Failure Conditions			Analysis Consideration
	Total Loss of Function	Loss of Primary Means of Providing Function	Misleading and/or Malfunction Without Warning	

Obrázek č. 10 zobrazuje průběh procesu provádění FHA na úrovni letounu.



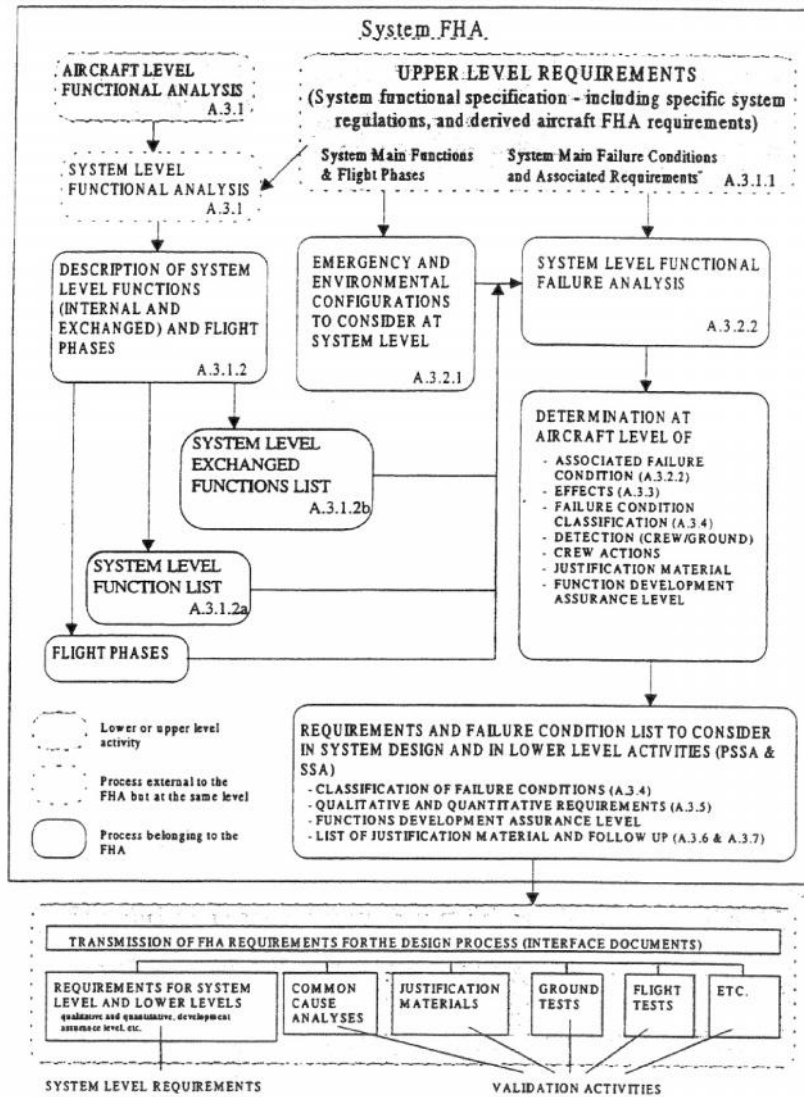
Obr. č. 10 - Průběh provádění FHA na úrovni letounu (14)

7.2 FHA na úrovni systémů

Taktéž se jedná o kvalitativní hodnocení, které je více vázáno na návrh a design letounu a souvisí s vývojem jednotlivých systémů. Uvažuje jednotlivé poruchy nebo kombinaci poruch několika systémů, které ovlivňují funkci letadla. Není cílem hodnotit konkrétní jednotlivé HW nebo SW části, na základě vyhodnocení závažnosti jednotlivých poruchových stavů se pak uvažuje úroveň zabezpečení vývoje (Development Assurance Level - DAL).

Tab. č. 8 - Ukázka členění tabulky FHA dle AC23.1309-1E, Appendix2

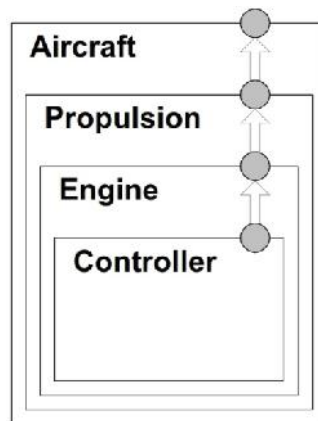
Function	Failure condition Hazard Description	Phase	Effect of Failure Condition on Aircraft/Crew	Classification	Reference to Supporting Material	Verification



Obr. č. 11 - Průběh provádění FHA na úrovni systémů (14)

7.3 Omezení FHA (17)

Dokument „Functional hazard analysis for highly integrated aerospace systems“ se zmiňuje o omezení použití a problémech FHA jako nástroje pro vyhodnocování a identifikaci rizik u složitých víceúrovňových systémů. Vychází ze zkušenosti, že může být složité aplikovat FHA na nižší úrovně letadlových systémů, u kterých je velká integrace s ostatními komplexními systémy, zejména u řízení výkonu motoru. V dokumentu uvádí příklad, viz obrázek č. 12.



Obr. č. 12 - Znárodnění vrstvení vlivů od řízení výkonu motoru na letoun (17)

Problémem je definice konkrétní funkce, kdy se může stát, že je příliš abstraktní, nebo naopak příliš detailní. Dalším problémem je určení celkového vlivu poruchy funkce. Pro vyhodnocení funkce řízení výkonu je třeba určit vliv na motor, vliv chyby jednoho motoru na celkový pohon (vícemotorový letoun) a nakonec určit výsledný efekt pohonu na letoun.

Dokument na závěr uvádí vlastní přínos a řešení problému, které se sestává z:

- striktního vyvarování používání konstrukční terminologie a setrvání u specifikace funkcí
- seskupování více funkcí pod jednu
- použití křížové tabulky funkcí a módů pro určení rozsahu interakce
- vytvoření modelu důsledků, který zobrazuje tok následků

7.4 Provedení funkční analýzy rizik

Následující tabulka č. 6 je samotným provedením funkční analýza na úrovni funkcí letounu. Jako vzor rozložení hlavičky tabulky byla použita tabulka z AC23.1309-1E, Appendix 1, která uvádí část FHA pro 4 místné letadlo provozované za podmínek IFR.

Tab. č. 9 - Funkční analýza malého letounu

GAMA number	Aircraft Function	Klasifikace poruchových stavů			Analysis Consideration
		Total Loss of Function	Loss of Primary means of Providing Function	Misleading and/or Malfunction Without Warning	
21-00	TOPENÍ A VENTILACE				
21-20	Větrání kabiny	Minor	R	R	Přívod okolního vzduchu do kabiny je uvažován oddělený od systému vytápění.
21-40	Vyhřívání kabiny	Minor	R	R	Ohřev vzduchu je zajištěn v tepelném výměníku, ten pak pokračuje dál přes jednotku zajišťující ochlazení vzduchu na požadovanou teplotu pomocí okolního vzduchu.
22-00	AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ LETU				Autopilot ovládá letoun ve 2 osách. Varování pilota o nefukčnosti autopilota pomocí vizuálních a zvukových signálů.
22-10	Ovládání Autopilota a kontrola řízení letu	Minor	Minor	Hazardous	Nutnost regulace maximálních vstupů do ovládacích ploch letounu pro neporušení maximálních pevnostních limitů letounu
	Odpojení autopilota pomocí A/P spínače	Major	Minor	Major	Pilot musí monitorovat funkci autopilota a v případě potřeby neprodleně převzít řízení pro obnovu letu.
	Převzetí řízení autopilota	Catastrophic	Major	R	

GAMA number	Aircraft Function	Klasifikace poruchových stavů			Analysis Consideration
		Total Loss of Function	Loss of Primary means of Providing Function	Misleading and/or Malfunction Without Warning	
23-00	KOMUNIKACE				
23-10	Hlasová komunikace - vnější NAV/COM radio	Major	Minor	Major	Uvažován let za podmínek IFR.
	Identifikace letadla - transponder	Major	R	Minor	Uvažován let v řízeném prostoru.
23-50	Palubní komunikace	Minor	R	Minor	R
23-60	Vybíjení statické elektřiny	Major	Minor	R	<p>Statická elektřina může způsobit problémy v hlasové komunikaci. Elektrostatické výboje provázejí elektromagnetické jevy, které ruší činnost některých elektronických, spojovacích, navigačních a detekčních zařízení. Týká se zejména:</p> <ul style="list-style-type: none"> – spojovacích zařízení, pracujících na KV, VKV a někdy UKV vlnách, – navigačních přijímačů systémů OMEGA, LORAN, VOR, ILS, KV a VKV/UKV rádiového kompasu. <p>Uvažován let za podmínek IFR.</p>
24-00	ELEKTRICKÁ ENERGIE				
24-30	Dodávání elektrické energie	Catastrophic	Major	Hazardous	Musí splňovat požadavky CFR14, §23.1310
24-31	Bateriový systém	Hazardous	R	Hazardous	
	Indikace funkce	Minor	Minor	Major	

GAMA number	Aircraft Function	Klasifikace poruchových stavů			Analysis Consideration
		Total Loss of Function	Loss of Primary means of Providing Function	Misleading and/or Malfunction Without Warning	
25-00	VYBAVENÍ				
	ELT Emergency Locator Transmitter	Hazardous	R	Hazardous	
26-00	OCHRANA PROTI OHNI				
	Hasící přístroj v kabině	Hazardous	R	R	
27-00	ŘÍZENÍ OVLÁDACÍCH PLOCH				
	Ovládání primárních řídicích ploch	Catastrophic	Major	R	
27-10	Ovládání vyvážení klopení	Hazardous	Minor	Hazardous	Uvažovaná fáze letu: vzlet
27-39	Ovládání vyvážení klonění	Major	Minor	Major	Uvažovaná fáze letu: vzlet
27-50	Ovládání Klapek	Major	R	Catastrophic	Uvažovaná fáze letu: nezdařené přiblížení
30-00	OCHRANA PROTI NÁMRAZE				
30-20	Vyhřívání karburátoru	Major	R	Major	Vznik námrazy na karburátoru je čitelný ze snížení otáček motoru následovaný tvrdým chodem motoru. Bezpečnostní informace k námraze karburátoru lze nalézt v dokumentu Civil Aviation Authority: Safety Sense Leaflet 14 Piston Engine Icing
30-30	Vyhřívání Pitot-Statických snímačů	Hazardous	Minor	Hazardous	Uvažovaný let za podmínek IFR, za podmínek blízkých vzniku námrazy.
30-40	Odmražování kabinového skla horkým vzduchem	Major	R	R	
30-60	Odmrazování vrtule	Minor	R	Minor	

GAMA number	Aircraft Function	Klasifikace poruchových stavů			Analysis Consideration
		Total Loss of Function	Loss of Primary means of Providing Function	Misleading and/or Malfunction Without Warning	
31-00	INDIKAČNÍ SYSTÉMY				
31-40	PFD	Major	Minor	Major	
31-40	MFD	Minor	Minor	Minor	
32-00	PODVOZEK				
32-40	Brzdy podvozku	Major	Minor	Major	
32-50	Řízení směru pojiždění (steering)	Minor	Minor	Minor	Řízení směru pojiždění je uvažováno při vzletu, před získáním dostatečné rychlosti pro fungování směrového kormidla.
33-00	SVĚTLA				
33-10	Osvětlení kabiny	Minor	R	R	
	Osvětlení přístrojové desky a informačních štítků	Major	Minor	R	
33-40	Vnější osvětlení	R	R	R	
	Přistávací světla	Minor	Minor	Minor	
	Poziční světla	Minor	Minor	Minor	
	Pojižděcí světla	R	R	R	
	Protikolizní světla	Minor	Minor	R	
33-50	Nouzové osvětlení	Major	R	R	

GAMA number	Aircraft Function	Klasifikace poruchových stavů			Analysis Consideration
		Total Loss of Function	Loss of Primary means of Providing Function	Misleading and/or Malfunction Without Warning	
34-00	NAVIGACE A PITOT-STATICKÝ SYSTÉM				
	Informace o čase	Minor	Minor	Minor	R
34-10	Zobrazení informace o výšce	Hazardous	Minor	Catastrophic	Uvažovány podmínky IFR letu.
	Zobrazení informace o rychlosti	Major	Minor	Hazardous	
	Zobrazení Flight Path Vector	Minor	R	Major	
	Zobrazení rychlosti otáčení/zatáčení	Minor	Minor	Major	
	Zobrazení informace o skluzu/smyku	Minor	Minor	Minor	
	Zobrazení vertikální rychlosti	Minor	R	Major	
	Signalizace přetažení	Major	R	Major	
	Zobrazení vnější teploty	Minor	R	Minor	
34-20	Zobrazování informace o podélném a příčném sklonu vůči horizontu	Catastrophic	Minor	Catastrophic	Uvažován let za podmínek IFR.

GAMA number	Aircraft Function	Klasifikace poruchových stavů			Analysis Consideration
		Total Loss of Function	Loss of Primary means of Providing Function	Misleading and/or Malfunction Without Warning	
	Zobrazování informace o úhlovém směřování letu	Major	Minor	Major	
52-00	DVEŘE				
52-10	Dveře	Minor	R	Minor	
52-30	Vstup nákladový prostor	Minor	R	Minor	
52-40	Servisní vstup	Minor	R	Minor	
61-00	VRTULE				
61-20	Řízení nastavení vrtule	Hazardous	Major	Major	Uvažovaná fáze letu: nezdařené přiblížení
73-00	MOTOROVÉ PALIVOVÉ SYSTÉMY				
73-10	Přepínání mezi nádržemi	Minor	R	Major	
73-20	Kontrola tlaku paliva	Minor	R	Minor	
73-30	Indikace množství paliva	Minor	R	Minor	
74-00	ZAPALOVÁNÍ				
74-10	Napájení	Hazardous	Minor	Major	Magneto
74-30	Zapalování	Hazardous	Minor	Major	
76-00	ŘÍZENÍ MOTORU				
76-10	Řízení výkonu motoru	Hazardous	Minor	Hazardous	Uvažovaná fáze letu: nezdařené přiblížení

GAMA number	Aircraft Function	Klasifikace poruchových stavů			Analysis Consideration
		Total Loss of Function	Loss of Primary means of Providing Function	Misleading and/or Malfunction Without Warning	
	Řízení nastavení směsi	Minor	R	Minor	Uvažovaná fáze letu: nezdařené přiblížení
76-20	Nouzové vypnutí motoru	Major	R	Minor	vypnutí zapalování
77-00	INDIKACE MOTORU				
77-10	Indikace otáček motoru	Minor	Minor	Minor	
77-20	Teplota hlav motoru / Teplota chladící kapaliny	Minor	Minor	Minor	
	Zobrazení teploty vstupujícího vzduchu	Minor	Minor	Minor	
79-00	OIL				
79-10	Ukazatel množství oleje	Minor	R	Minor	
79-30	Ukazatel tlaku oleje	Minor	R	Minor	
	Ukazatel teploty oleje	Minor	R	Minor	
	OSTATNÍ				
	Funkce vizuálních výstražných signálů	Major	R	Hazardous	
	Zvukové výstražné signály	Major	R	Hazardous	

8 Vyhodnocení FHA

Celkem bylo identifikováno 65 funkcí, které byly klasifikovány dle tabulky AC23.1309-1E

V následující tabulce č. 7 uvádím přehled:

Tab. č. 10 - Přehled vyhodnocení prováděné FHA

	Total 41os sof Function	41os sof Primary means of Providing Function	Misleading and/or Malfunction Without Warning
Catastrophic	4	0	3
Hazardous	10	0	10
Major	18	4	16
Minor	31	29	23
R	2	32	13

Funkce s klasifikací Catastrophic jsou následující:

- Převzetí řízení autopilota
- Dodávání elektrické energie
- Ovládání primárních řídicích ploch
- Zobrazení informace o výšce
- Zobrazování informace o podélném a příčném sklonu vůči horizontu
- Ovládání klapek

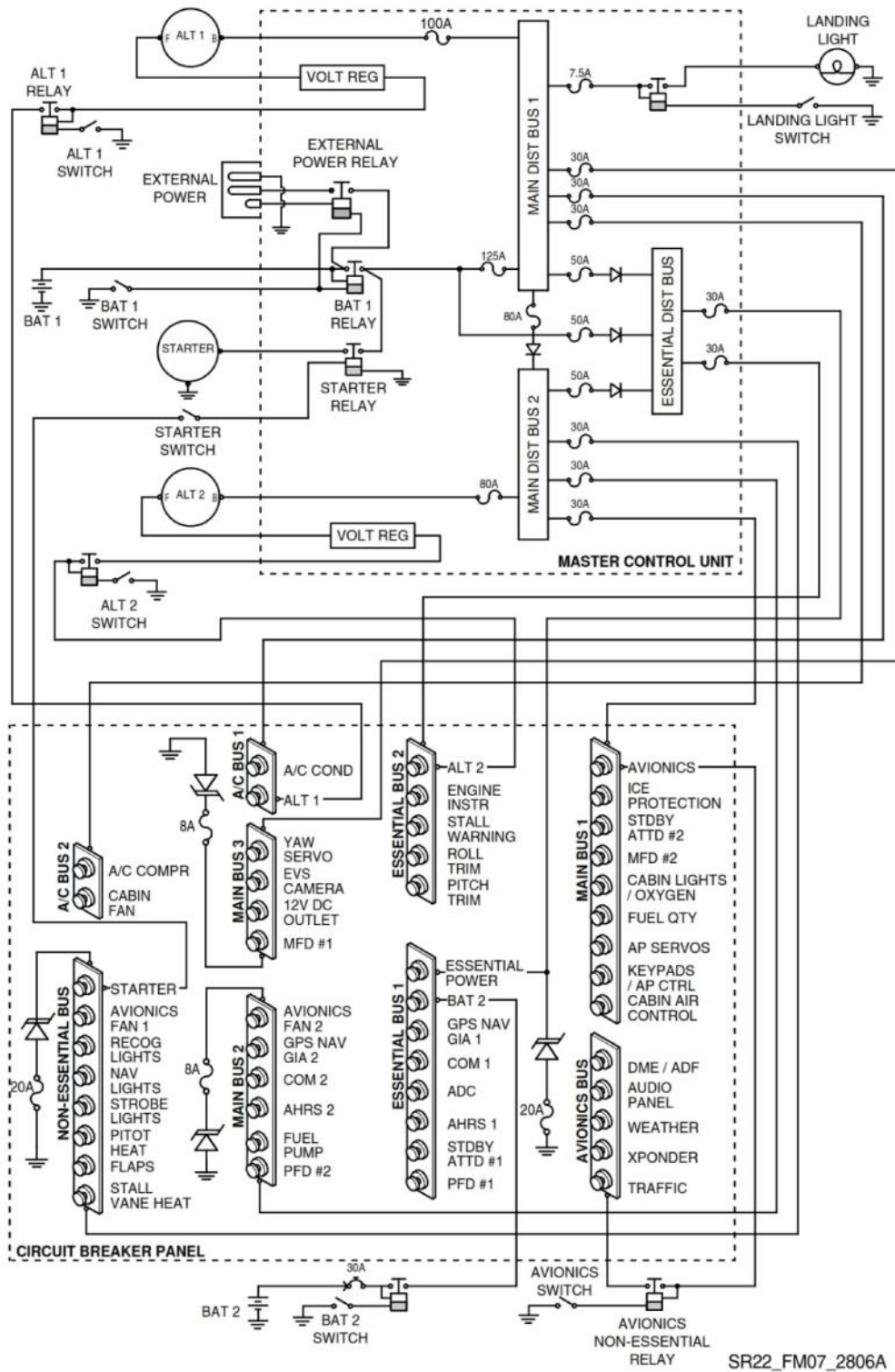
Funkce vyhodnocené jako Catastrophic jsou přímo spojené s kontrolou a řízením letu.

9 Elektrické soustavy

V této kapitole uvádím přehled typických prvků elektrické soustavy letadla dané kategorie. Pro přehled typických prvků byly vybrány následující letadla, jako typičtí zástupci zkoumaného vzorku letadel:

- Cirrus SR20
- Cirrus SR22T
- Cessna Corvalis 350
- Cessna Skylane T182T
- Diamond DA40
- Piper PA28

Seznam vybraných prvků naleznete v tabulce č. 7 společně s vyhodnocením spolehlivosti jednotlivých prvků. Na obrázku č. 13 je uvedena elektrická sestava letounu Cirrus Design SR22.



SR22_FM07_2806A

Obr. č. 13 - Elektrická soustava letounu Cirrus SR22 (12)

9.1 Určení spolehlivosti jednotlivých prvků

K určení spolehlivosti jednotlivých prvků bylo použito následujících databází:

- MIL-HDBK-217F_Notice2 (18)
- RIAC – EPRD-97, NPRD-2011, FMD-97, VZAP-95 (19)

Tab. č. 11 - Seznam vybraných prvků typické elektrické soustavy a jejich vyhodnocení intenzity poruch **(18) (19)**

	RIAC	MIL	Poznámky RIAC	Poznámky MIL
RELÉ				
Relé		1,86E-07		TA=50°C, odporová zátěž, SPST, AIC, S=0,5
SPÍNAČE/JISTIČE				
Rocker type		4,43E-07		S=0,5; DPST; MIL SPEC; AIC
Pushbutton		1,48E-06		S=0,5; SPST; MIL SPEC; AIC
Otočný přepínač		1,63E-06		S=0,5; SPST; MIL SPEC; AIC
Transfer Manual switch	3,13E-06		Env=GF; FR=5,210294; k(GF->AIC)=0,6	
Jističe obvodu (Push reset/Pull Off)		2,38E-06		Thermal; SPST; PiU=1; Q MIL SPEC; AIC
DIODY				
Diodový usměrňovač		2,61E-07		Vs=0,5; Metallurgically Bonded; Q-JAN; 4 Junctions; AIC
Dioda - všeobecné použití		4,96E-08		Vs=0,5; Metallurgically Bonded; Q-JAN; AIC
Tlumicí obvody přechodového napětí	7,24E-07	1,37E-07	AUT ; Metallurgical Bond Semi.Mat.:Silicon	Metallurgically Bonded; Q-JAN; AUC
Regulátor napětí	1,25E-05	1,54E-07	k(ARW->AIC)=3,3	Metallurgically Bonded; Q-JAN; AUC
POJISTKY				
Pojistka		9,00E-08		AIC;
INDIKÁTORY				
Voltmetr/Ampérmetr		2,52E-06		DC; Quality MIL-M-10304
OSTATNÍ				
Baterie	2,46E-04		Lead-Acid a Ni-Cad baterie; k(AIF->AIC)=1,4	
Alternátor	1,25E-04		k(ARW->AUC)=1,3; nedostatečné zdroje, velmi se liší v hodnotách	
Zásuvka vnějšího zdroje energie		3,36E-07		T=50°C; >50 cyklů/1000 hodin; MIL SPEC; AUC

Pozn:

1) AUT (Airborne Uninhabited Transport) - 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. (19)

2) Tavným pojistkám: problém s modelováním spolehlivosti, data založena primárně na zkouškách životnosti a reprezentují selhání zejména z důvodů mechanické únavy a koroze

3) Baterie: Poruchy nejsou potvrzené a číslo reprezentuje množství údržbových zásahů

Při čerpání z databází RIAC bylo zapotřebí přepočítávání spolehlivosti ohledem na používané prostředí. Tento přepočet předpokládá zachování stejného elektrického namáhání daných prvků. Přepočet vlivu prostředí zahrnuje faktory teploty, vibrací, vlhkosti a mechanických otřesů, konkrétní hodnoty uvádí následující tabulka č. 9.

Tab. č. 12 - Převodní konstanty mezi jednotlivými typy prostředí (20)

To From	217 ⇒	GB	GF	GM	NS	NU	AIC	AIF	AUC	AUF	ARW	SF
217 ↓	SD-18 ↓ ⇒	Protected	-	-	Normal	Severe	Normal	-	Severe	Severe	Severe	-
GB	Protected	X	0.5	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	1.1
GF	-	2.0	X	0.4	0.6	0.3	0.6	0.4	0.2	0.1	0.2	2.0
GM	-	5.0	2.5	X	1.4	0.7	1.4	0.9	0.6	0.3	0.5	5.0
NS	Normal	3.3	1.7	0.7	X	0.5	1.0	0.7	0.4	0.2	0.3	3.3
NU	Severe	10.0	3.3	1.4	2.0	X	2.0	1.4	0.9	0.5	0.7	10.0
AIC	Normal	3.3	1.7	0.7	1.0	0.5	X	0.7	0.4	0.2	0.3	3.3
AIF	-	5.0	2.5	1.1	1.4	0.7	1.4	X	0.6	0.4	0.5	5.0
AUC	Severe	10.0	5.0	1.7	2.5	1.1	2.5	1.7	X	0.6	0.8	10.0
AUF	Severe	10.0	10.0	3.3	5.0	2.0	5.0	2.5	1.7	X	1.4	10.0
ARW	Severe	10.0	5.0	2.0	3.3	1.4	3.3	2.0	1.3	0.7	X	10.0
SF	-	0.9	0.5	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	X

9.2 Vyhodnocení spolehlivosti modelového systému

V FHA analýze uvedené výše je funkce „Dodávání elektrické energie“ hodnocená jako Catastrophic, bude tedy dále použita pro výpočty a kontrolu. Pro dodržení předpisů FAR23 musí být pravděpodobnost selhání daného systému $<10^{-6}$. Na základě vybraných prvků a jejich spolehlivosti je možné provést přibližný odhad spolehlivosti elektrického systému.

9.2.1 Upořádání u vybraných letadel

U vybraných letadel můžeme nalézt následující sestavu baterie a alternátorů:

- **Diamond DA40, Piper PA28, Cirrus SR20 (sériová čísla 1005 až 1267) (21) (22) (23)**
 - o U těchto letadel je dodávání elektrické energie zajištěno jedním alternátorem a jednou baterií.

- **Cessna Skylane T182T (24)**
 - o Elektrický systém Cessny se skládá z jednoho alternátoru, jedné hlavní baterie a jedné sekundární (STBY) baterie, která slouží jako záložní zdroj v případě ztráty elektrické energie z alternátoru a primární baterie.
- **Cirrus SR20 (sériová čísla 1268 a následující) (25)**
 - o Systém se sestává z dvou alternátorů a dvou baterií, přičemž alternátor č. 1 dodává elektrickou energii do systému přes hlavní sběrnici a alternátor č.2 je přímo napojen na základní sběrnici (Essentials), na kterou je přímo napojena i baterie č. 2.
- **Cirrus SR22T (26)**
 - o Systém je obdobný jako u letounu Cirrus SR20. Alternátory jsou napojeny na 2 hlavní sběrnice, které rozvádějí elektrickou energii ke spotřebičům. Baterie č. 2 je pak napojena přímo na sběrnici označenou jako Essential.
- **Cessna Corvalis 350 (27)**
 - o Elektrický systém je rozdělený na dvě nezávislé větve – pravou a levou, každá napájená jedním alternátorem a jednou baterií. Obě větve jsou propojeny spínačem, dovolujícím v případě výpadku elektrické energie v jedné větvi, zásobování druhým alternátorem. Základní sběrnice (Essential) je napájena z obou dvou hlavních sběrnic.

9.2.2 Výpočet

Z tabulky č. 7 jsou patrné nejméně spolehlivé prvky – Baterie a Alternátor. Spolehlivost všech ostatních prvků se pohybuje o řád a výše na bezpečné straně spolehlivosti. S ohledem na řádově nižší spolehlivosti baterie a alternátoru bude pro následující výpočty použit velmi zjednodušený model, vynechávající ostatní prvky, v jednom případě společně s regulátorem napětí, jako důležitého prvku pro správné fungování alternátoru. Pro výpočet byl zvolen systém letounů Diamond, Piper a Cirrus.

Jedná se o neopravovaný systém, pro jeho grafické znázornění je použito logických blokových diagramů jako jednoduchého nástroje pro modelaci a výpočet. Poruchy jednotlivých prvků systému jsou uvažovány bez vzájemné závislosti.

- R_i – pravděpodobnost bezporuchového stavu prvku
- R_s – pravděpodobnost bezporuchového stavu systému
- Q_i – pravděpodobnost poruchy prvku
- Q_s – pravděpodobnost poruchy systému
- A – Alternátor
- B – Baterie
- R – Regulátor napětí

Pro výpočet poruchovosti paralelního systému je použit následující vztah 1. a 2. (28).:

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^{i=N} (1 - R_i) \quad 1.$$

$$R_i = 1 - Q_i \quad 2.$$

Po úpravách:

$$Q_s = \prod_{i=1}^{i=N} Q_i$$

Pro výpočet poruchovosti sériového systému je použit následující vztah 3. (28):

$$R_s = \prod_{i=1}^{i=N} R_i \quad 3.$$

Po úpravě:

$$Q_s = 1 - \prod_{i=1}^{i=N} (1 - Q_i)$$

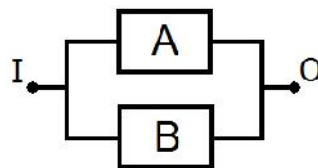
Intenzita poruch jednotlivých prvků:

$$Q_A = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ za 1 hod letu}$$

$$Q_B = 2,54 \cdot 10^{-4} \text{ za 1 hod letu}$$

$$Q_R = 4,91 \cdot 10^{-5} \text{ za 1 hod letu}$$

1) 1 alternátor a 1 baterie

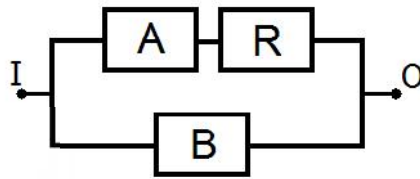


$$Q_{s1} = Q_A \cdot Q_B$$

$$Q_{s1} = 1,25 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \cdot 10^{-4}$$

$$Q_{s1} = 3,175 \cdot 10^{-8}$$

2) 1 alternátor, 1 regulátor proudu, 1 baterie



$$Q_{s2} = [1 - (1 - Q_A)(1 - Q_R)] \cdot Q_B$$

$$Q_{s2} = [1 - (1 - 1,25 \cdot 10^{-4})(1 - 4,91 \cdot 10^{-5})] \cdot 2,54 \cdot 10^{-4}$$

$$Q_{s2} = 4,422 \cdot 10^{-8}$$

9.2.3 Vyhodnocení

Hodnota intenzity poruch vychází u obou modelových případů o 2 řády na bezpečné straně od požadavků předpisu FAR 23 pro uvažovaný typ letoun a systém by měl být tak plně vyhovující.

Vzhledem k použití této jednoduché varianty u některých typů letadel (Diamond DA40, Piper PA28, Cirrus SR20 (sériová čísla 1005 až 1267)) lze uvažovat systém jako plně dostačující pro splnění předpisů, avšak přílišné zjednodušení může výpočty natolik, že výsledky mohou vykazovat jisté nedostatky v konfrontaci s reálným systémem.

Nasvědčovat tomu může i použití zálohování u dalších letounů, jako je Cessna Skylane, nebo komplexní systémy u dalších hodnocených letadel (Cessna Corvalis 350; Cirrus SR20 sériová čísla 1268 a následující; Cirrus SR22).

Použití více alternátorů bude pravděpodobně ovlivňovat i vyšší spotřeba elektrické energie související s větším množstvím elektronických zařízení v kabině. Letouny používající pouze jedné baterie a jednoho alternátoru nepoužívají integrovaného elektronického panelu, výjimkou je Piper PA28 který používá jeden MFD.

10 Závěr

Jedním z cílů diplomové práce bylo vypracování rešerše současného trhu malých letadel se zaměřením na čtyřmístná jednomotorová letadla. Za použití 21 modelů byla zpracována přehledná statistika, ze které je patrné velmi vysoké používání elektronických systémů na palubě těchto letounů. Elektronické ovládání vyvážení a klapků se stává běžnou součástí letounu, elektronický integrovaný panel Garmin G2000 v podstatě nepředpokládá použití standardních analogových přístrojů, a v neposlední řadě se v letounech objevují klimatizace, jako další spotřebič.

Tento vývoj přináší zmenšení zátěže v průběhu řízení kladené na pilota, zvýšení komfortu a pohodlí. Na druhé straně to znamená větší závislost na zdroji elektrické energie a vyšší důraz na potřebu spolehlivosti elektrického systému. Vzhledem k neustálému vývoji v oblasti elektroniky, větší vzájemné integraci a návaznosti všech systémů, se stávají spolehlivostní analýzy důležitým prvkem pro bezpečnost leteckého provozu a provádění samotného letu.

Dalším cílem práce bylo sestavení funkční analýzy letadel. V praxi znamená vypracování takovéto analýzy součinnost odborníků z různých odvětví letadlových systémů, od motorů, elektroniky, avioniky až po aerodynamiku a konstrukci. Výsledkem provedení FHA bylo definování nejkritičtějších funkcí, mezi které patřila funkce dodávání elektrické energie.

Závěrem kroku byla provedena rešerše standardních prvků elektrických systémů letadel a byl proveden předběžný odhad intenzity poruch, na základě kterého byly definovány jako nejporuchovější prvky baterie a alternátor. Na základě úvahy zjednodušení systémů a vynechání prvků s intenzitou poruch o 2 řády nižší, byla vypočítána intenzita poruch zapojení baterie a alternátoru. Výsledkem tohoto zjednodušení je optimistický odhad, který překročil splnění požadavků předpisů o celé 2 řády, proto nelze s jistotou tvrdit, že bude naplněn v reálných podmínkách.

Při provádění spolehlivostní analýzy reálného letounu by jako další krok následovalo přiřazení jednotlivých funkcí systémům a provádění analýzy na úrovni systémů a subsystémů.

11 Citovaná literatura

1. **Russ, Niles.** Cessna to Offer Diesel Skyhawk. *AVweb*. [Online] 7. Říjen 2007. [Citace: 15. Květen 2013.] http://www.avweb.com/news/aopa/AOPAExpo2007_Cessna_172SSkyhawk_DieselEngine_196294-1.html.
2. **Beechcraft.** About us: History. *Beechcraft*. [Online] [Citace: 16. Květen 2013.] http://www.beechcraft.com/about_us/history/.
3. **Evektor.** *Evektor*. [Online] [Citace: 10. Květen 2013.] http://www.evektoraircraft.com/skins/evektor_en_vu100_cobra/slide/02.jpg.
4. **Airportjournals.** *Airportjournals*. [Online] [Citace: 7. Květen 2013.] http://www.airportjournals.com/Photos/0605/X/0605007_7.jpg.
5. **Aircraft Information.** Gallery: Civil: Light Aircraft. *Aircraft Information*. [Online] [Citace: 16. Květen 2013.] http://www.aircraftinformation.info/Images/400_01.jpg.
6. **Plane SMart.** *Plane Smart*. [Online] [Citace: 17. Květen 2013.] http://www.planesmart.com/clientuploads/Cirrus_Perspective/SR22_GTS_S0180%20T.jpg.
7. **Federal Aviation Administration.** CFR 14. *ELECTRONIC CODE OF FEDERAL REGULATIONS*. [Online] 1. Květen 2013. [Citace: 1. Květen 2013.] <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/ECFR?SID=7cce96e650f6b3e3cb7198b5dbdf5cdd&page=browse>.
8. —. Advisory Circulars (ACs). *Federal Aviation Administration*. [Online] [Citace: 15. Květen 2013.] http://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/99737.
9. **Mertl, Vlastimil.** *Konstrukce a projektování letadel*. Brno : Vysoké Učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Brno, Technická 2, 2000. ISBN 80-214-1789-7.
10. **General Aviation Manufacturers Association .** Statistical Databook and Industry Outlook. *GAMA* . [Online] 2012. <http://www.gama.aero/media-center/industry-facts-and-statistics/statistical-databook-and-industry-outlook>.
11. **Garmin.** *Garmin*. [Online] [Citace: 10. Květen 2013.] <https://static.garmincdn.com/en/products/010-G1000-H0/g/ad-01.jpg>.
12. **Cirrus Design Corporation.** Cirrus Design SR22. *Pilot's Operating Handbook and EASA Approved Airplane Flight Manual*. Duluth : Cirrus Design Corporation, Aug 12,2011. P/N 13772-001E.
13. **McClellan, Mac.** Cessna Reveals Advanced Cockpit in New Corvalis TTX. *EAA - The Spirit of Aviation*. [Online] 29. Březen 2011. [Citace: 18. Květen 2013.] <http://www.eaa.org/news/2011/images/Corvalis1.jpg>.

14. **SAE International.** ARP4761. *Aerospace Recommended Practice*. Warrendale : autor neznámý, 1996.
15. **International, SAE.** ARP4754. *Aerospace Recommended Practice*. Warrendale : autor neznámý.
16. **Hlinka, Jiří.** Požadavky na spolehlivost letounů obsažené v předpisech FAR část 23 a část 25. *Letecký zpravodaj*. 4, 2002.
17. **Wilkinson, P.J. a Kelly, T.P.** Department of computer science. *The University of York*. [Online] [Citace: 15. Duben 2013.] <http://www-users.cs.york.ac.uk/tpk/ieefha.pdf>.
18. **Department of Defense, USA.** MIL-HDBK-217_Notice-2. *MILITARY HANDBOOK Reliability prediction of electronic equipment*. 1991.
19. **RIAC.** *RIAC Automated Databook*. [Databáze] EPRD-97; NPRD-2011; FMD-97; VZAP-95.
20. **Alion Science and Technology.** Reliability Prediction Environmental Conversion Matrix. *System Reliability Center*. Rome : autor neznámý, 2005.
21. **Diamond Aircraft Industries GmbH.** DA 40 F. *Airplane FLight Manual*. 2005.
22. **Piper Aircraft Corporation.** Cherokee Archer II, PA-28. *Pilots Operating Handbook*. 2004.
23. **Cirrus Aircraft.** Cirrus Design SR20, SN: 1005-1267. *Airplane Information Manual*. 2011.
24. **Cessna Aircraft Company.** Cessna Skylane T182T. *Information Manual*. 2006.
25. **Aircraft, Cirrus.** Cirrus Design SR20, SN 1268 a následující. *Airplane Information Manual*. 2011.
26. **Cirrus Aircraft.** Cirrus Design SR22T. *Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual*. 2010.
27. **Cessna Aircraft Company.** Cessna Corvalis 350. *Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual*. 2008.
28. **Holub, Rudolf a Vintr, Zdeněk.** *Spolehlivost letadlové techniky (elektronická učebnice)*. Brno : Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2001.

12 Seznam použitých zkratek

- AC Advisory Circular
- ARP Aerospace Recommended Practice
- CFR Code of Federal Regulations
- FAA Federal Aviation Administration
- FAR Federal Aviation Regulations
- FHA Functional Hazard Assessment
- GAMA General Aviation Manufacturers Association
- IFR Instrument Flight Regulations
- JAR Joint Aviation Regulations
- MFD Multifunction Flight Display
- PFD Primary Flight Display