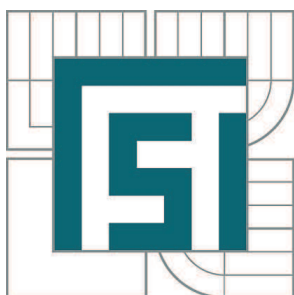


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

## PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ PRO ČTYŘMÍSTNÝ SPORTOVNÍ A TURISTICKÝ LETOUN

COCKPIT INSTRUMENTS FOR FOUR-SEATER SPORT AND LEISURE AIRCRAFT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JIŘÍ LIBERDA

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. Jiří Liberda

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

obor: **Letecký provoz (3708T011)**

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

### **Přístrojové vybavení pro čtyřmístný sportovní a turistický letoun**

v anglickém jazyce:

### **Cockpit instruments for four-seater sport and leisure aircraft**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte rozbor současného trhu jednomotorových čtyřmístných sportovních a turistických letadel se zaměřením na přístrojové vybavení. Na základě provedeného rozboru definujte typické vybavení moderního letounu této kategorie. Dále proveďte rešerši požadavků předpisů EASA CS na přístrojové vybavení v této kategorii letounů. Na základě provedených prací navrhnete seznam přístrojů, které budou zastavěny do nově navrhovaného letounu a proveďte návrh konstrukčního řešení palubní desky. Proveďte analýzu FMEA navrženého přístrojového vybavení. Pro kritické funkce dle požadavků vedoucího proveďte odhad pravděpodobnosti výpadku informace.

Předpokládejte, že letoun bude provozován v podmínkách IFR (Instrument Flight Rules). Předpokládá se rovněž certifikace pro lety IFR s jedním pilotem na palubě.

Cíle diplomové práce:

- Rešerše současného trhu letadel v dané kategorii
- Rešerše požadavků předpisu na tyto letouny provozované v kategorii IFR s přihlédnutím k možnosti jedno-pilotní IFR verze.
- Návrh konstrukčního řešení palubní desky
- Analýza FMEA přístrojového vybavení

Seznam odborné literatury:

- [1] Jane's: All the World's Aircraft, Jane's Information Group Limited, UK
- [2] EASA CS-23
- [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.

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 Juračka, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

**ANOTACE:**

Tato práce zahrnuje ucelený přehled současných čtyřmístných sportovních a turistických letounů se zaměřením na jejich přístrojové vybavení. Uveden je také popis vybraných glass kokpitů. Součástí je také návrh uspořádání přístrojové desky, která je navržena s ohledem na příslušné předpisy a standardní uspořádání existujících letadel. Přehled příslušných předpisů, nezbytných pro instalaci těchto systémů, je také součástí práce. Na konci této práce je vypracována analýza způsobů a důsledků poruchových stavů (FMEA) společně s výpočtem pravděpodobnosti poruchového stavu pro kritické funkce.

**ANNOTATION:**

This master thesis includes a comprehensive review of four-seater sport and leisure aircraft with focus on their cockpit instruments. The description of the selected glass cockpits is listed. Thesis also includes design of instrument panel, which is designed according to the relevant regulations and standard configuration of existing aircrafts. There is also a brief overview of the regulations necessary for the installation of these systems in the aircrafts. At the end of the this work is failure mode and effects analysis, with calculation of probability malfunction for critical functions.

**KLÍČOVÁ SLOVA:**

Letoun, bezporuchovost, přístrojové vybavení, glass kokpit, FMEA

**KEY WORDS:**

Airplane, reliability, cockpit instrument, glass cockpit, FMEA

**Bibliografická citace:**

LIBERDA, J. *Přístrojové vybavení pro čtyřmístný sportovní a turistický letoun*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 54 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Hlinky, Ph.D. Použité zdroje uvádím v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 27. 5. 2013

---

Jiří Liberda

## **Poděkování:**

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Jiřímu Hlinkovi, Ph.D., především za trpělivost a cenné rady, které udílel při zpracovávání mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za podporu. V neposlední řadě také Bohu, který doutnající knot neuhasí a nalomenou třtinu nedolomí.

## Obsah

1. Úvod.....	3
2. Rozbor trhu.....	4
3. Typické vybavení letounu .....	6
3.1 Glass kokpit.....	6
4. Přístrojové vybavení pro lety IFR .....	9
4.1 Let podle VFR [6] .....	9
4.2 Let podle IFR [6].....	9
4.3 Požadavky předpisu EU - OPS.....	9
4.4 Magnetický kompas .....	10
4.5 Chronometr .....	10
4.6 Teploměr vnějšího vzduchu .....	11
4.7 Citlivý barometrický výškoměr.....	11
4.8 Rychloměrný systém s vyhřívanou Pitotovou trubicí .....	12
4.9 Variometr .....	13
4.10 Zatáčkoměr s ukazatelem skluzu / přístroj pro koordinovanou zatáčku .....	13
4.11 Ukazatel letové polohy (umělý horizont).....	14
4.12 Stabilizovaný ukazatel směru.....	14
4.13 Autopilot .....	15
5. Požadavky předpisů na umístění přístrojů.....	17
5.1 Požadavky dle CS 23.1321.....	17
5.2 Požadavky systémů s elektronickými zobrazovacími jednotkami dle CS 23.1311 .....	19
6. Přehled vybraných řešení .....	20
5.1 Garmin G1000.....	20
5.3 Garmin G2000.....	23
5.2 Avidyne Entegra R9 .....	25
5.3 SmartDeck.....	29
5.4 Volba řešení .....	31
7. Návrh přístrojové desky .....	33
6.1 G2000.....	34
6.2 SmartDeck.....	35
8. FMEA.....	37
7.1 Analýza FMEA pro PFD.....	40
7.2 Analýza FMEA pro MFD .....	41



7.3 Analýza FMEA pro ovládací panel autopilota .....	42
7.4 Analýza FMEA pro ESI .....	43
9. Výpočet kritické funkce.....	44
8.1 Vlastní výpočet:.....	45
10. Závěr.....	48
11. Použitá literatura, použité zdroje:.....	50
12. Seznam zkratk.....	53
13. Seznam příloh.....	55

## 1. Úvod

V této práci bude navrženo přístrojové vybavení pro čtyřmístný sportovní a turistický letoun. Letoun má být provozován jako jedno pilotní a předpokládá se provoz za IFR podmínek. V této kategorii letounů je takováto koncepce zcela běžná. Jsou totiž využívány především k letům na větší vzdálenosti, tudíž pravděpodobnost, že v některé fázi nastanou IFR podmínky je vysoká. Tomu odpovídá i přístrojové vybavení, instalované do těchto letounů. Nejprve bude provedena rešerše trhu tohoto segmentu s důrazem kladeným na přístrojové vybavení. Díky této rešerši bude získán přehled současných řešení přístrojových desek letounů. Tak je možné vybrat vybavení, které odpovídá současným trendům. Získané poznatky je potřeba sladit s požadavky předpisů, které jsou kladeny na vybavení letounu. V předpisech je stanoveno nejen to, jak mají být přístroje umístěny na palubní desce, ale také definují potřebné typy přístrojů pro určitý typ letu, v tomto případě uvažujeme let IFR. Provedena bude analýza způsobů a důsledků poruchových stavů (FMEA) pro navržené řešení. Tato analýza prokáže, že porucha jednoho prvku nezpůsobí katastrofické důsledky a pravděpodobnosti selhání budou v souladu s jejich důsledky.

## 2. Rozbor trhu

Zadáním je definován čtyřmístný jednomotorový letoun se zatahovacím podvozkem. Ukázkovým letounem této kategorie je VUT100 Cobra.



**Obr. 1:** VUT-100 Cobra [1]

Současný trh s jednomotorovými čtyřmístnými sportovními a turistickými letadly představují především letouny uvedené v Tab. 1. Tyto letadla jsou v současnosti nabízeny výrobci a v jejich konstrukci je možné sledovat trendy, kterými se ubírá tato kategorie letounů. V tabulce je uvedena maximální vzletová hmotnost, dle hodnot žádné z těchto letadel nepřekračuje hranici 2000 kg. Vybavení, uvedené v tabulce, je výrobci letadel stanoveno jako standardní bez příplatkových položek, samozřejmě nemusí se vždy jednat o jedinou možnou variantu – např. SR 22 je možné vybavit avionikou Entegra Release 9 firmy Avidyne místo G1000 firmy Garmin. V posledním sloupci pak jsou uvedeny počty prodaných kusů od roku 1999 do roku 2011 [2]. Této kategorii dominuje, dle počtu prodaných kusů, Cessna Aircraft Company. Druhým největším výrobcem je firma Cirrus Aircraft, její letoun SR 22 je však nejprodávanějším v kategorii.

**Tab. 1:** Přehled letounů a jejich přístrojové vybavení

Výrobce	Typ	MTOW	Vybavení	Celkem prodaných kusů (1999 - 2011)
Cirrus	SR 20	1383	Cirrus Perspective™ by Garmin Cockpit	1034
	SR 22	1542	Cirrus Perspective™ by Garmin Cockpit	3795 (11 let)
Cessna	C 172S Skyhawk	1157	Garmin G1000	3074
	C 182T Skylane	1406		1893
	Corvalis TT	1633	Garmin G2000	160 (5 let)
Mooney	Ovation2 GX	1528	Garmin G1000	320
	Ovation3	1528	Garmin G1000	X
	Acclaim Type S	1528	Garmin G1000	126 (6 let)
Piper	Archer LX	1157	Garmin G500	X
	Arrow IV	1247	Garmin G500	128
Diamond	DA40	1200	Garmin G1000	1481 (11 let)
Commander	Commander 115	1474	Garmin GNS 430 Garmin GTX 327 Transponder Garmin GMA 340 Audio Panel	17
Lancair	Evolution	1950	Garmin G900X	X

### 3. Typické vybavení letounu

U přístrojového vybavení moderních letadel dochází k nahrazování analogových přístrojů elektronickými. Analogové přístroje již fungují jen jako záložní, přičemž i zde existují elektronické alternativy. Cílem integrace elektronických přístrojů je dosáhnout vyššího stupně bezpečnosti, především snížením pracovní zátěže pilota. Všechny důležité údaje má pilot na jednom displeji přímo před sebou a není nutné, aby sledoval několik analogových přístrojů rozmístěných na palubní desce, jak tomu bylo v minulosti.

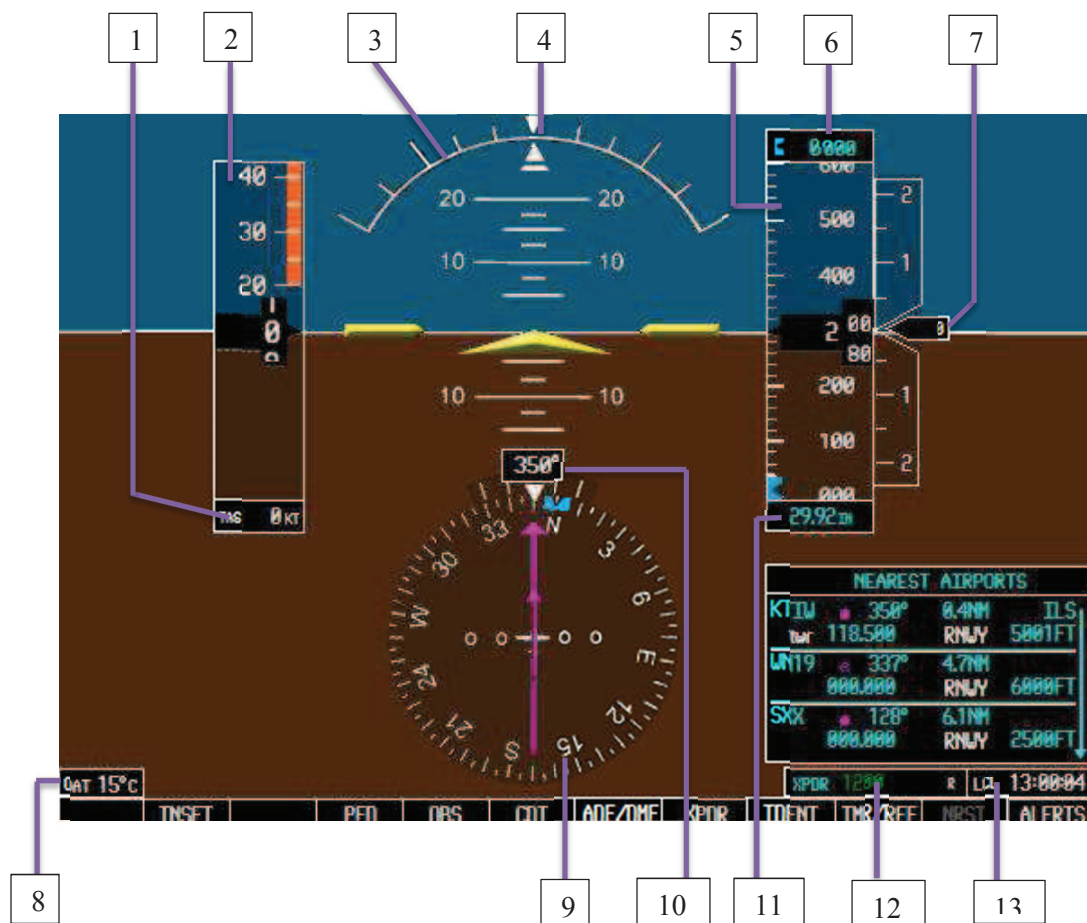
Nicméně integrace elektronických přístrojů nepřinesla měřitelné zvýšení bezpečnosti, jak bylo předpokládáno. Proto NTSB provedla bezpečnostní studii zaměřenou na glass kokpity. Podle ní se počet nehod sice snížil, ale došlo ke zvýšení počtu smrtelných nehod. Analýzy provedené v rámci studie určily bezpečnostní problémy ve dvou oblastech:

- nedostatek znalostí a dovedností k bezpečnému provozu letadla s glass kokpitem (stanoveny nové požadavky na výcvik pilotů)
- nedostatek údržbových a provozních informací pro posouzení spolehlivosti glass kokpitu (byla stanovena povinnost jakoukoli poruchu nahlásit)[3].

#### 3.1 Glass kokpit

V této kategorii letadel jsou instalovány převážně dva LCD panely – PFD (Primary Flight Display, Obr. 1) a MFD (Multi – function Flight Display, Obr. 2). PFD slouží k zobrazení letových a navigačních údajů a je umístěn přímo před pilotem. MFD zobrazuje informace o motoru, palivu, počasí, navigační plánky, informace o okolním provozu a počasí. Bývá umístěn napravo od PFD. Na trhu existuje řada výrobců avioniky. Nejvýznamnější společností je společnost Garmin. Produkty této společnosti jsou velice rozšířené, což je také doloženo v Tab. 1. Svým produktem G1000 se na trhu výrazně prosadila a určila směr, kterým se bude vývoj ubírat. Přehled integrovaných systémů různých výrobců je pak dále uveden v šesté kapitole, ve které jsou také podrobně popsány jednotlivé systémy. Hlavním cílem glass kokpitů je integrace co nejvíce funkcí. Tudiž veškerá data po zpracování zobrazovat na LCD displejích a to v takové formě, aby byla snížena zátěž pilota. Nejnovějším způsobem, jak prezentovat data uceleně, je ve formě zobrazení okolního terénu na PFD. Garmin tuto technologii označuje SVT – Synthetic Vision Technology. Ostatní výrobci nabízejí podobný produkt jen pod jiným názvem. Tato technologie je zatím dostupná jen na severoamerickém kontinentě a to díky systému WAAS – systém zpřesňující GPS. Dá se však

předpokládat, že SVT se bude týkat i evropského regionu a to díky vyvíjeným systémům EGNOS a Galileo. Zpřesněná data GPS slouží k přesnému určení polohy v prostoru a v kombinaci s příslušnými mapovými podklady zobrazí na PFD reliéf okolní krajiny s barevným označením překážek (většinou červenou), případně i okolní letecký provoz. Nejedná se sice o informaci, která by nahradila výškoměr a další přístroje, ale pomáhá pilotovi rozšířit povědomí o okolním terénu a okolním provozu.



Obr. 2: PFD [4]

- 1 – Údaj TAS
- 2 – Rychloměr
- 3 – Ukazatel letové polohy
- 4 – Zatačkoměr
- 5 – Výškoměr
- 6 – Variometr
- 7 – Hodnota nastavené výšky
- 8 – Venkovní teplota

9 – HSI

10 – Kurz

11 – Hodnota nastaveného tlaku

12 – Status odpovídáče

13 – Systémový čas



Obr. 3: MFD [5]

1 – Navigační frekvence NAV1/NAV2

2 – Údaje letového plánu

3 – Mapový podklad

4 – Komunikační frekvence COM1/COM2

5 – Motorové, drakové a elektrické údaje

## **4. Přístrojové vybavení pro lety IFR**

Jelikož se tato kategorie letadel většinou nevyužívá pro krátké lety, ale charakteristické jsou dlouho trvající lety, při nichž je vysoká pravděpodobnost nastoupení IFR podmínek, je nutné tyto letadla vybavit odpovídajícími přístroji, které zajistí bezpečný průběh letu a poskytnou pilotovi informace o poloze letadla v prostoru za špatného počasí, při letu v mracích apod.

### **4.1 Let podle VFR [6]**

Je takový let, při kterém pilot vede letadlo pomocí tzv. srovnávací navigace, to znamená, že zvolenou trať, zakreslenou na mapě, srovnává se skutečně prolétávanou tratí na zemi. Okamžitou polohu letadla vyhodnocuje pohledem ven z kabiny a na základě tohoto vjemu provádí korekce ve směru. Kromě toho pilot letící podle pravidel VFR je povinen zajišťovat rozestup od překážek a od ostatního letového provozu.

### **4.2 Let podle IFR [6]**

Je takový let, při kterém pilot vede letadlo pomocí informací získaných z palubních přístrojů, což umožňuje provádět lety v noci, v mlze a v oblačnosti. Okamžitou polohu letadla vyhodnocuje pomocí odchylek palubních zařízení a na základě toho provádí korekci ve směru. V některých případech může pilot letící podle pravidel IFR vést letadlo také pomocí srovnávací navigace, avšak téměř nikdy nezajišťuje rozestupy od ostatního letového provozu. Ty zajišťuje řídicí letového provozu. Rozestupy od překážek zajišťuje velitel letadla. Pravidla pro lety VFR i IFR jsou specifikovány v předpise L – 2.

### **4.3 Požadavky předpisu EU - OPS**

Letoun bude provozován za podmínek IFR a v noci s jedním pilotem na palubě. Pro tento případ je předpisem dán seznam přístrojů, které musí být na palubě. Konkrétně podle části EU – OPS 1.652. Jejich zástavba je pak řešena předpisem CS 23.



**Tab. 2:** Seznam požadovaných přístrojů

Přístroj	Počet	
	Jeden pilot (do 5700 kg)	Dva piloti (do 5700 kg)
Magnetický kompas	1	1
Chronometr (přesné hodiny)	1	1
Citlivý barometrický výškoměr	2	2
Rychloměrný systém s vyhřívanou Pitotovou trubicí	1	2
Variometr	1	2
Zatáčkoměr s ukazatelem skluzu nebo přístroj pro koordinovanou zatačku	1	2
Ukazatel letové polohy (umělý horizont)	1	2
Stabilizovaný ukazatel směru	1	2

#### 4.4 Magnetický kompas

Základní ukazatel směru používaný při navigaci. Měl by být dostatečně vzdálen od kovových předmětů v letadle, může být jimi totiž ovlivňován. Magnetka se vždy nastavuje k pólu vlivem zemského magnetického pole. Měří chybně při manévrech.



**Obr. 4:** Magnetický kompas [7]

#### 4.5 Chronometr

Chronometr slouží na palubě letadla k měření času. Je důležitý pro navigaci, neboť umožňuje kontrolovat průběh letu, dle letového plánu.



**Obr. 5:** Chronometr [8]

#### 4.6 Teploměr vnějšího vzduchu

Teploměr vnějšího vzduchu je důležitý pro kontrolu námrazových podmínek, které mohou během letu nastat. Vzniklá námraza na Pitotově trubici by vedla k jejímu selhání, což je nebezpečný stav.



**Obr. 6:** Teploměr vnějšího vzduchu [9]

#### 4.7 Citlivý barometrický výškoměr

Jedná se o barometr. Naměřený statický tlak, který je přiváděn pitot – statickým systémem, přepočítává dle matematického modelu standardní atmosféry a zobrazuje jej ve feetech. Je důležité, aby výškoměr byl nastaven na správnou referenční hodnotu tlaku, v opačném případě udává špatnou výšku.

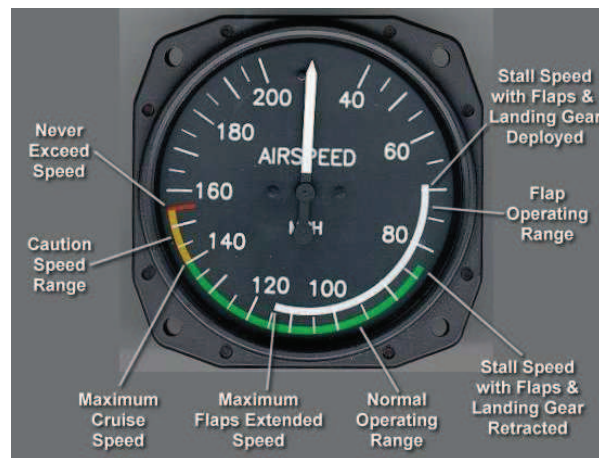
Dle EU – OPS 1.625 nemohou být použity výškoměry s bubínkovým ukazatelem ani s tříručičkovým ukazatelem.



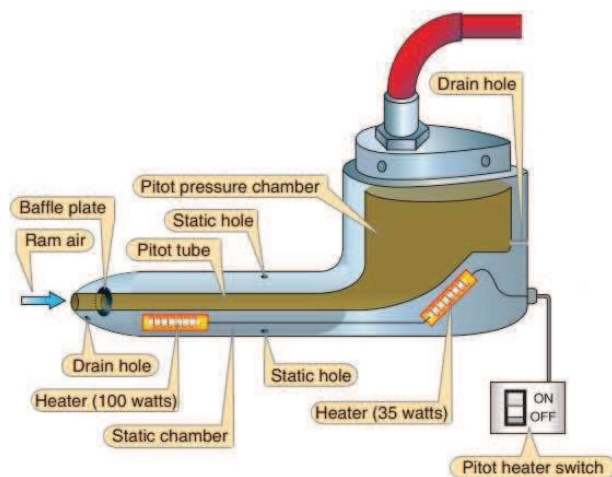
Obr. 7: Výškoměr [10]

#### 4.8 Rychloměrný systém s vyhřívanou Pitotovou trubicí

Rychloměr pracuje se statickým tlakem a celkovým tlakem, které jsou přiváděny Pitot – statickým systémem. Je důležité, aby byla zabezpečena činnost Pitot – statického systému. Vzhledem ke skutečnosti, že letoun bude provozován za podmínek IFR, je pravděpodobné jeho zamrzání. Z tohoto důvodu je potřeba Pitotovu trubicí vyhřívát, aby se zabránilo tvorbě námrazy na trubicí.



Obr. 8: Rychloměr s vyznačenými rozsahy rychlostí pro různé konfigurace [11]



**Obr. 9:** Schéma vyhřívání pitotovy trubice [12]

#### 4.9 Variometr

Variometr informuje pilota o vertikální rychlosti, čili o klesání či stoupání a to vychýlením ručičky dolů (klesání) nebo nahoru (stoupání). Stejně jako výškoměr i variometr pracuje na principu změny tlaku – indikuje odchylku od konstantní hodnoty tlaku.



**Obr. 10:** Variometr [13]

#### 4.10 Zatáčkoměr s ukazatelem skluzu / přístroj pro koordinovanou zatáčku

Jedná se o gyroskopické přístroje. Tyto dva přístroje mají totožný úkol. Oba informují pilota o úhlové rychlosti zatažení. Doplněny pak jsou příčnými sklonoměry. Rozlišit je můžeme díky tomu, že zatáčkoměr má ve středu ručičku, která ve vztyčené poloze signalizuje nulovou polohu, koordinátor zatáčky má ve středu symbol letadla.



**Obr. 11:** Zatáčkoměr [14]



**Obr. 12:** Koordinátor zatáčky [14]

#### 4.11 Ukazatel letové polohy (umělý horizont)

V případě, že pilot ztratí vizuální kontakt se skutečným horizontem, má k dispozici ukazatel letové polohy (tzv. umělý horizont). Jedná se o gyroskopický přístroj, který dává pilotovi informaci o poloze vůči skutečnému horizontu bez ohledu na setrvačné síly působící na letoun.



**Obr. 13:** Umělý horizont [15]

#### 4.12 Stabilizovaný ukazatel směru

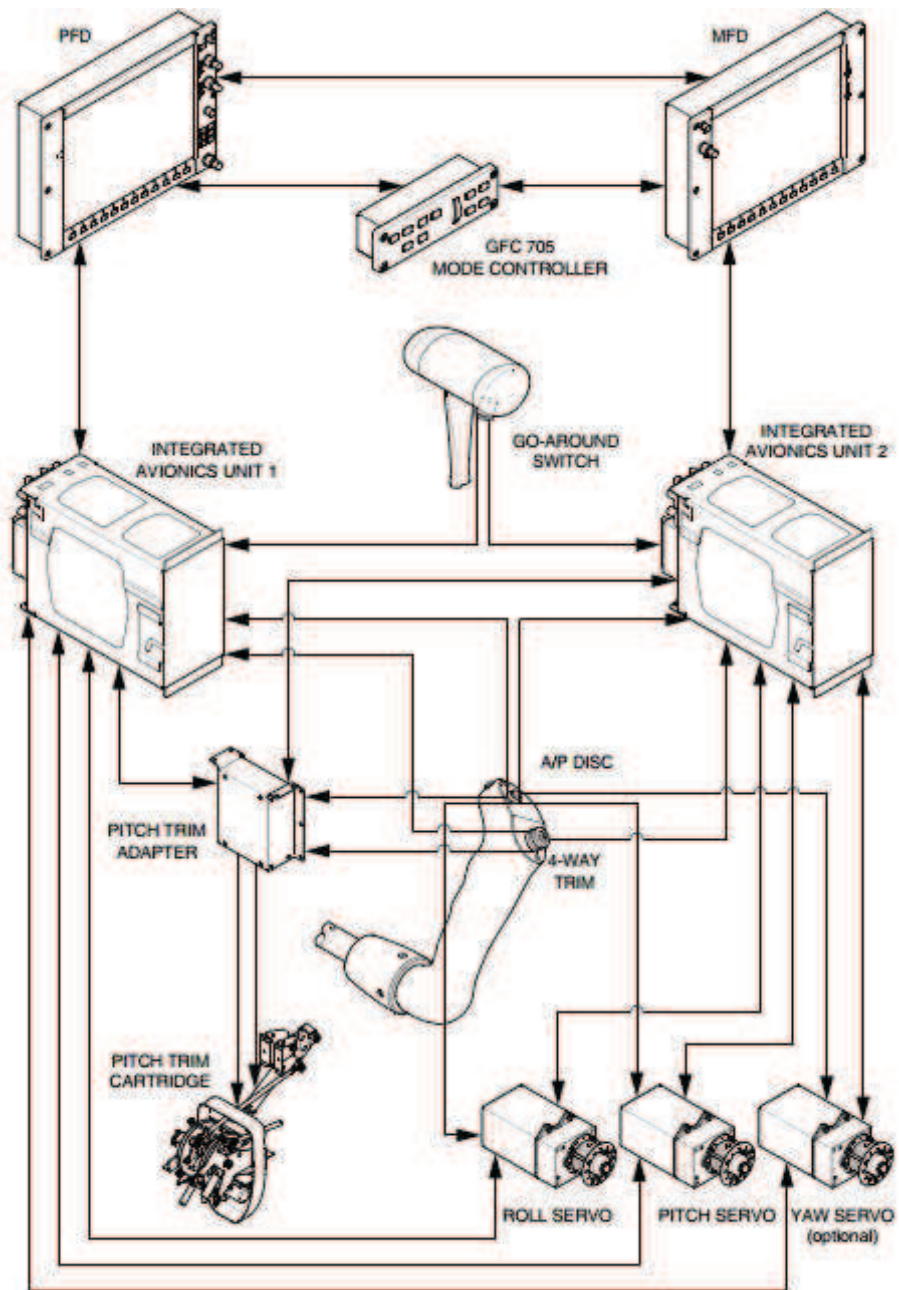
Gyroskopický přístroj, který udává směr letu. Výhodou směrového setrvačníku oproti magnetickému kompasu je to, že ukazuje správně i při zatáčkách s větším náklonem. Nicméně během letu je potřebné jej zkontrolovat a případně opravit odchylku. Směrový setrvačnick se seřizuje podle magnetického kompasu při vodorovném letu.



**Obr. 14:** Směrový setrvačnick [16]

### 4.13 Autopilot

V EU – OPS 1.655 je také stanoven požadavek na autopilota alespoň s režimem automatického udržování výšky a kurzu. Jedná se o zařízení, které při dlouhých letech pomáhá snížit úroveň zatížení pilota. Autopilot vykonává některé činnosti místo pilota, čímž zabraňuje rychlému vyčerpání sil pilota. Je propojen s gyroskopem a výškoměrem.



**Obr. 15:** Schéma zapojení tříosého autopilota GFC 700 [17]

## 5. Požadavky předpisů na umístění přístrojů

V Tab. 1 byly uvedeny hmotnosti jednotlivých letadel. Žádné z letadel nepřekročilo MTOW = 2000 kg. Můžeme tedy předpokládat, že přístrojové vybavení bude zabudováno do letadla, jehož hmotnost nepřesáhne 2720 kg. Dle předpisu pak není potřeba některé přístroje zabudovávat. Dalším kritériem je jedno pilotní provoz, tím opět nemusíme zdvojit přístroje.

### 5.1 Požadavky dle CS 23.1321

(a) Každý letový a navigační přístroj a přístroj pohonné jednotky používaný kterýmkoliv pilotem

během vzletu, počátečního stoupání, konečného přiblížení a přistání musí být umístěn tak, aby

kterýkoliv pilot sedící za řízením mohl sledovat dráhu letu letadla a uvedené přístroje s minimálním pohybem hlavy a očí. Přístroje pohonné jednotky pro tyto letové podmínky jsou ty,

které jsou potřebné pro řízení výkonu v rámci omezení stanovených pro pohonné jednotky.

(b) U každého dvoumotorového letounu musí být totožné přístroje pohonné soustavy umístěny tak,

aby bylo zabráněno záměně, který přístroj patří ke kterému motoru.

(c) Vibrace přístrojové desky nesmí být příčinou poškození nebo snížení přesnosti kteréhokoliv

přístroje.

(d) U každého letounu musí letové přístroje požadované dle CS 23.1303, a pokud je to použitelné,

dle provozních předpisů být seskupeny na přístrojové desce a soustředěny co možná nejbliže

vertikální roviny v ose zorného pole pilota ve směru letu. Kromě toho:

(1) Přístroj, který nejefektivněji udává polohu letounu, musí být umístěn uprostřed horní části přístrojové desky;

(2) Přístroj, který nejefektivněji udává rychlost letu, musí být umístěn vlevo těsně vedle přístroje, který je nahoře uprostřed;

(3) Přístroj, který nejefektivněji udává nadmořskou výšku letu, musí být umístěn vpravo těsně vedle přístroje, který je nahoře uprostřed; a



(4) Přístroj, který nejefektivněji udává směr letu a je jiný než ukazatel magnetického kurzu

požadovaný podle CS 23.1303 (c), musí být umístěn těsně pod přístrojem, který je nahoře uprostřed.

(5) Pro vyhovění pododstavcům (d)(1) až (d)(4) mohou být použity ukazatele

s elektronickou zobrazovací jednotkou, pokud jsou jejich zobrazovací jednotky vyhovují

požadavkům CS 23.1311

Dle výše uvedeného předpisu vypadá umístění přístrojů následovně. Ukazatel letové polohy je umístěn přímo uprostřed přístrojové desky. Po jeho pravé straně se nachází výškoměr, na levé straně pak rychloměr. Níže je umístěn směrový setrvačnick. Po jeho pravé straně se nachází variometr a po levé koordinátor zatáčky. Magnetický kompas je umístěn tak, aby co nejméně podléhal vlivům kovových částí letadla. Znázornění je provedeno na Obr. 12.



**Obr. 16:** Analogové vybavení letadla [18]

Jak bylo uvedeno výše, analogové přístroje jsou již pomalu na ústupu a do kokpitů letadel jsou instalovány glass kokpity. Tudiž výše popsané uspořádání již neodpovídá současnému stavu používaných technologií. Požadavky na zástavbu elektronických zobrazovacích jednotek se zabývá předpis CS 23.1311

## 5.2 Požadavky systémů s elektronickými zobrazovacími jednotkami dle CS 23.1311

- (a) Ukazatele s elektronickou zobrazovací jednotkou včetně takových, u nichž je oddělení a nezávislost přístrojových systémů pohonné jednotky nepraktické, musí:
- (1) Splňovat požadavky na uspořádání a viditelnost dle CS 23.1321;
  - (2) Být snadno čitelné při všech možných způsobech osvětlení vyskytujících se v kabině včetně přímého osvětlení slunečním svitem, s uvážením předpokládané úrovně jasu elektronické zobrazovací jednotky na konci efektivní doby životnosti ukazatele. Specifická omezení efektivní doby životnosti zobrazovacího systému musí být uvedena v instrukcích pro zachování letové způsobilosti dle požadavků CS 23.1529;
  - (3) Nebránit primárnímu zobrazení polohy, rychlosti letu, nadmořské výšky nebo parametrů pohonné jednotky potřebných pro každého pilota, aby udržoval výkon ve stanovených mezích v každém normálním provozním režimu.
  - (4) Nebránit primárnímu zobrazení parametrů motoru potřebných pro každého pilota, aby správně nastavil nebo sledoval parametry v provozním režimu spouštění motoru.
  - (5) Mít nezávislý ukazatel magnetického kurzu a nezávislý sekundární mechanický
    6. výškoměr, ukazatel rychlosti letu, ukazatel magnetického kurzu, ukazatel polohy nebo
    7. samostatné elektronické zobrazovací jednotky pro výškoměr, rychloměr a ukazatel
    8. polohy, které jsou nezávislé na primárním systému elektrického napájení letounu. Tyto
    9. sekundární přístroje mohou být zastavěny na palubní desce mimo primární polohy

## 6. Přehled vybraných řešení

V současné době jsou na trhu dostupná mnohá řešení. Existují výrobky, které se označují jako tzv. retro – fity. Jsou určeny k zástavbě do letadel vybavených ještě analogovými přístroji (př.: firma Aspen avionics), staršími verzemi glass kokpitů nebo jako alternativa k továrnímu vybavení. Z této kategorie jsou ve výčtu uvedeny systémy Avidyne Entegra R9 a SmartDeck společnosti Esterline CMC Electronic.

Druhou kategorií jsou řešení, která jsou určena jen výrobcům letadel, a není možné je koupit k přestavbě staršího vybavení. V těchto případech není ani zveřejňována jejich cena. Ve výčtu jsou uvedena dvě řešení společnosti Garmin – G1000 a G2000.

### 5.1 Garmin G1000

Tento systém vyvinula a vyrábí americká společnost Garmin. Společnost Garmin je průkopníkem na poli glass kokpitů a udává směr, kterým se vývoj glass kokpitů ubírá. Toto řešení se dočkalo velké obliby, a jak je patrné z Tab. 1, nachází se ve většině letadel dané kategorie. Tento systém je dodáván pouze výrobcům letadel, nejedná se tedy o retro – fit. Koncipován je jako LRU – Line Replaceable Unit. Tato koncepce umožňuje provádět údržbu a výměnu jednotlivých prvků modulárně a tím snížit možnost vzniku chyby vlivem údržby a udržovat tak systém na nejnovějších technologiích. Software je aktualizován SD kartou.

System zahrnuje:

#### LCD displeje

- GDU 1042/1044 MFD
- GDU 1040 PFD
- úhlopříčka: 10,4“
- LCD monitory jsou spojeny High-Speed Data Bus (HSDB) ethernetovým spojením
- každý LCD displej je spojen také s integrovanou avionickou jednotkou (IAU) – opět ethernetovým spojením

#### GMA 1347 Digitální audio panel

- dva NAV/COM vysílače o výkonu 16 watt
- zahrnuje ovladače 3x COM, 2x NAV, TEL, AUX, MKR, DME, ADF
- komunikuje s IAU skrze RS-232 digitální rozhraní

#### GCU 476 Kontrolní jednotka

- zajišťuje ovládání MFD a PFD a ladění rádia
- spojen s MFD a PFD skrze digitální rozhraní RS-232

#### GIA 63/63W Integrovaná avionická jednotka (IAU)

- slouží jako hlavní komunikační hub, spojení všech LRU s PFD.
- zahrnuje GPS přijímač, VHF přijímač a COM/NAV/GS/LOC přijímače, mikroprocesory pro systémovou integraci.
- zahrnuje zdvojený GPS WAAS přijímač pro IFR let po trati a přiblížení.
- s displeji je spojen skrze HSDB
- jednotlivé jednotky IAU nejsou spárovány a nekomunikují spolu navzájem.

#### GDC 74A Počítač letových dat (ADC)

- zpracovává data z pitot-statického systému a ze senzoru pro měření teploty vnějšího vzduchu (OAT senzor).
- poskytuje údaje o tlakové výšce, vzdušné rychlosti, vertikální rychlosti, údaje z OAT, rychlost a směr větru.
- komunikuje s primární IAU, displeji a AHRS skrze digitální rozhraní ARINC 429

#### GEA 71 Motorová/Draková jednotka

- shromažďuje a zpracovává signály z motoru a drakových senzorů.
- s IAU komunikuje skrze digitální rozhraní RS-485

#### GRS 77 Referenční systém pro polohu a kurz (AHRS)

- poskytuje údaje o poloze a kurzu – skrze ARINC 429 do obou displejů a primárního IAU.
- zahrnuje pokročilé senzory (zahrnující akcelerometry a rate sensors)
- je spojena s magnetometrem k získání informací o magnetickém poli.
- je spojena s ADC k získání letových dat.
- je spojena s oběma IAU k získání GPS informace.

#### GMU 44 Magnetometr

- měří místní magnetické pole a posílá data do AHRS ke zpracování a určení magnetického kurzu letadla

- napájen je přímo z AHRS a komunikuje s ní skrze digitální rozhraní RS-485

#### GDL 69A Data linkový přijímač

- poskytuje informace o aktuálním počasí a přijímá satelitní vysílání rádia
- využívá družice společnosti SiriusXM
- spojen s MFD skrze HSDB

#### GTX 33 Odpovídač módu S

- odpovídač umožňuje vysílat kódy A, C a S
- plně integrován s TIS (Traffic Information System)
- komunikuje s IAU skrze digitální rozhraní RS-232

#### GFC 700 Autopilot

- dvouosý autopilot (možnost tříosé volby)
- založen na AHRS
- ochrana před překročení kritické rychlosti, mód změny letové hladiny, navigace VNAV po trati, tlumení kmitání trimu, mód nouzového sestupu
- schopen udržovat polohu, výšku rychlost, vertikální rychlost a kurz
- automatizovány procedury vzletu a Go-Around

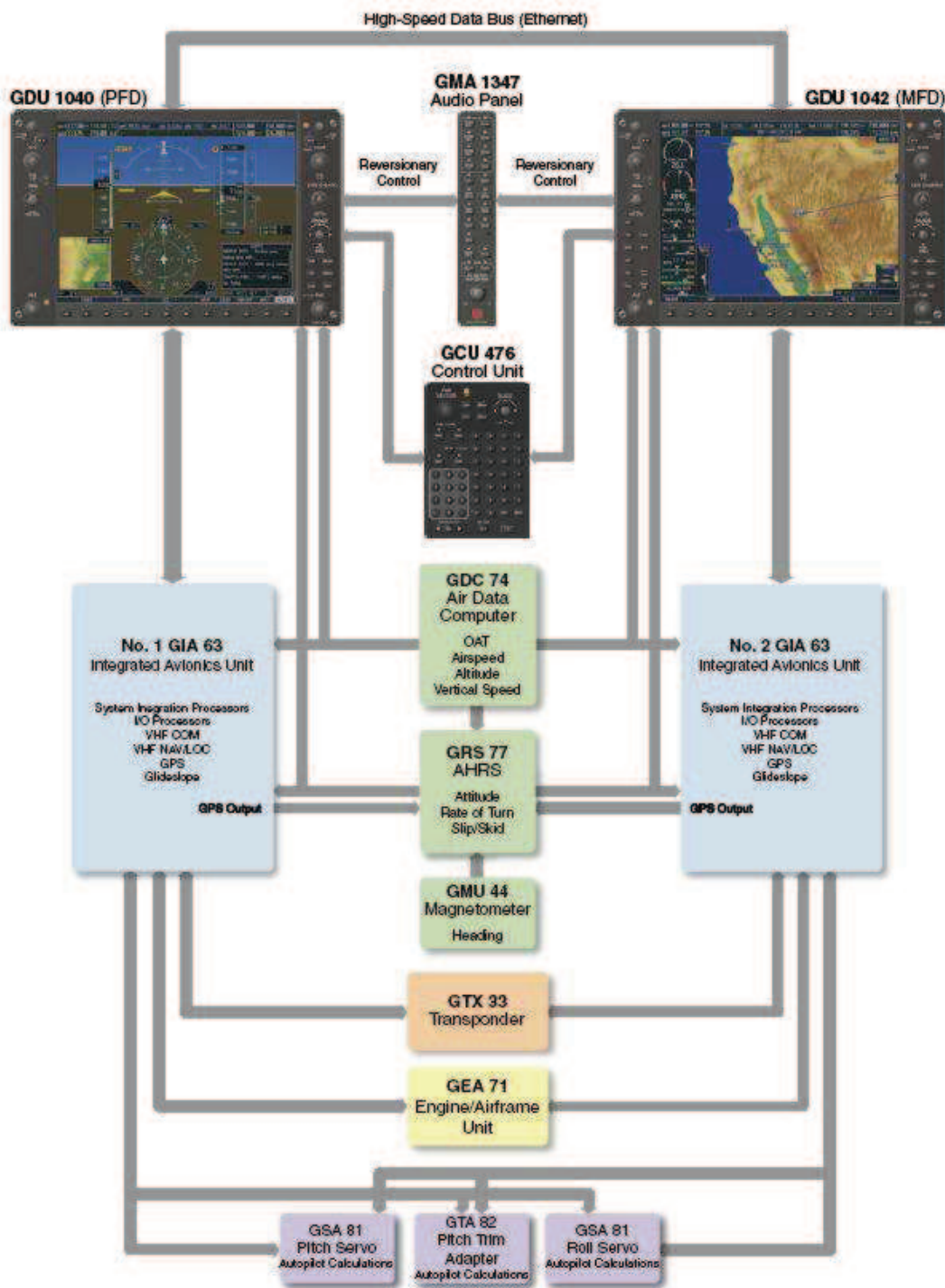


Figure 1-1 Basic G1000 System Block Diagram

Obr. 17: Schéma zapojení G1000 [19]

### 5.3 Garmin G2000

Garmin G2000 je nejnovějším počinem společnosti Garmin pro výkonné pístové letouny. Většina hardwarového vybavení je shodná s G1000. Rozdíl spočívá ve zdvojení počítače letových dat (GDC 74A) a referenčního systému pro polohu a kurz (GRS 77). To vede ke zvýšení bezpečnosti, v případě poruchy jednoho, je možné přepnout na druhý.

Rozdílný je dotykový kontrolní panel a použité LCD displeje. Novinkou je také ESP (Electronic Stability and Protection). Systém, který kontroluje polohu letadla a v případě nebezpečí (pádu, překročení kritické rychlosti apod.) dokáže letoun vyrovnat, aniž by byl zapnut autopilot.

Systém zahrnuje:

LCD displeje

- dva GDU 1400
- úhlopříčka: 14“
- vysoké rozlišení



**Obr. 18:** PFD a MFD displej G2000 [20]

GTC 570 Dotykový kontrolní panel

- úhlopříčka: 5,7“
- vysoké rozlišení
- využívá infračervenou technologii (použití možné i s rukavicemi)
- mechanické ovladače slouží k ovládnání NAV/COM, listování v check listech apod.



**Obr. 19:** Dotykový kontrolní panel GTC 570 [21]

#### GCU 275 Kontrolní panel PFD

- využíván především v situacích, kde není možno spolehlivě využít dotykový kontrolní panel
- využívá infračervené technologie, je tedy možné použití rukavic

#### GTS – 800 Traffic advisory system

- systém pro sledování letového provozu
- data získává pomocí ADS-B
- spolupracuje s odpovídačem

#### GMC 720 Autopilot

- mimo standartních funkcí, které jsou shodné s GFC 700, zabudována je také funkce ESP

### **5.2 Avidyne Entegra R9**

Americká společnost Avidyne je druhým nejznámějším výrobcem integrované avioniky. V současné době je rovnocenným soupeřem společnosti Garmin. Stejně jako G1000 je Entegra koncipována jako LRU. Entegra je nabízena i jako tzv.: retro – fit. Nalézt jej



můžeme na letounech Cirrus SR22, Piper Matrix, EXTRA EA-500. Aktualizace softwaru je zajištěna USB portem. Níže popsaný systém je již devátou vývojovou řadou, která přinesla mnohá vylepšení. Použitím zdvojené sběrnice je zabráněno kaskádovitému selhání, kdy jedna chyba nezpůsobí pád dalších systémů. Zdvojené FMS poskytuje automatickou zálohu a použití dvou ADAHRS umožňuje automatické přepínání v případě poruchy a to bez ztráty jakékoli funkce. Spojení LCD displejů a FMS je zajištěno skrze ARINC 653.

System zahrnuje:

#### IFD5000 Integrované letové displeje

- zahrnuje ADAHRS a magnetometr
- duální digitální DVX740 VHF NAV/COM rádio – výkon 16 Watt, schopné přijímat až na 4 kanálech (VHF komunikace, LOC, GL, VOR)
- duální WAAS GPS – specifikace WAAS Gamma 3 GPS722 - GPS přijímač
- FMS900W – umožňuje WAAS přiblížení, podporuje navigaci po letových cestách, umožňuje zobrazit publikované příletové tratě a odletové tratě
- vysoké rozlišení
- úhlopříčka: 10,4“



**Obr. 20:** PFD a MFD (IFD5000) [22]

#### PS Engineering PMA8000B Audio panel

- zahrnuje nahrávací systém interkomu – umožňuje opětovné přehrávání zpráv, které pilot mohl přeslechnout
- 9 vstupů: 2 vysílače (COM 1,2) a 6 přijímačů (NAV 1, NAV 2, ADF, DME, MKR, AUX )

- připojení telefonu, přenosného hudebního přehrávače a hlasového výstražného zařízení přes 2,5mm konektor
- IntelliVox<sup>R</sup> Automatický VOX interkom – hlasově aktivovaný systém interkomu



Obr. 21: Ovládací panel audia [22]

### ACD215 FMS Kontrolní jednotka

- zahrnuje základní kontrolní tlačítka pro rádia a FMS



Obr. 22: ACD215 FMS [22]

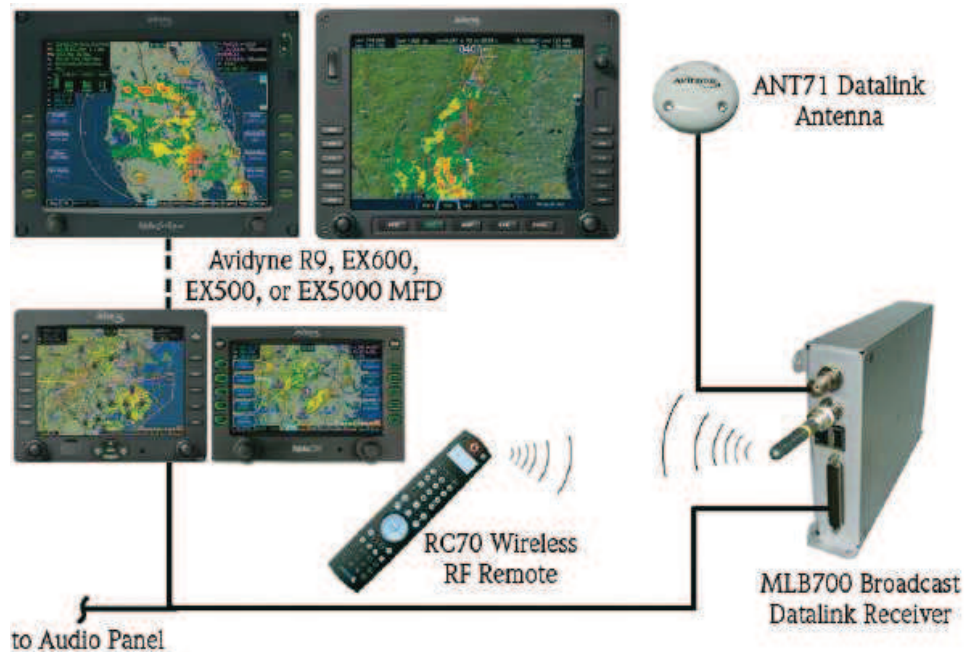
### ADAHRS

- součást PFD
- využívá tříosý gyroskop
- akcelerometr kombinovaný s magnetometrem (nahrazují tradiční vertikální a směrové setrvačníky)
- poskytuje data o klopení, klonění a kurzu se spolehlivostí daleko převyšující mechanické gyroskopy
- spojen s pitot-statickým systémem

### MLB700

- datalink k příjmu dat ze sítě satelitů Sirius/WSI

- v základní konfiguraci poskytuje NOWrad, grafický a textové zprávy METAR, TAFy, dočasná letová omezení (TFR), výstrahy před výskytem blesků – základní verze za 29,99 dolarů/měsíčně
- zahrnuje dálkové ovládání, které umožňuje ovládat audio zábavní systém z kteréhokoli sedadla v letounu.



Obr. 23: Schéma zapojení MLB700 [23]

#### Becker BXP6402

- odpovídač módu S
- výkon 150W
- určen to výšek až 15 000 ft

#### DFC100 Digitální autopilot

- využívá dva ADAHRS (v případě poruchy jednoho, přepíná na druhé ADAHRS)
- Flight director (FD),
- schopen udržovat polohu, výšku rychlost, vertikální rychlost a kurz, navigace (NAV, LOC/GS, GPSS)
- podporuje FMS Vectors<sup>TM</sup>
- Flight envelope protection – autopilot poskytuje sluchové a vizuální výstrahy a aktivně zasahuje do řízení (pomocí servomechanismů), aby zabránil pádu nebo překročení kritické rychlosti (pokud je autopilot zapnut).

- Full-time flight envelope alerting – sluchové a vizuální výstrahy pokud se letoun blíží k pádové rychlosti nebo naopak kritické rychlosti v případě, že je Flight Director vypnut
- Straight and Level – dokáže vyrovnat letoun, pokud se dostane do nestandardního režimu
- Flap position awareness – zpracovává informace o poloze klapky a vypočítává pádovou rychlost v dané konfiguraci letu, čímž zabraňuje pádu letounu



**Obr. 24:** Ovládací panel autopilota [24]

### 5.3 SmartDeck

Původně tento systém vyvíjela společnost L3 Avionics Systems. Společnost Esterline CMC Electronic se do tohoto projektu zapojila v roce 2010. V současnosti je to jeden ze systémů, který má výrazně větší displeje.

Umožňuje zobrazení historie chodu motoru (teplotu oleje, tlak oleje a otáčky za minutu) – zobrazuje předcházejících 10min. Aktualizace softwaru je řešeno přes SD kartu. Tento systém můžeme nalézt v letounech Cirrus SR 22, Co50 Valkyrie a EV-55 Outback.

Skládá se z:

#### LCD displeje

- 12,1“
- PFD, MFD
- vysoké rozlišení



Obr. 25: PFD, ovladač displejů, MFD [25]

### CCU Centrální jednotka řídicího panelu

- obrazovku má o rozměrech 4“ x 5,25“
- slouží k zadávání dat letového plánu
- disponuje informacemi o letišti
- slouží k zadávání NAV/COM frekvencí a kódů odpovídače
- je také schopné automaticky změnit frekvenci podle toho, která je potřeba (pokud jsou data uvedena v letovém plánu)
- zahrnuje magnetometr
- dvojitě GPS
- odpovídač módu S



Obr. 26: Displej CCU [25]

### Audio panel

- VHF COM1, COM2, stereo interkom s dvojími nezávislými vstupy, a přijímač rádiových signálů návštěv



**Obr. 27:** Ovládací panel audia [25]

### ADHRS

- využívá pitot-statický systém, zabudované akcelerometry a rate senzory
- poskytuje údaje 6 – ti základním přístrojům
- zdvojený systém (v případě selhání jednoho je k dispozici druhý)

### S-TEC Intelliflight 1950 DFCS

- dvouosý autopilot s FD
- ovládání je umístěno na CCU
- schopen udržovat polohu, výšku rychlost, vertikální rychlost a kurz, navigace (NAV, LOC/GS, GPSS, VOR), mód pro přiblížení na přistání po zpětném kurzu, automatizované přiblížení na přistání a Go-Around
- pokud je autopilot zapnut, systém zvládne přístrojové přiblížení

## **5.4 Volba řešení**

Výběr vhodného řešení je zčásti závislý na ceně systému. Cena glass kokpitu totiž představuje nezanedbatelnou položku v ceně letounu. Ceny G1000 a G2000 není možné zjistit, protože ani autorizovaným distributorům nejsou ceny sdělovány. Ty jsou poskytovány pouze výrobcům letadel. Vzhledem k tomuto faktu je vhodné řešení vybráno na základě následujících kritérií.

Prvním kritériem je perspektiva do budoucnosti. Jestliže je systém vybudován jako LRU, je zajištěna snadná modernizace a údržba jednotlivých komponent. Druhým kritériem je spolehlivost systému. Ta je zvýšena v případě instalace druhého AHRS. Třetím kritériem jsou vlastnosti LCD displejů. Displeje s větší úhlopříčkou jsou schopné zobrazit informace přehledněji a současně doplnit o jiné údaje (např.: mapy, plány). A to vše na jednom displeji.

**Tab. 3:** Srovnání systémů

	<b>G1000</b>	<b>G2000</b>	<b>Entegra R9</b>	<b>SmartDeck</b>
<b>Rok uvedení</b>	2004	2011	2010	2012
<b>Dual AHRS</b>	Ne	Ano	Ne	Ano
<b>LRU</b>	Ano	Ano	Ano	Ano
<b>Rozdělený MFD</b>	Ne	Ano	Ne	Ne
<b>Úhlopříčky MFD a PFD</b>	10,4"	14"	10,4"	12,1"

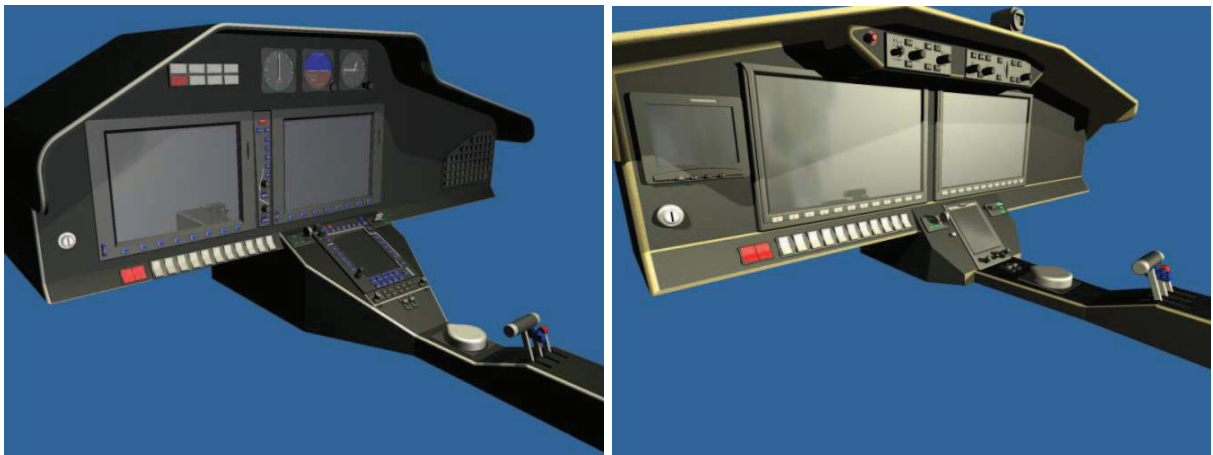
V úvahu je potřeba také vzít prodejní strategii výrobce letadel. Letectví je sice trhem globálním, ale výrobce vždy cílí na určitou skupinu potencionálních zákazníků. V rámci této práce jsou navrženy dva řešení. Jedno pro zákazníky, pro které cena není prioritní a druhé pro zákazníky, kteří požadují nejmodernější systém, ale významným argumentem je cena letounu.

S ohledem na výše zmíněná kritéria jsou vybrány dva systémy – G2000 a SmartDeck. Prvním navrženým řešením je G2000 společně s elektronickým záložním přístrojem ESI-1000. Nevýhodou je možnost výskytu problémů s novou technologií dotykového displeje – především jeho ovládání v turbulenci může způsobit v praxi problémy. Naopak výhodou může být fakt, že G1000 a G2000 jsou si velice podobné a neměl by nastat problém v případě přeškolení. Výhodou jsou také velké 14" displeje. Na MFD je možné zobrazit zároveň dva podklady (např.: mapu a informaci o počasí). Přestože nejsou známy konkrétní ceny jednotlivých řešení, dá se předpokládat, že G2000 bude dražší. A to především díky použití displejů s největšími úhlopříčkami a zabudováním dotykového ovládacího panelu, doplněním o ESI-1000 cena ještě vzroste. Udávaná cena je 12 289 dolarů [26]. Takto vybavené letadlo bude sice velice drahé, ale své zákazníky, najde v řadách těch, kteří preferují nejnovější technologie, za které jsou ochotni připlatit.

Druhým navrženým řešením je SmartDeck doplněn o záložní analogové přístroje. Nevýhodou je větší množství mechanických ovladačů, nicméně i zde je využita centrální kontrolní jednotka, která slouží k zadávání informací do palubního počítače. Je uživatelsky přívětivý. Jeho Slip-Skid indikátor zobrazuje kuličku, která se více podobá tradičnímu zatačkoměru či koordinátoru zataček. To je výhoda pro piloty, kteří jsou zvyklí na analogové přístroje. Cílovou skupinou pro takto vybavený letoun by mohly být letecké školy, privátní letečtí dopravci a zájemci, pro které je výrazným argumentem cena letounu. Oproti G2000 můžeme předpokládat nižší cenu, především díky použitým technologiím. Cenu ani výrazně nezvýší záložní přístroje jako je tomu u ESI-1000. Cena analogových záložních přístrojů se udává zhruba 3700 dolarů [26].

## 7. Návrh přístrojové desky

Při návrhu uspořádání přístrojové desky je nutné umístit přístroje v souladu s požadavky předpisů uvedených v kapitole 5. Dále je vhodné provést porovnání řešení již existujících letounů. V tomto případě to byly především tyto typy: Cessna 350/400, Cirrus SR-22, Pipistrel Panthera, Cobham Co50 Valkyrie. Byly zjištěny určité podobnosti. Především se jedná o vyosení LCD displejů od středu palubní desky směrem k pilotovi (doleva) u letounu Cessna 350/400 a SR-22. Toto řešení umožňuje pilotovi dobrý přehled o všech zobrazovaných údajích. Dalším společným znakem je umístění kontrolního panelu. Ten se nachází u většiny letounů na středovém panelu. Tato poloha umožňuje pohodlný přístup pilota bez nutnosti větších pohybů. Na středovém panelu jsou pak také umístěny páky pro ovládání motoru a vrtule, přepínání palivových nádrží, reostaty pro ovládání osvětlení v kabině a audio vstupy/výstupy. V horní části středového panelu jsou umístěny páky pro ovládání podvozku a páka pro ovládání vztlakových klapek. Spínače jsou umístěny před pilotem a to tak, aby k nim měl pohodlný přístup a jednoduchým pohybem ruky mohl ovládat tzv.: „MASTER SWITCH“, sloužící k odpojení elektrické soustavy v případě havárie. Pro návrh jsem vybral dva integrované systémy G2000 a SmartDeck. Oba systémy jsou si velice podobné, ale přesto jsou v jejich zástavbě drobné odlišnosti.

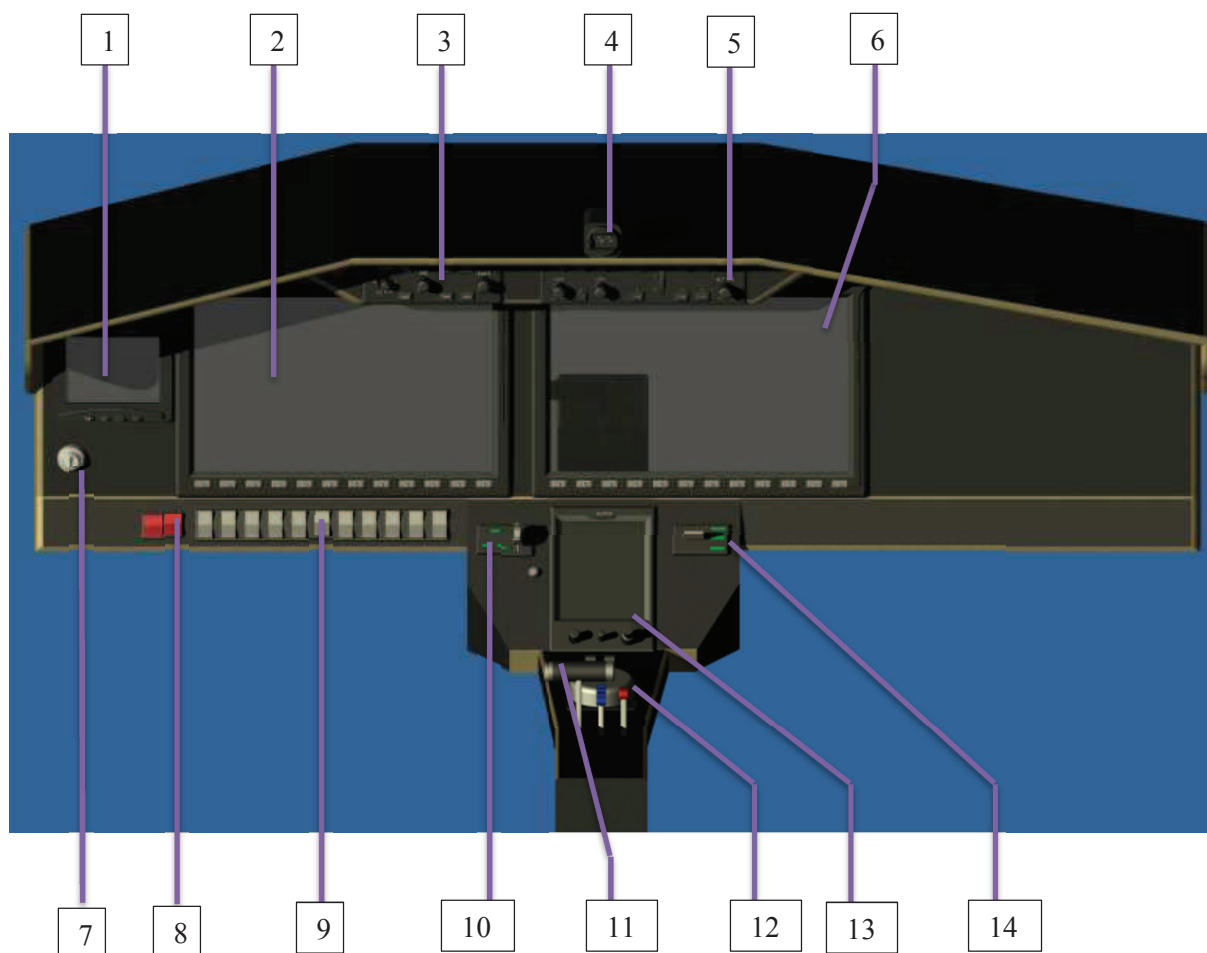


**Obr. 28:** Vizualizace přístrojových desek SmartDeck a G2000 v Inventoru



## 6.1 G2000

Dominantní jsou dva LCD displeje s úhlopříčkou 14“, které zabírají většinu palubní desky. Místo klasických analogových záložních přístrojů je použit elektronický záložní přístroj ESI -1000 společnosti L3. Ovládací panel autopilota společně se záložním ovládacím panelem PFD a „REVERSION“ tlačítkem, které slouží k přepínání mezi PFD a MFD, je umístěn nad LCD displeji na vystouplém panelu v horní části přístrojové desky. Toto řešení je podobnému u velkých dopravních letadel a umožňuje snadné zadávání dat autopilotovi, aniž by musel pilot sklonit hlavu. Nenachází se zde žádná světla určená pro varování posádky. Ty jsou integrovány v rámci systému G2000 a případné varování se objeví na PFD. Panel s pojistkami v tomto případě není umístěn na přístrojové desce, ale je na boku středového panelu, tudíž na obrázcích není ani znázorněn. K tomuto řešení je v příloze připojen výkres.

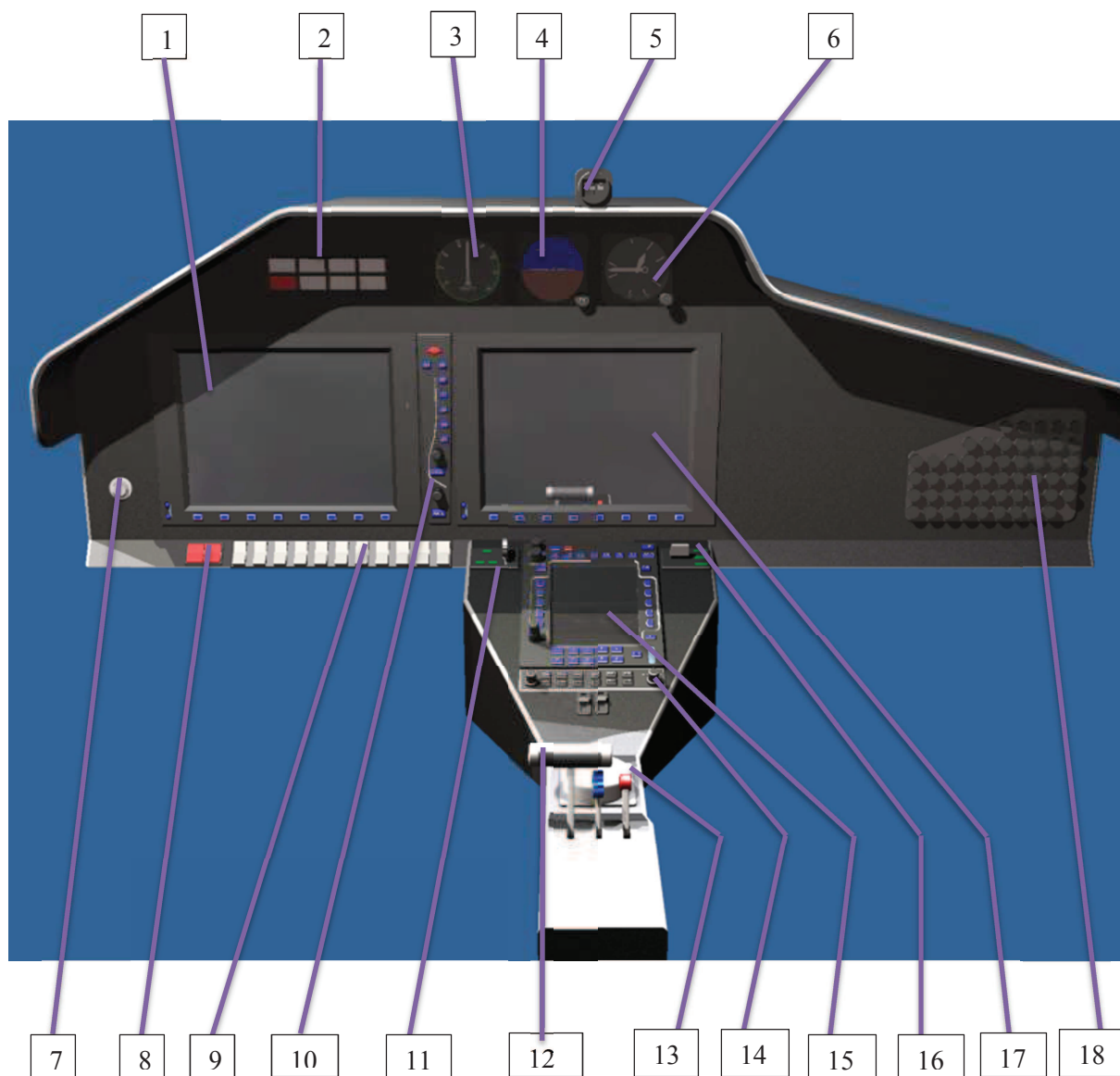


**Obr. 29:** Popis G2000

- 1 – ESI-1000
- 2 – PFD
- 3 – Záložní kontrolní panel PFD
- 4 – Magnetický kompas
- 5 – Ovládací panel autopilota
- 6 – MFD
- 7– Zapalování
- 8 – Master switch
- 9 – Panel se spínači
- 10 – Ovládací páka podvozku
- 11 – Páky ovládání motoru a vrtule
- 12 – Přepínač palivových nádrží
- 13 – Dotykový kontrolní panel
- 14 – Ovládač nastavení klapek

## 6.2 SmartDeck

I v tomto případě dominují palubní desce dva LCD displeje s úhlopříčkou 12,1“. Ty jsou od sebe odděleny ovládacím panelem. Místo panelu, kde byly v předcházejícím případě umístěny kontrolní panely autopilota a záložního ovládacího panelu, jsou umístěny záložní analogové přístroje společně s výstražnými světly. Výhodou oproti ESI – 1000 je výrazně nižší cena. Na středovém panelu je umístěna centrální jednotka řídicího panelu společně s ovladačem autopilota a audio panelem.



**Obr. 30:** Popis SmartDeck

- |                       |   |                    |
|-----------------------|---|--------------------|
| 1 – PFD               | 9 – Panel se spínači                      | 17 - MFD           |
| 2 – Výstražná světla  | 10 – Ovladač displejů                     | 18 – Panel jističů |
| 3 – Rychloměr         | 11 – Ovládací páka podvozku               |                    |
| 4 – Umělý horizont    | 12 – Páky ovládání motoru a vrtule        |                    |
| 5 – Magnetický kompas | 13 – Přepínač palivových nádrží           |                    |
| 6 – Výškoměr          | 14 – Audio panel                          |                    |
| 7 – Zapalování        | 15 – Centrální jednotka ovládacího panelu |                    |
| 8 – Master switch     | 16 – Ovládání nastavení klapek            |                    |

## 8. FMEA

Analýza způsobů a důsledků poruchových stavů. Nejprve byla využívána pro kosmické aplikace v NASA, konkrétně v programu Apollo. Dnes patří k nejpoužívanějším metodám, které se v oblasti spolehlivosti používají a to nejen v letectví. Analýza má tři základní vlastnosti:

- strukturovaná – umožňuje snadné další využití, zajišťuje to, že analýza bude provedena systematicky a snižuje riziko opomenutí některých prvků či poruchových stavů
- kvalitativní – neobsahuje číselné údaje, uvádí jen kvalitativní hodnocení významnosti poruch (FMEA rozšířena o odhad kritičnosti důsledků poruch a pravděpodobnosti jejich nastoupení, je označována jako FMECA)
- induktivní – je prováděna od nejnižší úrovně systému k vyšší úrovni

FMEA slouží k analýze způsobů poruch systémů, jejich důsledků a příčin. Mimo jiné také prokazuje, že selhání jednoho prvku nemá katastrofické důsledky a pravděpodobnosti selhání jsou v souladu s jejich důsledky. Tím, že umožňuje určit kritické poruchové stavy a jejich důsledky ještě před samotnou realizací návrhu, je používána hlavně v období návrhu a vývoje. Tím umožní předcházet problémům s nespolehlivostí systému, které by se jinak vyskytly v pozdějších fázích. U prvků na nižší úrovni systému určuje, jaké důsledky může mít selhání pro vyšší úrovně a to na všech úrovních. Výsledky analýzy jsou využity k návrhu konkrétních řešení pro nepřipustné důsledky. Důsledky jsou porovnávány s požadavky předpisů dle kvalitativního hodnocení uvedených v Tab. 4 (zobrazena je jen část tabulky platná pro Třídu 1, protože řešený letoun je čtyřmístný s jedním motorem a s hmotností nepřesahující 6000 lb (2722 kg)).

**Tab. 4:** Přípustné pravděpodobnosti pro Třídu 1 [26]

Klasifikace poruchových stavů	Bez vlivu na bezpečnost	Nezávažné (MIN)	Závažné (MAJ)	Nebezpečné (HAZ)	Katastrofické (CAT)
<b>Důsledek pro letadlo</b>	Žádný důsledek pro provozní schopnosti a bezpečnost	Mírné snížení funkčních schopností nebo rezerv bezpečnosti	Výrazné snížení funkčních schopností nebo rezerv bezpečnosti	Velké snížení funkčních schopností nebo rezerv bezpečnosti	Běžně zahrnuje zkázu trupu
<b>Důsledek pro cestující</b>	Nepohodlí pro cestující	Fyzické potíže pro cestující	Fyzické strádání u cestujících včetně možných zranění	Vážné nebo smrtelné zranění jednoho cestujícího	Několikanásobné smrtelné zranění cestujícího
<b>Důsledek pro letovou posádku</b>	Bez důsledků 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	Smrtelné zranění nebo zbavení způsobilosti
<b>Rozdělení letadel</b>	Přípustné pravděpodobnosti (za 1 letovou hodinu)				
<b>Třída 1 (Typicky SRE pod 6000 lb./)</b>	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-4}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-6}$

V moderních letounech se stále více uplatňují počítače, a proto je nutné definovat požadovaný stupeň softwaru. Tab XX udává vztah mezi klasifikací poruchových stavů a požadovaným stupněm softwaru.

**Tab. 5:** Úrovně softwaru [27]

Klasifikace poruchových stavů	Požadovaný stupeň softwaru
CATASTHROPIC	A
HAZARDOUS	B
MAJOR	C
MINOR	D
Bez vlivu na bezpečnost	E

Tab.: Vztah klasifikace poruchových stavů a požadovaný stupeň softwaru [27]

Struktura tabulky, do které má být analýza zaznamenána je definována v normách ARP 4761 a ČSN EN 60812. Tato struktura není závazná a její obsah a uspořádání je možno měnit dle specifických potřeb. Nicméně struktura má být taková, aby zajistila:

- systematický, přesný a jednotný postup pro pochopení funkcí systému
- identifikaci všech potenciálně možných poruch – v případě katastrofických důsledků vést k přepracování návrhu
- stanovení požadavků na zvýšení spolehlivosti kritických prvků a alternativních řešení
- umožnila identifikaci nedostatků ještě ve stádiu návrhu

V této práci byla zvolena následující struktura:

**Tab. 5:** Struktura FMEA

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
<b>Označení prvku</b>	<b>Název prvku</b>	<b>Popis funkce</b>	<b>Způsob poruchy</b>	<b>Důsledek poruchy</b>	<b>Intenzita poruchy</b>	<b>Hodnocení důsledku poruchy</b>

Do analýzy byly zahrnuty všechny komponenty systému Garmin G2000 dle rozboru systému provedeném v kapitole 5. Uvažovány jsou dva možné stavy jednotlivých komponent systému (považujeme jej tedy za dvoustavový):

- buď je zcela mimo provoz,
- nebo poskytuje chybné informace a data

Odhady intenzity poruch byly určeny dle databází SPIDR, RIAC, produktových katalogů společnosti a z jejich instalačních manuálů. V příloze je uvedena kompletní tabulka se zdroji údajů (jak pro hardware, tak pro software), uveden je také zvolený prvek z databáze a místo instalace.

Níže jsou uvedeny jen komponenty, které byly hodnoceny stupněm „MAJOR“. Vyšší stupeň hodnocení se v analýze nevyskytl. Kompletní analýza se nachází v příloze. Při analýze předpokládáme nejhorší možné podmínky, které mohou za letu nastat. Tedy v podmínkách IFR a jeho fázích a ve složitých meteorologických podmínkách (např.: v námrazových

podmínkách), protože v těchto podmínkách je pilot zcela závislý na přístrojovém vybavení letounu. VFR lety nejsou uvažovány, protože se předpokládá větší kritičnost než je tomu u IFR letu.

## 7.1 Analýza FMEA pro PFD

**Tab. 6:** Analýza FMEA pro PFD

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
1	PFD GDU 1400	Zobrazení letových a navigačních informací	Ztráta zobrazení informací o poloze letounu v prostoru	Pilot je nucen použít nouzové postupy, potřebné informace pilot odečítá ze záložních přístrojů, podle kterých dokončí let, na PFD se příslušné oblasti přeškrtnou červeným křížem	1,19 x10 <sup>-6</sup> SDAL=B	MAJ
			Ztráta zobrazení informace o výšce letu			
			Ztráta zobrazení informací o aktuální rychlosti letu			
			Zobrazení chybné informace o poloze v prostoru	Pilot je nucen použít nouzové postupy, nesprávné indikace pilot zjistí porovnáváním se záložními přístroji, podle nichž dokončí let		
			Zobrazení chybné informace o výšce letu			
			Zobrazení chybné informace o aktuální rychlosti letu			

**Tab. 7:** Přehled zdrojů

Zdroj údajů		Zvolený prvek	Místo instalace
Software	Hardware		
Produktový katalog Garmin [28]	Databáze RIAC [29]	LED Display	GB - pozemní instalace/ přepočít na AUA

Hodnocení intenzity poruch bylo z databáze RIAC uvedeno pro pozemní instalaci. Proto došlo k přepočtu dle [30] na AUA. Z výše uvedené tabulky je patrné, že v případě ztráty zobrazení některých ze tří základních informací (poloha v prostoru, výška letu, aktuální rychlost letu), mají stejné charakteristiky. Pilot je nucen vždy použít nouzové postupy, indikace o ztrátě informací se na PFD projeví červeným křížem v oblasti, kde se nachází příslušná informace. V případě zobrazení chybné informace pilot odhalí chybu pomocí porovnávání s dalšími přístroji na palubě. Proto je pilot povinen při IFR letech pravidelně kontrolovat informace ze všech přístrojů, zda nedochází k odchýlkám.

## 7.2 Analýza FMEA pro MFD

**Tab. 8:** Analýza FMEA pro MFD

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
2	MFD GDU 1400	Zobrazení motorových informací, mapových podkladů, plánek, informací o počasí, terénu a okolním provozu	Celkové selhání MFD	Pilot je nucen použít nouzové postupy, hodnoty odečítá ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	$1,19 \times 10^{-6}$ SDAL=B	MAJ

**Tab. 9:** Přehled zdrojů

Zdroj údajů		Zvolený prvek	Místo instalace
Software	Hardware		
Produktový katalog Garmin [28]	Databáze RIAC [29]	LED Display	GB - pozemní instalace/přepočít na AUA

V případě, že dojde k celkovému selhání MFD, dojde k přepnutí na „REVERSIONARY“ mód. Ten sice zobrazí základní motorové údaje a zmenšenou verzi



letového plánu, ale některé další plány, mapky nezobrazí a pracovní zátěž pilota se zvýší. Stejně jako u PFD došlo k přepočtu dle [30].

### 7.3 Analýza FMEA pro ovládací panel autopilota

**Tab. 10:** Analýza FMEA pro ovládací panel autopilota

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
3	Ovládací panel autopilota	Umožňuje nastavení autopilota	Neumožňuje vypnutí autopilota	Není možné odpojení autopilota, pilot silou autopilota přetlačí a s námahou let dokončí/ není-li možné autopilota přetlačit pak HAZARDOUS, pilot musí kontrolovat chování autopilota neustále, podle dalších přístrojů na palubě, pilot svými vlastními smysly není schopen posoudit náklon letadla	$2,74 \times 10^{-5}$ SDAL=B	MAJ/HAZ

**Tab. 11:** Přehled zdrojů

Zdroj údajů		Zvolený prvek	Místo instalace
Software	Hardware		
Garmin 500W Installation manual [31]	Databáze RIAC [29]	Autopilot system	AUA - vojenský útočný letoun

Autopilot je z hlediska hodnocení důsledků nejrizikovější a to v případě, že není možné autopilota vypnout. V předpise CS – 23.1329 jsou definovány požadavky na autopilota:

Je-li zabudován systém autopilota, musí splňovat následující požadavky:

- (a) Každý systém musí být navržen tak, aby autopilot mohl:
  - (1) Být rychle a spolehlivě vypnut piloty, aby se zabránilo jeho rušivému působení na jejich řízení letounu; nebo
  - (2) Být snadno překonán silou jednoho pilota, aby mu bylo umožněno řídit letoun.

Vzhledem k těmto požadavkům je hodnocení stanoveno jako „MAJOR“. Nicméně pokud by nebylo možné autopilota přetlačit a vypnout, pak se jedná o hodnocení „HAZARDOUS“, tento scénář je však velice nepravděpodobný.

## 7.4 Analýza FMEA pro ESI

**Tab. 12:** Analýza FMEA pro ESI

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
19	ESI	Zobrazuje záložní údaje o výšce, rychlosti a poloze v prostoru	Zobrazení chybných informací	Chybnou indikaci pilot zjistí porovnáním s výškoměrem na PFD, podle něhož dokončí let, může však pilota zmást	$3,7 \times 10^{-5}$ SDAL=A	MAJOR

**Tab. 13:** Přehled zdrojů

Zdroj údajů		Zvolený prvek	Místo instalace
Software	Hardware		
Sarasota Avionics International [26]	Databáze SPIDR [30]	Flight Instruments	ARW - vrtulník

U záložního přístroje bylo vyhodnoceno riziko zobrazení chybných informací jako největší. V případě úplné ztráty funkce sice pilot nemá potřebné informace, ale nenastává konflikt s informacemi na PFD, ale v případě chybných informací vzniká rozpor mezi PFD a ESI, který musí pilot řešit.

## 9. Výpočet kritické funkce

Za kritickou funkcí je považováno poskytování informací o výšce a rychlosti letu. Důsledek ztráty informací o výšce a rychlosti letu je označován stupněm „CATASTROPHIC“ (počítá se i se ztrátou informací ze záložního přístroje). Tudiž jsou označeny jako kritické. Všechny tyto prvky jsou zahrnuty do jednoho celku. Pro modelování funkční poruchy jsou využity následující vztahy. Liší se podle řazení na sériové a paralelní, to je nutné zohlednit při výpočtu.

- Pro systém se sériovým řazením (pro bezporuchovou funkci) platí:

$$R_S = \prod_{i=1}^n R_i$$

kde -  $R_S$  je pravděpodobnost správné funkce systému

-  $R_i$  je pravděpodobnost správné funkce jednotlivého prvku

-  $n$  je počet prvků

- Pravděpodobnost poruchy:

$$Q_S = 1 - R_S$$

$$Q_S = 1 - \prod_{i=1}^n R_i$$

$$Q_S = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i)$$

kde -  $Q_S$  je pravděpodobnost selhání systému

-  $Q_i$  je pravděpodobnost selhání jednotlivého prvku

- Obdobně pro systém s paralelním řazením (pro bezporuchovou funkci) platí:

$$R_S = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad \text{- pravděpodobnost správné funkce}$$

$$Q_S = \prod_{i=1}^n Q_i \quad \text{- pravděpodobnost selhání (poruchy) systému}$$

Při výpočtu je uvažováno, že chování prvků (komponent) podléhá exponenciálnímu rozdělení pravděpodobnosti. Pro dosažení do vztahů pro výpočet pravděpodobnosti poruchy budou použity hodnoty intenzit pravděpodobností  $\lambda$ . Vzhledem k tomu, že

předpokládáme průměrnou dobu letu letounu v trvání 1 hodiny, není třeba násobit hodnotu  $\lambda$  hodnotou vyjadřující dobu letu. Lze tedy napsat:

$$Q = \lambda \cdot \Delta t = \lambda \cdot 1 = \lambda$$

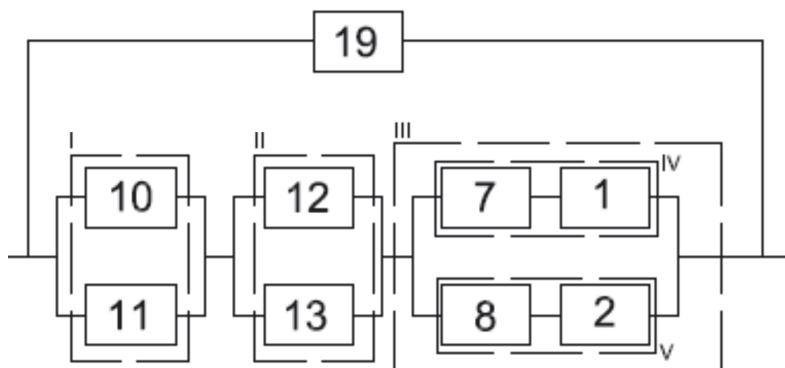
Uvedený vztah je běžně používaným zjednodušením. Omezení použití tohoto zjednodušení je na prvky o velmi vysoké úrovni spolehlivosti ( $\lambda \ll 1$ ). Tento požadavek je u použitých prvků splněn.

### 8.1 Vlastní výpočet:

Na základě popisu systému G2000 a jednotlivých prvků jeho komponent uvedených v kapitole 5. Bylo vytvořeno blokové schéma, které sloužilo k modelaci funkce systému. Výpočet probíhal dle výše uvedených vztahů. V tabulkách jsou uvedeny mezivýpočty. Výsledná hodnota pravděpodobnosti poruchového stavu je uvedena v tabulce Hlavní + záložní blok (ESI).

- Blokové schéma:

ID	Název prvku	$\lambda$
1	PFD	1,90E-07
2	MFD	1,90E-07
7, 8	Integrovaná avionická jednotka	2,61E-03
12, 13	AHRS	1,96E-04
10, 11	Počítač letových dat	2,56E-04
19	ESI	3,70E-05



- Výpočet bloku I:

<b>Blok I</b>		
10	Počítač letových dat	2,56E-04
11	Počítač letových dat	2,56E-04
Pravděpodobnost poruchového stavu:		
		<b>6,55E-08</b>

- Výpočet bloku II:

<b>Blok II</b>		
12	AHRS	1,96E-04
13	AHRS	1,96E-04
Pravděpodobnost poruchového stavu:		
		<b>3,84E-08</b>

- Výpočet bloku IV:

<b>Blok IV</b>		
7	Integrovaná avionická jednotka	2,61E-03
1	PFD	1,19E-07
Pravděpodobnost poruchového stavu:		
		<b>2,61E-03</b>

- Výpočet bloku V:

<b>Blok V</b>		
8	Integrovaná avionická jedotka	2,61E-03
2	MFD	1,19E-07
Pravděpodobnost poruchového stavu:		
		<b>2,61E-03</b>

- Výpočet bloku III:

<b>Blok III</b>	
Blok IV	2,16E-03
Blok V	2,61E-03
Pravděpodobnost poruchového stavu:	
<b>5,64E-06</b>	

- Hlavní blok:

<b>Hlavní blok</b>	
Blok I	6,55E-08
Blok II	3,84E-08
Blok III	5,64E-06
Pravděpodobnost poruchového stavu:	
<b>5,74E-06</b>	

- Hlavní + záložní blok (ESI)

<b>Hlavní + záložní blok (ESI)</b>	
Hlavní blok	5,74E-06
ESI	3,70E-05
Pravděpodobnost poruchového stavu:	
	<b>2,12E-10</b>

Z výsledku je patrné, že pravděpodobnost poruchového stavu systému, který poskytuje informace o rychlosti a výšce letu je  $2,12 \times 10^{-10}$ . Tato hodnota je o čtyři řády menší pravděpodobnost výskytu poruchového stavu než požadují předpisy pro kvalitativní hodnocení „CATASTROPHIC“, tudíž je prokázáno, že funkce zobrazení výšky letu a aktuální rychlosti letu splňuje požadavky předpisu.

## 10. Závěr

Práce začíná rozbořením trhu kategorie čtyřmístných letounů. Celkem bylo identifikováno 13 různých typů letadel, které spadají do této kategorie. Všechny letouny uvedené ve druhé kapitole jsou vybaveny moderními glass kokpity a jediné analogové přístroje na palubách jsou ty záložní (rychloměr, ukazatel letové polohy, výškoměr). To však už pomalu přestává platit. U letounů, které jsou ve fázi návrhu, nebo ve fázi certifikačních zkoušek, je předpokládáno zabudování elektronického záložního přístroje. Konkrétně se jedná o typy Cessna Corvalis a Cobham Co50. Pipistrel Panthera ještě počítá s analogovými. Glass kokpit byl navrhnout, aby co možná nejvíce snížil zátěž pilota integrací funkcí a jejich dalším zobrazováním. FAA předpokládala měřitelné zvýšení bezpečnosti, ke které však nedošlo. Bylo tedy nutné upravit požadavky pro výcvik pilotů a pro údržbu systému, dle studie, kterou provedla FAA. Glass kokpit je charakteristický dvěma LCD displeji, které dominují na přístrojové desce letounu. Před pilotem se nachází primární letový displej (PFD) a druhý multifunkční displej (MFD) je umístěn vpravo od PFD. Definice letu dle VFR a IFR je společně s výčtem přístrojů nutných pro IFR lety uveden ve čtvrté kapitole. Konkrétně jsou požadavky stanoveny v předpise EU – OPS. V následující kapitole jsou pak uvedeny požadavky předpisů z hlediska zástavby. A to v předpise CS 23.1321. Respektive CS 23.1321 pro elektronické zobrazovací jednotky. Hlavní část práce tvoří kapitoly šest až osm. V šesté kapitole je uveden přehled a popis nejčastěji používaných systémů, které se na trhu vyskytují a jsou určeny pro tuto kategorii letadel. Společnost Garmin je jednoznačně lídrem na poli integrovaných glass kokpitů, uvedeny jsou však i další společnosti (Avidyne a Esterline CMC Electronic). Protože cena některých systémů není sdělována, k těmto údajům mají přístup jen výrobci letadel, je výběr vhodného řešení proveden na základě perspektivy do budoucnosti. To znamená, zda je systém vybudován jako LRU a je tudíž umožněna snadná údržba a modernizace. Dalším kritériem jsou zobrazovací jednotky a jejich schopnosti. Nejen velikost úhlopříčky, ale také možnosti zobrazení. Třetím kritériem je spolehlivost. Ta se zvýší použitím druhého AHRS. Protože vybavení letounu je také dáno prodejní strategií daného výrobce letadla, jsou navrženy dvě řešení a to s ohledem na potencionální zákazníky. První skupinu zákazníků tvoří ti, kteří preferují nejnovější technologie a jsou ochotni za ni připlatit. Pro tuto skupinu je vybrán systém G2000 doplněn o elektronický záložní přístroj ESI-1000. Druhou skupinu pak tvoří ti zákazníci, pro které je, mimo technologie, významným argumentem cena (např. letecké školy, privátní letecké společnosti). Pro tuto skupinu je vybrán systém SmartDeck doplněn o analogové záložní přístroje. Toto rozdělení potencionálních zákazníků je pouze orientační. Bylo by vhodné vypracovat marketingovou

studii, která by přesněji specifikovala cílové zákazníky a tím umožnila zpřesnit požadavky na vybavení letounu a jeho cenu. Samotný návrh uspořádání přístrojové desky je popsán v sedmé kapitole. Návrh uspořádání byl vypracován s ohledem na požadavky předpisů uvedených v páté kapitole a na základě analýzy uspořádání přístrojových desek konkurenčních letounů. Popis je pak doplněn o vizualizaci v programu Inventor. Na konkrétní návrh vybavení navazuje analýza způsobů a důsledků poruchových stavů (FMEA), která prokazuje, že selhání samostatného prvku nezpůsobí katastrofickou událost a pravděpodobnosti selhání jsou v souladu s jejich kvalitativním hodnocením. Systém byl brán jako dvoustavový – buď prvek nepracuje, nebo pracuje chybně. U PFD byly takto hodnoceny oba stavy stupněm „MAJOR“. U MFD byl hodnocen stupněm „MAJOR“ stav, kdy dojde k celkovému selhání. Ovládací panel autopilota má také klasifikaci „MAJOR“ a to v případě, že neumožňuje vypnutí autopilota. To je však dáno požadavkem předpisu CS 23.1339, který požaduje snadné vypnutí autopilota v jakékoliv situaci. V opačném případě by se jednalo o „HAZARDOUS“. Posledním prvkem s hodnocením „MAJOR“ je elektronický záložní přístroj v případě, že zobrazuje chybné informace. Ostatní prvky systému byly hodnoceny stupněm „MINOR“. Součástí zadání byl také výpočet kritické funkce G2000. Jako kritické funkce byly určeny funkce zobrazení rychlosti a výšky. Pro let IFR je kompletní selhání těchto funkcí kategorizováno jako „CATASTROPHIC“, tudíž nepřijatelné. Po sestavení blokových schémat dle popisu systému uvedeném v šesté kapitole. Byly vypočítány, dle vztahů pro pravděpodobnost poruchy, hodnoty pravděpodobnosti ztráty funkce. Ve všech případech bylo výpočtem potvrzeno, že pravděpodobnost selhání je nižší než požadují předpisy. A systém tedy splňuje požadavky.



## 11. Použitá literatura, použité zdroje:

- [1] Obrázek VUT-100. Dostupný z: < [www.evektoraircraft.aero](http://www.evektoraircraft.aero) >
- [2] General Aviation Manufacturers Association: General aviation Statistical Databook and Industry Outlook 2011. Washington, 2012. Dostupné z: < [www.GAMA.aero](http://www.GAMA.aero) >
- [3] NTSB: Introduction of Glass Cockpit Avionics into Light Aircraft – Safety Study. Washington, 2010. Dostupné z:  
<<http://www.ntsب.gov/doclib/safetystudies/SS1001.pdf>>
- [4] Garmin: G1000 Integrated flight deck, Cockpit reference guide. Olathe, 2011. Dostupné Z: <[http://static.garmincdn.com/pumac/190-00384-12\\_0A\\_Web.pdf](http://static.garmincdn.com/pumac/190-00384-12_0A_Web.pdf)>
- [5] Obrázek MFD. Dostupný z: <<http://racevideo.info/flight/garminscreen2.jpg>>
- [6] Soldán, V.: Postupy pro lety podle přístrojů, Řízení letového provozu. Praha, 2000S
- [7] Obrázek magnetický kompas. Dostupný z: <<http://www.pilotnipotreby.cz/airpath-compass-57-mm>>
- [8] Obrázek chronometr. Dostupný z: <<http://www.pilotshop.cz/vyprodej/hodiny-do-palubni-desky-64x64mm/>>
- [9] Obrázek teploměr vnějšího vzduchu. Dostupný z:  
<<http://www.chiefaircraft.com/aircraft/flight-instruments/outside-air-temperature/dvt-m303-1.html>>
- [10] Obrázek výškoměru. Dostupný z:  
<[http://starfleetsupport.com/Pages/Avionics\\_Other.htm](http://starfleetsupport.com/Pages/Avionics_Other.htm)>
- [11] Obrázek rychloměru. Dostupný z:  
<<http://www.aerospaceweb.org/question/instruments/q0251.shtml>>
- [12] FAA: Instrument Flying Handbook. 2012. Dostupné z:  
<<http://www.faa.gov/library/manuals/aviation/media/FAA-H-8083-15B.pdf>>
- [13] Obrázek variometr. Dostupný z: <<http://www.aviatik.cz/product.php?id=1023>>
- [14] Obrázek zatáčkoměru a koordinátoru zatáčky <[http://lichtco.cz/side\\_tc.htm](http://lichtco.cz/side_tc.htm)>
- [15] Obrázek umělý horizont. Dostupný z: <<http://www.pilotnipotreby.cz/r-c-allen-rca26ek>>
- [16] Obrázek směrového setrvačníku <<http://www.pilotnipotreby.cz/r-c-allen-rca11a>>
- [17] Schéma zapojení tříosého autopilota GFC 700  
<<http://servicecenters.cirrusdesign.com/techpubs/pdf/SR22Sup/13772-135R3.pdf>>

- [18] Obrázek analogové vybavení. Dostupný z:  
<<http://www.mobygames.com/game/windows/microsoft-flight-simulator-2000-professional-edition/screenshots/gameShotId,543645/>>
- [19] Garmin: G1000 Integrated flight deck, Cockpit reference guide. Olathe, 2011. Dostupné Z: <[http://static.garmincdn.com/pumac/190-00384-12\\_0A\\_Web.pdf](http://static.garmincdn.com/pumac/190-00384-12_0A_Web.pdf)>
- [20] Obrázek PFD a MFD displej G2000. Dostupný z:  
<<http://www.eaa.org/news/2011/images/Corvalis1.jpg>>
- [21] Cessna, A Textron Company: CESSNA CORVALIS TT<sup>x</sup> INTRINZIC<sup>TM</sup> Flight Deck powered by Garminz. Dostupný z:  
<<http://www.eaa.org/news/2011/images/Corvalis1.jpg>>
- [22] Obrázek PFD a MFD displej Entegra R9. Dostupný z:  
<<http://www.avidyne.com/products/release-9/r9-cirrus.asp>>
- [23] Obrázek MLB700. Dostupný z:  
<<http://www.premieravionics.net/pages/avidyne/mlb700.html>>
- [24] DFC100, Integrated Flight Control System for R9-equipped Cirrus aircraft. 2010. Dostupný z: <[www.avidyne.com](http://www.avidyne.com)>
- [25] Esterline, CMC Electronics: SmartDeck, Integrated Flight Controls and Display System, 2011. Dostupný z: <[www.cmcelectronics.ca/smartdeck](http://www.cmcelectronics.ca/smartdeck)>
- [26] Sarasota Avionics International, on-line obchod.2013. Dostupný z:  
<[http://sarasotaavionics.com/avionics/trilogy-esi\\_1000](http://sarasotaavionics.com/avionics/trilogy-esi_1000)>
- [26] Hlinka, J.: Spolehlivost letadlové techniky – Přednáška 1., Brno, 2013
- [27] Marques, J.: Modification to Legacy Software Developed per DO-178B Level A: How to Organize Software Life Cycle Data for Software Approval in Aircraft Certification. Brazil, 2005. Dostupný z: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/archive.cgi/sid.inpe.br/mtc-m18/2011/04.08.17.09>>
- [28] Garmin International, Inc.: Product catalog. Olathe, 2009.
- [29] Reliability Information Analysis Center: RIAC AUTOMATED DATABOOK, Version 3.0.1, 2011.
- [30] System Reliability Center: Reliability Prediction Environmental Conversion Matrix. Rome, 2005. Dostupný z:  
<[http://src.alionscience.com/pdf/Reliability\\_Prediction\\_Env\\_Conversion.pdf](http://src.alionscience.com/pdf/Reliability_Prediction_Env_Conversion.pdf)>
- [31] Garmin International, Inc.: 500W SERIES INSTALLATION MANUAL, GPS 500W and GNS<sup>TM</sup> 530W/530AW/TAWS. 2006. Dostupný z:  
<[http://www.mstewart.net/Downloads/530W\\_IM.pdf](http://www.mstewart.net/Downloads/530W_IM.pdf)>

- [32] Alion System Reliability Center: System and Part Integrated Data Resource (SPIDR). New York, 2013.
- [33] Meggitt Avionics: Magnetometer Heading Sensor (MHS), Fareham. 2011.
- [34] Sandia aerospace: SAC 7-35 Air Data Computer. Albuquerque. Dostupný z: <<http://www.sandia.aero>>
- [35] Sagem Avionics, Inc.: Technical Specification Sagem PFD . US, 2006. Dostupné z: <<http://www.sagemavionics.com>>

## 12. Seznam zkratek

ADAHRS	Air Data, Attitude Heading Reference System	Letové data, referenční systém pro polohu a kurz
ADC	Air Data Computer	Počítač letových dat
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast	Vysílač pro automatický závislý přehled
AHRS	Attitude Heading Reference System	Referenční systém pro polohu a kurz
ARP	Aviation Recommended Practice	Doporučený postup pro letectví
CCU	Central Control Unit	Centrální kontrolní jednotka
CS	Certification Specifications	Certifikační specifikace
ČSN	---	České technické normy
DFCS	Digital Flight Control System	Digitální letový kontrolní systém
DME	Distance Measuring Equipment	Zařízení pro měření vzdálenosti
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service	Evropská geostacionární navigační překryvná služba
ESI	Electronic Standby Instrument	Elektronický záložní přístroj
ESP	Electronic Stability and Protection	Elektronicky řízená stabilita a ochrana
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis	Analýza způsobů a důsledků poruchových stavů
FMECA	Failure Mode Effects and Criticality Analysis	FMEA rozšířena o odhad kritičnosti poruch
FMS	Flight Management System	Systém plánování a optimalizace letu
GA	General Aviation	Všeobecné letectví
GPS	Global Positioning System	Globální poziční systém
HSDB	High-Speed Data Bus	Vysoko rychlostní datové spojení
HSI	Horizontal Situation Indicator	Ukazatel horizontální situace
IAU	Integrated Avionics Unit	Integrovaná avionická jednotka
IFR	Instrument Flight Rules	Pravidla letu podle přístrojů

LCD	Liquid Crystal Display	Displej s tekutými krystaly
LED	Light-Emitting Diode	Světlo emitující dioda
LOC	Localizer	Lokalizér
LRU	Line Replaceable Unit	Vyměnitelná jednotka
METAR	Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation	Pravidelná letecká meteorologická zpráva
MFD	Multi-function display	Multifunkční displej
MKR	Marker	Polohové návěstidlo
MTOW	Maximal Take-off Weight	Maximální vzletová hmotnost
NTSB	National Transportation Safety Board	Narodní úřad pro bezpečnost v dopravě
OAT	Outside Air Temperature	Venkovní teplota vzduchu
PFD	Primary Flight Display	Primární letový displej
RIAC	Reliability Information Analysis Center	Informační centrum pro analýzu spolehlivosti
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics	Radiotechnická komise pro letectví
SD karta	Secure Digital card	Paměťová karta
SDAL	Software Design Assurance Level	Úroveň zabezpečení softwaru
SRE	Single Reciprocating Engine	Jednomotorový pístový motor
SVT	Synthetic Vision Technology	Technologie umělého vidění
TAF	Terminal Areadrome Forecast	Koncová letištní předpověď
TAS	True Air Speed	Skutečná vzdušná rychlost
TIS	Traffic Information System	Systém pro informace o okolním provozu
TRF	Temporary Flight Restriction	Dočasná letová omezení
VFR	Visual Flight Rules	Pravidla letu podle viditelnosti země
VNAV	Vertical NAVigation	Vertikální navigace
VOR	VHF Omnidirectional Radio Range	VKV všesměrový radiomaják
WAAS	Wide Area Augmentation System	Americký družicový rozšířený systém

### **13. Seznam příloh**

Příloha 1: Tabulka zdrojových dat pro vypracování FMEA

Příloha 2: Kompletní analýza FMEA

Příloha 3: Výkres návrhu palubní desky

Příloha 1: Tabulka zdrojových dat pro zpracování FMEA

ID	Prvek	Zdroj údajů		Zvolený prvek	Místo instalace
		Software	Hardware		
1	PFD	Produktový katalog Garmin [28]	Databáze RIAC [29]	LED Display	GB - pozemní instalace
2	MFD	Produktový katalog Garmin [28]	Databáze RIAC [29]	LED Display	GB - pozemní instalace
3	Ovládací panel autopilota GMC 720	X	Databáze RIAC [29]	Control Display Unit	AUA - vojenský útočný letoun
4	Autopilot GMC 720	Garmin 500W Installation manual [31]	Databáze RIAC [29]	Autopilot system	AUA - vojenský útočný letoun
5	Dotykový kontrolní panel GTC 750	Garmin TSO Installation manual GTN 725 [31]	Databáze RIAC [29]	Data Entry Touchscreen	N - námořní instalace (letadlová loď)
6	Ovládací panel GCU 275	X	Databáze RIAC [29]	Control Display Unit	AUA - vojenský útočný letoun
7/8	Integrovaná avionická jednotka GIA 63W	Garmin 500W Installation manual [31]	Databáze SPIDR [30]	Computer system	AUC - vojenský nákladní letoun
9	Motorová/Draková jednotka GEA 71	Technical specification Sagem PFD [35]	Databáze RIAC [29]	Engine Computer	AUA - vojenský útočný letoun
10.11	Počítač letových dat GDC 74A	Sandia Airdata computer installation manual [34]	Databáze RIAC [29]	Air Data Computer	AUA - vojenský útočný letoun
12.13	AHRS GRS 77	Sandel	Sandel	SG 102	letoun
14	Magnetometr GMU 44	Meggitt [32]	Meggitt [32]	MHS	letoun
15	Odpovídač GTX 33	X	Databáze SPIDR [30]	Transponder	AUC - vojenský nákladní letoun
16	Data linkový přijímač GDL 69A	Produktový katalog Garmin [28]	Databáze SPIDR [30]	Data Link Transmitter	AUF - vojenský stíhací letoun

ID	Prvek	Zdroj údajů		Zvolený prvek	Místo instalace
		Software	Hardware		
17	Audio systém s integrovaným přijímačem signálu návštěvnických GMA 1347	X	Design and reliability considerations in avionics electronics packaging	Cabin Telecommunication Unit	Praktický výpočet telekomunikačního zařízení
18	Traffic Advisory System GTS-800	TSO Installation manual GTN 725	Databáze SPIDR [30]	Data Link Transmitter	AUF - vojenský stíhací letoun
19	ESI - 1000	Sarasota Avionics International [26]	Databáze SPIDR [30]	Flight Instruments	ARW - vrtulník
20	Magnetický kompas	X	Databáze RIAC [29]	Magnetic compass	X



Příloha 2: Kompletní analýza FMEA

<p>System: Přístrojové vybavení                  Subsystem: Agregát:                  Číslo výkresu:</p>	<p><b>FMEA</b></p> <p><b>Analýza způsobů a důsledků poruch</b></p>	<p>List č.: 1                  Počet listů: 29                  Datum: 19. 5. 2013                  Vypracoval: Bc. Jiří Liberda</p>
--	--	--

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
1	PFD GDU 1400	Zobrazení letových a navigačních informací	Úplná ztráta funkce	Informace z PFD se automaticky zobrazí na MFD v takzvaném "REVERSION" módu a pilot je schopen bez většího nárůstu zátěže let dokončit	$1,19 \times 10^{-6}$	MIN
			Ztráta zobrazení informací o poloze letounu v prostoru	Pilot je nucen použít nouzové postupy, potřebné informace pilot odečítá ze záložního umělého horizontu, podle kterého dokončí let, na PFD se příslušná oblast přeshkrtně červeným křížem	SDAL=B	MAJ
			Zobrazení chybné informace o poloze v prostoru	Chybnou funkci umělého horizontu pilot zjistí porovnáváním se záložním přístrojem, podle něj pak dokončí let	SDAL=B	MAJ

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 2  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
1	PFD GDU 1400	Zobrazení letových a navigačních informací	Ztráta zobrazení zatačkoměru  Chybné zobrazení zatačkoměru	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot by měl zatačku zvládnout i bez něj, případně s pomocí umělého horizontu  Chybné zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot by měl zatačku zvládnout i bez něj, případně s pomocí umělého horizontu	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informací o aktuální rychlosti letu	Pilot je nucen použít nouzové postupy, potřebné informace pilot odečítá ze záložního rychloměru, podle kterého dokončí let, na PFD se příslušná oblast přeškrtně červeným křížem	SDAL=B	MAJ
			Zobrazení chybné informace o aktuální rychlosti letu	Pilot je nucen použít nouzové postupy, chybnou indikaci rychlosti pilot zjistí porovnáváním se záložním rychloměrem, podle něj dokončí let	SDAL=B	MAJ

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem: Počet listů: 29  
 Agregát: Datum: 19. 5. 2013  
 Číslo výkresu: Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 3

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
1	PFD GDU 1400	Zobrazení letových a navigačních informací	Ztráta zobrazení informace o výšce letu	Pilot je nucen použít nouzové postupy, potřebné informace pilot odečítá ze záložního výškoměru, podle kterého dokončí let, na PFD se příslušná oblast přeškrtně červeným křížem	SDAL=B	MAJ
			Zobrazení nesprávné informace o výšce letu	Pilot je nucen použít nouzové postupy, nesprávnou indikaci výšky letu pilot zjistí porovnáváním se záložním výškoměrem, podle něhož dokončí let, na PFD se příslušná oblast přeškrtně červeným křížem	SDAL=B	MAJ
			Ztráta zobrazení informace o vertikální rychlosti	Během letu po trati není informace o vertikální rychlosti tak podstatná jako je tomu v případě stoupání/klesání, pilot odhadne vertikální rychlost pomocí rychloměru a umělého horizontu, na PFD se příslušná oblast přeškrtně červeným křížem	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybné informace o vertikální rychlosti	Během letu po trati není informace o vertikální rychlosti tak podstatná jako je tomu v případě stoupání/klesání, pilot odhalí chybu a odhadne vertikální rychlost pomocí rychloměru a umělého horizontu	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

List č.: 4  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
1	PFD GDU 1400	Zobrazení letových a navigačních informací	Ztráta zobrazení kurzu letounu	Pilot využívá pro určení magnetického kurzu letounu záložní kompas, na PFD se příslušná oblast přeskrtně červeným křížem	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybného kurzu letounu	Může dojít k odchýlení od plánované trasy a tím k jejímu prodloužení, pilot chybnou indikaci zjistí porovnáváním se záložním kompasem	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informací o kódu transpondéru	Je nutné kontaktovat rádiem ŘLP, který zabezpečí bezpečnost letu, na PFD se příslušná oblast přeskrtně červeným křížem	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybné informace o kódu transpondéru	Je nutné kontaktovat rádiem ŘLP, který zabezpečí bezpečnost letu	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení údaje o směru větru	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot je schopen bezpečně dokončit let	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybného údaje o směru větru	Zobrazení chybného údaje vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot je schopen bezpečně dokončit let	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 5  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
1	PFD GDU 1400	Zobrazení letových a navigačních informací	Ztráta zobrazení odchylky teploty od mezinárodní standardní atmosféry  Zobrazení chybné odchylky teploty od mezinárodní standardní atmosféry	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot je schopen bezpečně dokončit let, na PFD se příslušná oblast přeškrtně červeným křížem  Zobrazení chybného údaje vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot je schopen bezpečně dokončit let	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení hodnoty venkovní teploty vzduchu	Pilot musí dbát zvýšené pozornosti, OAT senzor upozorňuje na možnost vzniku námrazy na letounu, by měl zapnout systémy zabraňující vzniku námrazy na letounu, na PFD se příslušná oblast přeškrtně červeným křížem	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybné hodnoty venkovní teploty vzduchu	Pilot musí dbát zvýšené pozornosti, OAT senzor upozorňuje na možnost vzniku námrazy na letounu, pilot by měl zapnout systémy zabraňující vzniku námrazy na letounu	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem: Počet listů: 29  
 Agregát: Datum: 19. 5. 2013  
 Číslo výkresu: Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 6

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
1	PFDDU 1400	Zobrazení letových a navigačních informací	Ztráta zobrazení informací vertikální navigace (VNV)	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot volí jiný způsob navigace na přiblížení, na PFDD se upozornění objeví v oblasti HSI	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybných informací o vertikální navigaci (VNV)	Pilot volí jiný způsob navigace na přiblížení a vypíná WAAS, chybu pilot zjistí porovnáváním s dalšími přístroji na palubě	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení času	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot dokončí let pomocí jiných přístrojů na palubě letounu	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybného času	Zobrazení chybného údaje vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot zjistí chybu srovnáním s jinými přístroji na palubě letounu	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení navigačních frekvencí	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, údaje o navigačních frekvencích jsou zobrazeny na dotykovém kontrolním panelu	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 7  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
1	PFD GDU 1400	Zobrazení letových a navigačních informací	Zobrazení chybných navigačních frekvencí	Zobrazení chybných navigačních frekvencí vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot zjistí chybu srovnáním s jinými přístroji na palubě letounu, navigační frekvence jsou zobrazeny na dotykovém kontrolním panelu	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení komunikačních frekvencí	Údaje o komunikačních frekvencích jsou zobrazeny na dotykovém kontrolním panelu	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybných komunikačních frekvencí	Zobrazení chybných komunikačních frekvencí vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot zjistí chybu srovnáním s jinými přístroji na palubě letounu, navigační frekvence jsou zobrazeny na dotykovém kontrolním panelu	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informace o vzdálenosti do dalšího bodu letového plánu	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, údaje o navigačních frekvencích jsou zobrazeny na dotykovém kontrolním panelu	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 7  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
1	PFD GDU 1400	Zobrazení letových a navigačních informací	Zobrazení chybné informace o vzdálenosti do dalšího bodu letového plánu	Zobrazení chybné informace vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot zjistí chybu při porovnání s letovým plánem	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informace o azimutu	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, údaje o navigačních frekvencích jsou zobrazeny na dotykovém kontrolním panelu	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybné informace o azimutu	Zobrazení chybné informace vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot je schopen určit azimut dle magnetického kompasu	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení nastavení autopilota	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, údaje o navigačních frekvencích jsou zobrazeny na dotykovém kontrolním panelu	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybného nastavení autopilota	Zobrazení chybné informace vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot zjistí chybu podle chování letounu a porovnání s přístroji na palubě, případně odpojí autopilota	SDAL=B	MIN



System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 8  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
1	PFD GDU 1400	Zobrazení letových a navigačních informací	Ztráta funkce upozornění na překročení nastavené nadmořské výšky	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, údaje o navigačních frekvencích jsou zobrazeny na dotykovém kontrolním panelu	SDAL=B	MIN
			Chybné upozornění na překročení nastavené výšky	Zobrazení chybného upozornění vede pilota ke kontrole výšky a její případné korekci	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení upozornění o přeletu návěstidla	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, pilot provádí kontrolu dle dalších přístrojů na palubě	SDAL=B	MIN
			Chybné upozornění o přeletu návěstidla	Zobrazení chybného upozornění vede pilota ke kontrole výšky a její případné korekci	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení upozornění o okolním provozu	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, primárním zdrojem informací o okolním provozu je služba RLP	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem: Počet listů: 29  
 Agregát: Datum: 19. 5. 2013  
 Číslo výkresu: Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 9

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
1	PFDD 1400	Zobrazení letových a navigačních informací	Chybné zobrazení upozornění o okolním provozu	Chybné zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, primárním zdrojem informací o okolním provozu je služba ŘLP	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení upozornění blízkosti terénu	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, bezpečnou výšku pilot udrží pomocí výškoměru	SDAL=B	MIN
			Chybné zobrazení upozornění blízkosti terénu	Chybné zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, bezpečnou výšku pilot udrží pomocí výškoměru	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení upozornění o nízké výšce	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, bezpečnou výšku pilot udrží pomocí výškoměru	SDAL=B	MIN
			Chybné zobrazení upozornění o nízké výšce	Chybné zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, bezpečnou výšku pilot udrží pomocí výškoměru	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení označení minimální výšky rozhodnutí	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, minimální výšku rozhodnutí určí pilot podle výškoměru	SDAL=B	MIN
			Chybné zobrazení označení výšky rozhodnutí	Chybné zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, výšku rozhodnutí určí pilot podle výškoměru	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 10  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
2	MFD GDU 1400	Zobrazení motorových informací, mapových podkladů, plánek, informací o počasí, terénu a okolním provozu	Celkové selhání MFD	Pilot je nucen použít nouzové postupy, hodnoty odečítá ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	$1,19 \times 10^{-6}$ SDAL=B	MAJ
			Ztráta zobrazení hodnoty plnicího tlaku	Pilot odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybné hodnoty plnicího tlaku	Pilot zjistí odchylky pomocí porovnání záložních přístrojů a odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení hodnoty RPM	Pilot odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybné hodnoty RPM	Pilot zjistí odchylky pomocí porovnání záložních přístrojů a odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informací o množství paliva	Pilot odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 11  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
2	MFD GDU 1400	Zobrazení motorových informací, mapových podkladů, plánek, informací o počasí, terénu a okolním provozu	Zobrazení chybné informace o množství paliva	Pilot zjistí odchylky pomocí porovnání záložních přístrojů a odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informací o průtoku paliva	Pilot odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybné informace o průtoku paliva	Pilot zjistí odchylky pomocí porovnání záložních přístrojů a odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informace o tlaku oleje	Pilot odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybné informace o tlaku oleje	Pilot zjistí odchylky pomocí porovnání záložních přístrojů a odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informace o teplotě oleje	Pilot odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 12  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
2	MFD GDU 1400	Zobrazení motorových informací, mapových podkladů, plánek, informací o počasí, terénu a okolním provozu	Zobrazení chybné informace o teplotě oleje	Pilot zjistí odchylky pomocí porovnání záložních přístrojů a odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informací o teplotě výfukových plynů	Pilot odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybných informací o teplotě výfukových plynů	Pilot zjistí odchylky pomocí porovnání záložních přístrojů a odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informací o teplotě hlav válců	Pilot odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybných informací o teplotě hlav válců	Pilot zjistí odchylky pomocí porovnání záložních přístrojů a odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informací o polohách trimů	Pilot odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informací o polohách trimů	Pilot odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

List č.: 13  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
2	MFD GDU 1400	Zobrazení motorových informací, mapových podkladů, plánek, informací o počasí, terénu a okolním provozu	Zobrazení chybných informací o polohách trimů  Ztráta zobrazení mapových podkladů	Pilot zjistí odchylky srovnáním dalších přístrojů na palubě přístrojů a odečítá hodnoty ze záložních přístrojů zobrazených na PFD  Nejsou zobrazeny mapové podklady a plánky, pilot ztratí povědomí o poloze vůči bodům na pevnině a moři, při letech IFR jsou jako prioritní prostředky navigace využívány přístroje (nikoli strovnávací navigace), ale v případě plánek letišť usnadňují navigaci na plochách letišť, mapy a plány tedy mají informační charakter	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybných mapových podkladů a plánek	Jsou zobrazeny chybné mapové podklady a plánky, pilot ztratí povědomí o poloze vůči bodům na pevnině a moři, při letech IFR jsou jako prioritní prostředky navigace využívány přístroje (nikoli strovnávací navigace), ale v případě plánek letišť usnadňují navigaci na plochách letišť	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informací o počasí	Pilot nemá informace o aktuálním počasí v oblasti, aktuální informace o počasí je možné vyžádat od služeb RLP, součástí předletové přípravy jsou také informace o počasí na trati	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

List č.: 14  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
2	MFD GDU 1400	Zobrazení motorových informací, mapových podkladů, plánek, informací o počasí, terénu a okolním provozu	Zobrazení chybné informace o počasí	Pilot nemá informace o aktuálním počasí v oblasti, aktuální informace o počasí je možné vyžádat vysílačkou, součástí předletové přípravy jsou také informace o počasí na trati	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informací o okolním provozu	Pilot nemá informace o okolním provozu, k zachování požadovaných rozestupů se řídí pokyny ŘLP	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybné informace o okolním provozu	Chybná informace může vést ke srážce letadel, toto je však velice nepravděpodobné protože, k zachování požadovaných rozestupů se pilot řídí pokyny ŘLP	SDAL=B	MIN
			Ztráta zobrazení informací TAWS	Ztráta zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, bezpečnou výšku pilot udrží pomocí výškoměru	SDAL=C	MIN
			Zobrazení chybných informací TAWS	Chybné zobrazení vede ke snížení rezerv bezpečnosti, bezpečnou výšku pilot udrží pomocí výškoměru	SDAL=C	MIN
			Ztráta zobrazení letového plánu	Pilot nemá informace o letovém plánu, pilot má navigační lístek v papírové podobě nebo kontaktuje službu ŘLP	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 15  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
2	MFD GDU 1400	Zobrazení motorových informací, mapových podkladů, plánek, informací o počasí, terénu a okolním provozu	Zobrazení chybného letového plánu  Ztráta zobrazení údajů navigačního status boxu	Možnost odchýlení od letového plánu, pilot má navigační listek v papírové podobě nebo kontaktuje službu ŘLP  Pilot nemá informace o aktuální části letového plánu ani informace o azimutu, vzdálenosti a časech k nejbližšímu dalšímu bodu letového plánu, pilot má navigační listek v papírové podobě nebo kontaktuje ŘLP	SDAL=B	MIN
			Zobrazení chybných údajů navigačního status boxu	Chybné informace o aktuální části letového plánu s informace o azimutu, vzdálenosti a času k nejbližšímu bodu mohou zmást pilota, IFR let je ale vždy řízen službou ŘLP	SDAL=B	MIN



System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 16  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
3	Ovládací panel autopilota	Umožňuje nastavení autopilota	Neumožňuje nastavení autopilota	Není možno nastavit potřebné parametry, pilot provede let manuálně	$2,74 \times 10^{-5}$	MIN
			Neumožňuje zapnutí autopilota	Není možné zapnout autopilota, pilot provede let manuálně	$2,74 \times 10^{-5}$	MIN
			Neumožňuje vypnutí autopilota	Není možné odpojení autopilota, pilot silou autopilota přetlačí a s námahou let dokončí/ není-li možné autopilota přetlačit pak HAZARDOUS, pilot musí kontrolovat chování autopilota neustále, podle dalších přístrojů na palubě, pilot svými vlastními smysly není schopen posoudit náklon letadla	$2,74 \times 10^{-5}$	MAJ/HAZ

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 17  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
4	Autopilot GMC 720	Zabraňuje letounu přejít do nebezpečných poloh, při zapnutí ovládá letadlo dle zadáných parametrů	Úplná ztráta funkce	Pilot je nucen převzít řízení a dokončit let manuálně	$4,47 \times 10^{-4}$	MIN
			Neposkytuje data o poloze ocasních ploch	Pilot vypne autopilota a je nucen převzít řízení a dokončit let manuálně	SDAL=B	MIN
			Poskytuje chybné data o poloze ocasních ploch	Autopilot upravuje výchylky kormidel podle nesprávných dat, pilot podle dalších přístrojů zjistí nesrovnalosti, převezme řízení a dokončí let manuálně	SDAL=B	MIN
			Ztráta funkce letu dle VORu	Dojde ke snížení rezerv bezpečnosti, je nutné zvolit alternativní způsob navigace	SDAL=B	MIN
			Chybná funkce letu podle VORu	Může dojít k odchýlení od trasy, čímž se prodlouží čas letu, je nutné zvolit alternativní způsob navigace	SDAL=B	MIN
			Ztráta navigace autopilota dle GPS	Dojde ke snížení rezerv bezpečnosti, je nutné zvolit alternativní způsob navigace	SDAL=B	MIN
			Chybná navigace autopilota dle GPS	Může dojít k odchýlení od trasy, čímž se prodlouží čas letu, je nutné zvolit alternativní způsob navigace	SDAL=B	MIN

<p>System: Přístrojové vybavení  Subsystem: Počet listů: 29  Agregát: Datum: 19. 5. 2013  Číslo výkresu: Vypracoval: Bc. Jiří Liberda</p>	<p style="text-align: center;"><b>FMEA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Analýza způsobů a důsledků poruch</b></p>	<p>List č.: 1</p>
---	--	-------------------

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
4	Autopilot GMC 720	Zabraňuje letounu přejít do nebezpečných poloh, při zapnutí ovládá letadlo dle zadanych parametrů	Ztráta funkce navigace při přiblížení na přistání (APR, ILS)  Chybná navigace při přiblížení na přistání (APR, ILS)  Ztráta funkce udržení vertikální rychlosti  Chybná funkce udržení vertikální rychlosti  Ztráta funkce udržení výšky	Není možné provést přiblížení na přistání pomocí autopilota, pilot převezme řízení a provede přiblížení manuálně  Letoun se ocitne mimo paprsek ILS, pilot po kontrole dalších přístrojů chybu odhalí a přiblížení provede manuálně  Autopilot neudrží zadanou vertikální rychlost, pilot provede klesání/stoupání do požadované výšky manuálně  Letoun klesá/stoupá jinou rychlostí než byl požadavek pilota, pilot kontrolou přístrojů chybu odhalí a provede klesání/stoupání manuálně  Letoun neudrží požadovanou výšku, pilot udržuje výšku manuálně	SDAL=B  SDAL=B  SDAL=B  SDAL=B  SDAL=B	MIN  MIN  MIN  MIN  MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem: Počet listů: 29  
 Agregát: Datum: 19. 5. 2013  
 Číslo výkresu: Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 19  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
4	Autopilot GMC 720	Zabraňuje letounu přejít do nebezpečných poloh, při zapnutí ovládá letadlo dle zadanych parametrů	Chybná funkce udržení výšky	Letoun udržuje jinou výšku, než byla pilotem požadována, pilot kontrolou přístrojů chybu odhalí a po vystoupení/sklesání do požadované výšky udržuje výšku manuálně	SDAL=B	MIN
			Ztráta funkce podélného vyvážení v automatickém režimu	Pilot je nucen provádnout podélné vyvážení manuálně	SDAL=B	MIN
			Ztráta funkce ovládání zatažení	Autopilot není schopen zatačit, pilot provádí zatažení manuálně	SDAL=B	MIN
			Ztráta funkce ovládání klonění	Autopilot není schopen ovládat klonění, pilot provádí manuálně	SDAL=B	MIN
			Ztráta funkce ovládání klopení	Autopilot není schopen ovládat klopení, pilot provádí manuálně	SDAL=B	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem: Počet listů: 29  
 Agregát: Datum: 19. 5. 2013  
 Číslo výkresu: Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 20  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
5	Dotykový kontrolní panel GTC 750	Umožňuje ovládání PFD, MFD a nastavení frekvencí COM/NAV/GS	Neumožňuje ovládání PFD/ MFD	Použití záložního kontrolního panelu	$1,87 \times 10^{-5}$ SDAL=B	MIN
			Neumožňuje nastavení frekvencí COM	Použití záložního kontrolního panelu	SDAL=B	MIN
			Neumožňuje nastavení frekvencí NAV	Použití záložního kontrolního panelu	SDAL=B	MIN
6	Ovládací panel GCU 275	Ovládání PFD	Neumožňuje nastavení frekvence GS	Použití záložního kontrolního panelu	SDAL=B	MIN
7	Integrovaná avionická jednotka GIA 63W	Integrace všech dat, příjem signálů VHF, GPS	Neumožňuje ovládání PFD	Použití dotykového kontrolního panelu	$2,74 \times 10^{-5}$	MIN
			Neposkytuje data pro zobrazení údajů na PFD/ MFD	Dojde k přepnutí PFD na MFD či naopak, motorové, letové a navigační údaje jsou umístěny na jednom displeji	$1,60 \times 10^{-4}$ SDAL=B	MIN
			Poskytuje chybná data pro zobrazení údajů na PFD/MFD	Dojde k přepnutí PFD na MFD či naopak, motorové, letové a navigační údaje jsou umístěny na jednom displeji	SDAL=B	MIN
			Úplná ztráta dat pro navigaci k majáku VOR	Pilot volí alternativní způsob navigace	SDAL=C	MIN

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 21  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
7	Integrovaná avionická jednotka GIA 63W	Integrace všech dat, příjem signálů VHF, GPS	Poskytována chybná data pro navigaci k majáku VOR	Díky nesprávným datům se může letoun odchýlit od plánované trasy, pilot volí alternativní způsob navigace	SDAL=C	MIN
			Ztráta signálu GPS	Pilot volí alternativní způsob navigace	SDAL=B	MIN
8	Integrovaná avionická jednotka GIA 63W	Integrace všech dat, příjem signálů VHF, GPS	Nesprávná navigace podle GPS	Díky nesprávným datům se může letoun odchýlit od plánované trasy, pilot volí alternativní způsob navigace	SDAL=B	MIN
			Ztráta signálu ILS	Pilot volí alternativní způsob navigace	SDAL=C	MIN
			Chybný signál ILS	Díky nesprávným datům se může letoun odchýlit od plánované trasy, pilot volí alternativní způsob navigace	SDAL=C	MIN
			Neposkytuje data pro zobrazení údajů na PFD/ MFD	Dojde k přepnutí PFD na MFD či naopak, motorové, letové a navigační údaje jsou umístěny na jednom displeji	1,60 x10 <sup>-4</sup> SDAL=B	MIN
			Poskytuje chybná data pro zobrazení údajů na PFD/MFD	Dojde k přepnutí PFD na MFD či naopak, motorové, letové a navigační údaje jsou umístěny na jednom displeji	SDAL=B	MIN

<p>System: Přístrojové vybavení  Subsystem: Počet listů: 29  Agregát: Datum: 19. 5. 2013  Číslo výkresu: Vypracoval: Bc. Jiří Liberda</p>	<p style="text-align: center;"><b>FMEA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Analýza způsobů a důsledků poruch</b></p>	<p>List č.: 22</p>
---	--	--------------------

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
8	Integrovaná avionická jednotka GIA 63W	Integrace všech dat, příjem signálů VHF, GPS	Úplná ztráta dat pro navigaci k majáku VOR	Pilot volí alternativní způsob navigace	SDAL=C	MIN
			Poskytována chybná data pro navigaci k majáku VOR	Díky nesprávným datům se může letoun odchýlit od plánované trasy, pilot volí alternativní způsob navigace	SDAL=C	MIN
			Ztráta signálu GPS	Pilot volí alternativní způsob navigace	SDAL=B	MIN
			Chybná navigace podle GPS	Díky nesprávným datům se může letoun odchýlit od plánované trasy, pilot volí alternativní způsob navigace	SDAL=B	MIN
			Ztráta signálu ILS	Pilot volí alternativní způsob navigace	SDAL=C	MIN
			Chybný signál ILS	Díky nesprávným datům se může letoun odchýlit od plánované trasy, pilot volí alternativní způsob navigace	SDAL=C	MIN

Systém: Přístrojové vybavení Subsystem: Počet listů: 29 Agregát: Datum: 19. 5. 2013 Číslo výkresu: Vypracoval: Bc. Jiří Liberda	<h1>FMEA</h1> <h2>Analýza způsobů a důsledků poruch</h2>	List č.: 23 Počet listů: 29 Datum: 19. 5. 2013 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda
--	--	--

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
9	Motorová/Draková jednotka GEA 71	Poskytuje data z motorových a drakových senzorů	Neposkytuje data ze senzorů	Na MFD nebudou zobrazeny motorové ani drakové údaje, pilot může odhadnout potřebné charakteristiky díky zvuku motoru a díky poloze ovládacích pák motoru	$6,38 \times 10^{-4}$ SDAL=B	MIN
			Poskytuje chybné data ze senzorů	NA MFD budou zobrazeny chybné motorové a drakové údaje, pilot může odhadnout potřebné charakteristiky díky zvuku motoru a díky poloze ovládacích pák motoru	SDAL=B	MIN
10	Počítač letových dat GDC 74A	Poskytuje data z pitot-statického systému a OAT senzoru	Úplná ztráta funkce	Dojde k přepnutí na druhý počítač letových dat	$2,56 \times 10^{-4}$ SDAL=C	MIN
			Neposkytuje data z pitot-statického systému	Dojde k přepnutí na druhý počítač letových dat	SDAL=C	MIN
			Poskytuje chybné data z pitot-statického systému	Dojde k přepnutí na druhý počítač letových dat	SDAL=C	MIN
			Neposkytuje data ze senzoru OAT	Dojde k přepnutí na druhý počítač letových dat	SDAL=C	MIN
			Poskytuje chybné data ze senzoru OAT	Dojde k přepnutí na druhý počítač letových dat	SDAL=C	MIN



System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 24  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
11	Počítač letových dat GDC 74A	Poskytuje data z pitot-statického systému a OAT senzoru	Úplná ztráta funkce	Dojde k přepnutí na druhý počítač letových dat	$2,56 \times 10^{-4}$ SDAL=B	MIN
			Neposkytuje data z pitot-statického systému	Dojde k přepnutí na druhý počítač letových dat	SDAL=B	MIN
			Poskytuje chybná data z pitot-statického systému	Dojde k přepnutí na druhý počítač letových dat	SDAL=B	MIN
			Neposkytuje data ze senzoru OAT	Dojde k přepnutí na druhý počítač letových dat	SDAL=B	MIN
			Poskytuje chybná data ze senzoru OAT	Dojde k přepnutí na druhý počítač letových dat	SDAL=B	MIN
			Úplná ztráta funkce	Dojde k přepnutí na druhý počítač letových dat	SDAL=B	MIN
12	AHRS GRS 77	Poskytuje data o kurzu, poloze letounu v prostoru a náklonu	Úplná ztráta funkce	Dojde k přepnutí na druhý AHRS	$1,96 \times 10^{-4}$ SDAL=C	MIN

System: Přístrojové vybavení								List č.: 25
Subsystem:								Počet listů: 29
Agregát:								Datum: 19. 5. 2013
Číslo výkresu:								Vypracoval: Bc. Jiří Liberda
<b>FMEA</b>								
<b>Analýza způsobů a důsledků poruch</b>								

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
12	AHRS GRS 77	Poskytuje data o kurzu, poloze letounu v prostoru a náklonu	Neposkytuje data o kurzu	Dojde k přepnutí na druhý AHRS	SDAL=C	MIN
			Poskytuje chybná data o kurzu	Dojde k přepnutí na druhý AHRS	SDAL=C	MIN
			Neposkytuje data o poloze letounu v prostoru	Dojde k přepnutí na druhý AHRS	SDAL=C	MIN
			Poskytuje chybná data o náklonu letounu	Dojde k přepnutí na druhý AHRS	SDAL=C	MIN
13	AHRS GRS 77	Poskytuje data o kurzu, poloze letounu v prostoru a náklonu	Úplná ztráta funkce	Dojde k přepnutí na druhý AHRS	$1,96 \times 10^{-4}$ SDAL=C	MIN
			Neposkytuje data o kurzu	Dojde k přepnutí na druhý AHRS	SDAL=C	MIN
			Poskytuje chybná data o kurzu	Dojde k přepnutí na druhý AHRS	SDAL=C	MIN
			Neposkytuje data o poloze letounu v prostoru	Dojde k přepnutí na druhý AHRS	SDAL=C	MIN

System: Přístrojové vybavení Subsystem: Počet listů: 29 Agregát: Datum: 19. 5. 2013 Číslo výkresu: Vypracoval: Bc. Jiří Liberda	<h1>FMEA</h1> <h2>Analýza způsobů a důsledků poruch</h2>	List č.: 26 Počet listů: 29 Datum: 19. 5. 2013 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda
--	--	--

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
13	AHRS GRS 77	Poskytuje data o kurzu, poloze letounu v prostoru a náklonu	Poskytuje chybné data o náklonu letounu	Dojde k přepnutí na druhý AHRS	SDAL=C	MIN
14	Magnetometr GMU 44	Poskytuje data o magnetickém směru letounu	Neposkytuje data o magnetickém směru letounu	Na PFD se nezobrazí údaj o kurzu	$2,0 \times 10^{-5}$ SDAL=B	MIN
15	Odpovídač GTX 33	Vysílá čtyřmístný numerický kód, údaje o výšce a rychlosti letounu	Poskytuje chybné data o magnetickém směru letounu	Na PFD se zobrazí chybný údaj o kurzu	SDAL=B	MIN
16	Data linkový přijímač GDL 69A	Poskytuje data o aktuálním počasí v dané oblasti, umožňuje příjem satelitního rádia	Odpovídač nevysílá  Úplná ztráta funkce	Pilot je nucen kontaktovat službu ŘLP, která zajistí bezpečný let  Na MFD nebude zobrazena mapa s aktuálním počasím	$1,72 \times 10^{-4}$  $1,52 \times 10^{-6}$ SDAL=D	MIN  MIN
			Poskytuje chybné data o aktuálním počasí	Na MFD se zobrazí chybné data o aktuálním počasí	SDAL=D	MIN

Systém: Přístrojové vybavení Subsystem: Počet listů: 29 Agregát: Datum: 19. 5. 2013 Číslo výkresu: Vypracoval: Bc. Jiří Libeřda	<h1>FMEA</h1> <h2>Analýza způsobů a důsledků poruch</h2>	List č.: 27 Počet listů: 29 Datum: 19. 5. 2013 Vypracoval: Bc. Jiří Libeřda
--	--	--

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
17	Audio systém s integrovaným přijímačem signálu návěstidel GMA 1347	Přijímá VHF vysílání návěstidel, přenáší zvukové signály do sluchátek	Výpadek signálu  Přijímá chybné signály návěstidel	Snížení rezerv bezpečnosti  Snížení rezerv bezpečnosti, návěstidla informují pilota o jejich přeletu, mají tedy především informační funkci	$6,9 \times 10^{-5}$ SDAL=B	MIN
18	Traffic Advisory System GTS-800	Poskytuje data o okolním provozu	Úplná ztráta funkce  Poskytuje chybné data o okolním provozu	Na MFD se nezobrazí mapa s okolním provozem  Na MFD se zobrazí mapa s chybnými údaji o okolním provozu	$1,52 \times 10^{-6}$ SDAL=B	MIN
19	ESI - 1000	Zobrazuje záložní údaje o výšce, rychlosti a poloze v prostoru	Úplná ztráta funkce  Ztráta zobrazení informací o výšce  Zobrazení chybné informace o výšce	Pilot je nucen použít nouzové postupy, potřebné informace odečítá z PFD  Potřebné informace pilot odečítá z výškoměru na PFD  Chybnou indikaci výšky letu pilot zjistí porovnáním s výškoměrem na PFD, podle něhož dokončí let, může však pilotů zmást	$3,7 \times 10^{-5}$ SDAL=B	MIN
					SDAL=B	MAJ

<p>System: Přístrojové vybavení  Subsystem: Počet listů: 29  Agregát: Datum: 19. 5. 2013  Číslo výkresu: Vypracoval: Bc. Jiří Liberda</p>	<h1>FMEA</h1> <h2>Analýza způsobů a důsledků poruch</h2>	<p>List č.: 28  Počet listů: 29  Datum: 19. 5. 2013  Vypracoval: Bc. Jiří Liberda</p>
---	--	---

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
19	ESI - 1000	Zobrazuje záložní údaje o výšce, rychlosti a poloze v prostoru	Ztráta zobrazení informací o rychlosti  Zobrazení chybné informace o rychlosti	Potřebné informace pilot odečítá z rychloměru na PFD  Chybnou indikaci rychlosti letu pilot zjistí porovnáním s rychloměrem na PFD, podle něhož dokončí let	SDAL=B  SDAL=B	MIN  MAJ
20	Magnetický kompas	Poskytuje informace o magnetickém severu	Ztráta zobrazení informací o poloze letounu v prostoru  Zobrazení chybné informace o poloze letounu v prostoru  Zobrazení chybné informace o magnetickém severu	Potřebnou informaci pilot odečítá z umělého horizontu na PFD  Chybnou indikaci polohy letounu v prostoru pilot zjistí porovnáním s umělým horizontem na PFD, může však pilota zmást	SDAL=B  SDAL=B	MIN  MAJ  MIN

Protože intenzita poruch u ESI - 1000 byla přiřazena podle položky Flight instrument, příkládám i klasické záložní přístroje a jejich intenzity. Je patrné, že údaje nejsou nikterak mimo.

System: Přístrojové vybavení  
 Subsystem:   
 Agregát:   
 Číslo výkresu:

# FMEA

## Analýza způsobů a důsledků poruch

List č.: 29  
 Počet listů: 29  
 Datum: 19. 5. 2013  
 Vypracoval: Bc. Jiří Liberda

Označení prvku	Název prvku	Popis funkce	Způsob poruchy	Důsledek poruchy	Intenzita poruchy	Hodnocení důsledku poruchy
20	Umělý horizont	Zobrazuje informace o poloze letounu v prostoru	Úplná ztráta funkce	Potřebnou informaci pilot odečítá z umělého horizontu na PFD	$3,58 \times 10^{-5}$	MIN
			Zobrazení chybné informace o poloze letounu v prostoru	Chybnou indikaci polohy letounu v prostoru pilot zjistí porovnáním s umělým horizontem na PFD, může však pilota zmást	$3,58 \times 10^{-5}$	MAJ
21	Výškoměr	Poskytuje informace o výšce letu	Úplná ztráta funkce	Potřebné informace pilot odečítá z výškoměru na PFD	$2,27 \times 10^{-5}$	MIN
			Zobrazení chybné informace o výšce letu	Chybnou indikaci výšky letu pilot zjistí porovnáním s výškoměrem na PFD, podle něhož dokončí let	$2,27 \times 10^{-5}$	MAJ
22	Rychloměr	Poskytuje informace o aktuální rychlosti	Úplná ztráta funkce	Potřebné informace pilot odečítá z výškoměru na PFD	$8,1 \times 10^{-5}$	MIN
			Zobrazení chybné informace o výšce letu	Chybnou indikaci výšky letu pilot zjistí porovnáním s rychloměrem na PFD, podle něhož dokončí let, může však pilota zmást	$8,1 \times 10^{-5}$	MAJ