VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Ústav letecké dopravy

Digitální řešení přístrojové desky malého cvičného letounu

Small Aircraft's Digital Dashboard Solution

Student: Martin Ričani

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Ričani**

Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy

Studijní obor: 3708R038 Technologie údržby letecké techniky

Téma: Digitální řešení přístrojové desky malého cvičného letounu
Small Aircraft´s Digital Dashboard Solution

Zásady pro vypracování:

1. Seznámit se s požadavky leteckých předpisů na vybavení letounů pro výcvikové účely.
2. Seznámit se s rozdíly v koncepci analogových a digitálních zobrazovacích systémů.
3. Seznámit se s aktuálními technologiemi pro digitální zobrazovací systémy v civilním letectví.
4. Navrhnout digitální řešení palubní přístrojové desky malého cvičného letounu s nízkými pořizovacími provozními náklady.

BP musí v rámci úvodu obsahovat kapitolu se stanovením cílů práce a v závěru zhodnocení dosažených cílů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Letecké předpisy týkající se provozu a letové způsobilosti letadel (L6/II, L7, L8, L8A)
Učební texty pro teoretický kurz ATPL – Modul: 021 – Všeobecné znalosti letadel, ČVUT Praha, 2006
Učební texty pro kurz Základního výcviku dle Part 66, M05 – Digitální technologie, ČVUT Praha, 2005
Veřejně dostupné zdroje

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ-TECHNICKÁ UNIVERZITA Fakulta strojní OSTRAVA

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ……. …….……

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo závěrečnou práci nevýdělečně užít ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO v případě zájmu její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :……..

……...……

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Martin Ričani

Adresa trvalého pobytu autora práce: 1. Máje 673 Velim 28101

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

RIČANI, M: *Digitální řešení přístrojové desky malého cvičného letounu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2012.

Vedoucí práce: Smrž, V.

Bakalářská práce nese název Digitální řešení přístrojové desky malého cvičného letounu. V této práci budou popsány možnosti využití obrazovkových displejů na malých cvičných letounech. V úvodu jsou popsány předpisové požadavky pro využití displejů, použité technologie, zhodnocení nabídek na trhu s obrazovkovými displeji, bezpečnostní rizika tohoto systému a v závěru doporučení pro využití na malých cvičných letounech.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

RIČANI, M: *Small Aircraft's Digital Dashboard Solution: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, 2012.

Thesis head: Smrž, V.

The baccalaureate thesis is entitled Small Aircraft's Digital Dashboard Solution. This document will describe the possibilities of employing screen displays on small training aircraft. The introduction describes the legislative requirements for the use of displays, the technology used, evaluation of screen displays market, safety risks of this system and at the end a recommendation for utilization on small training aircraft.

Obsah

Seznam použitých zkratek 6

1. ÚVOD 8

1.1. Cíle bakalářské práce 8

2. SEZNÁMENÍ S PŘEDPISY 9

2.1. Úvod 9

2.2. Certification Specification 9

2.3. Letecký předpis L6/II 10

2.4. Letecký předpis L8 11

2.5. FAR 23 11

3. VÝVOJ A ROZDĚLENÍ LETECKÝCH PŘÍSTROJŮ 12

3.1. Historický vývoj 12

3.2. Rozdělení palubních leteckých přístrojů 14

3.3. Srovnání koncepce analogových a digitálních zobrazovacích systémů 16

3.4. Požadavky kladené na palubní přístroje 18

3.5. Popis přístrojového vybavení pro lety VFR 18

3.6. Popis přístrojového vybavení pro lety IFR 19

4. GLASS COCKPIT A JEHO HISTORICKÝ VÝVOJ 20

4.1. Termín glass cockpit 20

4.2. Historie vývoje 20

4.3. Použití 21

5. OBRAZOVKOVÉ DISPLEJE 23

5.1. Elektronické zobrazovací prvky 23

5.2. CRT obrazovky 24

5.3. LCD obrazovky 25

5.4. Displej s luminiscenčními diodami 26

6. SOUČASNÉ NABÍDKY GLASS COCKPITU A JEJICH POPIS 27

6.1. Společnost GARMIN International 27

6.1.1. GARMIN G500 27

6.1.2. GARMIN G1000 29

6.2. Společnost ASPEN AVIONICS 31

6.2.1. Evolution 1000 32

6.2.2. Evolution 2500 34

6.3. Společnost BENDIX/KING 37

6.3.1. KFD 840 PFD 37

6.4. DYNON AVIONICS 38

6.4.1. SKYVIEW D10 38

6.5. AVIDYNE CORPORATION 39

6.5.1. Entegra 40

7. BEZPEČNOST SYSTÉMU GLASS COCKPIT 41

7.1. Bezpečnostní výhody glass cockpitu 41

7.2. Bezpečnostní nevýhody glass cockpitu 41

7.3. Bezpečnostní studie NTSB z roku 2010 43

8. DOPORUČENÍ PRO VYUŽITÍ DIGITÁLNÍCH ZOBRAZOVACÍCH JEDNOTEK NA CVIČNÉM LETOUNU 45

8.1. Přechod na digitální zobrazení 45

8.2. Využití digitálních avionických systémů pro výcvik 46

9. ZÁVĚR 48

Seznam použité literatury: 50

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Český název	Anglický název
ADC	Počítač letových dat	Air Data Computer
AHRS	Poziční referenční systém	Attitude and Heading References System
AMLCD	Maticové LCD displeje	Active-Matrix Liquid Crystal Display
CRT	Obrazovka z katodových trubic	Cathode Ray Tube
CS	Certifikační specifikace	Certification Specifications
ČR	Česká republika	Czech Republic
EADI	Elektronický systém pro zobrazení letových přístrojů	Electronic Attitude Direction Indicator
EASA	Evropská agentura pro bezpečnost v letectví	European Aviation Safety Agency
EFIS	Elektronický systém palubních přístrojů	Electronic Flight Instrument System
EHSI	Elektronický HSI	Electronic Horizontal Situation Indicator
FAA	Federální letecký úřad	Federal Aviation Authority
FAR	Federální letecké předpisy	Federal Aviation Regulation
FMS	Systém organizace letu	Flight Management System
GPS	Světový navigační systém	Global Position System
GPWS	Systém varování před terénem	Ground Proximity Warning System
HSI	ILS indikátor	Horisontal Situation Indicator
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví	International Civil Aviation Organization

IFR	Let podle přístrojů	Instrument Flight Rules
JAA	Sdružené letecké úřady	Joint Aviation Approval
L	Letecké předpisy	Aviation Regulations
LCD	Displej z tekutých krystalů	Liquid Crystal Display
LED	Luminiscenční dioda	Light Emitting Diode
LZ	Letová způsobilost	Airworthiness
MFD	Multifunkční displej	Multifunction Display
MTOW	Maximální vzletová váha	Maximum Take Off Weight
NASA	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku	National Aeronautics and Space Administration
NTSB	Národní úřad pro bezpečnost v dopravě	National Transport Safety Board
PFD	Hlavní letový displej	Primary Flight Display
RGB	Základní barvy (červená, zelená a modrá)	Red Green Blue
SVS	Systém syntetické vize	Synthetic vision system
SVT	Technologie syntetického vidění	Synthetic vision technology
TAS	Pravá vzdušná rychlost	True Air Speed
TCAS	Protisrážkový systém	Traffic Collision Avoidance Systém
VFR	Let za viditelnosti	Visual Flight Rules
VLA	Velmi lehké letadlo	Very Light Aircraft

1. ÚVOD

S postupným vývojem přístrojového vybavení na palubě velkých i malých letadel docházelo ke zvyšování zobrazovaných parametrů a zvyšoval se celkový tlak na posádku. S tím přišla i nutnost vytvořit nový systém, který by zjednodušil zobrazování parametrů na palubní přístrojové desce. Díky novým technologiím se povedlo vytvořit systém digitálního zobrazení známý pod názvem glass cockpit. Na palubě velkých dopravních letadel se tento systém osvědčil a s postupným rozvojem všeobecného letectví se začalo uvažovat jak zpříjemnit a zjednodušit létání na malých letadlech.

Tím, jak se zvyšovala celková dostupnost systému, snižovala se i cena glass cockpitů. Právě díky tomu nastal kolem roku 2005 rozmach v oblasti glass cockpitů pro letadla všeobecného letectví. Při výrobě nových letadel už braly výrobci v úvahu to, že by mohli v základní výbavě nabídnout zákazníkovi glass cockpit. Systém se stal pro piloty velice oblíbeným a od té doby stále roste počet strojů s tímto vybavením. Ať už to jsou nové stroje přímo z výrobní linky, nebo starší letadla, které si majitel chce modernizovat. S tímto systémem se posouvají možnosti pilotů na vyšší úroveň. Nese to však i svá bezpečností rizika, jako každý nový systém.

1.1. Cíle bakalářské práce

Cíle této bakalářské práce lze rozdělit do následujících dvou úrovní:

- Analýza dostupnosti displejových avionických systémů pro lehké cvičné letouny.
- Doporučení využití dostupných displejových zobrazovacích jednotek pro vybavení přístrojové desky lehkého cvičného letounu.

Tuto analýzu a doporučení lze využít při projektování nové přístrojové palubní desky, nebo při přestavbě stávající přístrojové desky na malém letounu. V několika následujících kapitolách jsou popsány předpisové požadavky pro přístrojové vybavení malých letounů, celkový vývoj přístrojů od počátku letectví až po glass cockpity, historický vývoj technologie glass cockpit a jeho použití na letecké technice, používané technologie a popis digitálních obrazovek, zhodnocení bezpečnostních rizik a doporučení na návrh přístrojové desky pomocí displejových obrazovek.

2. SEZNÁMENÍ S PŘEDPISY

2.1. Úvod

Na začátku velkého rozvoje letecké techniky v průběhu minulého století si zástupci jednotlivých států, které vyráběli letadla, uvědomili několik faktů. Do té doby nebyl kladen velký důraz na úroveň a způsob aplikace vědeckých disciplín v oboru bezpečnosti leteckého provozu. Tím pádem se pokusily výsledky těchto disciplín alespoň nějakým obecným způsobem specifikovat pomocí předpisů. Předpisy byly formulovány jako požadavky na letovou způsobilost (Airworthiness). Právě to vedlo k tomu, že základní návrhové filosofie dostaly prvotní legislativní rámec. Tyto legislativní postupy byly nejdříve zpracovány a schváleny jen na úrovni jednotlivých států a dosti se lišily. Teprve po podpisu Chicagské dohody v rámci organizace ICAO z roku 1943 byly předpisy uvedeny do mezinárodní úrovně.

V dnešní době existují dva základní soubory leteckých předpisů. Jedním z nich jsou evropské předpisy CS vydané Evropskou agenturou pro bezpečnost v letectví (EASA) a druhým jsou americké předpisy FAR vydané federálním úřadem civilního letectví (FAA). V těchto předpisech se letadla dělí podle různých hledisek (princip vznášení, uspořádání nosných ploch, apod.), ale pro nás nejdůležitější je rozdělení podle maximální vzletové hmotnosti (MTOW). Letadla jsou roztříděna do kategorií „Ultra Light“ (přibližná MTOW cca450kg – není jednotné pro všechny státy), kategorie „Very Light“ (v oblasti působnosti FAA je to do 750kg dle předpisu JAR VLA), kategorie „General Aviation“ (do 5760kg, podle předpisu FAR 23 nesou podkategorie Normal, Utility a Acrobatic) a kategorie „Transport Airplanes“ (MTOW vyšší, než 5760 kg, bez omezení horní hranice maximální hmotnosti letounu).

Během devadesátých let minulého století došlo ke sjednocení předpisů FAA a JAA a tím se sjednotili požadavky na letovou způsobilost (Airworthiness). Tyto sjednocené předpisy mají víceméně globální platnost. Jediné, co vysoce převažuje legislativní požadavky těchto předpisů, jsou požadavky na bezpečnost letů.

2.2. Certification Specification

Jsou certifikační specifikace vydané evropskou agenturou pro bezpečnost letectví (EASA). Tato práce je zaměřena na letadla do MTOW 5760kg, tudíž je pro ni platné předpisy kategorie CS-23 (certifikační specifikace pro letouny kategorie normální,

cvičná, akrobatická a pro sběrnou dopravu) vydané podle rozhodnutí výkonného ředitele EASA číslo 2010/008/R platné od 28. Září 2010.

Kategorie CS-23 platí pro letouny do devíti sedadel, vyjma sedadla pilota a MTOW 5760kg. Kategorie normální má zcela zakázané akrobatické prvky. Pro kategorii cvičná letadla platí částečná akrobatická omezení. Mají povolené vývrtky a náklony v zatáčkách dosahující maximálně hodnoty úhlu 90°.

Předpis určuje jaké je minimální přístrojové vybavení těchto letadel a jaká má být zástavba přístrojů, nebo přístrojových systémů a elektronických zobrazovacích jednotek. Ukazatele s elektronickou zobrazovací jednotkou, včetně jejich systémů a zástaveb a při uvážení ostatních systémů letounu, musí být navrženy tak, aby jedno zobrazení informace důležité pro pokračování v bezpečném letu a přistání zůstalo zachováno pro posádku bez nutnosti okamžitého zásahu kteréhokoliv pilota pro zajištění dalšího bezpečného provozu po jakékoliv jednotlivé poruše, nebo při pravděpodobné kombinaci několika různých poruch.

Předpis se dále zabývá uspořádáním a viditelností přístrojů tak, aby byly správně čitelné z každého řiditelného místa a neovlivňovali výhled z kabiny a bezpečnost letu.

2.3. Letecký předpis L6/II

V tomto předpisu je použit text Annexu číslo 6, který převzalo Ministerstvo dopravy ČR. Část II předpisu se zabývá provozem letadel. Přístroji, vybavením a potřebnou dokumentací se zabývá hlava 2.4 tohoto dokumentu.

K minimálnímu vybavení nutnému pro vydání osvědčení o letové způsobilosti musí být v letedlech zastavěny, nebo přepravovány vhodné přístroje, vybavení a letová dokumentace. To vše závisí na použití námi požadovaného letounu a okolností, podle kterých má být určitý let proveden. Předepsané přístroje, včetně jejich zástavby musí být přijatelné pro zápis do rejstříku daného státu.

Obecně se jedná o to, že letouny musí být vybaveny takovými přístroji a systémy, které posádce umožní dodržovat dráhu letu, provádět obraty a sledovat provozní omezení v daných podmínkách. Speciální podmínky na přístroje jsou kladeny pro lety VFR a IFR. Tyto podmínky jsou popsány v podkapitole 3.4 a 3.5 této práce.

2.4. Letecký předpis L8

V tomto předpisu je převzatý Annex číslo 8, zabývající se letovou způsobilostí letadel. Část V-6 předpisu L8, která je určená pro přístrojové vybavení a systémy navazuje na předpis L6/I a L6/II. Letoun musí být vybaven schválenými přístroji a systémy a jejich konstrukce musí vyhovovat zachování základních zásad lidského činitele. Přístroje a vybavení nutné pro vydání osvědčení o letové způsobilosti (OLZ) musí být rozšířeny o přístroje předepsané v předpisu L6.

Materiály o základních pojmech lidského činitele můžeme dohledat v dokumentech vydanými ICAO pod identifikačními čísly 9683 a 9758.

Konstrukce a zástavba přístroje musí být taková, aby byla zaručena nepřímá úměrnost mezi pravděpodobností poruchového stavu a jeho vlivu na letadlo a posádku. Dále musí plnit svou funkci za všech předpokládaných letových podmínek, a aby bylo co nejmenší elektromagnetické rušení mezi jednotlivými přístroji.

2.5. FAR 23

Jedná se o americký předpis vydaný federální leteckým úřadem (FAA). Tento předpis se zabývá letadly všeobecného letectví do MTOW 5760 kg a rozděluje je do několika kategorií. Normal (zákaz akrobacie), Utility (cvičné letadlo s omezením na částečnou akrobacii), Acrobatic (bez letových omezení) a Commuter (vícemotorové letadlo, poháněné vrtulemi s počtem sedadel menším, než 19).

FAR 23 obsahuje normy pro povolení způsobilosti ve výše zmíněných kategoriích. Tato část obsahuje obrovské množství právních předpisů k zajištění letové způsobilosti. Jsou v ní zahrnuty oblasti a součásti letadla, jako například strukturální zatížení draku, výkon, stabilita, komunikace, použité materiály, dokumentace a mnoho dalších. Platnost tohoto předpisu je od 1. Února 1965.

Co se týká přístrojů, tak předpis dohlíží na provedení a certifikaci dílů, použité materiály a dílenské metody. To vše je obsaženo v části D – design a konstrukce.

Součástí předpisu je i část zaměřená na testy příslušných systémů a popis přístrojů.

3. VÝVOJ A ROZDĚLENÍ LETECKÝCH PŘÍSTROJŮ

3.1. Historický vývoj

Z historického hlediska byl vývoj leteckých přístrojů úzce spojen s vývojem a výrobou letadel. S postupem doby rostly nároky na bezpečnou pilotáž letadla při letech ve větších výškách, zhoršených povětrnostních podmínkách a snížené viditelnosti. S těmito nároky rostl úměrně i počet přístrojů nutných pro zajištění bezpečného chodu letadla. Také postupný vývoj složitějších motorů vyžadoval stále složitější a přesnější měřící techniku tak, aby probíhala správná kontrola chodu motoru. Podle časové osy lze vývoj přístrojů rozdělit do čtyř základních generačních období.

Přístroje nulté generace - Jedná se o přístroje používané od začátku letectví do doby kolem začátku druhé světové války. V letadlech nebyla nutnost velkého počtu přístrojů. Jednalo se převážně o malý počet samostatných přístrojů především mechanického charakteru. Přístrojové systémy v této době vlastně neexistovaly.

Přístroje první generace – Na letadlech se objevovaly v rozmezí od roku 1940 do roku 1960. Jedná se hlavně o generaci přístrojů používaných na letadlech vojenské konstrukce během druhé světové války a poválečných strojích. Právě v této době se začínají objevovat první přístrojové systémy. Přístrojové systémy jsou soubory vzájemně propojených prvků, nebo spíše výrobků, určených ke společnému řešení určitých úkolů. Většina těchto systémů pracuje na analogovém elektrickém principu.

Z důvodu složitosti vzrostl strmě počet měřených a zobrazovaných parametrů převážně fyzikálního charakteru a vzrostl také počet radiotechnického vybavení na palubě. To mělo za následek snížení celkové přehlednosti palubní přístrojové desky letadla. S tím souvisí i zvyšování nároků a nákladů na údržbu přístrojů. Celkové zvyšování počtu letecké techniky mělo za následek také rostoucí počet firem vyrábějící přístrojovou techniku. Přístroje a systémy ale nebyly z hlediska konstrukčního a také signálového kompatibilní, čímž se zvyšovaly nároky na jejich vývoj, údržbu a provoz.

Přístroje druhé generace – Provoz na letadlech od roku 1960 do roku 1975. V této době probíhal rozmach letadel s reaktivním pohonem a s nimi spojených přístrojů. Vybavení těchto letadel je mnohem náročnější, než u soudobých vrtulových strojů. Došlo k dalšímu značnému navýšení počtu měřených veličin a parametrů. Hlavně tedy na motoru a draku letadla. Zvyšovaly se také nároky na přesnost měření veličin,

spolehlivost přístrojů a odolnost proti vnějším vlivům působících na letadlo. Prvek, který charakterizuje tuto dobu je využití elektroniky a polovodičových součástí v analogových obvodech na palubních přístrojích a systémech.

Ve skupině letových a pilotážně-navigačních přístrojů jsou zaváděny do provozu nové složité gyroskopické systémy doplněné o elektroniku. V kombinaci s radiotechnickými prostředky umožňují létání za snížené viditelnosti. Zavedení a zdokonalení autopilota bylo podmíněno zlepšením měřením motorových, letových a navigačních parametrů plus sledování určitých parametrů draku letadla. Velký důraz je kladen na spolehlivost přístrojů a systémů. Byly zavedeny častější pravidelné kontroly přístrojů a po určitých stanovených hodinách došlo na výměnu přístroje bez ohledu na jeho správnou funkci. V této době se také vysoce rozvíjí systém diagnostiky palubních přístrojů a do většiny letadel jsou zabudovány jednotky se zapisovači letových údajů. Obecně je známo, že vývoj systémů vojenských letadel předbíhá vývoj v civilním sektoru. To má velký význam i pro přístrojové vybavení civilních letadel. Většina letadlových přístrojů a systémů pracuje v tomto období na analogovém principu. Až v sedmdesátých letech se na palubě civilních letounů objevují první číslicové počítače

Přístroje třetí generace – Do této kategorie patří přístroje používané od roku 1975 až do současnosti. Přelom druhé a třetí generace je charakteristický přechodem na číslicovou techniku. Ta umožňuje využití mikroprocesorů a počítačů. To umožnilo vývoj složitých integrovaných systémů, které mohou snímat a zpracovávat určitou skupinu veličin dohromady, což nebylo u předchozích verzí možné. Údaje se zpracovávaly odděleně. Hlavní představitel tohoto období je např. aerometrický navigační systém. Ten se skládá z několika set prvků, řady mikroelektronických obvodů a několika podsystémů, které mají složité vzájemné vazby.

Dalším velice důležitým faktorem je rozsáhlá normalizace součástí probíhající v této době. Normalizace umožňuje sestavit systém z komponentů, které jsou vyráběné jinými výrobci. To velice snižuje celkové náklady. Obrovskou změnou je také způsob zobrazení informace k pilotovi. Tady dochází k zásadní změně, kterou je nahrazení analogových elektromechanických ukazatelů, používaných v druhé generaci, novými obrazovkovými displeji. Tyto systémy nám dovolují navolit zobrazení výstupu z několika systémů podle toho, který posádka aktuálně potřebuje k činnosti. Dále umožňují i zobrazení číslicových údajů. To se ve velké míře využívá v zobrazování

motorových veličin a parametrů. Například v tomto případě je zpravidla hlavní údaj analogový a jako doplňkový údaj na straně je přidán číslicový.

Elektrické dálkové přenosy jsou také přenášeny pomocí normalizovaných číslicových sběrnic. Diagnostika používaných systémů je průběžně kontrolována a z toho vyplývá neomezená činnost a dobu provozu systémů až do vzniku závady. V dnešní době nastává trend v zobrazování takový, aby posádka byla zatěžována co nejmenším možným způsobem. Tak aby data, která nejsou nezbytně nutná pro pilotáž, byla skrytá a zobrazila se pouze při překročení určitých limitních parametrů tak, aby posádka věděla o možném problému ihned. Kontrolu zajišťují samostatné měřící systémy, které okamžitě varují pilota o překročení dovolených hranic.

Celá technická oblast využívající na palubě letadel slaboproudá elektrická zařízení a elektrické signály, které se dále zpracovávají pomocí elektronických obvodů, se nazývá avionika. Avionika na rozdíl od předchozích období, kde byly náklady na údržbu přístrojů a vybavení mnohem nižší, zaujímá přední místo v celkových nákladech na provoz a údržbu současných dopravních i vojenských letadel.

Z důvodů, že je letecká doprava mezinárodní (celosvětová), zahrnují se do ní i určitá pravidla, úmluvy a zásady, podle kterých se musí výrobci řídit. Ty vznikly součinností mnoha mezinárodních organizací. Předpisy a požadavky na přístroje a systémy byly popsány v předcházející kapitole této práce.

3.2. Rozdělení palubních leteckých přístrojů

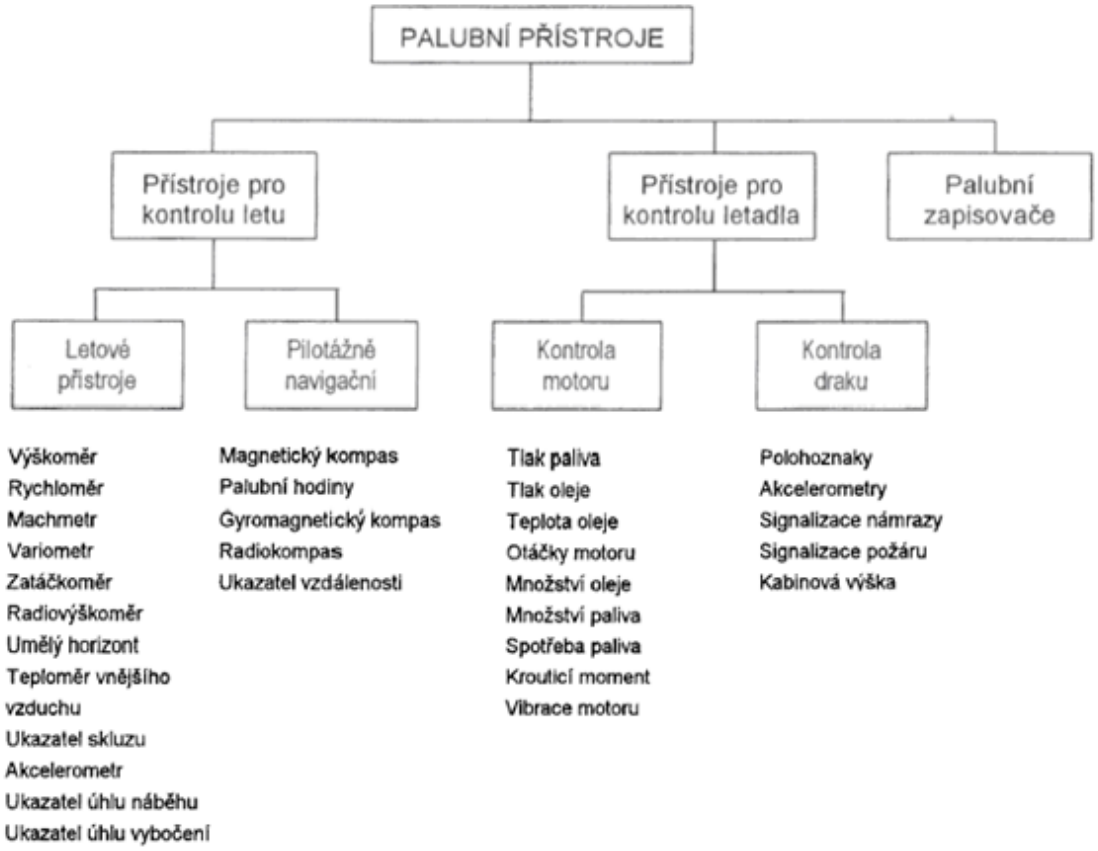
Letecké palubní přístroje lze brát jako informační prostředky, které slouží hlavně k měření fyzikálních parametrů a veličin souvisejících s letem letadla a následné zpracování do tvaru, které může využít posádka (nebo jiné zařízení) k ovládání letadla.

Přístroje letadel lze rozdělit podle několika různých hledisek:

- Podle účelu použití
- Podle použitého principu
- Podle druhu energie potřebné k jejich činnosti
- Podle přenosu
- Podle výstupního signálu indikační části

Další důležitý způsob dělení je podle způsobu zobrazení informace na přístroji. Podle tohoto kritéria lze přístroje rozdělit na klasické analogové (ručičkové), nebo na novější digitální (číslicové) zobrazení výstupních informací. Ručičkové přístroje jsou jednoduché, spolehlivé a levné, tudíž se od nich moc neustupuje. Spíše se používají jako záložní způsob zobrazení v pilotní kabině. Digitální zobrazení je používáno nejčastěji na indikaci stavu motoru, navigaci, nebo jako nahrazení starého řešení přístrojové desky za nově používané multifunkční obrazovky [2].

Rozdělení palubních přístrojů se liší podle funkce letadla. Rozdělení je jiné u cvičných a sportovních letadel a u dopravních a vojenských letadel. Veliký rozdíl je mezi jednotlivými typy dopravních letadel. Moderní typy jsou vybaveny systémy třetí generace. Pro výukové účely se převážně používal jednodušší systém zobrazování informací, ale v poslední době je vývoj upnutý v podstatě právě na výbavu moderními glass cockpity. Pro představení jsou na obr. 1 a 2 zobrazeny rozdělení palubních přístrojů typické pro letouny vybavené 2. a 3. generací přístrojů.



Obr. 1 – Palubní přístroje druhé generace [2]

Obr. 2 – Palubní přístroje třetí generace [2]

3.3. Srovnání koncepce analogových a digitálních zobrazovacích systémů

Základní linie analogových přístrojů je složena ze šesti hlavních letových přístrojů: Umělý horizont, výškoměr, rychloměr, variometr, sklonoměr a kompas. Tyto přístroje se nacházely přímo v zorném poli pilota. U cvičných letounů měl každý pilot svou sadu přístrojů v zorném poli. Tyto přístroje byly, co se týká průměru čelního zobrazení největší a velice často se tato šestice přístrojů oddělovala buď bílým olemováním, nebo jejich podklad byl jinou barvou plechu. Podle určení letounu se dále doplňovaly o další potřebné přístroje pro kontrolu letu a hlavně motorových veličin. Dále pak o záložní přístroje potřebné pro zvýšení bezpečnosti letu.

Dalším pokrokem bylo zavedení displejových obrazovek na místo klasického analogového zobrazení. Toto zobrazení bylo zpočátku používáno pouze na dopravních a vojenských letounech a jednalo se o displej, který zobrazoval jen několik údajů. Technologie zatím neumožňovaly spojení několika přístrojů do jediného zobrazení. Tato fáze se vyhnula všeobecnému letectví z důvodu obrovské ceny, která byla neúměrná k pořizovací ceně letounu. K zobrazení se používali první CRT obrazovky.

Postupný rozvoj technologií umožnil použít systém (EFIS), který zobrazí na jediném displeji několik potřebných údajů tak, aby nemátly posádku a daly se plně

využít. Zvýšením dostupnosti a ceny LCD obrazovek se začaly objevovat digitální zobrazovací prvky na palubách malých letounů. Obrazovky umožní spojit šest základních přístrojů do jediného digitálního zobrazení. Uprostřed zobrazení je umělý horizont. Na levé straně je umístěna stupnice se zobrazením rychlosti, včetně obdélníku s aktuální rychlostí. Na pravé straně ukazuje stupnice výšku letu se zvýrazněným aktuálním údajem. Variometr se umisťuje většinou na pravou stranu. Pod umělým horizontem je umístěna ružice kompasu v různém provedení. Údaje sklonoměru jsou zobrazeny různě podle dané koncepce výrobce. Toto uspořádání se osvědčilo a většina společností drží tento standart. Podle účelu letounu se vedle obrazovek přidávají základní záložní přístroje, nebo některé přístroje o stavu motorových veličin. Obecně se ale využitím digitálních displejů snížil počet ukazatelů na přístrojové desce. Moderní koncepce už počítají pouze s využitím digitálních obrazovek i jako záložní zobrazovací jednotky pro malé cvičné letouny.

Obr. 3 – Srovnání palubní přístrojové desky letounu Cessna C172S [14]

3.4. Požadavky kladené na palubní přístroje

Veškeré palubní přístroje jsou taková zařízení, na jejichž bezchybné funkci závisí správné ovládání letadla a s tím spojená bezpečnost posádky a cestujících letadla. Proto musí vyhovovat určitým základním požadavkům. Podle druhé kapitoly mojí práce na základě národního předpisu L8 a s ohledem na normy směrodatné pro výrobce malých letadel vycházejících z předpisu pro certifikaci (FAR 23, nebo JAR 23) je nutné splnit jejich průkaz. S ohledem na složitost a citlivost letecké techniky nelze používat klasické měřící techniky. Na letecké přístroje jsou kladeny mnohem náročnější podmínky. Díky tomu je vyžadováno speciální konstrukce, použití prvků a především materiálům, které níže uvedeným podmínkám vyhoví. Základní podmínky na palubní přístrojové vybavení jsou následující:

- Dostatečná přesnost, citlivost a tlumení přístroje
- Spolehlivost při provozu
- Malý objem a váha
- Odolnost vůči zrychlení a otřesům
- Necitlivost na změny (teplota, tlak, vlhkost)
- Snadné a pohodlné čtení ve dne i v noci
- Přístroje nesmí být zdrojem rušení
- Malá spotřeba energie
- Snadná montáž a údržba
- Cenová dostupnost

Tyto uvedené požadavky platí na letecké přístroje všeobecně. Existují přístroje, pro které část zmíněných požadavků neplatí. Jsou to takové přístroje, kterými se veličina, vůči níž mají být necitlivé, měří. Například magnetický kompas, barometrický výškoměr apod.[12].

3.5. Popis přístrojového vybavení pro lety VFR

Minimální požadavky pro přístrojové vybavení jsou určeny předepsaným druhem letu, kterému musí dané letadlo vyhovovat. Předpisy u nás požadují pro lety za viditelnosti (VFR) následující základní přístrojové vybavení:

- Magnetický kompas
- Přesné palubní hodiny se zobrazením hodin, minut a sekund

- Citlivý barometrický výškoměr
- Rychloměr
- Doplňkové přístroje, nebo vybavení dle doporučení ÚCL

3.6. Popis přístrojového vybavení pro lety IFR

Všechny letouny letící podle pravidel letu podle přístrojů (IFR), nebo za určitých podmínek, při kterých se letadlo nemůže udržet v dané žádoucí letové poloze bez údajů jednoho, nebo více letových přístrojů, musí být vybaveny navíc přístroji uvedenými níže. Tyto ukazatele, které jsou spíše charakteristické pro vybavení přístroji druhé generace, se mohou vyskytovat i u malých cvičných letadel o hmotnosti (MTOW) do 5700 kg. Jde především o tyto indikátory:

- Zatáčkoměr s příčným sklonoměrem
- Umělý horizont (ukazatel letové polohy)
- Ukazatel kurzu (směrový setrvačník)
- Zařízení pro kontrolu správné činnosti setrvačníků
- Dva citlivé barometrické výškoměry
- Přístroje indikující teplotu vnějšího vzduchu do kabiny
- Přesné palubní hodnoty se zobrazením hodin, minut a sekund
- Rychloměr se zařízením pro odstranění účinků námrazy, nebo kondenzace
- Variometr pro měření vertikální rychlosti

Požadavky uvedené pro lety VFR a IFR jsou rozšířeny pro potřeby letu v noci, lety nad mořem atd. Tyto požadavky předepisují jen základní vybavení, které je nezbytné. Z prvního pohledu na přístrojovou desku je patrné, že výbava letadel je ve skutečnosti mnohem složitější. Kromě tohoto přístrojového vybavení je při provozu letadel nutné mít funkční a schválenou radiokomunikační stanici. To je potřebné pro navázání letadlové stanice s pozemní stanicí, především v prostoru pro vzlet a přistání.

4. GLASS COCKPIT A JEHO HISTORICKÝ VÝVOJ

4.1. Termín glass cockpit

Glass cockpit je termín označující osazení palubní desky elektronickými digitálními přístroji. Tento termín je dobře známý, ale ve skutečnosti odkazuje na zavedení systému FMS (Flight management systém) pro monitorování a ovládání letadla. Používají se zejména displeje typu LCD a CRT namísto tradičních analogových ciferníků a měřidel. Na místě, kde se tradiční koncepce cockpitu opírala o četné mechanické měřidla k zobrazování informací, glass cockpit využívá jen několik displejů vedených systémem FMS. Informace o letu lze na displeji nastavovat libovolně dle potřeby pilotů. To velice zjednodušuje provoz letadel a navigaci.

Hlavní výhodou je, že se posádka zaměří pouze na nejvíce potřebné informace. S rostoucím vývojem displejů na palubě letadel jde ruku v ruce také vývoj senzorů, které musí být schopny přesně a spolehlivě měřit všechny potřebné veličiny tak, aby nebyla ohrožena bezpečnost letu. Tradiční gyroskopy byly nahrazeny systémem AHRS (Attitude and Heading Reference Systems) a systémy ADCs (Air data computers). Tímto se zlepšila spolehlivost a snížili se náklady na potřebnou údržbu. Součástí těchto systémů jsou také GPS přijímače, které jsou obvykle integrovány přímo do kabiny.

4.2. Historie vývoje

Před rokem 1970 byla letecká doprava považovaná za přepravu, která není dostatečně náročná na to, aby se používalo moderního vybavení, jako jsou elektronické letové displeje. Dalším důvodem byl fakt, že výpočetní technika té doby nebyla na takové úrovni, aby byla schopná vytvořit lehké a výkonné obvody k použití na letecké technice. Ale poté se začala měnit složitost dopravních letadel, razantně vzrostl počet letadel ve vzduchu a přicházely stále nové digitální systémy.

V polovině osmdesátých let dvacátého století měl průměrný dopravní letoun už více než sto přístrojů a ovládacích prvků. Primární letové přístroje byly již přeplněny různými indikátory, příčkami a symboly. To samozřejmě zvyšovalo zatížení posádky letounu a snižovalo její pozornost. A rázem tu bylo mnohem větší nebezpečí lidského selhání, než v letech minulých. Jako výsledek tohoto trendu začala NASA provádět výzkumy, které by mohly pomocí dostupných technologií a surovin vytvořit jednotný systém zobrazování. Systém integrující letová data a systémy letounu do snadno

srozumitelného obrazu o letových situacích. Vývoj vyvrcholil sérií zkušebních letů pod záštitou NASA. Zkušební lety potvrdily schopnosti funkce Glass cockpitu a položily základní kámen pro další vývoj systému.

Úspěch NASA na zapracování glass cockpitu se odráží na přijímání nového elektronického letového systému s využitím displejů do komerční letecké přepravy. Počínaje rokem 1979, kdy byla zavedená nová technologie do letounu Mc Donnell Douglas MD-80. Letecké společnosti a jejich partneři slavili díky zavedené novince úspěch. Bezpečnost a účinnost letů se tímto zvýšila a zlepšilo se celkové situační povědomí pilota letounu vzhledem k okolnímu prostředí.

Do konce roku 1990 se displeje z tekutých krystalů (LCD displeje) stávaly čím dál více oblíbenými mezi výrobci letadel. Především pro jejich efektivitu, spolehlivost a snadnou čitelnost. Dříve trpěly LCD displeje špatnou čitelností na některé pozorovací úhly a na špatné odezvy, což je pro leteckou dopravu nevhodné. Postupným vývojem se však podařilo tento problém vyřešit. V dnešní době už moderní dopravní letouny využívají přístrojové desky osazené jednotkami z LCD displejů.

Glass cockpit se stal standardním vybavením dopravních letadel, business jetů a vojenských letadel. Tato technologie dokonce našla uplatnění u samotné NASA. Její raketoplány Atlantis, Columbia, Discovery a Endeavour a ruský Sojuz TMA používaly tento systém. Koncem století se začaly objevovat letadla se glass cockpity také v oblasti všeobecného letectví. Od roku 2005 základní cvičné letouny jako Piper Cherokee a Cessna 172 nabízejí možnost koupit letoun s glass cockpitem. Od té doby si většina zákazníků podle dostupných údajů vybírá právě tyto verze. Jejich pořizovací cena se díky rozvoji dostupných technologií snížila a je cenově konkurenceschopná s klasickými analogovými zobrazovacími prvky. A mnoho moderních letadel, jako dvoumotorový cvičný Diamond DA42 a Cirrus design SR20 a SR22 jsou již k dispozici pouze jen ve verzi s glass cockpitem. Další výrobci nabízí verzi řešenou pomocí glass cockpitu, jako součást objednávky vybavení nového letounu.

4.3. Použití

Na rozdíl od minulých období, kde návrháři kopírovali vzhled z tradičních CRT displejů, jsou nové LCD skutečně velkým krokem kupředu. Vypadají a chovají se podobně jako normální počítače s operačním systémem a daty. S daty lze manipulovat

dotykově (Point & Clik systém). Do databáze je přidána mapa terénu, předpověď počasí, vertikální zobrazení a 3D navigace.

Zdokonalená koncepce umožňuje tvůrcům letadel přizpůsobit kabiny ve větší míře, než dříve. Většina výrobců se rozhodla vytvářet ve stejném stylu, ale jsou i výjimky, které používají vstupní zařízení ve stylu trackballu, touch padu, nebo joysticku. Mnohé změny, které nabízejí výrobci, zvyšuje povědomí o situaci letounu a přizpůsobuje rozhraní člověk – stroj, pro zvýšenou míru bezpečnosti.

Moderní glass cockpity by mohly také zahrnovat syntetickou vizi (SVS), a nebo systém podporující vidění (EDS). Systém syntetické vize zobrazuje reálně v čase 3D zobrazení vnějšího světa (podobně jako v simulátoru) na základě databáze terénu a informací o poloze získané z navigačních systémů letounu. Nejvyšší místa v terénu jsou barevně odlišeny z důvodu lepší interpretace výstupní informace. Rozšířený kamerový systém přidává v reálném čase informace z externích senzorů.

Nejrozšířenějším systémem u těchto letadel je systém od společnosti Garmin s označením G1000. Tyto systémy jsou nyní k dispozici u mnoha letadel, včetně klasické Cessna 172. Mohou jím být upravena i některá malá letadla.

Modernizace zobrazení pilotní kabiny je v této době populární i pro dovybavení starších soukromých turbovrtulových i proudových letounů. Jako například Dassault Falcon, Bombardier Challenger, Cessna Citate, Gulfstream, King Air, Learjet, Aster a mnoha dalších. Letecké společnosti poskytují služby v úzké spolupráci s výrobci k zařízení podle potřeb majitelů těchto letadel.

5. OBRAZOVKOVÉ DISPLEJE

5.1. Elektronické zobrazovací prvky

Přístroje použité na soudobých letadlech, ať už vojenských, civilních, nebo cvičných jsou tvořeny převážně přístrojovým vybavením třetí generace. U těchto přístrojů jsou signály snímačů přenášeny pomocí letadlových sběrnic a vyhodnocovány pomocí palubních počítačů. U tohoto způsobu zpracování měřených veličin se k zobrazení používají především obrazovkové displeje (plazmové, elektroluminiscenční, nebo displeje ze svítivých diod). Zvláštní skupinu pak tvoří tzv. průhledové displeje, které našli uplatnění převážně ve vojenských strojích a jen v malém procentu dopravních letadel. Ale dle mého názoru se tato technologie bude v budoucnu zlevňovat a bude cenově dostupná i pro cvičná letadla a pro letadla všeobecného letectví. Ve všech popsaných případech se ale jedná o zobrazení informací posádce pomocí elektronických zobrazovacích prvků.

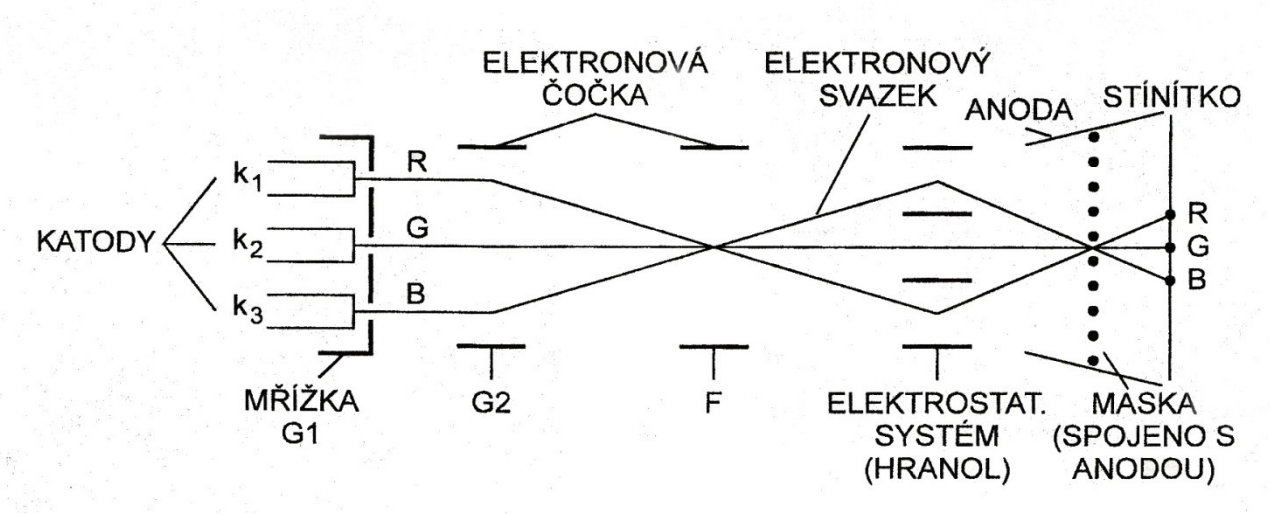
Elektronické zobrazovače jsou většinou kombinovány s mechanickými z důvodu zálohování informací. Elektromechanické ukazatele jsou v tomto případě pouze jako záložní v případě selhání hlavního systému. Ale není výjimkou, že se jako záložní přístroje využívají také obrazovkové displeje, ale menších rozměrů. To je ale spíše věc velkých dopravních strojů, u malých letadel se využívají opravdu minimálně.

Co se týká srovnání obrazovkových displejů a klasických elektromechanických ukazatelů, tak mají displeje řadu výhod. Z hlediska zpracování signálu je to nepřítomnost mechanických prvků při zobrazování měřené veličiny. Obrovskou výhodou těchto displejů je rozsah zobrazovaných informací. To umožňuje značné rozšíření a zobrazení informací (např. navigační informace), které na klasických přístrojích zobrazit nelze. Další velice důležitou výhodou je také možnost nastavení různých veličin a situací jednoduchým přepínáním výstupu na obrazovce multifunkčního displeje. Tato vlastnost zajišťuje zálohování informací. V případě selhání, nebo poruchy jedné obrazovky se dají informace přepnout na jiné obrazovce.

Vývojově starší jsou obrazovky s technologií žhavenou katodou CRT, které pracují na obdobném principu, jako televizní obrazovky. Postupem času byly starší CRT obrazovky nahrazovány modernějšími a perspektivnějšími obrazovkami typu LCD. CRT obrazovky se na palubách letadel už prakticky nevyskytují.

5.2. CRT obrazovky

Jedná se o displeje se žhavenou obrazovkou. Konstrukce těchto obrazovek je velice podobná, jako u obrazovek použitých na televizních přijímačích. Nejvíce se používá obrazovka typu Trinitron, která je patentována japonskou firmou Sony. Využívá se kvůli požadovanému jasu při klasickém denním osvětlení a také pro svou odolnost proti vnějším vlivům, což je jedna z podmínek užití na letecké technice. Na obrázku 4. je znázorněno základní uspořádání Trinitronu.



Obr. 4 – Uspořádání Trinitronu [2]

Princip je založený na vystřelování paprsků z katodové trubice obrazovky, které jsou dále usměrněny elektromagnetickým polem a dopadají na stínítko. Předtím prochází přes masku, která omezuje jejich rozptyl a přesně je usměrňuje na určené místo. Stínítko je tvořeno kovovou děrovanou fólií a je na ní vykreslován obraz. Luminofory jsou přichyceny na fólii a jsou rozděleny do malých buněk. Luminofor je látka na chemické bázi, která při dodání energie vyzařuje světlo. Každá buňka je tvořena trojicí luminoforů. Jeden je červený, druhý zelený a třetí modrý. Od toho se také odvíjí označení anglickým názvem RGB.

Maska je vzhledem k luminoforu umístěna tak, aby každý paprsek dopadal na odpovídající barvu luminoforu. Luminofory po rozsvícení rychle pohasnou, tudíž je nutno proces opakovat (pomocí vychylovacích cívek). Nejčastěji se používají obrazovky čtvercového tvaru s aktivní plochou stínítka. Strana obrazovky je v rozmezí 7,5 až 15 cm dle příslušných norem pro přístroje.

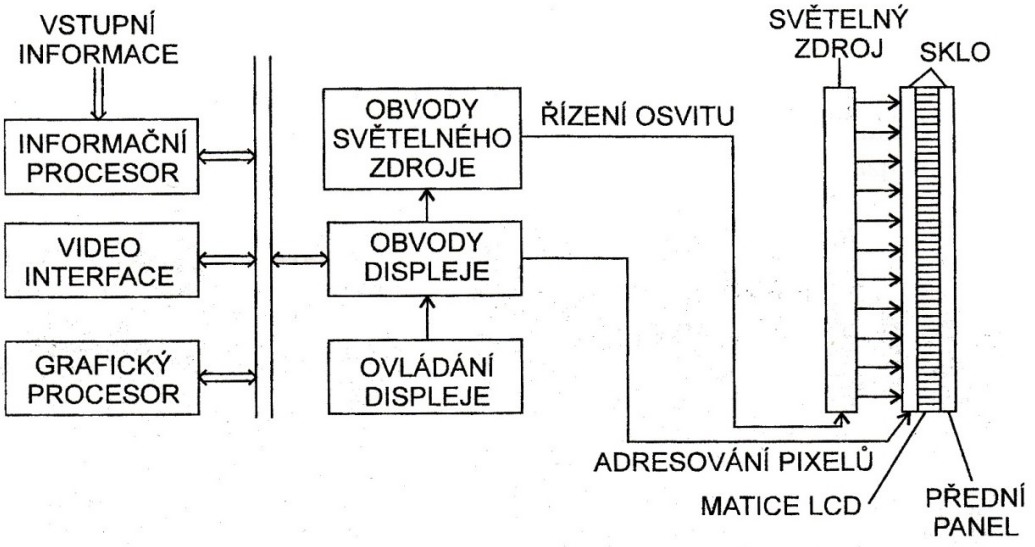
5.3. LCD obrazovky

Jsou to displeje složené z tekutých krystalů. Princip je založen na dielektrické a optické anizotropii některých látek. Kvůli dielektrické anizotropii zabírají molekuly tekutého krystalu v elektrickém poli určitou přednostní polohu. Poloha má za následek určitou změnu optických vlastností. Vyžadují poměrně malé množství elektrické energie a díky tomu mohou být napájeny pouze z baterií. Výhodou je, že displeje z tekutých krystalů nemají špatný vliv na zrak člověka.

Každý pixel se skládá z molekul tekutých krystalů, které jsou uloženy mezi dvěma průhlednými elektrodami a dvěma polarizačními filtry. Důležité pro správnou funkci LCD obrazovky je, aby osy polarizace byly na sebe kolmé.

Na palubních deskách letadel se používá nejčastěji maticové LCD displeje. Tzv. AMLCD. Ty jsou složené z prvků, které odpovídají barvám R,G,B. V současné době jsou rozměry vyráběných displejů v rozmezí od 7,5 až do 18 cm. Hlavní výhody oproti CRT obrazovkám jsou menší napájecí napětí a lepší čitelnost při slunečním osvětlení. LCD displeje při nízkých teplotách přestávají plnit svoji funkci, tudíž se musí ohřívat.

Popis konstrukce a uspořádání obvodů je na obrázku 5. Vstupní informace se zpracovávají v informačním procesoru v obvodech videa. Grafický procesor generuje symboly a pozadí. Obvody displeje provádí vyhřívání displeje a adresy jednotlivých buněk. Displej funguje na principech změny propustnosti barevného spektra pomocí zdroje světla [2].

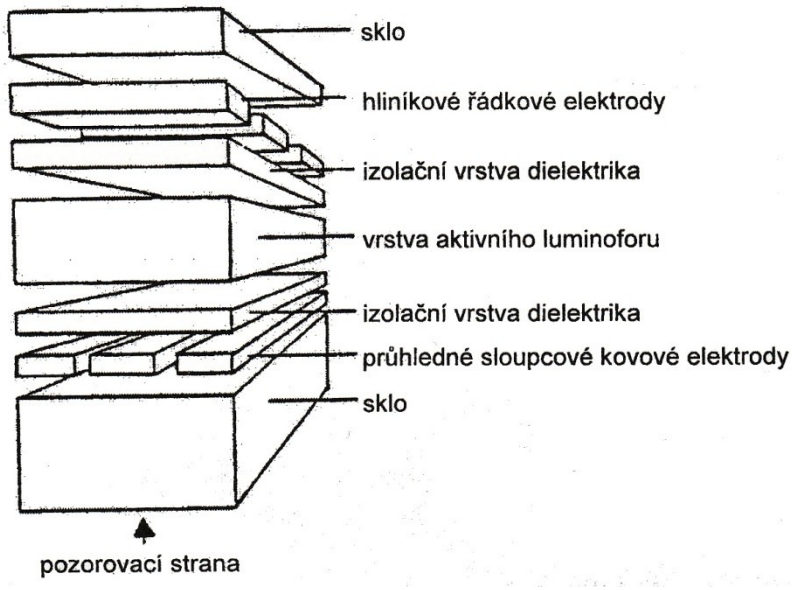


Obr. 5 – Displej typu AMLCD [2]

5.4. Displej s luminiscenčními diodami

Principem tohoto displeje je vznik emise světla při průchodu proudu v propustném směru luminiscenční diody (LED- Light emitting diode). Barva výstupního světla závisí na materiálu použitém na přechodu a příměsích. Nejčastěji využívané barvy jsou červená, zelená a žlutá. Světelné diody se seskupují do matic a jsou využity k číslicovému zobrazování údajů a veličin. Nejvíce se tato technologie využívá u analogových ukazatelů motorových veličin.

Analogovou část ukazatele tvoří stupnice, která je vykreslena barvami, které zobrazují jednotlivá pásma a ručičkou. Ručička je tvořena minimálně třemi luminiscenčními diodami. Pohyb ručičky po pásmu je realizován pomocí řídícího procesoru. Uprostřed ukazatele je bodová matice diod, která tvoří ucelené číslo, jako doplňkový údaj. Nevýhodou těchto displejů je tvorba velkého tepla a s ním spojený odvod tepla z displeje. Způsob zobrazení pomocí luminiscenčních diod je na obr. 6.



Obr. 6 – Displej s luminiscenčními diodami [2]

6. SOUČASNÉ NABÍDKY GLASS COCKPITU A JEJICH POPIS

Náplní této kapitoly je zhodnocení současných možností nabízených glass cockpitů od různých výrobců a popis produktů, které tyto výrobci nabízí. Současně také přiblížit funkci a ovládání těchto produktů a jejich využití na letecké technice. Zhodnotit finanční možnosti a jejich ceny. Všechny níže uvedené produkty jsou vyráběné firmami ze zámoří, ale mají certifikace a splňují požadavky pro provoz v Evropě.

6.1. Společnost GARMIN International

Tato společnost je jednou z nejznámějších firem, která využívá technologie GPS. Od založení společnosti roku 1989 se společnost postupně stala světovou jedničkou na navigaci a přístroje s ní spojené. Zabírá širokou škálu odvětví využívající navigaci od automobilů, přes námořnictvo až po letectví. Firma má zastoupení v Americe, Evropě i Asii. Hlavní sídlo společnosti je ve městě Kansas city v USA. V dalších podkapitolách budou popsány produkty, které vyhovují naším požadavkům pro malé cvičné letadlo. Podle amerických předpisů FAR 23.

6.1.1. GARMIN G500

Tato základní varianta avionického systému byla speciálně navrhnuta pro letadla certifikovaná podle předpisu FAR 23 pro kategorie normal a utility. G 500 je dobře dostupný, dvou obrazovkový, elektronický letový systém, který spolupracuje s avionickými komponenty od společnosti Garmin. Jedná se o základní verzi glass cockpitu, která nahrazuje více letových přístrojů pomocí dvou obrazovek.

Tyto dvě desetipalcové obrazovky dokážou nahradit 6 základních letových přístrojů klasických rozměrů. V mnoha případech lze tyto klasické přístroje (jako např. rychloměr, umělý horizont, výškoměr atd.) použít jako záložní přístroje a přemístit je do jiné části palubní desky. To vše se odvíjí od typu letadla.

Dvojice obrazovek typu LCD instalovaná po stranách v rámečku umisťuje hlavní letový displej (PFD) a multifunkční displej (MFD) přímo do zorného pole pilota. To umožňuje zefektivnit zobrazení. V reálném čase je možno sledovat pravé vzdušné rychlosti (TAS), stejně tak, jako GPS aktivní traťové body. Jejich vzdálenost k traťovým bodům, skutečnou dráhu a další. Obrazovky patří do třídy B, což znamená, že jsou čitelné i v noci a za použití brýlí, nebo jiných optických přístrojů.

Na levé straně PFD displeje jsou seskupeny všechny základní situační údaje o pozici letadla a rychlost (poloha, vertikální rychlost, výška letu, atd.). Pro větší vizuální orientaci lze využít rastrovanou verzi technologie SVT, ta nabízí zvýšení možností k vytvoření představy o virtuální realitě o terénu před námi. Znázornění a barevné odlišení terénních překážek před námi.

Při pohledu na displej MFD se nám hned naskytnou základní informace o mapě. Poskytuje pohyblivou grafiku mapy, letadla, aktuální pozici vzhledem k zemi, navigační prostředky, grafy dat a další navigační informace.

Ovládání G500 je jednoduché pomocí jednoho otočného tlačítka, a měkkých tlačítek pro výběr modů. Dále obsahuje vstup pro kartu SD pro výběr dat a zlepšování systému. Namísto citlivých gyroskopů používá systém G500 spolehlivý systém s označením GRS 77 s funkcí AHRS se vstupy zavedenými do GPS. To poskytuje přesný digitální odkaz na orientaci letounu v prostoru.

Tento systém je naprosto kompatibilní se systémy autopilota, které se využívají v těchto třídách letadel. A lze přepnout obrazovku na hlavní údaje autopilota. Systém nabízí velkou škálu doplňků, jako například informace o počasí, radarové systémy, antikolizní systém (TCAS). Záleží jen na koupi doplňkových senzorů. To může velice zvýšit úroveň celého glass cockpitu s G500 na palubě letadla.

Obr. 7 – Obrazovky systému G500 [7]

6.1.2. GARMIN G1000

Úvodem je třeba se zmínit, že systém G1000 je v současné době jedním z nejoblíbenějších a nejpoužívanějších systémů technologie glass cockpit. Co se týče této řady avionických systémů v porovnání s předchozími, je, jak je patrné, podle označení, nejnovější. Rozdíl od předešlých G500 a G600 je ten, že tento systém už je plně využitelný při plánování výroby letadel, tzn., že jako jediný lze zpracovávat do palubní desky už při jejím prvotním vývoji. Systémy jsou od počátku vyvíjeny jako systémy doplňkové, které mají nahradit stávající analogové přístroje a podstatně tak oživit přístrojovou desku a zjednodušit orientaci v prostoru a snížit zátěž pilota.

Od prvopočátku je systém G1000 označován jako plně digitalizovaná přístrojová deska. Její určení je pro široké spektrum obchodních a cvičných letadel, ale je brán ohled i na zákazníky, kteří mají zájem si předělat přístrojovou palubní desku na moderní vzhled. Společnost Garmin v tomto vychází velice vstříc zákazníkům a jsou k dispozici i návrhy na přestavbu pro nejrůznější typy letadel. Systém G1000 umožňuje snadnější získávání a zpracování informací o letu a spolu s designem přináší novou úroveň situačního povědomí, jednoduchosti a bezpečnosti do pilotní kabiny.

G1000 nám dává spoustu letových dat přímo na dosah ruky. Jeho obrazovky nám přibližují údaje o letu, navigaci, počasí, terénu, dopravní situace, motorových údajů a mnoho dalšího na velkoformátových displejích s vysokým rozlišením obrazovky.

Díky dobře flexibilnímu designu si lze snadno přizpůsobit zobrazení. G1000 se dokáže přizpůsobit široké škále používaných letadel. Může se volit buď konfigurace s dvěma, nebo se třemi obrazovkami. Je tu možnost na výběr z 10-ti, nebo 12-ti palcových obrazovek s technologií LCD displejů, které lze rozdělit na primární letový displej (PFD), nebo na multifunkční displej (MFD). Volitelná je i konfigurace s 15-ti palcovým formátem, což už je velice dostatečné pro přehled v pilotní kabině.

G1000 nabízí oproti předešlým modelům modernější pojetí systému AHRS. U systému G1000 jsou již klasické gyroskopy vyměněny za přístroje společnosti Garmin s označením GRS77 se zabudovaným systémem AHRS. AHRS poskytuje přesný digitální výstup a odkazuje na aktuální polohy letadla, vektorování, rychlosti, zrychlení atd. Oproti předešlým systémům můžeme systém AHRS restartovat a správně nastavit i během samotného letu, což je podstatná výhoda.

G1000 je obohacen o autopilota typu GFC 700. Tento autopilot je první zcela nově navržený a certifikovaný pro použití pro 21. století. GFC je schopen používat všechny dostupné údaje od snímačů k tomu, aby plnohodnotně navigoval systém G1000. Součástí toho je i schopnost regulace rychlosti a optimalizování výkonu tak, aby nedošlo k překročení jednotlivých obálek.

Další věc, která je obsažena v systému G1000 už v základu je integrovaná databáze terénu a navigace. Databáze společnosti Jeppesen podporuje obrazovkovou navigaci, mapovací funkce a komunikaci. Další funkce lze dokoupit a instalovat volitelně podle potřeby. Např. informace o pojezdových drahách, pozici letadla na ploše obdobně, jako to bylo u předešlých verzí. Při dokoupení databáze s pojezdovými drahami jsou k dispozici různé verze. Pro americký trh jsou v databázi více, než 650 letišť rozkreslených v diagramech. Součástí jsou i elektronické verze postupů, pro rychlé nalezení příjezdů k terminálu apod.

Displej na G1000 obsahuje grafické kódování terénu pomocí GPS a databází a dokáže sledovat a varovat před nebezpečím, které se blíží v podobě terénu. Současně je možné rozšířit systém o varování třídy B protisrážkového systému.

Jak již bylo zmíněno systém G1000 obsahuje v základním vybavení patentovanou technologii Garmin SVT. Tato technologie syntetického vidění je k dispozici pro vytvoření 3D virtuální reality krajiny a zobrazuje se oběma pilotům, podle toho, jak si obrazovku navolí. SVT přibližuje představu o blízkém letu a zobrazuje funkce traťových a navigačních bodů. V základní verzi i pro lety v IFR, nebo VFR.

Jako další volitelná funkce je možné dokoupit informace o počasí a radarové situaci. Pomocí přijímačů GDL69, nebo GDL69A, které jsou součástí dovybavení, je možné mít přístup k databázím s vysokým rozlišením především pro počasí v USA i Evropy. Přijímač GDL69 umožní stanovit mnoho funkcí na obrazovku a pomocí databáze map zobrazí počasí, nebo námi volenou funkci přímo do mapy. Pro globální informace o počasí slouží přijímač GSR56 umožňující připojení k síti Iridium napojené na satelit. Ten poskytuje hlasové a textové zprávy pro lepší analýzu počasí.

Společnost Garmin nabízí i výukové materiály a podklady pro přestavbu přístrojové desky pro tyto značky letadel: Beechcraft, Bell, Cessna, Cirrus, Diamond, Embraer, Mooney, Piper, Quest a Socata, tak aby plně vyhověla požadavkům zákazníků a hlavně, aby byla větší míra bezpečnosti při přechodu na novou techniku.

Společnost Garmin udělala obrovský krok před konkurencí s integrovanou digitální avionikou už zavedením GPS430/530, která se postupně začala objevovat téměř ve všech nově vyráběných letadlech. G1000 už opravdu lze považovat za vrchol vývojové řady a dokončení vize zabudování úplného glass cockpitu. Trochu přibližuje technologie, které se využívaly v proudových letadlech pilotům všeobecného letectví. Fakt je ten, že v některých schopnostech je G1000 lepší, než třeba avionické vybavení dopravních letadel typu Boeing. Garmin G1000 je bezesporu nejrozšířenějším systémem glass cockpit. Je to už základní vybavení u většiny výrobců letadel pro všeobecné letectví. U cvičných letadel ze zámoří se tento systém těší obrovské oblibě. Například na letounu Cessna 172 je výbava s G1000 plně cenově srovnatelná s verzí klasickou, tj. s analogovými přístroji. Po uvedení některých cvičných letounů s inovovanou palubní přístrojovou deskou na trh, vybavenou právě systémem G1000, došlo k okamžitému zájmu a objednávkám ze strany zájemců.

Cena tohoto produktu je odlišná od výrobců letadel a každý má jiné ceny pro příplatky za vybavení G1000, ale obecně se cena pohybuje okolo $ 60000 (cca 1100000 Kč) [1].

Obr. 8 – Obrazovky systému G1000 [1]

6.2. Společnost ASPEN AVIONICS

Společnost Aspen Avionics je další společností, které se specializuje na zavedení nejpokročilejších technologií a jejich funkcí do všeobecného letectví. Tyto výrobky zvyšují situační podvědomí o poloze letadla a snižují tak pracovní zatížení pilota. Zároveň zvyšují bezpečnost při letech za VFR, nebo IFR podmínek. Aspen Avionics se snaží brát tyto produkty z jiného pohledu a to tak, aby cena produktů byla přijatelná,

snadno se instalovala do přístrojové desky a dobře se ovládala. Společnost se zaměřuje na výrobu jednodušších MFD a PFD displejů než například společnost Garmin. Tato společnost je se sídlem ve spojených státech v městě Albuquerque ve státě Nové Mexiko. Základem jejich filosofie je skládání jednotlivých displejů do různé podoby glass cockpitů. Obrazovky jsou velikostně i funkčně podobné a tudíž lze sestavit několik variant tak, aby zákazník měl to, co potřebuje. V dalších podkapitolách budou popsány nejpoužívanější varianty pod názvem Evolution pro malé letouny.

6.2.1. Evolution 1000

Jedná se o základní modelovou řadu, na které je pak postaveno rozšiřování na vyspělejší glass cockpit. Cena tohoto produktu je celkem vysoká a pohybuje se podle varianty v rozmezí $ 6180 až $ 10180 (114000 až 188000 Kč). Filosofie je podobná, jako u konkurence, tj. nahrazení základních šesti analogových přístrojů pomocí jednoho, nebo více obrazovek. Evolution 1000 je primární letový displej (PFD) pracující na principu systému EFIS. Výhodou je, že je kompatibilní se stávající avionikou a není potřeba dokupovat součástky od dané firmy.

Aspen Evolution PFD řady 1000 je velice snadno použitelný moderní glass cockpit s dobrou cenou na trhu. Je to vysoce výkonná základní deska, která se vyrábí ve dvou základních verzích. Ty nesou název Pilot PFD a Pro PFD. Tato technologie přináší mnohem nižší náklady na instalaci do kabiny, protože není potřeba drahých úprav v přístrojovém panelu. Dále také nejsou namontovány drahé a těžké přístroje pro podporu tohoto systému, ale využije se avioniky, která už je na letadla dostupná, což dle mého názoru zákazník velice ocení. Není potřeba vylepšovat GPS, nebo rádio.

Pilot a Pro Pilot PFD poskytují v profesionální kvalitě systému EFIS let podle displeje. Namísto obyčejných gyroskopů obsahuje plnohodnotný elektronický ukazatel HSI s pohyblivou mapou. Pilot si může navolit rozhraní, jaké mu vyhovuje a jaké informace by potřeboval ke své činnosti. Systémy Evolution mají možnost plného vylepšení softwaru. Je možnost do ní přidat rozsáhlé vylepšení v podobě technologie ESV Jedná se o naprosto stejnou funkci, jakou nabízí Garmin ve své výbavě v podobě technologie SVT. Jak již bylo zmíněno systém Evolution je flexibilní díky využití stávajícího vybavení nainstalovaného v letounu a za pomocí přidání multifunkčních displejů typu MFD je možné rozšířit systém na lepší úroveň.

Obr. 9 – Obrazovka systému Evolution 1000 [2]

Systém Evolution 1000 je dobrý základ za rozumnou cenu pro počáteční přestavbu na modernější vzhled. Dle mého názoru by našel uplatnění spíše u menších strojů, nebo ultralightů. Díky své jednoduchosti a malým rozměrům jedné obrazovky.

Součástí Pilot PFD je: Zobrazení výšky s rychlosti, výstražný systém, základní mapy, zobrazení rychlosti v reálném čase, AHRS, nouzové GPS i s baterií, dobře čitelný šestipalcový displej technologie LCD. To je základ systému a Pro PFD je vybaveno navíc ještě těmito funkcemi: plně elektronickým systémem HSI, spolupráce s většinou používaných autopilotů, zdvojená GPS, GPS řízení, výstraha o letových minimech, SVT, výstraha o provozu (EHA).

Další systémy Evolution navazují na tuto základní koncepci navázáním spolupráce s jinými typy displejů, tak aby vznikl už plnohodnotný systém glass cockpitu.

6.2.2. Evolution 2500

Evolution 2500 je poslední vývojový krok od společnosti Aspen Avionics. Jedná se o nejmodernější generaci skleněných kokpitů od této společnosti. Jejím základem jsou tři obrazovky, které je možné pořídit samostatně. V tomto případě jsou ale spojeny v jeden ucelený systém, který tato společnost nazývá plně skleněný přístrojový panel. Díky dvěma multifunkčním obrazovkám zařazených do tohoto systému má pilot mnohem větší povědomí o situačních veličinách a zároveň je systém nastaven tak, že se obě multifunkční obrazovky vzájemně zálohují proti poškození dat.

Evolution 2500 je sestaven ze tří obrazovek. Ze dvou multifunkčních obrazovek 500 MFD a 1000MFD a jednou hlavní letovou obrazovkou 1000 Pro PFD. Funkce těchto obrazovek se neliší od předchozích díky tomu, že se jedná o stejné komponenty, jen složené do jiné varianty. Ale jsou zde zastoupeny všechny výhody předešlých, jako vysoká kvalita obrázků map během letu, georeferenční grafy a letištní diagramy. Informace o terénu, dopravě a mapy o počasí. Zkrátka se neliší vybavení jednotlivých komponentů, ale přibývá na významu, jako ucelený systém glass cockpit. Zůstává stejné, že není potřeba nic vyměňovat, ale systém si vystačí s avionikou obsaženou v letadle. Včetně většiny konvenčních autopilotů používaných v letadlech všeobecného letectví. Instalace je velmi jednoduchá díky patentovaným rozměrům, tak aby bylo možné co nejlevněji a nejrychleji vyměnit osazení klasickými analogovými přístroji za novější způsob digitálního zobrazení. Váha se zabudováním displejů sníží a klesnou náklady na provoz letadla a údržbu systému.

Systém Evolution 2500 spojuje hlavní letovou obrazovku EFD 1000 pro PFD s dvěma multifunkčními obrazovkami EFD 1000 MFD a EFD 500 MFD tak, aby byl vytvořen co nejlepší plně skleněný kokpit. Pro obrazovky PFD a MFD řady 1000 společnost dodává bezpečnostní technologii s názvem DuoSafe PDF. Ta zajišťuje ochranu dat a znásobuje snímače, tak aby byla zvýšena bezpečnost systému. Multifunkční obrazovka řady 500 rozšiřuje plochu displeje, aby bylo možné na ní rozložit více letových dat, nebo aby si pilot vybral, která data využije a která nezobrazí. Takže pilot si sám určí jaký výstup a v jaké podobě bude mít před sebou a s čím bude pracovat. Evolution 2500 je plně skleněný kokpit pro letadla všeobecného letectví. Je snadno použitelný a cenově přístupný s různými patentovanými technologiemi a dobrou kompatibilitou pro snížení nákladů na celkový provoz letadla.

Podle dostupného ceníku je cena systému Evolution 2500 $23,335 (přibližně 431700 Kč). Primární letový displej nabízí profesionální EFIS s plně elektronickým HSI v prostředí pohyblivé mapy. Spojení multifunkčních obrazovek zvyšuje zobrazovanou plochu a zpříjemňuje zobrazení. Na zobrazovací ploše je možné nastavit přístupové grafy a pohyby na mapě v souběžném čase, čímž se zjednoduší kontrola letu. MFD 1000 obsahuje naprosto totožný hardware a software jako PFD, takže tyto jednotky umožní zobrazit dvojnásob informací a jsou navzájem chráněny. Tyto jednotky dávají dva údaje nezávisle u: AHRS, ADC, kompasových systémů, HSI a dalších. Díky technologii DuoSafe při selhání 1000 PFD stiskneme na 1000 MFD tlačítko REV a tím se nám přemění systém na zobrazení dat z PFD díky zálohovací schopnosti. Záloha nám snižuje tlak na pilota v případě selhání a snižuje potenciální selhání a chyby. U tohoto systému je kladena velká míra pozornosti na zálohování dat.

Obdobně jako u Evolutionu 1500, tak i u tohoto systému je cenově výhodnější si pořídit sestavu tří obrazovek, než je dokupovat zvlášť a poté spojit. Navíc u celé sestavy je možnost softwarového vylepšení, což jednotlivé uspořádání neumožňuje. Dobré je, že při aktualizaci softwaru se nemusí sundávat displej z přístrojového panelu, ale veškeré aktualizace se provádí přes vnější vstupy.

Co se týká popisu jednotlivých částí systému a jejich schopností, rozdíl oproti předešlým je v použití obrazovky EFD 1000 MFD. Její funkce jsou velice podobné, jako u ostatních multifunkčních obrazovek od Aspenu. Tato konkrétně obsahuje: vysoké rozlišení pohyblivých map s výstražným systémem, úpravu výstupního rozhraní obrazovky, diagramy letišť a georeferenční grafy, výstražný systém EHA, výstrahu a zobrazení bouřek, satelitní snímky počasí, funkci DuoSafe, nouzové baterie atd. vzhled obrazovky je stejný, jako u ostatních modelových řad. Tj. rozlišení 760x400 při velikosti obrazovky šest palců.

Závěrem k tomuto systému mohu dodat, že je z vývojové řady Evolution určitě nejvíce spolehlivý a srozumitelný, díky třem obrazovkám. Jeho cena je nižší, než u konkurenčního Garminu. Ale v porovnání s Garmin 1000 by nejspíše vyšel hůře z několika důvodů. Hlavním důvodem je, že Evolution využívá šestipalcové obrazovky a u Garminu můžeme volit až z patnáctipalcového řešení, což je dvojnásobný rozdíl a z hlediska interpretace informace za letu pochopitelně výhoda.

Obr. 10 – Obrazovky systému Evolution 2500 [2]

6.3. Společnost BENDIX/KING

Společnost Bendix/King je od roku 1999 součástí korporace společnosti Honeywell. Ta po převzetí firmy opět spustila výrobu a vývoj avionických přístrojů. Její sídlo je společné se společností Honeywell ve městě Oshkosh ve státě Wisconsin v USA. V následujících řádcích budou popsány dva základní prvky jejich výroby.

6.3.1. KFD 840 PFD

Jedná se o primární letový displej vytvořený pomocí jedné obrazovky. KFD 840 obsahuje údaje, které jsou obvykle zobrazeny pomocí šesti analogových přístrojů. Systém je kompatibilní s většinou používaných GPS navigací ke zvýšení povědomí o letových situacích. Tento displej má úhlopříčku 8,4 palců a je dobře čitelný. A údaje na bocích displeje spojuje uprostřed umělý horizont.

KFD 840 je dobré tím, že všechny přístroje založené na AHRS jsou obsaženy v přístroji nezávislém na letadle. Na rozdíl od jiných systémů je nezávislý na GPS proto, aby splňoval certifikační požadavky pro zobrazení správné polohy. Tento systém má největší uplatnění u pístových letadel, aby byla úroveň bezpečnosti co nejvyšší a užívání co nejsnadnější. Celková montáž není složitá díky ucelenému soběstačnému boxu s celkovou hmotností, která nepřesahuje osm kilogramů.

Celkový systém je navržen k ovládání pomocí několika tlačítek a jeho rozměry jsou vhodné pro většinu pístových letadel. Další funkcí usnadňující provoz je kontrolní seznam. Tuto funkci lze použít v každé fázi letu. Kontrolní seznam je nahráván a ukládán na SD kartu pro přímé nahrávaní do přístroje. Při přepnutí do režimu údržby je možné sledovat soubory uložené na SD kartě a mohou je ukládat.

Tento systém je dobrý díky svému čitelnému a velkému displeji. Společnost Bendix/king spolupracuje úzce se společností Garmin, takže spousta interních součástek je vyráběná právě Garminem. Což zajišťuje určitou kvalitu. Cena tohoto produktu je $ 11,995 (což odpovídá 221100 Kč). Tento systém byl nedávno certifikován také úřadem EASA, takže je dostupný už i na evropském trhu. Co se týká uvedení do provozu, tak je z popisovaných systémů nejnovější. Určitě znamená usnadnění práce a přehled o letu pro pístová letadla všeobecného letectví.

6.4. DYNON AVIONICS

Tuto společnost jsem zařadil do seznamu hlavně díky dobrým ohlasům pilotů, kteří létají na menších letadlech. Společnost Dynon Avionics navrhuje a vyrábí avioniku a avionické systémy pro zavedení glass cockpitů na palubu malých letadel. Využívá moderních technologií a díky nízké ceně si získala mnoho příznivců. Výrobky od Dynonu jsou především pro kategorie experimentálních letadel a malých sportovních letadel. Oficiálně nemají certifikaci od federálního úřadu FAA, ale mají uzavřenou certifikaci pro malá sportovní letadla v USA, a to jim dovoluje prodávat a instalovat své výrobky na palubu letadel. Společnost vznikla v roce 2003 a sídlí ve městě Woodinville ve státě Washington na západním pobřeží USA.

6.4.1. SKYVIEW D10

Tato společnost zavedla na trh novinku s názvem Skyview D10, která vychází z předešlých systémů a vybírá z nich všechny přednosti a přichází s novinkou v podobě technologie Synthetic vision. Tato technologie umožňuje zobrazení terénu před letadlem v 3D zobrazení. Obrazovka tohoto systému nabízí vysoké rozlišení a úhlopříčku deset palců. Jsou v ní obsaženy nejnovější grafické procesory, a tím pádem je displej krásně čitelný za každých podmínek. Navíc obsahuje funkci, která upraví jas displeje pro lety v noci. Rozlišení je velice dobré s hodnotou 1024x600.

Co se týče ovládání D10, je velice jednoduché a zajištěné dvěma tlačítky. Každé tlačítko obsahuje deset poloh a celý systém je nastavený tak, že na vše je potřeba maximálně třech kliknutí. To obrovsky zjednodušuje manipulaci a snižuje zátěž na pilota. Všechny data jsou připojena na dva nezávislé zdroje, tak aby bylo možné zálohování. Navíc záložní baterie při poruše vydrží až hodinu letu, tak aby se pilot v bezpečí dostal na zem bez zbytečného stresu.

Díky opravdu novým technologiím se mi tento systém jeví, jako velice povedený. Navíc velká obrazovka zpříjemní let. Je možné i propojení více obrazovek tak, jak si zákazník navolí a schéma zapojení je znázorněno na obr. Tento systém je v Česku snadno dostupný u několika prodejců a jeho cena se pohybuje kolem 76000 Kč. Při zakoupení systému jsou součástí ceny také snímače a propojení pro zajištění celkové funkce systému na letadle, včetně zálohování dle předpisů.

Obr. 11 – Obrazovka systému Skyview D10 [5]

6.5. AVIDYNE CORPORATION

Na závěr popisu jednotlivých firem jsem si nechal společnost Avidyne. Jedná se o hlavního konkurenta společnosti Garmin na Americkém i světovém trhu. Společnost Avidyne se zabývá vývojem a instalací plně skleněných panelů na palubu letadel všeobecného letectví. Firma je rozložena na několik míst po spojených státech. Společnost byla založena v roce 1994 za účelem modernizace letadel všeobecného letectví. Výrobou glass cockpitů se zabývá od roku 2003, kdy certifikovala první přístrojovou desku. Avidyne se přetahuje s Garminem o pozici jedničky na americkém trhu a má několik prvenství co se týká nových technologií. Např. první certifikovaná přístrojová deska, první propojení komunikace mezi MFD, první zavedení autopilota s ochranou letových obálek a několik dalších funkcí.

6.5.1. Entegra

Jako hlavního zástupce jsem vybral nejnovější technologii pod názvem Entegra. Je to plně integrovaný skleněný panel používaný na přístrojových deskách business jetů a letadel všeobecného letectví. Prakticky všechny nové letadla, která vycházejí z výroby, už jsou vybavovány integrovanými systémy. Avidyne zavedla systém Entegra plně podle předpisů tak, aby mohl být zaveden na palubu letadel všeobecného letectví. Obrazovky s LCD displeji obsahují prakticky všechny nástroje a měřené veličiny potřebné k letu a navigaci. To vše poskytuje Entegra mnohem levněji, než typické systémy typu EFIS používané na letounech v dnešní době.

Entegra se skládá z primárního letového displeje a multifunkčního displeje. Primární letový displej EXP5000 představuje standartní letové vybavení včetně indikátoru EADI a EHSI. Se zobrazením nadmořské výšky, rychloměru, vertikální rychlosti, pohyblivé mapy, počasí. Vše se zobrazuje na 10,4 palcovém displeji s vysokým rozlišením a barvami, pro snadno čitelné informace při plném světle. Multifunkční displej EX5000 MFD zobrazuje navigační údaje a vysílání dat o počasí, barevné rozlišení blesků a bouřek, dopravní situace a výstrahy ve vzduchu, terénní překážky, informace o motorových veličinách a mnoho dalšího.

Plně integrovaný design systému Entegra je ideální pro výkonné jednosedadlové letadla, ale stejně tak i pro dvoumotorová pístová letadla. Systém je taký vyvinut i pro použití na turbovrtulových a lehkých proudových letadel. Tím si Avidyne zajistil i další odbyt u budoucích letadel a usnadnil tak integraci glass cockpitu budoucím zákazníkům. Cena je srovnatelná se systémem Garmin 1000. Entegra nabízí verzi s několika obrazovkami přibližně za $ 72000 (asi 1330000 Kč)

Obr. 12 – Systém obrazovek s označením Entegra [6]

7. BEZPEČNOST SYSTÉMU GLASS COCKPIT

Tato kapitola má za úkol zhodnotit klady a zápory použití glass cockpitů na palubě letadel. Popsat jednotlivé faktory ovlivňující bezpečnost provozu.

7.1. Bezpečnostní výhody glass cockpitu

Zobrazení přístrojů – svázání šesti základních analogových přístrojů do jediného přehledného displeje snižuje velkou měrou zatížení pilota, hlavně z hlediska únavy posádky. A je méně pravděpodobné, že určitá informace bude na displeji chybět. Hlavní koncepce zobrazení veličin ve tvaru písmene T zůstává stejná. Ale zobrazované informace jsou přesnější a díky rozložení na plochu displeje jsou mnohem lépe ergonomicky řešeny. Tyto vlastnosti se podílí na vyšší bezpečnosti letu.

Více funkcí – jednou z dalších výhod počítačového zobrazení dat je že obrazovky jsou schopny převést více informací na plochu displeje. Při použití více obrazovkového uspořádání je možné najednou sledovat informace o GPS poloze, při tom funguje varování před terénem (GPWS) a letovým provozem (TCAS). To způsobuje fakt, že pilot rychle rozezná jednotlivé podněty a to bez přepínání a zpracování informací. Tudíž velice rychle. Pilot má okamžitý přehled o situaci letadla.

Schopnost automatizace – počítače řídící displejové jednotky jsou vybaveny zpětnovazebními smyčkami, které slouží k vlastní kontrole programů. Program může upozornit pilota na výskyt možných problémů a občas je začne i sám řešit. Počítač kontroluje určité parametry letu tak, aby se pilot čistě soustředil jen na důležité parametry pro řízení letadla. To pilotovi výrazně usnadní situaci při nepředvídaných událostech, kde se zvyšuje tlak na reakci a správný úsudek. Pilot má pak čas reagovat jen na důležité podněty a zbytek si počítač zařídí úplně sám.

7.2. Bezpečnostní nevýhody glass cockpitu

Zatímco zavedení obrazovek na palubu letadel má určitě za výsledek celkové zvýšení bezpečnosti letu, pořád existuje několik věcí, které by neměli pilotům uniknout a na které si musí dávat velký pozor, aby neohrozili sebe i posádku.

Matoucí zprávy – lze dohledat několik případů, kdy byla posádka vystavena selhání systému zobrazení, nebo tomu, že systém zobrazoval chybné údaje. V tomto případě je

rozložení několika informací souběžně na displeji spíše na škodu a v případě, že do toho jsou systémem vydávány protichůdné informace, jako např. rychlé klesání a minimální rychlost. Pilot potom stráví spoustu času tím, že řeší která zpráva je věrohodná a nevěnuje pozornost řízení. U několika případů počítač zaměstnal posádku natolik, že se věnovala zprávám a odstranění závady a během toho došlo ke střetu se zemí z důvodu nesledování záložních přístrojů.

Ztráta systému – z důvodu velké integrace informací na obrazovku displeje je velká šance, že se vyskytne chyba na systému. Během letu je velice nebezpečné, pokud systém vypadne a nastane jen černé zobrazení na displeji. To může pilotům připravit nepříjemné překvapení a musí pak spoléhat jen na omezené množství informací podávané záložními přístroji. Další problém nastává, když jsou i záložní přístroje elektronické. Pokud vypadne systém zobrazení na plném glass cockpitu, muže to mít za následek velké ohrožení bezpečnosti letu. Jakmile jsou vnější podmínky slušné, lze přistát bez problémů. Závažnější je problém při podmínkách letu během IFR. Celkově to může vést až v nejhorším případě k havarování letadla.

Problém špatného povědomí – glass cockpit vystavuje pilota problému, že musí vědět, jak celý systém pracuje a jeho práci kontrolovat. Musí zajistit to, že má pořád vědomí o tom, jak letadlo pracuje. Vzhledem k tomu, že lze automatizovat i motorové systémy, pilot se může domnívat, že letadlo vykonává určitý úkon, ale ve skutečnosti je úkon letadla úplně jiný. To znamená obrovskou hrozbu. Pilot pak nevědomky vystavuje celý let do nebezpečné situace. Zabránit tomu může tak, že neustále sleduje výstup ze systému a zajistí si tak plnou informovanost o výkonech letadla po celou dobu. Někdy jiný ukazatel odhalí chybu jiného systému lépe, než údaj, který se zdá pilotovi v normě. Na špatnou interpretaci je nutné dávat velký pozor.

Převod z analogového zobrazení na glass cockpit – tento problém také není radno přehlížet a pro spoustu pilotů je to ten nejzávažnější problém. A to právě přechod z klasického zobrazení do digitálního. Celkově létání na glass cockpitu znamená jiný pohled na myšlení pilota za letu. Pro piloty, kteří nalétali stovky hodin na klasickém zobrazení, znamená přechod na digitální zobrazení nejen to, že se musí naučit kde hledat požadované hodnoty, ale i to, že musí pochopit jak glass cockpit funguje, jaké má schopnosti a co od něj očekávat. Pilotům starších ročníků dělá přechod větší problém, než jejich mladším kolegům. Vede k tomu celkově jiné podvědomí o číslicové technice. Další možnost je, že pilot může mít skryté skony k tomu, aby se

jeho únava zvyšovala při digitálním zobrazení. Těchto případů není mnoho, ale je třeba se o nich zmínit v souvislosti se staršími piloty. Přechod může ze začátku způsobit velké problémy, proto je nutnost pořádně se na nový systém proškolit a poznat jeho slabiny a využít naplno jeho výhody, tak aby vše bylo bezpečné.

Automatizace – na jednu stranu výhoda, na tu druhou velká hrozba. Pro pilota to vytváří iluzi o tom, že počítač udělá vše za něj. Poté přestanou kontrolovat celý systém a neodhalí, když není něco v pořádku. Automatizace má schopnost snižovat zátěž na pilota, aby se mohl soustředit na složitější úkony. Otázka ale nastává v tom, jestli při výpadku je schopný ovládat letadlo tak, jako počítač? To může vést ke skrytému problému, který odhalili vyšetřování NTSB. A tj. vznik závislosti pilotů na automatizační technice. Piloti ztrácejí letové schopnosti a spoléhají se stále více na počítač. Problém je v tom, aby vůbec pilot uměl ještě v budoucnu řídit letadlo bez něj.

Bezpečnost systému glass cockpit se stala diskutabilní a proto v roce 2010 se na tuto problematiku zaměřil americký úřad pro bezpečnost v dopravě (NTSB).

7.3. Bezpečnostní studie NTSB z roku 2010

V období posledních několika let prošly velkým rozvojem přestavby klasických přístrojových panelů na nově glass cockpity. Tyto displeje integrovaly do ovládání letadla funkce jako autopilot, komunikaci, navigaci, monitorovací systémy letadla a jiné technologie používané ve velkých letadlech na použití v malých letadlech. Vylepšené funkce a schopnosti informací u skleněných kokpitů představují velkou změnu ve všeobecném letectví. Určitě je tu i zlepšení ve sledování informací nutné pro ovládání letadla pilotem. NTSB zahájila studii ke zjištění, jestli se zvýšila úroveň bezpečnosti u letadel se skleněným kokpitem a těchto modifikací.

Tato studie využila tři různé přístupy k řešení problému. Retrospektivní analýzu záznamů výrobců o vyšetřování nehod nově vyrobených letadel vybavených glass cockpitem. Jako druhý byly prověřeny požadavky kladené na školení a vzdělávání v oblasti nových displejů a jejich použití a nakonec se začaly přezkoumávat a identifikovat nově vzniklé problémy se zavedením skleněných kokpitů a vliv na bezpečnost. Tyto tři parametry pak zapracovaly do konečné zprávy.

Analýza zjistila, že mezi lety 2002-2008 u jednomotorových letadel vybavených skleněným kokpitem se snížil celkový počet nehod, ale zvýšila se fatálnost těchto

nehod v porovnání s analogovým zobrazením. Nehody jsou spojené s tím, že se zvýšil počet letů s jedním pilotem, IFR letů a prodloužila se vzdálenost letů. Další věc, kterou analýza zjistila je, že piloti, kteří se podíleli na haváriích letadel s glass cockpitem mají vyšší úroveň pilotní certifikace a mnohem více nalétaných hodin, než piloti, kteří zavinili havárii letadel s klasickým analogovým zobrazením.

Druhým bodem bylo zhodnocení požadavků na školení a vzdělávání. Komise zhodnotila, že FAA nezavedl aktualizaci vzdělávacích příruček a zkušebních testů s cílem zvýšit přehled o elektronických displejích. Při testech na pilotní osvědčení nejsou zhodnoceny znalosti v oblasti skleněných kokpitů. FAA nemá žádné požadavky na odbornou přípravu pro lety se skleněným kokpitem. S výjimkou konstruktérů letadel musí piloti získat vzdělání o systému na vlastní pěst.

S ohledem na nehody velkých letadel se zjistilo, že zkušenosti pilotů a školení na provoz v klasických kokpitech nepřipravují piloty na obsluhu složitých a různorodých systémů skleněné kabiny. Dále může nedostatek informací o systému vést k jejich nepochopení a špatné dezinterpretaci. Jako výsledek označila komise nutnost vypracovat nové vzdělávací postupy a nástroje k zajištění toho, aby byli piloti připraveni k bezpečnému provozu na avionice typu glass cockpit.

Co bylo důležité zjištění komise, je to, že zavedení skleněných kokpitů nevedlo k znatelnému zlepšení v oblasti bezpečnosti vzhledem ke klasickým analogovým přístrojům. Studie zjistila problémy ve dvou hlavních oblastech. Jednou jsou znalosti a dovednosti pilota ovládat složitý systém k bezpečnému provozu a druhý fakt je ten, že je potřeba zachytit provozní informace s cílem posoudit jejich spolehlivost. Jako výsledek studie NTSB bylo vydání několika požadavků na FAA pro zlepšení přípravy a interpretace zpráv podávaných ve skleněných kokpitech [13].

8. DOPORUČENÍ PRO VYUŽITÍ DIGITÁLNÍCH ZOBRAZOVACÍCH JEDNOTEK NA CVIČNÉM LETOUNU

Od roku 2005 se zájem o glass cockpity razantně zvyšuje a v posledních letech probíhá vysoká expanze této technologie na Evropský trh. Velký zájem v zámoří předpovídal to, že se přestavby palubních přístrojových desek budou provádět v Evropě čím dál častěji a tato technologie se dostane na palubu mnoha letounů všeobecného letectví. Cenová dostupnost tohoto systému láká stále více tuzemských leteckých škol pořídit si letoun s glass cockpitem, nebo přestavět svůj stávající letoun do tohoto standardu. V této kapitole se pokusím doporučit některé systémy podle určení na malých cvičných letounech podle kategorií výcviku.

8.1. Přechod na digitální zobrazení

Nastává otázka proč si vlastně pořizovat letoun se systémem glass cockpit? Odpověď na tuto otázku je v celku jednoduchá. Doba nezadržitelně kráčí kupředu a v letectví se využívají nejnovější, ale zároveň už vyzkoušené technologie. A staré zobrazení už začíná být nevyhovující. Co se týče cvičných letounů, tento fakt platí dvojnásob. Počet pilotních škol roste a boj o uchazeče je tvrdý. A škola, která dokáže nabídnout moderní vybavení letadel za přijatelnou cenu, má velkou šanci uspět. Pro začínající piloty je výhodou, když se od začátku naučí se systémem glass cockpit pracovat a využívat jeho přednosti k svému prospěchu. Čím více dokážou informace podávané digitálně vnímat, tím se zvyšuje jejich situační povědomí a zvyšuje se bezpečnost letu. Důležité je ale upozornit, že systém glass cockpit sám o sobě dobrého pilota nevycvičí. Je to pouze nástroj ke zvýšení přehlednosti letových a navigačních veličin. Pilot musí být schopný zareagovat na výpadek systému a bezpečně přistát.

Při plánování přechodu na digitální zobrazení v kabině letounu je nutno brát ohled na několik důležitých faktů, které by nám měli napovědět, jestli je přechod na glass cockpit právě u daného letounu výhodou. U konkrétního případu je nutné zvážit, jak razantně se změní zobrazování informací na palubě. Rozdíl je, pokud se do palubní přístrojové desky zabuduje systém používající pouze jednu obrazovku, nebo pokud se rozhodneme o instalaci plně digitalizované přístrojové desky. Rozdíl bude nejen v ceně produktu, ale nemalé výdaje čekají na zákazníka při přestavbě palubní desky. Ne všechny společnosti jsou schopné a certifikované na provádění zásahů do přístrojové desky. Finanční stránka hraje nejen v letectví hlavní roli. Musíme si propočítat

návratnost této investice, co se týká cvičného letounu. Pokud vlastníme starší letoun, který má mnoho nalétaných hodin a má už pomalu dosluhovat, investice do modernizace zobrazení se nejspíše nevyplatí. Při plánování nákupu nového cvičného letounu už je na výběr z různých možností pro vybavení přístrojové desky. V tomto ohledu je už vybavení glass cockpitem vyhovující a v dnešní době cenově srovnatelné s klasickým analogovým zobrazením na přístrojové desce.

Pro lehké cvičné letouny je důležité, jakým způsobem jsou informace zobrazovány. V závislosti na letounu by měl projekt umožnit na výběr buď digitální zobrazení pouze na místě pilota, nebo zobrazení i na místo instruktora. U některých případů to samozřejmě možné není z důvodu malého prostoru, který můžeme využít. Při zobrazení u pilota musí být údaje dobře rozpoznatelné i z místa instruktora. To se řeší použitím dvou obrazovek s velkou úhlopříčkou. U vícemotorového uspořádání je prostor v pilotní kabině větší a tudíž je možné instalovat menší obrazovky na obě strany přístrojové desky. Údaje jsou potom přímo v zorném poli obou pilotů.

8.2. Využití digitálních avionických systémů pro výcvik

V současnosti je nejvíce využívaným systémem digitálního zobrazení Garmin G1000. Už svým použitím na americkém trhu se osvědčil, a jelikož spousta malých cvičných letadel je dovážena z Ameriky, našel systém své příznivce a uplatnění i na evropském trhu. Díky dostupnému systému revizí na evropské půdě je možné zabudovat a kontrolovat tento systém bez nějakých velkých problémů. Tento systém je konstruován pro letouny od 450 do 5760 kg MTOW. Pro použití a výcvik pilotů na Ultralightech není moc vhodný vzhledem k dvěma velkým obrazovkám, které by se těžko vešli na palubní desku malého letounu. A především kvůli vysoké ceně by se ultralight s G1000 velmi prodražil. Systém Garmin G1000 bych doporučil pro výcvik na kategorie PPL(A), CPL(A), IR/SEP a IR/MEP. Samozřejmě lze systém využít i pro výcvik pro lety v noci (NIGHT) a pro výcvik instruktorů (FI(A), MEP).

Systém komplexně obsahuje všechny důležité prvky pro zvládnutí letu a situační povědomí pilota. Díky 10, nebo 15 palcovým obrazovkám je skvěle čitelný a v základní sadě obsahuje dvě obrazovky. Garmin už pronikl do kokpitů mnoha známých výrobců letadel. Ty tento systém využívají už jako základní nabídku pro své letouny. Pokud se však uvažuje o přestavbě palubní desky, lze na trhu najít systémy cenově přijatelnější než Garmin. Tyto systémy byly popsány v kapitole 6 této práce. Záleží už pak jen na zákazníkovi, jaký produkt si vybere. Rozhodovaní o ceně je čistě

individuální a každý má na to trochu jiný názor. Ale co se týče již zmiňovaného servisu a výukových materiálů, je nejvýhodnější si pořídit G1000.

Pro výcvik na ultralehkých letounech, pro získání průkazu na kategorie ULL(A) a ULL(a), jsou požadavky na výcvik jiné. Celkový počet hodin je nižší. Každý výrobce volí jiné digitální zobrazení a jeho rozsah. V některých případech se objevuje jen obrazovka navigačního displeje od společnosti Garmin. Jiné jsou zase vybaveny displeji společnosti Dynon, nebo Avidyne. V tomto směru lze pro přestavbu vybírat z vícerých nabídek, podle určení letounu a náročnosti zákazníka. Pro tyto letouny se dle mého názoru dobře uplatní systém Dynon Skyview D10.

Jedná se pouze o jednu obrazovku s vysokým rozlišením a velkou úhlopříčkou, což zajišťuje snadnou čitelnost displeje. Velikostně ji lze umístit na obě stanoviště pilotního prostoru. Je potřebné k ní dokoupit příslušenství v podobě snímačů a propojovacích zařízení atd. Ale i přes tento fakt je cena celého systému velice dobrá. Dynon má dlouholeté zkušenosti se zástavbou displejů na palubu malých letadel a s využitím nových technologií je tento produkt dle mého názoru dobrá volba.

9. ZÁVĚR

V úvodu bakalářské práce jsem si vytyčil dva základní cíle a ty jsem se postupně analyzoval. Prvním cílem bylo analyzovat dostupnost displejových avionických systémů pro lehké cvičné letouny. V první řadě jsem se snažil prozkoumat trh s displejovými jednotkami. Najít co nejvíce výrobců, zjistit nabídky a funkce jednotlivých produktů. Zkoumal jsem jednotlivé výrobce lehkých letounů a jejich trendy v použití moderního digitálního zobrazení informací do soudobých letounů. Informace získané průzkumem jsem popsal do kapitoly 6 této práce. Právě v této kapitole jsou rozepsány produkty, které se nejvíce používají v kategorii letounů do MTOW 5760 kg. Cílem bylo se seznámit s daným systémem a zjistit jeho funkce a možnosti využití. Do popisu jsem si vybral společnosti Garmin, Aspen Avionics, Bendix/King, Dynon Avionics a Avidyne. Hlavním důvodem, proč jsem se rozhodl pro tyto společnosti, byla analýza cvičných letounů a letounů všeobecného letectví.

Druhým cílem bylo doporučení těchto zobrazovacích jednotek pro vybavení lehkých cvičných letounů. V tomto bodě jsem se snažil co nejvíce využít získaných znalostí v oblasti displejových jednotek a najít optimální řešení pro cvičný letoun. Dospěl jsem k tomu, že nejvíce používaným systémem je Garmin G1000. Tento systém se nejvíce prosadil na palubu cvičných letounů díky kvalitě nabízených funkcí a jejich jednoduchého ovládání. Certifikace a servis systému je na vysoké úrovni nejen v zámoří, ale i ve zbytku světa. Současný trend je takový, že tento systém využívá většina výrobců již při plánování nového letounu a existuje mnoho společností, které nabízí přestavby stávající přístrojové desky do nového formátu pomocí G1000. Samozřejmě i s příslušnou certifikací pro zachování způsobilosti.

Důležitým faktem zjištěným v této práci je cena výrobku v porovnání s dobou životnosti letounu. Vzhledem k prozkoumaným materiálům jsem dospěl k názoru, že lze nahradit současný analogový systém zobrazení pomocí levnějších displejů od různých firem. Společnosti se v tomto ohledu předhánějí a snaží se zákazníkovi nabídnout co nejlevnější možnost pro přestavbu. V tomto ohledu je možností několik a cenově vycházejí levněji, než od společnosti Garmin. Při rozhodování o přestavbě palubní přístrojové desky je nutné mít přehled o předpokládané době životnosti letounu. Díky tomu můžeme odhadnout alespoň přibližně, jestli se investice do přestavby vyplatí. Investice na údržbu systému nejsou velké a systémy nabízejí mnohem přehlednější zobrazení. Volba přestavby už je poté pouze na zákazníkovi.

Vzhledem k získaným informacím bych doporučil systém Garmin G1000 pro zákazníka, který si objednává nový letoun, nebo uvažuje o přestavbě nově pořízeného letounu, který nemá veliký nálet hodin. A to především z důvodu rozšíření tohoto systému do letounů všeobecného letectví a kladného hodnocení ze strany pilotů. Avšak při pořízení nového letounu u některých výrobců lze volit i vybavení displeji Entegra od společnosti Avidyne. Pořizovací cena je nižší a lze si vybrat z několika provedení. Ale dle dostupných informací si většina zákazníků na americkém trhu vybírá vybavení od společnosti Garmin a výrobci letounů upouštějí od možnosti výběru a specializují se pouze na palubní desku s G1000. Pro menší letouny, kde je pořizovací cena příliš vysoká s porovnáním s celkovou cenou letounu, bych doporučil systém Dynon Skyview D10. Cena je přijatelná a výrobce má zkušenosti se zástavbou a certifikací na menší letouny typu ULT. Displej je srozumitelný s využitím moderních technologií a dokáže spolehlivě zvýšit situační povědomí pilota.

Úplným závěrem bych dodal, že systém glass cockpit je pro všeobecné letectví velkým přínosem a velice zjednodušuje pochopení informací a zvyšuje bezpečnost letu. Na druhou stranu se však jedná o obrovské bezpečnostní riziko, pokud nedojde ke správnému přeškolení na nový typ zobrazení a pochopení, kde se informace zobrazují a jak se ovládají vedlejší funkce systému. Je velice nutné mít dostatečné znalosti s prací na daném systému a kontrolovat důležité veličiny pomocí záložních přístrojů, které jsou většinou pořád analogového typu. Problémy se školením odhalila komise NTSB a po vydání oficiální zprávy se klade mnohem vyšší důraz na výcvik a přeškolení pilotů na letounech vybavených glass cockpitem. Podle mého názoru doporučení komise zvýšilo bezpečnost letů a zajistilo možnost většího rozvoje systému na palubu menších letounů. Vybavení letounu glass cockpitem se postupně vyvíjí a roste počet letounů, které se přestavují v rámci modernizace na nový vzhled pilotní kabiny. Zájem o tyto přestavby neutichá a tato technologie má v současnosti jen dobré vyhlídky. Do budoucna se počítá už jen s využitím displejových jednotek.

Seznam použité literatury:

1 NĚMEC, V.: Studijní modul 10 – LETECKÁ LEGISLATIVA, Akademické nakladatelství CERM, Brno 2006. 1. vydání, 216 s., ISBN 80 – 7204 – 366 – 8.

[2] DRAXLER K. a kolektiv: Studijní modul 5 – DIGITÁLNÍ TECHNOLOGIE, Akademické nakladatelství CERM, Brno 2003.1.vydání, 184 s., ISBN 80 – 7204 - 311 – 0

Ostatní použité zdroje:

[1] http://buy.garmin.com/shop/products/g1000 (28.12.2011)

[2] http://www.aspenavionics.com/index.php/products/ (6.1.2012)

[3] https://commerce.honeywell.com/webapp/wcs/stores/servlet/BendixKingHome (6.1.2012)

[4] http://philip.greenspun.com/flying/avidyne-versus-garmin (8.1.2012)

[5] http://dynonavionics.com/ (13.1.2012)

[6] http://www.avidyne.com/products/envision/index.asp#thumb (13.1.2012)

[7] http://www.garmin.com/products/g500 (15.1.2012)

[8] http://en.wikipedia.org/wiki/Glass_cockpit (1.2.2012)

[9] http://aviationknowledge.wikidot.com/aviation:glass-cockpits-in-general-aviation (16.2.2012)

[10] http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm (21.2.2012)

[11] http://www.caa.cz/legislativa/certifikacni-specifikace?highlightWords=certifika%C4%8Dn%C3%AD+specifikace (30.2.2012)

[12] http://vyuka.fs.vsb.cz/file.php/176/P1/I._II._Pristroje_letadel_B5.pdf (20.2.2012)

[13] http://www.ntsb.gov/safety/safetystudies/SS1001.html (14.3.2012)

[14] http://www.airliners.net/search/photo.search?aircaft_genericsearch=%3D%28%22 (26.3.2012)