



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

LIDSKÝ FAKTOR V PILOTÁŽI MALÝCH LETADEL

THE HUMAN FACTOR IN PILOTING SMALL AIRCRAFT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Filip Straňák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Chlebek, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Letecký ústav
Student:	Bc. Filip Straňák
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Letecký provoz
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Chlebek, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

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:

Lidský faktor v pilotáži malých letadel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Charakterem práce je analýza rozhraní člověk – stroj v případě malých sportovních letadel, zaměřená převážně na popis a hlubší analýzu vlivu digitálních přístrojů na bezpečnost letu.

Cíle diplomové práce:

Podrobný rozbor používaných metodik hodnocení selhání LČ zejména pro rozhraní člověk stroj.

Analýza vybraných nehod malých letadel s rozбором způsobů selhání LČ.

Rozbor přínosů / rizik spojených se rostoucím počtem digitálních letových přístrojů.

Práce by měla zahrnout i experiment zaměřený na vyhodnocení rozdílu v udržování pozornosti pro případ konvenčně vybaveného letadla a letadlo vybaveného glascokpitem (natočení pilota(ů) – okruh vs. krátký navigační let malou kamerou a vyhodnocení záznamů.

Seznam literatury:

Wiegmann, D. A, Shapell, S. A. (2003): A human error approach to aviation accident analysis: the human factors analysis and classification system. Aldershot ; Burlington: Ashgate, xv, 165 s. : il. ; 24 cm. ISBN 0-7546-1875-7.

Vaňourek, J. (2009): Lidský faktor v letectví. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práca je zameraná na ľudský činiteľ ako narastajúci faktor pri vzniku leteckých udalostí a na vplyv digitálnych avionických systémov na bezpečnosť. Teoretická časť práce rozoberá problematiku ľudského činiteľa a podrobne popisuje najpoužívanejšie analýzy zlyhania ľudského faktora HFACS a HRA. Ďalej je pojednávané o výhodách a rizikách, ktoré digitálne prístroje prinášajú.

Druhá časť práce je venovaná rozboru udalostí v ČR kategórie všeobecného letectva do maximálnej vzletovej hmotnosti 2250 kg za roky 2004-2014 a rozboru nehôd porovnávajúci letúne s analógovými a digitálnymi prístrojmi. Práca taktiež obsahuje slovný rozbor video záznamov letov pri použití oboch typov prístrojov s dôrazom na rozdelenie pozornosti.

Kľúčové slová

Ľudský činiteľ, HFACS, HRA, digitálne prístroje, glasscockpit, nehoda, incident

ABSTRACT

The focus of this diploma thesis is on human as increasing factor in source of aviation events and effect of digital avionic systems on safety. Theoretical part discusses human factor and in detail describes human factor analysis HFACS and HRA. Further are discussed pros and cons of rise of digital instruments.

Second part of thesis is focused on analysis of aviation events in Czech republic in category general aviation of maximum takeoff weight 2250kg in years 2004-2014 and analysis of accidents comparing aeroplanes with analog and digital instruments. Thesis also includes short analysis of video record using both types of instruments with focus on distribution of attention.

Key words

Human factor, HFACS, HRA, digital Instruments, glasscockpit, accident, incident

Bibliografická citácia

STRAŇÁK, F. *Ľudský faktor v pilotáži malých letadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojíního inženýrství, 2016. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Chlebek, Ph.D..

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne s pomocou literatúry a internetových zdrojov uvedených v zozname použitých zdrojov.

V Brne dňa 27.5.2016

.....

Filip Straňák

Pod'akovanie

Chcel by som sa touto formou pod'akovať vedúcemu diplomovej práce Ing. Jiřímu Chlebkovi, Ph.D.. Dalej by som sa chcel pod'akovať Ing. Miroslavovi Šplíchalovi, Ph.D. a JUDr. Jaromírovi Hammrovi za možnosť realizovať let na lietadle WT-9 Dynamic.

Obsah

Úvod	9
Úlohy a ciele práce	10
1. Ľudský činiteľ	11
1.1 Definície	12
1.2 Analýza ľudských faktorov a klasifikačný systém HFACS	13
1.2.1 Unsafe Acts (Nebezpečné jednanie)	14
1.2.2 Preconditions for unsafe acts (Podmienky pre vznik nebezpečných činov)	17
1.2.3 Unsafe Supervision (Nebezpečné vedenie)	19
1.2.4 Organizational Influences	20
1.2.5 Výhody a nevýhody HFACS	21
1.2.6 Rozbor vybraných nehôd pomocou HFACS	21
1.3 HRA- Human Reliability Assessment	25
1.3.1 Technique of Human Error Rate Prediction THERP	26
Výhody a nevýhody metódy THERP	28
1.3.2 Metóda HEART	29
1.4 ICAO SHELL Model	30
2. Rozhranie človek - stroj	32
2.1 Prostredie konvenčne vybaveného cockpitu	33
2.1.1 Vizúálne prostredie	33
2.1.2 Akustické signály v konvenčne vybavených letúňoch	36
2.2 Digitálne avionické systémy	37
2.2.1 Prínosy digitálnych avionických systémov	38
2.2.2 Riziká digitálnych avionických systémov	44
3. Rozbor nehôd letúňov do hmotnosti 2250 kg MTOW	50
3.1 Ciele rozboru nehôd	50
3.1 Klasifikácia podľa technických príčin a ľudského činiteľa	51
3.1.1 Analýza udalostí z technických príčin	52
3.1.2 Analýza udalostí s pôvodom u ľudského činiteľa	53
3.2 Výskyt udalostí podľa fázy letu	55
3.3 Rozbor nehôd letúňov s analógovým a digitálnym cockpitom	56

4. Rozdelenie pozornosti pilota počas letu.....	59
4.1 Ciele analýzy záznamov	59
4.2 Realizácia záznamu z letu.....	59
4.3 Analýza záznamov.....	61
4.3.1 Konvenčný analógový cockpit	61
4.3.2 Digitálne prístroje	62
4.3.3 Závery analýzy	63
4.3.4 Faktory ovplyvňujúce analýzu	63
4.4 Pokročilé spôsoby analýzy pohľadu – Eye Tracking	63
Záver	67
Zoznam použitej literatúry	69
Zoznam použitých obrázkov	71
Zoznam použitých skratiek	72
Zoznam príloh.....	74

Úvod

Letectvo od svojho vzniku prekonalo dlhú cestu od prvých úspechov riadených letov teplovzdušných balónov bratov Mongolfierových v roku 1783, cez priekopníka klzákov Otta Lilienthala, ktorý preukázal svoje schopnosti a znalosti koncom 19. storočia až po asi najznámejší počín a to prvý úspešný riadený let bratov Wrightovcov 17. decembra 1903. Azda nikto by si v týchto časoch nepomyslel ako letectvo bude napredovať a aké výhody, ním prinášajúce, budú dnes brané ako samozrejmosť.

Ako to býva zvykom dve svetové vojny spôsobili značný technologický rozmach, ktorý sa neskôr aplikoval aj do civilného letectva. Navyše veľa lietadiel použitých v službe počas vojen boli následne používané v doprave.

Väčšina nehôd a incidentov bola dlhé roky spätá s poruchami lietadla samotného. Príchodom veľkokapacitnej dopravy po 2. svetovej vojne dopravcovia a konštruktéri pochopili, že v záujme bezpečnosti, ekonomickosti a celkového pohľadu ľudí na letectvo je nutné zabezpečiť určitú úroveň spoľahlivosti, ktorá závisí od dôsledkov nastúpenia jednotlivých porúch. Postupom času tak začalo dochádzať k tomu, že situácia sa obrátila a trvalým technologickým pokrokom došlo k tomu, že hlavnou príčinou nehôd a incidentov bol ľudský činiteľ.

Tento fakt neostal nepovšimnutý a začal sa mu navyše prikladať veľký význam. Tak nastala veľká snaha o školenie a vytváranie postupov pre pilotov, zložky riadenia letovej prevádzky, ale aj mechanikov, ktorých cieľom je minimalizácia ľudských chýb. Minimalizácie preto, lebo ani dôslednou prípravou nie je možné dosiahnuť neomylného človeka. Ruku v ruke s tým prišla snaha pre určenie faktorov, ktoré nepriaznivo pôsobia na človeka a následne na jeho podaný výkon a vznik chýb pri jeho činnosti. Problémom je, že vysoká pozornosť sa kladie ľudskému činiteľu a to konkrétne pilotom najmä v obchodnej doprave a držiteľia súkromných licencií sú častokrát zoznámení s danou problematikou veľmi stručne a neviažu sa na nich tak prísne pravidlá, pritom bývajú na tieto riziká oveľa náchylnejší (neznalosť postupov, neprítomnosť vzájomnej kontroly pri jednočlennej posádke, predvádzanie sa, podcenenie situácie).

Napredovanie technológie otvorilo cestu digitálnym prístrojom do pilotnej kabíny lietadla. Dnes je viditeľné, že postupom času vytlačia klasické analógové prístroje, ktoré už zaznamenali veľmi výrazný ústup v obchodnej leteckej doprave. Digitálne prístroje v určitých smeroch poskytujú neprehliadnuteľné výhody, ich nástup však otvára nové riziká vplývajúce na pilota.

Úlohy a cíle práce

Na základě úloh a cílů práce jsem se po prvotném objasnění narastajícího vlivu lidského faktora v letectví zaměřil na představení jednotlivých analýz využívajících se při určování možného vlivu člověka na vznik leteckých nehod. Okrem toho sú predstavené ďalšie kvalitatívne analýzy použiteľné pri tvorbe a návrhoch systémov a ich vplyvoch na bezpečnosť pri interakcii s človekom.

V ďalšej časti približujem rozhranie človek – stroj, kde prechádzam k poukázaniu na základné rozdiely medzi analógovými a digitálnymi prístrojmi. Pozornosť venujem hlavne prínosom a výhodám digitálnych prístrojov, ale aj rizikám, ktoré ich nástup prináša.

Rozbor nehôd vychádza z databázy záverečných správ *Ústavu pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod* kategórie letúňov všeobecného letectva do maximálnej vzletovej hmotnosti 2250kg. Okrem toho, pre lepší pohľad na vplyv príchodu digitálnych avionických systémov do všeobecného letectva prezentujem dáta získané od americkej NTSB, ktorá ako jediná realizovala rozsiahly prieskum porovnávajúci nehody letúňov vybavených analógovými a digitálnymi prístrojmi.

Posledná časť je venovaná rozboru záznamov z letov pri využití oboch typov avioniky. Hlavná pozornosť je mierená na rozloženie pozornosti pilota a riziko nadmerného sledovania digitálnych prístrojov s ignorovaním okolia pri letoch v podmienkach letu za vidu VMC.

1. Ľudský činiteľ

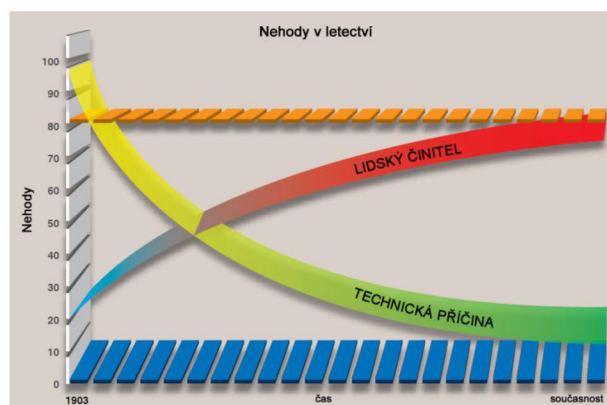
V počiatočných rokoch sa príčinou väčšiny nehôd stali technické problémy. Lietadlá boli tak povediac vyrábané doma na kolene. Neexistovala sériová výroba, štandardizované postupy, skúšky pevnosti a minimálne stanovené úrovne spoľahlivosti. Dobové materiály neboli dostačujúce a pohonné jednotky mali veľmi nevýhodný pomer výkonu k hmotnosti.

História pozná veľa úspešných momentov, tie však prelínajú aj nezdary. Prvou zdokumentovanou udalosťou s fatálnymi následkami bol let Orvilla Wrighta a Thomasa Selfridga, uskutočnený 17. septembra 1908, kde sa za príčinu nehody považuje porucha vrtule a jej následné rozštiepenie, čím sa stroj stal neovládateľným. Thomas Selfridge pri tomto lete zahynul a Orville Wright sa vážne zranil. [1]

Nástupom svetových vojen sa lietadlá začali vyrábať vo veľkých sériách. Ich akútny nedostatok a potreba urýchleného nasadenia do služby stále nedovoľovala zvyšovanie úrovne bezpečnosti a navyše, veľké množstvo lietadiel vo vojenskej službe sa ani dlhšieho života nedočkalo.

Po vojne v 50-tych rokoch nastala veľká snaha o zníženie nehodovosti kvôli nástupu civilnej leteckej dopravy, čomu sa začalo venovať veľa pozornosti. V dnešnej dobe tak zásluhou konštruktérov, technologického pokroku, vyšetrovateľov leteckých nehôd, ale aj ľudí venujúcim sa poznaniu ľudského činiteľa, je bezpečnejšie letieť dopravným lietadlom ako ísť po chodníku v rušnom meste. Postupný pokles výskytu nehôd pri komerčných letoch zobrazuje graf spoločnosti Boeing viz. príloha 1.

Postupným znižovaním nehodovosti síce počet nehôd rapídne klesol, ale váhy sa začali preklápať a hlavnou príčinou vzniku leteckých nehôd sa stal ľudský činiteľ. Viaceré zdroje uvádzajú že v posledných rokoch sa úroveň nehôd, za ktorými stál ľudský činiteľ pohybuje približne na úrovni 80% (ICAO) [2]. Vplyv a narastajúce riziko ľudského činiteľa tak neostalo nepovšimnuté a riešeniu daného problému sa preto prikladá náležitá pozornosť.



Obrč.1 – zobrazenie zmeny pomeru príčin nehôd v čase[25]

1.1 Definície

Ľudský činiteľ a jeho pochybenie je v posledných rokoch dokumentovaný ako hlavný zdroj nehôd v letectve a pohybuje sa približne na úrovni 80% (ICAO) [2]. Pre zlepšenie tejto situácie je nutné porozumenie problematiky ľudského činiteľa a jej aplikácia do praxe. Inštitucionalizácia vednej disciplíny ľudský činiteľ sa objavila po vzniku organizácií ako Ergonomic Research Society, Human Factors Society alebo International Ergonomics Association, ktoré postupne vznikali po 2. svetovej vojne. Veľký dopad na fakt, ako je nahliadané na ľudský faktor v poslednom polstoročí v letectve, mali obrovské tragédie ako napríklad zrážka dvoch lietadiel Boeing 747 na ostrove Tenerife v roku 1977, pri ktorej zahynulo 583 ľudí. Pri tejto udalosti došlo k zanedbaniu a zlyhaniu veľkého počtu aplikácií ľudského činiteľa. [7]

Definícia ľudského činiteľa

Primárnym cieľom štúdie poznatkov o ľudskom činiteľi a jej aplikácií v letectve je pochopenie predpovedateľných schopností, rizík a obmedzení v prevádzke.

„Ľudský činiteľ je možné definovať ako súčasť profesnej vyspelosti každého pracovníka, založenej na pochopení fyzických, psychických a spoločenských faktorov, tvoriacich základ bezpečnostnej kultúry v letectve. Z pohľadu teoretikov je aplikovanou sociobiologickou vednou disciplínou, skúmajúcou kritické miesta a funkcie v zložitých systémoch, ktorých ústrednou riadiacou, výkonnou a kontrolnou zložkou je človek. Jeho cieľom by malo byť zvýšenie bezpečnosti, efektívnosti a kvality danej činnosti.“[3]

Chyba človeka

Chyba človeka alebo human error môže byť definovaná ako zlyhanie časti ľudskej činnosti alebo úkonu (alebo vykonávanie zakázanej činnosti) v daných mierach presnosti, postupnosti, čase, ktoré môže viesť k zraneniu, poškodeniu zariadenia a majetku alebo narušeniu plánovaných operácií. [8]

Pre minimalizáciu vzniku ľudskej chyby je potrebné poznať jej pôvod. Existujú základné koncepty spojené s charakteristikou ľudských chýb venujúce sa pôvodu a frekvencii ich vzniku. Je dokázané, že určenie pôvodu vzniku nie je jednoduché a pri jej určení sa musí brať do úvahy veľa faktorov (viz. kap. 1.2)

Existujú 2 cesty prístupu ku kontrole ľudskej chyby:

- Prvou je snaha o minimalizáciu vzniku ľudskej chyby(úplná eliminácia nie je realistickým cieľom, pretože robiť chyby je normálnou časťou ľudského chovania). Vznik chýb môže byť redukovaný napríklad kvalitným výcvikom personálu, designom riadiacich a ovládacích a zobrazovacích prvkov, spracovaním máp, manuálov a procedúr, kontrolovaním a úpravou podmienok (teplota, hluk, vibrácie,.) [8]

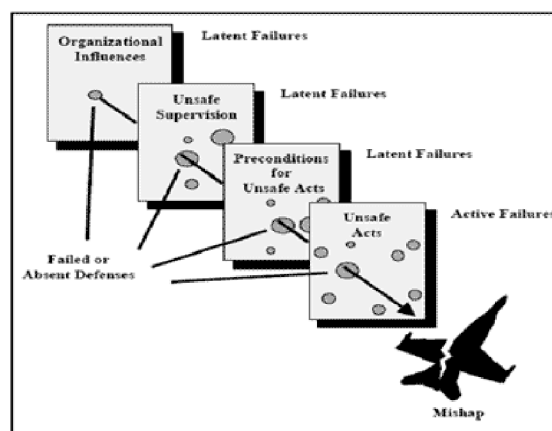
- Druhou cestou je minimalizácia dopadu alebo následkov chýb vytváraním bezpečnostných nárazníkových zón. Príkladom môže byť vzájomná kontrola úkonov pilotov, kooperácia posádky, fail-safe vybavenie. [8]

1.2 Analýza ľudských faktorov a klasifikačný systém HFACS

Táto kapitola je venovaná analýze ľudských faktorov a klasifikačného systému. Človek pracujúci v tak komplexnom prostredí ako je cockpit je vystavovaný mnohým vplyvom, ktoré je možné zaradiť do rôznych kategórií. Pre skutočné pochopenie problému, a nie len označením nehody alebo incidentu pojmom „chyba pilota“, je nutné toto rozdelenie predstaviť a charakterizovať, čo jednotlivé úrovne pod sebou zahŕňajú.

Analýza ľudských faktorov a klasifikačný systém alebo aj HFACS (The Human Factors Analysis and Classification System) boli vyvinuté na určenie aktívnych a latentných chýb v Reasonovom modeli a následne pre využitie pri vyšetovaní leteckých nehôd alebo na ich prevenciu.

Reasonov prístup k vzniku nehôd je založený na predpoklade, že existujú určité základné organizačné elementy, ktoré musia pracovať v harmónii na zaistenie efektívneho a bezpečného chodu. Dokopy tieto elementy predstavujú produktívny systém. Tento koncept predstavuje ideu jednotlivých vrstiev obrany založených na predpoklade, že v nich môže vzniknúť chyba a cieľom je túto chybu buď zachytiť, alebo jej predísť. Na základe tohto modelu môže byť nazerané na leteckú dopravu ako zložitý produktívny systém, ktorého cieľom je bezpečné prevedenie letu. Podľa Reasona, nehoda nastáva, keď dochádza k rozpadu jednotlivých vzťahov medzi komponentmi prítomných v produkčnom procese. Tieto jednotlivé zlyhania predstavujú diery v rozličných úrovniach systému a transformujú funkčný produktívny proces na nefunkčný/rozpadnutý. Z vizualizácie dier v danom systéme vychádza pojem Swiss cheese. Podľa tohto modelu, vyšetovatelia leteckých nehôd musia analyzovať všetky možnosti a úrovne systému, aby plne porozumeli možnostiam vzniku nehody. [2]



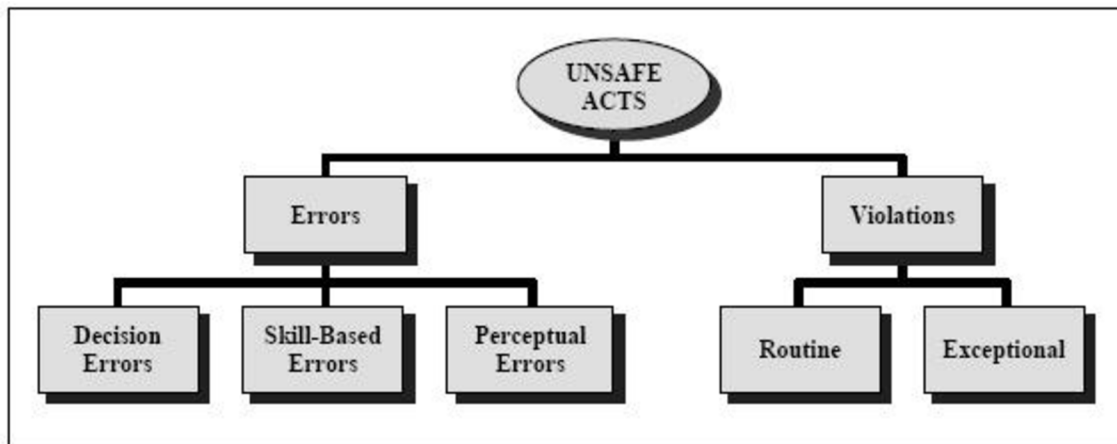
Obr.č.2 Reasonov model „Swiss Cheese“ [27]

Hlavným princípom HFACS je kvalitatívne určenie jednotlivých faktorov, ktoré sa môžu podieľať na reťazci udalostí vedúcich k nehode alebo incidentu. Jednotlivé úrovne a kategórie systému som sa rozhodol ponechať v anglickom jazyku z dôvodu zaužívaných pojmov v leteckom svete a nutnosti čisto voľného prekladu (na danú tému som nenašiel odborný český/slovenský zdroj). Koncepcia vychádza z analýzy stoviek nehôd zahrňajúcich zlyhanie ľudského faktora.

HFACS popisuje 4 úrovne v Reasonovom modeli a to 1) Unsafe Acts , 2) Preconditions for Unsafe Acts, 3) Unsafe Supervision, 4) Organizational Influences [5]

1.2.1 Unsafe Acts (Nebezpečné jednanie)

Jednotlivé pochybenia, ktorých sa človek môže dopustiť, zastrešuje pojem Unsafe Acts, ktorý označuje konanie prípadne nekonanie, ktoré vedie k bezpečnostným rizikám. Pojem Unsafe Acts v sebe zahŕňa 2 väčšie skupiny a to **Errors (Chyby)** a **Violations(Priestupky)**, ktoré budú ďalej podrobne rozobrané.



Obr.č.3 Štruktúra Unsafe Acts[27]

Skill-based Errors (Chyby zručnosti)

CAA charakterizuje unsafe act ako súčasť naučenej schopnosti/zručnosti alebo činnosti, ktorá nevyžaduje vedomé sústredenie (napríklad pilotáž, riadenie auta – návyky o ovládaní človek robí už podvedome). Ak chyba nastala, pretože daná akcia nezodpovedala a nebola vhodná pre situáciu tak sa to nazýva Slip (použitie páky klapiek namiesto páky podvozku). Na druhej strane, ak chyba vzniká vynechaním alebo zabudnutím určitého kroku, označuje sa ako Lapse (zabudnutie vysunutia podvozku).

Slips – (niekedy označované ako interference errors alebo habit capture error) po tom ako sa človek danú zručnosť/schopnosť naučí do bodu, že pri jej činnosti nepotrebuje vedomé sústredenie sa, môže sa zdať, že pri jej činnosti bude spoľahlivý a neomylný. Takto ale nastáva problém pri situačných a modelových zmenách. Samozrejme, ak by bol človek na

tento problém extrémne náchylný, znamenalo by to, že pri každom type lietadla by musel robiť výcvik od začiatku. Jedná sa skôr o ovládacie prvky, ktoré sú si podobné umiestnením, tvarom atď. Sú dokumentované nehody, kde pilot po prechode z iného typu, medzi ktorými nie je požadované typové preškolenie, pri pristáti stiahol páku zmesi namiesto páky príпустe a tak mu vysadil motor pred dráhou.

Lapses - Ľudská myseľ nie je vhodná na zapamätávanie si veľkého množstva úloh a ich poradia. Tlak môže dochádzať k zabudnutiu jednotlivých postupov a úkonov. Pre tento účel vznikli checklisty, ktoré účinne plnia svoju funkciu. Aj pri nich sa ale vyskytli prípady, že myseľ pilota sa tak snažila šetriť energiu, že pri realizácii crosschecku na vysunutie klapiek, pilot hlásil klapky vysunuté a pritom neboli. [9]

Reason rozdeľuje Skill - based error do troch kategórií a to:

- zlyhania **pozornosti** sú často spojené s chybami ako nedostatočné alebo nevhodné skenovanie cockpitu a okolia, fixovanie na danú úlohu, nevedomá aktivácia riadenia, prehodenie krokov v procedúrach a postupoch. Príkladom môže byť nehoda lietadla, kde piloti sú riešením poruchy motora tak zaujatí, že si nevšimnú klesanie do terénu. Toto sú príklady zlyhania pozornosti pri vysoko automatizovaných procesoch. Ďalším príkladom sú viaceré prípady zrážky lietadiel, pri taxovaní venoval pozornosť prístrojom a zachytil koncom krídla o stojace lietadlo.

- zlyhania **pamäte** predstavujú napríklad vynechané body v checkliste alebo zabudnutie posledného realizovaného bodu, zabudnuté úmysly. Počas pohotovosti vplyvom stresu a pracovnej záťaže môže dôjsť k takémuto výpadku čo môže mať katastrofálne následky. Preto sú checklisty a postupy realizované v takom poradí a zmysle aby táto šanca bola minimalizovaná.

- tretím typom sú chyby **techniky pilotáže**, poprípade štýl pilotáže, kde pilot nezávisle na tréningu a skúsenostiach má svoj štýl, ktorý za určitých adverzných podmienok môže mať zlé následky. Príkladom môže byť nespočetné množstvo nehôd spôsobených nesprávnou reakciou na odskočenie pri pristáti, ktoré sa často končia zlomenou podvozkovou nohou.[2]

Decision Errors (Chyby rozhodnutia)

Druhá forma chýb reprezentuje úmyselné plánované chovanie, ale plán sám o sebe sa javí ako neadekvátny alebo nevhodný pre danú situáciu. Niekedy sa označujú aj ako „úprimné chyby“, pretože pilot má dobré úmysly ale pre danú situáciu jednoducho nemá znalosti, alebo si zle zvolil. Zahrňajú procedurálne chyby (vznikajú pri veľmi štrukturovaných procedúrach, „ak X potom Y“), zlé rozhodnutia (v danom momente sa všetky možnosti javia rovnocenné a až časom sa ukáže dopad jednotlivých z nich) a chyby pri riešení problémov (vyžadujú nové riešenie, s ktorým sa pilot ešte nestretol, prejavuje sa tu charakter pilota a schopnosť vysporiadať sa s neznámou situáciou v limitovanom čase). [2]

Perceptual Errors (Chyby vnímania)

Vznikajú keď vnímanie okolia sa odlišuje od reality. Typické v prípade, že zmyslové vstupy sú degradované alebo nezvyklé (príkladom sú vizuálne ilúzie, priestorová dezorientácia, neodhadnutie výšky/položky/rýchlosti). Pri vizuálnych ilúziách sa mozog snaží vyplniť nedostatok informácií výsledkom je modifikovaný obraz, pri ktorom je nutné uvedomiť si fakty a nenechať sa „presvedčiť“ tým čo vidíme. Pri priestorovej dezorientácii vestibulárny systém dodáva mylné informácie o polohe tela oproti realite. V takýchto prípadoch sa pilotom pri výcviku trvale opakuje, že treba veriť prístrojom. Príkladom sú nehody, pri ktorých sa často opakuje podobný scenár a to podcenenie situácie, let do podmienok IMC a nezvládnutie pilotáže v daných podmienkach. [2]

Routine Violations (Rutinné priestupky)

Bývajú akceptované autoritami (neberú sa ešte ako priestupok). Niekedy sa hovorí, že sú spôsobené typickou ľudskou povahou charakterizujúcu slová „ak je to povolené, nič nám nehrozí“

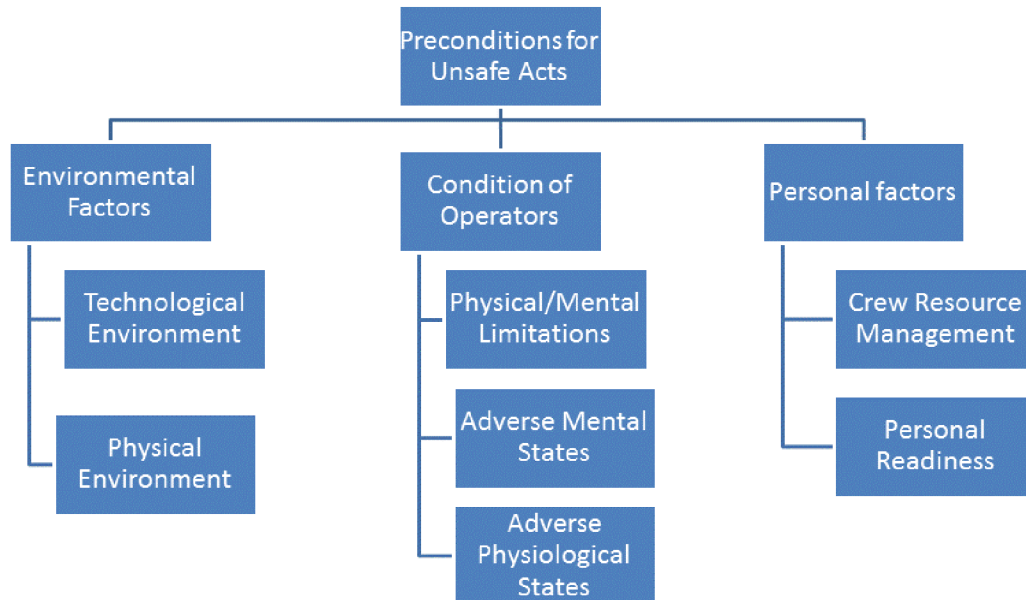
Väčšinou sem spadajú priestupky, ktoré tzv. „ohýbajú“ zákon a skúšajú hranice. Príkladom môže byť let v hraničných meteorologických podmienkach alebo predvádzanie sa, ktoré samé o sebe nie sú protizákonné ale pri súhre okolností môžu viesť k nešťastiu. [2]

Exceptional Violations (Význačné priestupky)

Nepochopiteľné a neuvážené činy ohrozujúce ľudí na palube a/alebo na zemi + majetok. Vedomé porušenia a odchýlky od predpisov, zákonov. Napríklad let popod most, nepovolené manévry, vedomé prekročenia limitov lietadla napr. MTOW, vedomé sklesanie pilota pod Minimum Descent Altitude počas priblíženia, úmyselné ohrozenia. [2]

1.2.2 Preconditions for unsafe acts (Podmienky pre vznik nebezpečných činov)

Nie je možné sa čisto zameriavať len na nebezpečné činy konané pilotmi v prvej línii. K porozumeniu treba zistiť čo za nimi stojí.



Obr.č.4 – Štruktúra Preconditions for Unsafe Acts[27]

1.2.2.1 Condition of Operators (Stav človeka)

Physical/Mental Limitations (Fyzické a psychické limity)

Zahrňuje veci ako vizuálne limity (tma, diaľka, kontrast), nedostatočný reakčný čas, presýtenosť informácií (je nutné si vyberať, ktoré informácie sú v danej situácii užitočné), neadekvátna skúsenosť k danej situácii (môže sa stať, že pilot pre danú situáciu nemá skúsenosť), nevhodné fyzické možnosti človeka/nespôsobilosť (podstupovanie pravidelnej lekárskej prehliadky), limity zmyslových vstupov.

Adverse mental states (Zlý psychický stav)

Patria sem stavy ako strata situačnej pozornosti (zlyhanie extrakcie informácií z okolia, ich spracovania a použitia), navodzovanie falošného pocitu bezpečia (stav, kedy má človek pocit, že mu nič nehrozí, často nastáva pri konci letu), stres, prehnaná sebaistota, malá bdelosť, únava, odvádzanie pozornosti, venovanie plnej pozornosti len jednému faktoru, posunuté biorytmy vplyvom preletov časových pásem.

Adverse Physiological States (Zlý fyziologický stav)

Zahrňa tradičné choroby ako viróza/chrípka, hypoxia (nedostatok kyslíku), fyzická únava, intoxikácia (alkohol, drogy), kinetóza, efekty voľne predajných liekov. [2]

1.2.2.2 Personnel Factors

Crew Resource Management CRM

Dobré komunikačné schopnosti a teamová spolupráca je základom psychológie teamu. CRM je tak základným stavebným kameňom pre letectvo. Táto kategória vznikla, aby brala do úvahy zlyhania v dôsledku chabej komunikácie medzi personálom. Zahŕňa všetko od predletovej prípravy do ukončenia činnosti poletovým rozborom a zároveň zahrňuje všetkých účastníkov (pilotov, ATC, mechanikov)

Personal Readiness (Príprava jedinca)

Predpokladá sa, že zamestnanec prichádza do práce pripravený aby podal optimálny výkon. Problém nastáva, ak sa jedinec nepripraví fyzicky a mentálne na prácu (porušenie odpočinkových limitov, absencia letovej prípravy, nedostatočný príjem potravy kvôli krátkym pauzám) [2]

1.2.2.3 Enviromental Factors

Physical Enviroment (Fyzické okolie)

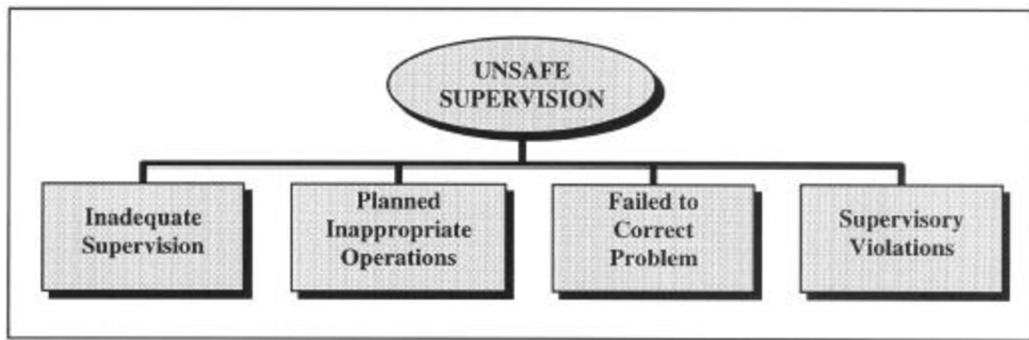
Odkazuje na pracovné prostredie napríklad počasie, výška, terén a okolité podmienky v cockpite ako teplota, vibrácie, svetlo, toxíny.

Technological Enviroment (Technické okolie)

Technologický enviroment, v ktorom sa pilot nachádza, môže mať veľký dopad na jeho podávaný výkon. V HFACS predstavuje tento pojem rôzne problémy zahrňujúce design, umiestnenie vybavenia, ovládacích prvkov, displejov, rozvrhnutie checklistu, automatizáciu. Príkladom môže byť istá podobnosť medzi ovládaním klapiek a podvozku, kde sa odohralo niekoľko prípadov zasunutia podvozku na zemi. Ďalej je možné spomenúť nehody, kde pri poruche motora, bol vypnutý pracujúci motor a tak lietadlo ostalo bez pohonu.

Dnešná doba vedie k novým designom a hlavne k použitiu glass-cockpitu. Tento koncept prináša veľa výhod a eliminuje niektoré problémy týkajúce sa zlyhania ľudského faktora. Zároveň však prináša problémy ako vysoká automatizácia, čo na jednej strane môže chrániť pilota od veľkého prílevu informácií, ktoré je nutné v krátkej dobe spracovať a riešiť. Na druhej strane vznikajú problémy ako nadmerná dôvera v prístroje a nerešpektovanie vlastného zdravého rozumu. Pilotom je tak častokrát navodzovaný falošný pocit bezpečia a oni strácajú bdelosť pri lete a prestávajú monitorovať priebeh letu.[2]

1.2.3 Unsafe Supervision (Nebezpečné vedenie)



Obr.č.5 – Štruktúra Unsafe Supervision[27]

Inadequate Supervision (Nevhodné vedenie)

Úlohou vedenia alebo vedúceho je poskytovať personálu podmienky pre úspešné vykonanie práce. Preto je nutné vedenie, tréning, dohľad, povzbudzovanie, možnosť poradiť. Ak zamestnancom nie je poskytované dostatočné vedenie a tréning, môžu tak v kritických situáciách strácať na výkone.

Planned Inappropriate Operations (Plánované nevhodné konania)

Jedná sa o vystavovanie posádok nebezpečiu a následné možné degradovanie podávaného výkonu v prípade vypätých situácií. Príkladom je nevhodné skladanie posádok (tzv. tyran kapitán spolu s nováčikom druhým pilotom, kde pri neskúsenosti druhého pilota a následných búrlivých reakciách kapitána vzniká napätie v cockpite).

Failure to Correct a Known Problem (Zlyhanie korekcie známeho problému)

Daný faktor môže nastať napríklad vybavení, tréningu, jednotlivcoch. Príkladom môže byť pilot, o ktorom sa vie, že má za sebou už určité prehrešky a má tzv. zarobené na problém. Vedenie o tomto fakte vie a pritom necháva daného pilota stále pracovať.

Supervisory Violations (Priestupky vedenia)

Priestupky vedenia nastávajú ak vedenie úmyselne poruší stanovené zákony, pravidlá, nariadenia. Aj keď sú veľmi zriedkavé, vyskytli sa už. Príkladom je, že pilotovi bolo prikázané/dovolené riadiť lietadlo aj s neplatným preukazom/prepadnutou licenciou.[2]

1.2.4 Organizational Influences

Ak vplyv organizácie zahŕňa chybné rozhodnutia vrcholového managementu, tieto môžu ovplyvniť vedenie na nižších stupňoch, aj samotných operátorov, ktorými sú piloti.



Obr.č.6 – Štruktúra Organizational Influences[27]

Resource Management (Management zdrojov)

Má na starosti organizačné rozhodnutia v otázkach managementu ľudských zdrojov, finančné zdroje, zariadenia, technické vybavenie. K negatívnym faktorom sa môže dospieť nadmerným škrtním financií a tak nie je zabezpečený kvalitný výcvik pilotov, komponenty lietadla atď.

Organizational Climate („Klíma v organizácii“)

Zjednodušene v sebe zahrňuje, ako sa organizácia správa k jedincovi a následne aká z toho panuje atmosféra v spoločnosti. Ak medzi sebou management a pracovníci nekomunikujú bezpečnosť a výkonnosť pracovníkov trpí.

Organizational Process (Procesy spoločnosti)

Predstavuje pravidlá a postupy spoločnosti pri každodenných pracovných záležitostiach, zahrňujúc použitie štandardných operačných procedúr a metód. Príkladom môže byť mladý letecký mechanik, ktorý dostane za úlohu opravu určitej časti na lietadle. Postupuje podľa príručky a pristúpi k nemu starší skúsený kolega, ktorý mu povie že podľa danej príručky by opravu nespravil ani za týždeň a ukáže mu svoj postup. Tu vzniká riziko variability a nejednotnosti postupov pri opravách.[2]

1.2.5 Výhody a nevýhody HFACS

Každá z analýz disponuje určitými výhodami a trpí nedostatky. Dôvodom je, odlišný prístup s individuálnymi pozitívami a negatívami.

Výhody:

- Systematický kvalitatívny prístup a obsiahly prieskum všetkých možných faktorov, ktoré mohli prispieť k reťazcu udalostí, ktoré dali vzniku nehody alebo incidentu.
- Detailný klasifikačný systém, ktorý je často používaný pre vyšetovanie nehôd, kde je predpoklad, že hlavným kontribútorom k vzniku nehody bol ľudský faktor a následné poznatky je možné využiť k preventívnym opatreniam.
- Cieľom je aj zhŕňanie informácií od pracovníkov a ľudí na vedúcich pozíciách, ktorých cieľom je poznanie nedostatkov a následná realizácia opatrení.

Nedostatky :

- Hlavným nedostatkom je že metodika je postavená na vyhodnocovaní poznatkov odborníkmi, ktorých závery sa môžu líšiť. Preto je doporučené vždy realizovať analýzu viacerými znalcami a jej doplnenie kvantitatívnymi analýzami spoľahlivosti ľudského činiteľa (napr. HRA a jej metodiky) . [6]

1.2.6 Rozbor vybraných nehôd pomocou HFACS

HFACS (The Human Factors Analysis and Classification System) alebo aj Analýza ľudských faktorov a klasifikačný systém je metóda používaná na postupné určenie zlyhania ľudského faktoru na viacerých úrovniach. V tejto kapitole rozoberám vybrané letecké udalosti pomocou HFACS a snažím sa poukázať , že za nehodou nestojí len jeden fakt.

Letecká nehoda UL letúňa WT9 Dynamic, poznávacia značka OK-KUU 75, pri obci Kondrač, dňa 26.6.2014

Jednal sa o plánovaný let z LKCS do chorvátskej Puly. Let bol realizovaný v skupine s druhým UL lietadlom. Svedkovia videli UL letúň padať v pravotočivej vývrtke zakončenej nárazom do zeme. Obaja členovia posádky utrpeli smrteľné zranenia.

Hlavné informácie, ktoré mohli mať vplyv na daný let:

- Pilot nemal platný preukaz zdravotnej spôsobilosti
- Pilot nebol spôsobilý na riadené lety VFR
- Pilot nemal jazykovú doložku a aj tak sa rozhodol uskutočniť na riadené zahraničné letisko
- Pilot nemal skúsenosti s vyberaním vývrtiek

- Neoprávnené nainštalovanie prídavných palivových nádrží k palivovému systému
- UL bol preťažený o 132,8 kg tj. Prekročenie MTOW o 28,1%.
- Bola prekročená povolená zadná centráž
- Meteorologické podmienky vhodné pre vznik námrazy v karburátore
- Možnosť vlietnutia do oblačnosti a strata orientácie[10]

Prvou úrovňou v HFACS sú **Unsafe Acts**. Z daných informácií o vyšetrení vyplýva, že hrubým porušením pravidiel, ktoré spadá do kategórie **Exceptional Violations**, bolo namontovanie prídavných nádrží a výrazné prekročenie MTOW. Tento fakt sa musel hneď prejavíť na výkonoch lietadla. Podľa záverečnej správy bola príčinou nehody nezvládnutá pilotáž pri bližšie nešpecifickej neštandardnej situácii, preto je nutné uvažovať nad **Skill-Based Error** (príkladom by mohla byť strata orientácie a následná snaha zorientovať sa, viedla k odpútaniu pozornosti a strate rýchlosti a páde preťaženého lietadla do vývrtky).

Druhou úrovňou sú **Preconditions for Unsafe Acts**. Ako prvú by som spomenul kategóriu **Physical/Mental Limitations**. Z vyšetrenia jednoznačne vyplýva, že pilot nemal platný preukaz zdravotnej spôsobilosti. Je ale otázne (nie je uvedené v správe), či mu preukaz nebol obnovený z dôvodu nespôsobilosti alebo návštevu AME (Authorized Medical Examiner) zanedbal. Pred letom pilotka druhého lietadla uviedla, že pilot vyzeral byť nervózný. I keď istá miera stresu je prínosná pre podaný výkon, jeho nadmerné pôsobenie výkon degraduje, preto uvažujem aj kategóriu **Adverse Mental States**. Ako poslednú vec v danej úrovni by som spomenul **Physical Environment**, počasie tiež jednoznačne nebolo ideálne, pokrytie oblohy bolo 5-7/8 , výška základne oblačnosti bola v limitných hodnotách, dohľadnosť 8-10km. Existovalo teda riziko vletu do podmienok IMC.

V tretej úrovni **Unsafe Supervision**, by som spomenul jedine kategóriu **Inadequate Supervision**. Sem by som zaradil výcvik leteckých škôl, ktoré často v praxi neučia vyberanie vývrtek. Väčšina pilotov sa tak až do kritického letu s touto neštandardnou situáciou nestretne a v tom momente to už býva neskoro.

Štvrtú úroveň neberiem do úvahy, pretože pilot bol súkromník a nestála za ním žiadna organizácia. Tréning leteckej školy som zohľadnil v úrovni 3.

Nad daným rozborom je možné špekulovať s otázkou, „keby sa nestalo toto, stala by sa nehoda?“. Na tento fakt poukazuje Reasonov model, kde pri danej súhre okolností sa vytvorí priestor a nehoda je na svete.

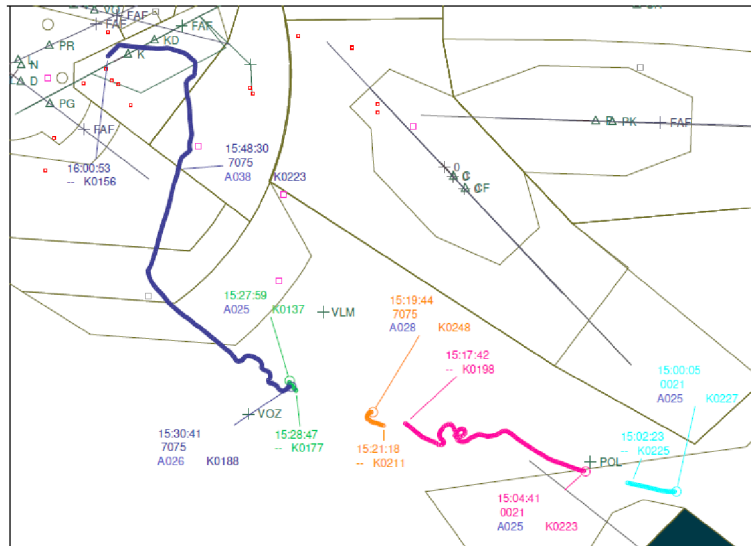
Významný incident letúňa C-172, poznávacia značka OK - TUR na navigačnom lete z LKTB na LKLT dňa 4. 2. 2014

Jednalo sa o navigačný let z LKTB na LKLT (posledný úsek letov za daný deň). V priestore Humpolca poblíž diaľnice D1 sa dostal do oblačnosti a stratil orientáciu. Pilot žiak následne nadviazal kontakt k TWR LKKB, odkiaľ mu po výrazných komplikáciách zo strany pilota pomohli k bezpečnému letu na LKLT. Let sa našťastie skončil len ako vážny incident bez zranení, ale aj tak došlo k zanedbaniu veľkej rady faktorov.

Hlavné informácie ktoré mali vplyv na daný let:

- Pilot nebol držiteľom preukazu rádiotelefonistu tzn. nebol spôsobilý na samostatné lety vo FIR
- Pilot nebol na let dostatočne pripravený
- Vlietol do podmienok IMC i keď bol o podmienkach na trati informovaný
- Neaplikoval postupy pri vlietnutí do nevyhovujúcich podmienok na VFR
- Nevyhlásil stav núdze
- Nepoužíval štandardnú frazeológiu
- Mal význačné problémy udržať doporučenú hladinu a kurz a opakovane klesal pod bezpečnú výšku v kopcovitom teréne za IMC
- Pilot mal celkový nálet 73 hodín pričom minimálny počet hodín ku skúške je 45 hodín. Podľa inštruktorov sa jednalo o nie veľmi nadaného žiaka. Navyše aj známky v zápisníku letov z jednotlivých letových úkonov a rádiokorešpondencie nepatrili k najlepším. [10]

Pri rozbere prvej úrovne podľa HFACS narážame asi na najzávažnejší fakt a to, že pilot na daný let nebol pripravený. Rozborom nehody a záznamov z radarov je vidieť, že pilot mal veľké potiaže udržať kurz (v mnohých prípadoch sa líšil od udanej hodnoty o desiatky stupňov viz. obrázok 7) a taktiež problémy udržať hladinu. Tieto fakty radím do **Skill-Based Errors**. Navyše boli porušené niektoré pravidlá ako nutnosť preukazu rádiotelefonistu pre samostatný let vo FIR (**Exceptional Violations**).



Obr.č.7 – Horizontálny profil letu pri incidente[28]

Pri tretej úrovni **Unsafe Supervision**, by som spomenul viac vecí. Prvou je **Inadequate Supervision**, kde je otázne, či pilot aj pri 72 hodinách bol spôsobilý na daný sólo let. Podľa rozboru nehody bol realizovaný preskúšavací let s inštruktorom pred sólo letom, pri ktorom bol označený ako spôsobilý. Môžeme ale vidieť, že pilot vlet do podmienok IMC absolútne nezvládol a stres mohol výrazne ovplyvniť nasledujúci priebeh letu. Študent tak na danú krízovú situáciu nebol pripravený. Navyše výcviková organizácia by mala mať o svojich študentoch záznamy a mala vedieť že pilot nie je držiteľom preukazu rádiotelefonistu a nemôže tak podstúpiť sólo let v riadenej oblasti (**Supervisory Violations**).

Štvrtú úroveň neberiem do úvahy pretože pilot bol súkromník a nestála za ním žiadna organizácia. Tréning leteckej školy som zohľadnil v úrovni 3.

Daná udalosť tak znova vznikla súhrou viacerých vplyvov kde ako najväčší aspekt považujem nevhodnosť danej osoby pre leteckú činnosť.

1.3 HRA- Human Reliability Assessment

Designéri systémov sa v dnešnej dobe stretávajú s ďaleko väčším problémom vytvorenia bezrizikového rozhrania človek - stroj kvôli čoraz viac narastajúcej komplexnosti systémov lietadla. Jedným z problémov pri vývoji Human-system interface (ďalej už len HSI) je, že je nutné očakávať reakcie na veľkú škálu stavov systému a designových možností. Kvôli tomuto sa v dnešnej dobe prikladá veľký význam k určovaniu systémových rizík. Cieľ - aby daný systém bol bezpečný a efektívny, dalo vzniku veľkého množstva výskumov a metodík pojednávajúcich o výkonoch človeka v designe HSI.

Human reliability assesment (ďalej len HRA) je jedna z najznámejších metodík ktorá pojednáva o výkonoch človeka v HSI a vznikla v 60- tých rokoch minulého storočia. Niekedy je HRA považovaná aj za vednú disciplínu zahrňujúcu systematickú aplikáciu informácií o ľudských charakteristikách a chovaní pre už spomínané zlepšenie efektívnosti a bezpečnosti HSI. [11]

Metóda by mala prinášať nasledujúce funkcie:

- Identifikovanie ľudskej chyby
- Odhadnutie pravdepodobnosti vzniku ľudskej chyby
- Identifikovanie príčin vzniku ľudskej chyby
- Zahnutie systematického procesu pre generáciu replikovaných kvalitatívnych a kvantitatívnych výsledkov
- Disponovanie približným modelom ľudských chýb s koreňmi v kognitívnych vedách a vedách chovania a správania človeka
- Poskytovanie informácií a dát k ich zhŕňaniu, overovanie teoreticky stanovených pravdepodobností a aplikácia tzv. pravdepodobnostných bezpečnostných posudkov (PSA Probabilistic safety assessment) [11]

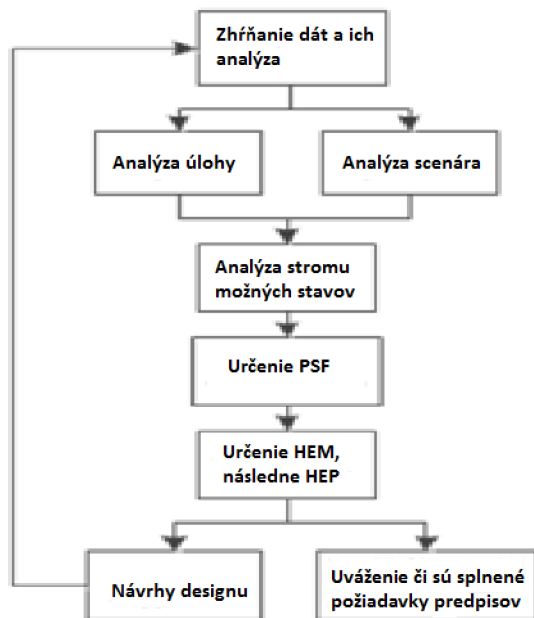
Jednotlivé činnosti človeka tvoria veľkú triedu zdrojov ľudských chýb, kde cieľom je ich identifikácia. Počas rokov sa objavilo až 38 druhov prístupov k identifikácii ľudských chýb (HEI Human error identification), kde všetky môžu byť rozdelené na kvalitatívne a kvantitatívne techniky.

Vo všeobecnosti HEI pojednávajú o väčšinou o 7 prístupoch a to :

- Definícia problému
- Analýza faktorov ovplyvňujúcich výkon (PSF Performance shaping factors)
- Analýza úloh
- Analýza ľudských chýb
- Analýza efektov daných chýb
- Stratégia redukcie chýb
- Pojednávanie o odporúčaniach pre zvýšenie efektívnosti a bezpečnosti[11]

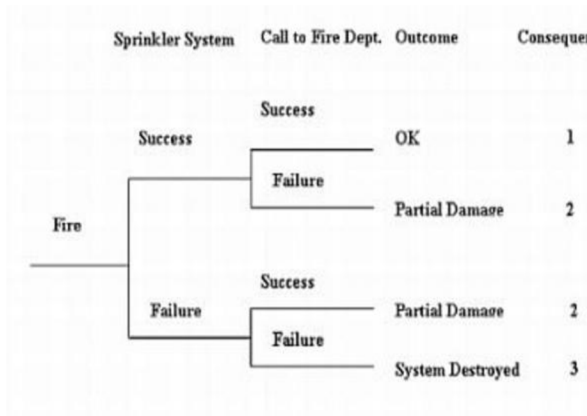
1.3.1 Technique of Human Error Rate Prediction THERP

THERP je jedná z najznámejších techník HRA a využíva kvantifikačný prístup. Princíp THERP spočíva v 9 základných krokoch



Obr.č.8 – Jednotlivé kroky pri použití metódy THERP[29]

- 1. Zhřňanie dát a ich analýza – Získavanie všetkých informácií týkajúcich sa chýb posádok, napr. nedostatky designu, dáta o nehodách a incidentoch.
- 2. Analýza úlohy – princípom je rozbor činnosti a rozpoznanie kritických častí úlohy. Je nemožné zároveň identifikovať všetky činnosti pri danej úlohe. Činnosti, pri ktorých pochybenie má za následok podmienky typu Catastrophic, Hazardous alebo Major musia byť kvantitatívne a kvalitatívne posúdené a následne dané činnosti po zhodnotení špecialistami môžu byť pozmenené, zakázané alebo sa vydajú určité pravidlá. Viz. príloha 2
- 3. Analýza scenára – je založená na potvrdených udalostiach alebo perspektívach. Zahrňuje chovanie pri danom kontexte/podmienkach. Do úvahy sa berú prvky ako účastníci, vybavenie, prostredie, úloha, nezvyklé podmienky.
- 4. Analýza stromu stavov – na základe výsledkov analýzy úloh sa vytvorí strom stavov ktorého cieľom je analýza ľudských chýb a ich následkov



Obr.č.9 – Priebeh vplyvu jednotlivých udalostí na výsledný efekt[29]

- 5. Určenie PSF – Faktory ovplyvňujúce výkon (Performance Shape Factors). Patria sem faktory ktoré ovplyvňujú ľudskú výkonnosť a delia sa na 3 druhy :
 - Externé – situačné charakteristiky, úloha, vybavenie, charakteristiky činností a úlohy. Patrí sem aj enviroment cockpitu, prestávky, dĺžka služby.
 - Interné – výcvik posádok, skúsenosti atď. Keďže sa predpokladá vysoká kompetentnosť a kvalitný výcvik posádok, sú v porovnaní s externými faktormi zanedbateľné
 - Stresory – akékoľvek faktory, ktoré spôsobujú psychické alebo fyzické napätie. Stres často význačne narastá, ak je nesúhra medzi externými a internými faktormi. Patrí sem napr. pracovná záťaž, čas na riešenie úloh, vyrušovanie, únava, hlad, smäd.
- 6. Určenie HEM – Human Error Mode (Mód ľudskej chyby). Tu sa prezentujú 4 základné modely pri ktorých môže vzniknúť chyba. Pre tabuľku s módmi ľudskej chyby a následkami viz. príloha 3.

Number	1	2	3	4	5
Human error mode	Omit	Lapse	Spatial illusion	Wrong pattern	Decision-making error
Number	6	7	8	9	10
Human error mode	Direction error	Timing error	Speed error	Sequence error	Force error

Obr.č.10 – typy módov ľudskej chyby[29]

- 7. HEP – Human Error Probability (Pravdepodobnosť ľudskej chyby) je zložitý proces určenia pravdepodobnosti vzniku ľudskej chyby pri danej činnosti.

$$BHEP = NHEP * PSFs$$

$$HEP = 1 - (1 - BHEP)^x$$

X= počet činností vyskytujúcich sa pri danej úlohe

BHEP = Basic Human Error Probability

NHEP = Nominal Human Error Probability (vyplývá s metody HEART)

HEP = Human Error Probability (Pravdepodobnosť zlyhania celej úlohy)

- 8. Human Error Management – by mal byť realizovaný v prípadoch zlyhaní typu Major, Hazardous a Catastrophic alebo pri veľkej frekvencii výskytu. Design je efektívnou cestou ako ovplyvňovať vznik ľudskej chyby preto prichádza do úvahy SHELL model a zváženie jednotlivých rozhraní.
- 9. System Safety – Výsledky preukážu či daný designový návrh spĺňa požiadavky predpisov (napr. CS-25) [12]

Výhody a nevýhody metódy THERP

Ako každý prístup k danému problému, aj tento má svoje klady a zápory, ktoré sa s ním spájajú. Hlavnými výhodami tejto metódy sú :

- Využitelnosť metodiky pri všetkých fázach návrhu a daných úlohách.
- Integrovaťnosť s inými metódami využívajúce strom poruchových stavov
- Transparentnosť, štrukturovanosť a logické posúdenie ľudskeho faktora
- Využitelnosť vo viacerých odvetviach, kde ústredným prvkom je spoľahlivosť človeka

Nevýhody danej metódy :

- Metóda THERP vyžaduje kvalitné a obsiahle zdroje kvôli požiadavke vypracovania presnej HEP
- Počet PSF je obvykle malý a základné psychologické faktory nebývajú identifikované
- Veľké rozdiely a nezrovnalosti pri použití odlišných analýz, ktoré majú často pôvod v identifikovaní všetkých činností danej úlohy a v rôznych hodnotách HEP.
- Mylný predpoklad, že všetky činnosti danej úlohy sú na sebe nezávislé[12]

1.3.2 Metóda HEART

Je vytvorená na rýchly a jednoduchý prístup ku kvantifikácii chyby ľudského činiteľa. Hlavným princípom je, že metóda berie do úvahy všetky faktory, ktoré ovplyvňujú výkonnosť pri danej úlohe. Všetky tieto faktory sú kvantifikované pre získanie celkovej HEP ako kolektívneho produktu všetkých faktorov. Metóda slúži ako zdroj informácií NHEP pre metódu THERP

Použitie metódy HEART je realizované v 5 krokoch:

- 1. Identifikácia jednotlivých činností ktoré vykonáva operátor(pilot) v danej úlohe a priradenie nominálnych pravdepodobností zlyhania ľudského činiteľa pre jednotlivé z nich. Tieto pravdepodobnosti vyhodnocujú experti v daných smeroch.
- 2. Určenie tzv. EPC Error producing condition (podmienky produkujúce chybu), ktoré majú zjavný negatívny dopad na výsledok. (neznámosť prostredia, nedostatok času, problém získavať informácie, nesúhlas modelu – operátor/design , zahltenosť informáciami a prácou atď.
- 3. Určenie tzv. APOE Assessed Proportion of Effect (priradená veľkosť efektu) pre dané EPC, ktoré vyplýva z posudku odborníka a určuje akou veľkou mierou daný EPC vplýva na danú úlohu.
- 4. Vypočítanie finálnej HEP
- 5. Uváženie použitia ERM Error Reduction Measures (opatrenia pre zníženie chýb). Daní špecialisti môžu zvoliť strategický prístup k EPC, ako ich odstrániť, vyrovnáť sa s nimi alebo zmierniť ich dopad . [13]

Výhody metódy HEART :

- Metóda nemá veľké nároky na zdroje
- Identifikuje hlavné vplyvy na výkonnosť ľudského činiteľa systematickým a opakujúcim sa spôsobom
- Je najpoužíwanejšou metódou pre posudky týkajúce sa designu
- Poskytuje užitočné návrhy ako redukovať výskyt chýb
- Možné použitie vo viacerých odvetviach, sférach

Nedostatky:

- Za hlavný nedostatok je považovaný fakt, že pravdepodobnosti výskytu chýb sú postavené na názorov odborníkov, kde rozdiely v posudkoch môžu viesť k značným rozdielom výsledkov HEP[13]

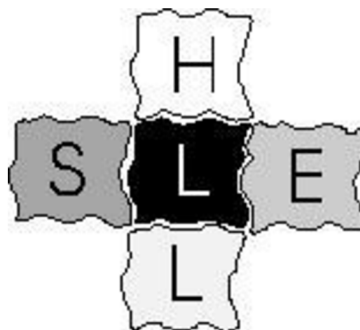
1.4 ICAO SHELL Model

Model SHELL je abstraktný model faktorov, ktorý vysvetľuje a podáva pohľad na vzájomné vzťahy medzi človekom a faktormi pracovného systému. Model vyvinul Edwards v roku 1972 a neskôr bol upravený do podoby blokov Hawkinsom v roku 1984. Dnešný model vychádza z koncepcie stanovenej v ICAO Circular 216-AN31. Názov konceptu vychádza zo začiatkových písmen pojmov, ktoré v sebe zahŕňa (Software, Hardware, Enviroment a Liveware. Využíva jednotlivé bloky, ktoré reprezentujú faktory ovplyvňujúce ľudský činiteľ. Je určený na základné porozumenie vplyvov na ľudský činiteľ. [8]

Behom rokov sa ukázalo, že zhruba $\frac{3}{4}$ nehôd mala za následok neoptimálna ľudská výkonnosť. Takéto príčiny boli v minulosti často označované ako chyba pilota. Toto označenie však nepomáha pri prevencii leteckých nehôd a incidentov a pôsobí skôr negatívne, lebo poukazuje len, kde sa v systéme stala chyba a nie čo chybu spôsobilo. Chyba spôsobená človekom v tak komplexnom systéme mohla byť vyvolaná zle vytvorenými prevádzkovými postupmi, nevhodným spracovaním SOP alebo manuálov. Jednoduché označenie ako „chyba pilota“ tak môže skryť ďalšie príčiny, ktoré je nutné brať do úvahy pri ďalšej prevencii. Koncept poukazuje na fakt, že za vznikom nehody takmer nikdy nestojí len jedinec.

Liveware

Model SHELL je zameraný na človeka, teda liveware, najkritickejší a zároveň najflexibilnejší komponent daného systému. Zo všetkých častí je najmenej predvídateľný a najviac náchylný na efekty interných (hlad, únava, motivácia) a externých (teplota, svetlo, hluk, pracovná záťaž) zmien. Štúdiu ľudského činiteľa je venovaná veľká pozornosť, aby sa v čo najväčšej miere dalo predpokladať chovanie človeka. Nerovný povrch jednotlivých blokov vyjadruje riziko ľahkého rozpadu systému, čomu je nutné zabrániť. Ak je cieľom udržanie týchto blokov pokope je nutné, aby došlo k porozumeniu, čo za jednotlivými vzťahmi systému stojí a následnou snahou o ich upevnenie.



Obr.č.11 – Model SHELL[30]

Liveware – Liveware

Charakterizuje rozhranie medzi ľuďmi. Venuje sa schopnosti viesť, spolupráci a kooperácií, teamovej práci a osobnej komunikácií. Zahŕňa programy ako Crew Resource Management CRM, Team Resource Management TRM. Do úvahy sa berie aj komunikácia so zložkami riadenia letovej prevádzky a pri menších lietadlách vplyv spolucestujúceho na PIC.

Liveware – Software

Software zahŕňa v sebe zákony, pravidlá, postupy, nariadenia, príkazy, SOP (Standard Operating Procedures), dohody, zvyky. Zároveň predstavuje aj počítačové programy určené pre systémy lietadla. Pre zaistenie bezpečnosti a funkčnosti tohto rozhrania je nutné, aby software, či už postupy, zákony atď. je reálne možné zaviesť a uplatniť. Taktiež je treba venovať pozornosť frazeológii, ktorá je náchylná na omyl, zmätenie alebo je príliš zložitá.

Lifeware-Hardware

Rozhranie človek - stroj v sebe zahŕňa veci ako sedadlá, ktoré musia zodpovedať určitým rozmerom a musia byť vhodne umiestnené a orientované, aby informácie zo zmyslov v čo najväčšej miere ladili zmenám pohybu a polohy lietadla riadiacimi orgánmi. Pojednáva aj o zobrazovacích jednotkách, z ktorých užívateľ musí ľahko čerpať informácie a nesmú veľmi zaťažovať zmyslový systém. Venuje sa aj systému riadenia a jeho prirodzeným reakciám na zásahy do riadenia a vplyvom na človeka. Dôležitým faktorom je aj rozmiestnenie ovládacích prvkov v cockpite, ktoré musí byť intuitívne. O tomto rozhraní bude pojednávať samostatná kapitola.

Liveware-Enviroment

Zahrňuje rozhranie, ktoré je sčasti mimo kontroly človekom, jedná sa hlavne o faktory ako teplota, počasie atď., v ktorých lietadlo operuje. Na základe toho vzniká nutnosť chrániť človeka od týchto vplyvov, zlepšovať alebo umožňovať mu podmienky pre činnosť na zotrvanie v cockpite. Jedná sa o ochranu a reguláciu vplyvov ako teplota, vlhkosť, hluk, kyslík, žiarenie atď. Realizujú sa tu viaceré disciplíny ako štúdium enviromentu, fyziológie, psychológie, fyziky. [9]

2. Rozhranie človek - stroj

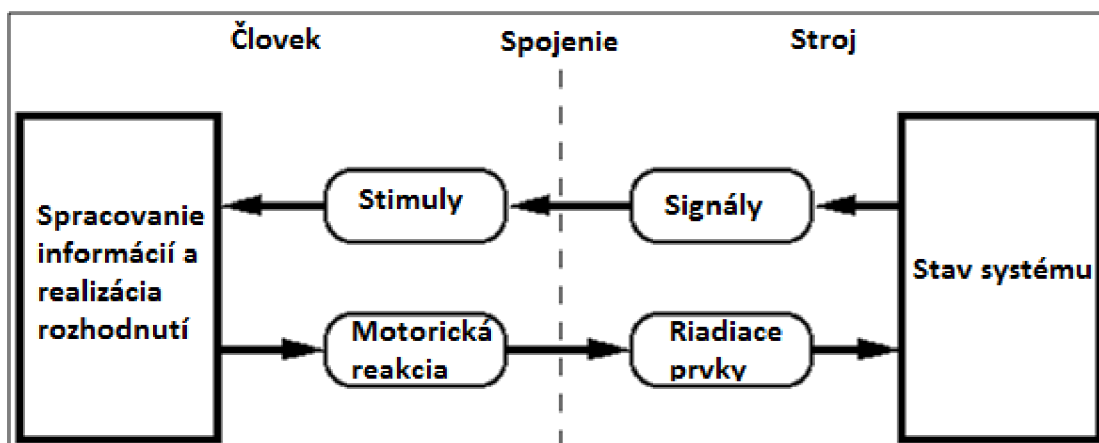
Daná práca bližšie pojednáva a predstavuje rozhranie Lifeware-Hardware, ktoré zahŕňa z väčšej časti pojem *ergonómia*. Názov pochádza z gréckych slov *ergon* (práca) a *nomos* (zákon prírody). [8]

ICAO Digest No.1 špecifikuje ergonómiu ako vednú disciplínu zaoberajúcu so vzťahom medzi človekom a vybavením pre účely designu. Študuje ľudské črty a miery a určuje požiadavky na hardware vychádzajúce z charakteru aktivít človeka.

Vzťah Lifeware-Hardware, o ktorom pojednáva model SHELL, môžeme vidieť ako rozhranie človek - stroj zahrňujúci ich vzájomnú interakciu pre dosiahnutie cieľa. Ergonómia sa tak snaží optimalizovať túto interakciu a zároveň berie do úvahy charakteristiky ostatných systémov (environment, software).

Zjednodušená reprezentácia systému človek - stroj zobrazuje nasledujúci obrázok. Pravú časť obrázka zobrazuje stroj. Signály (vizuálne a akustické) informujú človeka o internom stave systému alebo o externých podmienkach prostredia. Riadiace prvky umožňujú človeku zasiahnuť do systému a meniť stav. Človeka zobrazuje ľavá časť obrázku. Informácie či už vizuálne alebo akustické musia byť zaznamenané a spracované človekom a následne môžu byť realizované rozhodnutia. Motorické odpovede následne môžu meniť stav systému. Cieľom ergonómie je ľahký, účinný a správny prechod informácie v tomto systéme.

Podľa výskumov spoločnosti *Ergonomic Research Society*, chyby, ktorých pôvod je najmä kvôli zlému designu ovládacích a riadiacich prvkov, majú tendenciu sa opakovať. [8]



Obr.č.12 – rozhranie človek - stroj[31]

Ciele a účel, na ktorý má systém slúžiť, musí byť definovaný pred tým, než dôjde k vytvoreniu rozhrania človek - stroj. Tieto ciele a možné operačné obmedzenia definujú podmienky, v ktorých rozhranie človek - stroj bude fungovať. Operácia mimo týchto

podmienok môže viesť k nebezpečným situáciám (napríklad let do IMC bez potrebných prístrojov alebo pilotného výcviku).

Ďalšou významnou úlohou je určenie funkcií človeka a stroja. Team vytvárajúci systém a design určia, aké funkcie budú priradené hardwaru, softwaru a človeku založené na charakteristikách človeka, pracovnej záťaži, nákladoch, požiadavkách na výcvik, prístupných technológiách atď. Funkcie, ktoré sú nesprávne priradené, môžu takisto narušiť bezpečnosť a efektívnosť sústavy.

Najčastejšie otázky, ktoré treba riešiť sú:

- Aké vstupy a výstupy musia byť poskytované, aby systém fungoval
- Aké procesy sú nutné k vytvoreniu výstupov pre pilota
- Akú funkciu má človek v systéme
- Aký je požadovaný výcvik pre človeka pôsobiaceho v danom systéme
- Sú úlohy požadované systémom kompatibilné so schopnosťami človeka
- Aký prístup do systému je pre človeka potrebný, aby dokázal vykonávať danú úlohu[12]

2.1 Prostredie konvenčne vybaveného cockpitu

Ďalší text bude pojednávať o prístrojoch a systémoch vyskytujúcich sa v lietadlách všeobecného letectva do 2250kg.

Hlavným rozdielom, ktorý priniesol technologický vývoj pri letúňoch v danej kategórii sú palubné prístroje, ich možnosti, interpretácia dát a doplnkové funkcie. Väčšina letúňov v tejto kategórii disponuje kvôli svojmu dátumu výroby, rokom skúseností ale aj kvôli cenovej prístupnosti tradičnými konvenčnými analógovými letovými prístrojmi.

2.1.1 Vizúálne prostredie

Informácie, ktoré spracováva vizuálny systém pilota a ich pôvod, sú v rozhraní človek - stroj v prevažnej miere poskytované palubnými prístrojmi(letové, motorové, navigačné).

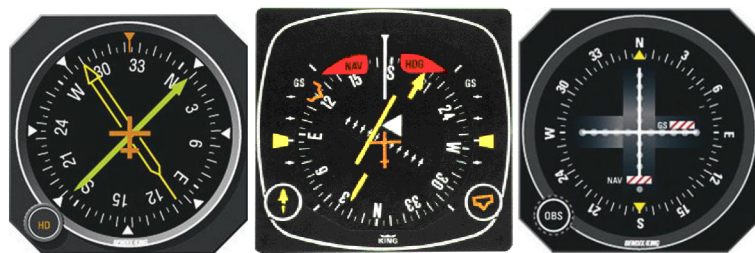
Prístroje vyskytujúce sa v cockpite lietadiel, sa delia na 3 základné druhy a to :

- letové (poskytujú informácie o orientácii, rýchlosti a polohe lietadla v priestore). Patrí sem takzvaná základná šestka a to rýchlomer, umelý horizont, výškomer, smerový zotrvačník, zatačkomer a variometer. Podľa usporiadania štyroch z nich sa označuje tzv. T konfigurácia, ktorá je akýmsi štandardom už od roku 1953. Magnetický kompas (priamy) býva nad prístrojovou doskou z dôvodu ovplyvňovania magnetizmu vplyvom blízkosti k magnetickým materiálom a vodičom. [4]



Obr.č.13 - T konfigurácia letových analógových prístrojov[32]

- navigačné, ktoré sa vyskytujú často napravo od letových (nemusia byť pravidlom) a patria sem indikátory ADF, HSI/CDI a Glide path.



Obr.č.14 - navigačné prístroje(postupne RMI, HSI, LOC/GP[32])

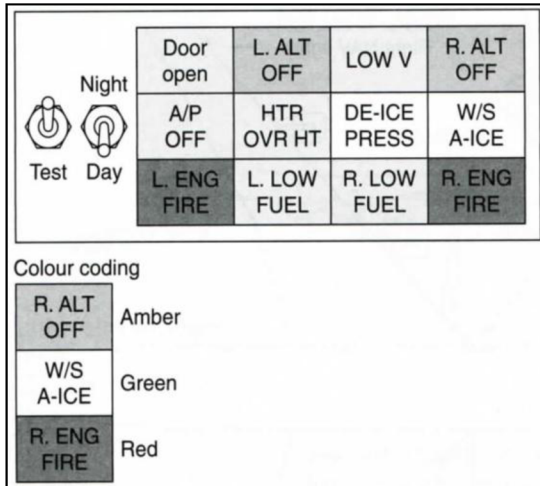
- Motorové, zahrňujúce informácie o otáčkach, tlakoch, teplotách a systémoch súvisiacich s motorom ako palivový systém (množstvo paliva, teplota paliva atď.)
- Iné, napríklad indikátor vonkajšej teploty, presné palubné hodiny, indikátor správnej činnosti napájania gyroskopických prístrojov (Presné požiadavky na minimálne vybavenie letúňov pri riadených letoch VFR a IFR v predpise L6 Hlava 6-PŘÍSTROJE, VYBAVENÍ LETOUNU A LETOVÁ DOKUMENTACE)

Dôležitú úlohu v cockpite hrá logické rozmiestnenie prístrojov. Je jednoznačné, že súvisiace prístroje sa združujú pri sebe, čím sa redukuje čas a zjednoduší sa skenovanie a získavanie informácií z palubných prístrojov. Nevýhodou týchto analógových prístrojov je ich fixná pozícia a trvalé zabratie priestoru aj v prípade, že v danej fáze letu nie sú potrebné. Tento problém sa ešte viac prehľbuje pri lietadlách s viacerými motormi a pokročilejšími systémami, kde je nutné indikovať veľa parametrov.

Okrem týchto základných prístrojov lietadlo môže v danej kategórii disponovať svetelnou a akustickou signalizáciou

- Signalizačné zariadenie upozorňuje posádku na stav a funkciu lietadlových systémov, pohonných jednotiek a letovú situáciu.
Výstražný panel je sústava svetiel s popisom identifikujúcim povahu problému a príslušným farebným odlišením. V prípade, že je v cockpite vizuálny indikátor

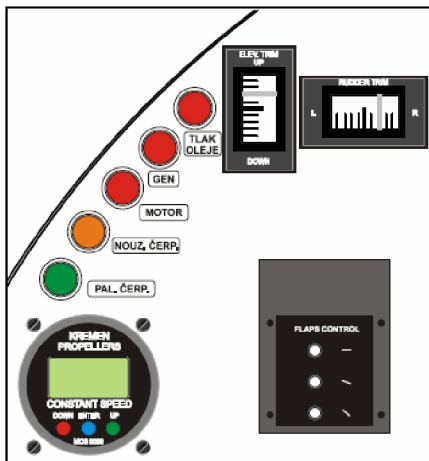
pre signalizáciu nesprávnej funkcie prístroja alebo sústavy, musí byť viditeľný za všetkých svetelných podmienok. Cieľom je varovanie, upozornenie, informovanie pilota o rizikách a stavoch lietadla. V danej kategórii varovné svetlá nebývajú doplnené aj akustickým signálom ako je to zvykom pri veľkých dopravných lietadlách. Je nutné poznamenať že väčšina letúňov nedisponuje takýmito varovnými panelmi a dokonca ani jednotlivými svetlami, preto je pilot odkázaný na pravidelné kontrolovanie príslušných prístrojov.



Obr.č.15 - možné usporiadanie svetiel výstražného panela s popisom charakteru závady[35]

Požiadavky predpisu CS-23 na farbu svetiel:

1. Červená – výstražné svetlá pre nebezpečie vyžadujúce okamžitý zásah
2. Žlté – výstražné svetlá pre stavy nevyžadujúce si okamžitý zásah
3. Zelené(modré) – informácie o funkcií sústavy
4. Iné – odlišené tak aby nedošlo k zámene[15]



Obr.č.16 - samostatné LED diody u lietadla VUT 001 Marabu[33]



Obr.č.17 - vizuálna signalizácia polohy podvozku pri lietadle C172 RG[34]

2.1.2 Akustické signály v konvenčně vybavených letúňoch

Zvukové signály ktorými disponujú konvenčne vybavené lietadlá v danej kategórii zahŕňajú identifikačné signály pozemných navigačných zariadení, varovanie pádovej rýchlosti, varovanie zasunutého podvozku pri nízkej rýchlosti.

- Identifikačné signály pozemných navigačných zariadení slúžia na overenie správneho naladenia stanice a jej funkčnosti pozostávajúce z vysielania Morse kódu na audio kanály zariadenia opakujúceho sa stanovený počet krát za minútu pre príslušné zariadenie. [16]
- Varovanie pádovej rýchlosti vydávajúci trvalý tón alebo zvuk zvončeka pri dosiahnutí kritického uhlu nábehu. Cieľom je varovanie pilota pred blížiacim sa pádom.
- Varovanie zasunutého podvozku pri stiahnutej páke prípuste vyskytujúcich sa napríklad pri typoch Z-326 a Z-526 a C-172RG. Varovanie je na princípe zvončeka ktorý upozorňuje pilota na stiahnutú páku prípuste v prípade nevysunutého podvozku.

Príkladom kde akustické signály boli zle vyhodnotené, ale pôvod nehody je v nedodržaní postupov, je nehoda z 5.5.2012 letúňa Z-526 [6], kde pilot pri klesaní v snahe znížiť rýchlosť vysunul podvozok a na finále si ho v domnení že ho vysúva naspať zasunul. Pilot robil priblíženie na plyne a tak varovanie nevysunutého podvozku prišlo až v poslednom momente, kde pilot toto varovanie v dôsledku sústredenia sa na dosadnutie považoval za varovanie párovej rýchlosti. V dôsledku priblíženia na plyne by aj správne vyhodnotenie akustického signálu kvôli krátkosti času už nedovoľovalo reakciu riešiacu situáciu.

2.2 Digitálne avionické systémy

V priebehu len niekoľkých rokov cockpity ľahkých lietadiel prešli zmenou od konvenčných analógových prístrojov k digitálnym elektronickým displejom často označované ako glass cockpit. Tieto displeje integrujú ovládanie lietadla, autopilot, komunikáciu, navigáciu, monitorovacie funkcie, systémy zlepšujúce povedomie o situácii (TCAS, TAWS/GPWS), GPS ako samozrejmosť a aplikujú technológie kedysi prístupné len v dopravných lietadlách. Pokročilé možnosti funkcií a informácií glass cockpitu reprezentujú významnú zmenu a potenciálne zlepšenie spôsobov monitorovania informácií pilotmi potrebných pre riadenie lietadla.

Takýto druh avioniky sa najprv začal objavovať vo forme necertifikovaných systémov v experimentálnych a amatérsky postavených lietadlách. Prvou spoločnosťou ktorá začala vybavovať svoje lietadlá certifikovanými systémami bola Cirrus Design Corporation v roku 2003. Jednalo sa o dnes už veľmi známe modely SR20 a SR22, kde výbava digitálnymi displejmi je štandardom. Neskôr nasledovali spoločnosti ako Cessna, Piper, Mooney, Hawker Beechcraft. Podľa asociácie GAMA do roku 2006 v USA, 90% novo vyrobených piestových lietadiel bolo plne vybavených glass cockpitom. [17]

Predstavenie takýchto pokročilých technológií v malých lietadlách okrem prínosov, spôsobilo nové obavy v bezpečnosti ako design a ergonómia, ovládanie, požiadavky na výcvik a vplyv na výkon pilota.

Ďalší text bude pojednávať o možnostiach a prínosoch digitálnych avionických systémov. Názorné ukážky sú prezentované na systéme Garmin G2000, čo je jeden z najmodernejších glass cockpitov pre lietadlá s piestovým motorom a ukazuje akým smerom sa bude vývoj zrejme posúvať.



Obr.č.18 - cockpit vybavený systémom Garmin G2000[36]

2.2.1 Prínosy digitálnych avionických systémov

Napriek dlhoročným skúsenostiam a relatívnej spoľahlivosti analógových prístrojov, digitálne avionické systémy prinášajú neprehliadnuteľné výhody, ktoré ich v určitých smeroch stavajú nad konvenčne vybavené letúne.

Pokročilé vizuálne prostredie

Na rozdiel od konvenčných analógových prístrojov sú tieto lietadlá zväčša vybavené dvoma LCD panelmi zvolenej veľkosti. Panel na ľavej strane je PFD (Primary Flight Display) a na pravej MFD (Multi Function Display).

PFD združuje celú radu letových a navigačných prístrojov a prináša ich v ucelenej forme na jednom prehľadnom displeji. Elektronický PFD nahradzuje mechanické prístroje citlivé na tlak tzv. air data computerom na spracovanie statického a dynamického tlaku pre určenie rýchlosti, výšky atď. Nahrádzajú taktiež mechanické gyroskopy systémom AHRS (Attitude and Heading Reference System) využívajúce senzory v troch osiach pre určenie klopenia, klonenia a zatáčania. Údaje sú ďalej integrované a použité pre navigačné účely a autopilota. [17]

MFD alebo Multi-function Display, je displej na pravej strane a jeho účelom je zobrazenie panelu poskytujúceho informácie o motore a príslušných systémoch. Okrem neho sa pilotovi podľa voľby môže zobrazovať viacero ďalších možností (navigačná mapa, informácie o počasi, checklisty, mapy Jeppesen, Safetaxi). Obrázok č.21 zobrazuje jedno z možných usporiadaní MFD, ktoré obsahuje navolený EIS (Engine Indication system) a navigačnú mapu.

Hlavné prínosy:

- prehľadnosť, zrýchlenie a zefektívnenie skenovania cockpitu
- možná voľba aktuálne potrebných informácií na MFD
- presnosť zobrazovaných údajov a ich ergonomické usporiadanie
- obsiahlosť dostupných informácií
- výpočetný výkon (kontinuálna kalkulácia informácií pre autopilot, navigáciu atď.)
- z vizuálneho hľadiska lepšie podanie informácií o polohe lietadla oproti analógovým prístrojom (navigačná mapa s traťou a topografickou situáciou, veľký umelý horizont)



Obr.č.19. - usporiadanie PFD[37]

- 1.Rýchlomer
- 2.Indikovaná rýchlosť
- 3.Aktuálny kurz
- 4.Skutočná vzdušná rýchlosť
- 5.Horizontal Situation Indicator(HSI)
- 6.Časovač
- 7.Odchýlka teploty od ISA
- 8.Vonkajšia teplota (OAT)
- 9.Možnosti ovládania
- 10.Systémový čas
- 11.Zvolený kurz
- 12.Zatáčkomer
- 13.Navigačné informácie
- 14.Nastavenie tlaku výškomera
- 15.Variometer
- 16.Zvolená výška
- 17.Výškomer
- 18.Indikátor zvolenej výšky
- 19.Navolená frekvencia rádia
- 20.Informácie AFCS
- 21.Indikátor sklzu/výklzu
- 22. Indikátor polohy



Obr.č.20 - doplnkové informácie na PFD[37]

- 1.Referenčné rýchlosti (Vx, Vy, Best Glide)
- 2.Informácie o prevádzke
- 3.Indikátor zvoleného kurzu
- 4.Informácie o vetre
- 5.Informácie DME
- 6.Vložená zmenšená navigačná mapa
- 7.Informácie o smerníkoch
- 8.Okno s varovaniami
- 9.Minimum Descent Altitude
- 10.Indikátor trate
- 11.Indikátor zostupovej roviny
- 12.Hlásič majáku markera
- 13.Upozornenie na terén
- 14. Status AFC



Obr.č.21-MFD zobrazujúci informácie o motore a príslušných systémoch a navigačnú mapu[37]

Automatizácia

Automatizácia cockpitu bola kedysi výsadou len dopravných lietadiel, kde bol priestor a možnosti umiestnenia výpočtovej techniky, pokročilých navigačných zariadení a mechanizmov pre prenos síl do riadenia. Postupom doby prišlo k zmenšovaniu zariadení a k rastu výpočtových možností a tak sa automatizácia v obmedzenej miere začala využívať aj pri menších lietadlách. Vo všeobecnosti pokrok v automatických riadiacich systémoch spôsobil výrazné zlepšenie v spoľahlivosti vybavenia a viedol k nárastu presnosti komplexných funkcií. Systémy disponujú autopilotom, ktorý v dnešnej dobe zvládne takmer všetko to, čo u dopravných lietadiel (vyjmúc funkcie automatického pristátia, s čím sa však už experimentuje). Existujú aj funkcie ako ESP (Electronic Stability and Protection), ktoré chránia pilota pri manuálnej pilotáži pred pádom, prekročením rýchlosti, veľkým náklonom atď.

Hlavné ciele automatizácie :

- zníženie pracovnej záťaže a možnosť distribúcie pozornosti
- zníženie únavy
- väčšia presnosť a bezpečnosť pri vykonávaní rutinných operácií (let po trati)
- zníženie (zlepšenie) RNP, Required Navigation Performance
- zvýšenie produktivity a ekonomickosti (menšia spotreba paliva)

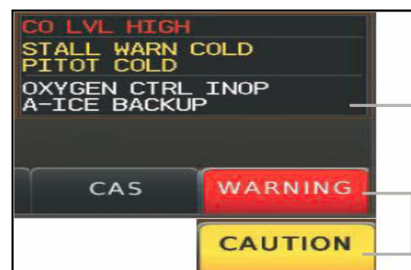
Vlastné Monitorovanie systému

Jednou z ďalších výhod oproti cockpitu vybavenom analógovými prístrojmi je vlastná kontrola systémov a parametrov. V konvenčne vybavenom lietadle je pilot odkázaný na pravidelné skenovanie prístrojov a mal by byť schopný rozpoznať ich nefunkčnosť prípadne zlú interpretáciu údajov. Toto sa však javí ako veľký problém a v adverzných podmienkach, kde je pilot vystavený vysokej pracovnej záťaži, prípadne sa nachádza v podmienkach IMC, je veľké riziko prehliadnutia nesprávnej indikácie prístroja.

Moderné digitálne avionické systémy sú budované tak, aby dokázali informovať pilota o poruchách a stavoch systému. Cieľom je zabránenie spoliehania sa na mylné údaje, čo by v kritických situáciách mohlo mať fatálne následky. Príslušné stupne rizika sú farebne a akusticky odlišené.



Obr.č.22 - príklad indikácie nefunkčnosti daného letového prístroja na PFD[37]



Obr.č.23 - okno zobrazujúce konkrétnu poruchu alebo stav systému[37]

Zvyšovanie prehľadu o situácií

Veľkou snahou moderných systémov je zvyšovanie bezpečnosti cestou poskytovania informácií o teréne, prevádzke a redukcia počtu nehôd a incidentov s nimi spojenými.

TAWS

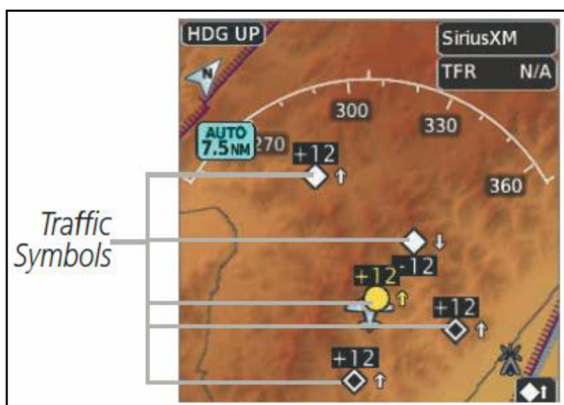
Terrain Avoidance Warning System je systém na spoľahlivé automatické poskytovanie informácií posádke o potenciálnych kolíziách s terénom s dostatočným časovým predstihom pre účinnú možnosť zabrániť situácii. [18] Cieľom je redukcia počtu CFIT (controlled flight into terrain) nehôd, kde pilot za podmienok IMC si nie je vedomý, že lietadlo smeruje do terénu. Varovania sú pilotovi prezentované na PFD vo forme červeného nápisu PULL UP prípadne TERRAIN a akusticky.

Alert Type	PFD/Terrain SVT Pane Annunciation	Touchscreen Controller Pop-Up Alert	Voice Alert
Reduced Required Terrain Clearance Warning (RTC)	TERRAIN	WARNING - TERRAIN	"Warning; Terrain, Terrain"
Imminent Terrain Impact Warning (ITI)	TERRAIN	WARNING - TERRAIN	"Warning; Terrain, Terrain"
Reduced Required Obstacle Clearance Warning (ROC)	TERRAIN	WARNING - OBSTACLE	"Warning; Obstacle, Obstacle"

Obr.č.23 – príklad vizuálnych a akustických varovaní pri rôznych situáciách[37]

TCAS

Alebo aj Traffic Collision Avoidance System. Moderné digitálne cockpity, ako napríklad Garmin G2000, sú vybavené systémami pre zabránenie zrážke s inými lietadlami, ktoré taktiež disponujú danou možnosťou. Informácie o polohe GNSS si prenášajú pomocou ADS-B a vyhodnocujú sa možné konflikty. Rozdielne farby charakterizujú riziko na základe blízkosti a trajektórie druhého lietadla.



Obr.č.24 – prezentácia informácií o prevádzke na navigačnej mape[37]

Zvyšovanie možností získavania informácií za letu

Jednou zo snáh pri presadzovaní nových digitálnych avionických systémov je skvalitnenie možností prístupu pilota k informáciám za letu. To sa deje už cez databázy priamo uložené v systéme, alebo cez datalink, čo je komunikačný kanál pre výmenu informácií medzi lietadlami a lietadlom a pozemnými stanicami.

Počasie

Aktuálne informácie o počasí sú jedným z dôležitých bezpečnostných faktorov počas letu. Pred letom si pilot zozbiera dáta o počasí, ale pri rýchlych zmenách poveternostných podmienok môže dôjsť k ich nepoužitelnosti. Z konvenčných možností ako získať stav počasia počas letu je VOLMET, čo je rádiová frekvencia vysielajúca TAF, SIGMET a METAR. Digitálne avionické systémy disponujúce už spomínaným datalinkom sú schopné tieto informácie prijímať v obsiahlejšej forme a graficky alebo písomne zobrazovať pilotovi na obrazovke.

Mapy

Viacero dnešných avionických systémov v sebe máva uloženú databázu máp. Jedná sa napríklad o príletové a odletové mapy jednotlivých letísk kde je možné nájsť minimá, frekvencie atď. Pilot tak nie je nútený brať do stiesneného cockpitu hrbu papierov a má prístupnú celú databázu. Výhodou je aj pravidelná aktualizácia informácií.

Checklist-y

Podobne ako mapy, systém obsahuje checklisty pre jednotlivé situácie a pilot si ich môže zaradom odškrtať, ktoré už realizoval, čím sa minimalizuje riziko vynechania niektorého z nich.

2.2.2 Riziká digitálních avionických systémů

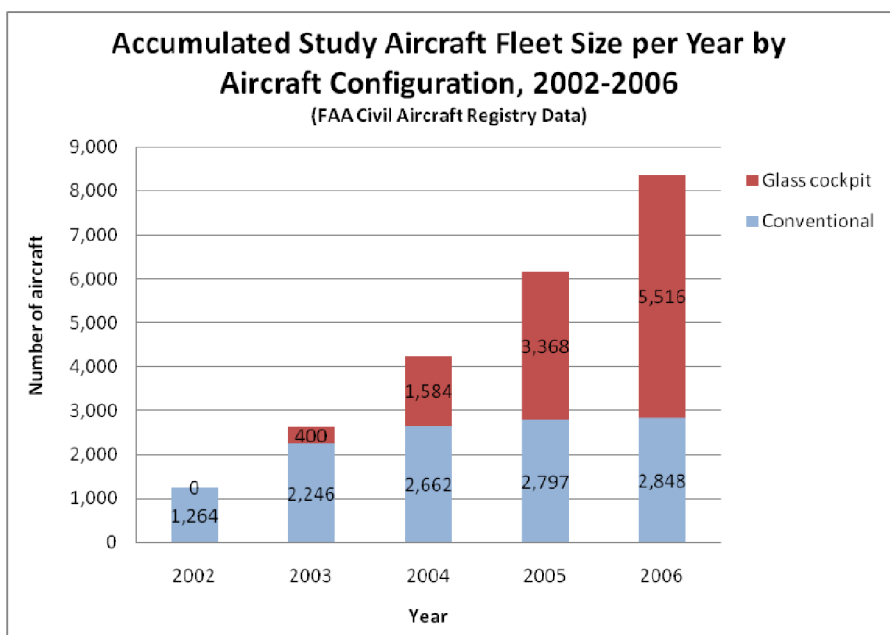
Digitalizácia cockpitu okrem výhod priniesla aj radu prekážok a nástrah, s ktorými sa piloti musia vysporiadať. Tieto riziká možno charakterizovať ako skryté a na prvý pohľad ťažko odhaliteľné pri konkrétnom subjekte. Dôležitú úlohu tu hrá samotný pilot, ktorý si sám musí byť vedomý danej hrozby.

Prechod od analógových prístrojov k digitálnym

S narastajúcim počtom digitálnych letových prístrojov dochádza k faktu, že čoraz viac pilotov, ktorí sa doposiaľ stretli len s analógovo vybaveným cockpitom, budú časom nútení pokročiť ďalej. Prechod možno nebude taký náhly, pretože analógové prístroje vykazujú stále dobré vlastnosti pre účely, na ktoré slúžia a to je najmä VFR prevádzka, je ale vhodné o danom riziku a možnom riešení pojednať.

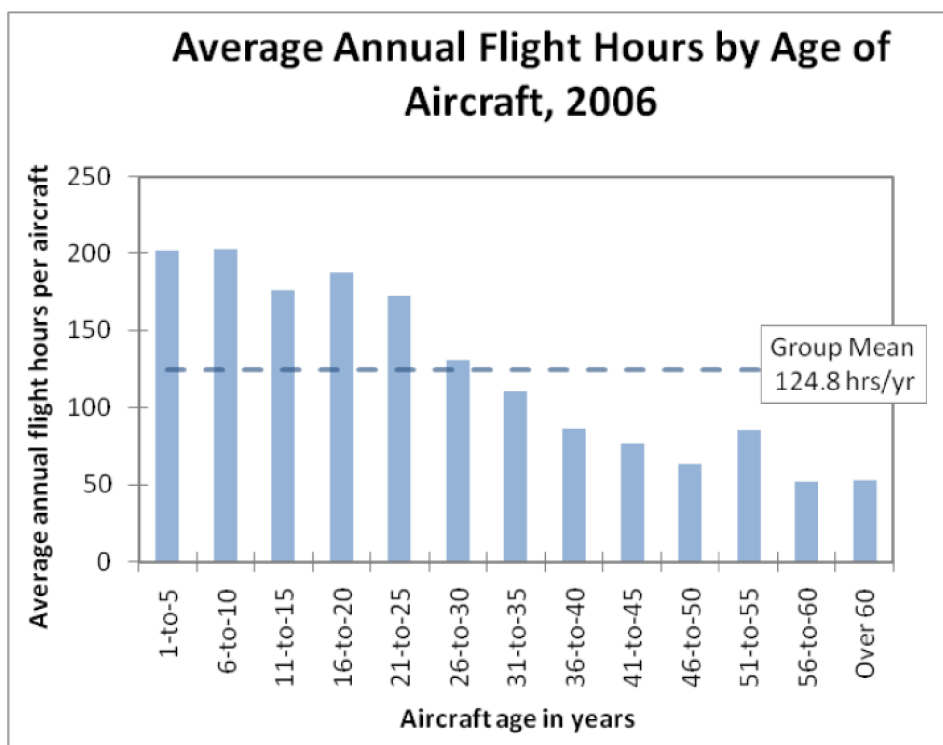
Technologický pokrok spôsobil narastajúci počet funkcií a možností, ktoré sú prístupné v digitálnom cockpite. To umožnilo vzniku faktoru, ktorý predtým nebolo nutné vo veľkej miere riešiť, a to je pochopenie a zručné ovládanie avionických systémov. V kritických situáciách a v dobe vysokej pracovnej záťaže, kde sa očakávajú rýchle a presné reakcie by daná neznalosť mohla viesť k nebezpečnej situácii. Pilot totiž nie je legislatívne obmedzený žiadnym zákonom, ktorý by mu zakazoval bez predošlého výcviku letieť lietadlom disponujúcim digitálnymi prístrojmi ak je držiteľom SEP Land. Jediný zákrok vie realizovať prevádzkovateľ, ktorý môže požadovať preškolenie v prípade, že pilot si lietadlo prenajíma.

Riešenia, ktoré vznikli ako reakcia na tento problém, sú tréningy ovládania digitálnej avioniky, ktoré často ponúka priamo výrobca daného lietadla prípadne letecká škola. Ďalšou novinkou sú simulátory avionických systémov prístupné na PC a mobilných zariadeniach, ktoré simulujú správanie reálneho systému a užívateľ si môže vyskúšať funkcie a možnosti glasscockpitu a pripraviť sa na skutočné použitie.



Obr.č.25 – pomer lietadiel GA vybavených klasickými analógovými prístrojmi a digitálnymi prístrojmi počas rokov 2002 až 2006 podľa GAMA[38]

Dáta americkej FAA spracované spoločnosťou NTSB ukazujú rapídny nárast lietadiel disponujúcich glass cockpitom. Je teda jasné, že sa nachádzame v dobe prechodu na nové technológie a daný problém sa javí ako veľmi aktuálny.



Obr.č.26 – počet hodín nalietaných za rok vzťahujúcich sa k veku lietadla, na americkom trhu podľa FAA [38]

Ďalší graf prezentuje priemerný nalietaný počet hodín za rok lietadlami GA roztriedenými podľa ich veku. Je teda vidieť že, lietadlá s tradičnými analógovými prístrojmi tak ľahko nevymiznú a budú tu ešte pár desaťročí.

Je možné predpokladať, že postupom času digitálne avionické systémy ovládnu sféru GA a tak daný problém s prechodom medzi dvoma typmi cockpitu bude zanikať.

Prechod od digitálnych prístrojov k analógovým

Len pred nedávnom mal človek vcelku limitované možnosti pri výbere prvotného výcviku. Väčšina lietadiel používaných na výcvik boli štandardné jednomotorové lietadlá s piestovým motorom, analógovou avionikou a zhovievavými letovými vlastnosťami.

V dnešnej dobe sa pri výbere výcviku študentom naskytuje nová možnosť a to tzv. TAA lietadlá (technically advanced aircraft). Tieto lietadlá sú vybavené už spomínanými systémami ako digitálne displeje, autopilot, GPS, FMS. Cieľom takýchto výcvikových programov je pripraviť študenta pre použitie takýchto technicky pokročilých lietadiel, či už pre vlastný úžitok alebo ako vhodný predpoklad pre nadväzujúcu prácu ako profesionálny pilot pre aerolínie.

Praktický problém nastáva, ak pilot zvyknutý na TAA lietadlá bude nútený k spätnému prechodu na analógový cockpit. Podobne ako pri prechode analóg->digitál, ani tu nie je žiadna požiadavka na pilota pre dodatočný výcvik.

Daným problémom sa zaoberala štúdia, ktorú spracovali Whitehurst a Rantz. Pozostáva z pokusu, kde piloti, ktorí podstúpili TAA výcvik, boli preskúšaní na simulátore pri rôznych letových operáciách. Jedna skupina letela lietadlom vybaveným glass cockpitom, na ktorý boli zvyknutí (bez použitia autopilota) a druhá analógovým cockpitom. Boli sledované parametre ako vertikálne a horizontálne odchýlky. Záver ukázal, že piloti pri použití analógových prístrojoch, s ktorými nerobili výcvik, podávali výrazne horšie výsledky.[19]

Záverom pre oba smery prechodu je, že pilot by mal poznať svoje limity a riziká z toho plynúce a pri zmene cockpitu je viac než vhodné riadne preškolenie.

Automatizácia a riziká s nou spojené

Automatizácia prináša veľa výhod spôsobom, že odstraňuje potrebu priameho ľudského zasahovania pri určitých procesoch, ktoré stroj dokáže vykonávať presnejšie, efektívnejšie a štatisticky bezpečnejšie. Toto vyňatie pilota z procesu priameho ovládania lietadla prináša degradáciu manuálnych zručností.

Skill degradation (Strata zručnosti)

Lietanie dnešnými, technologicky pokročilými lietadlami presunulo pilota z pozície prevažného vykonávania manuálnych letových úkonov na pozíciu prevažného monitorovania. Netrvá dlho a kvalita psychomotorických zručností bez používania v praxi začne klesať. Podľa štúdie už po 5 minútach praxe sa zručnosť danej činnosti obnoví cca. do 75% pôvodnej kvality (Ammons, 1958). [21]

Okrem psychomotorických schopností dochádza k poklesu robustnosti mentálnych modelov, ktoré slúžia k vyhodnocovaniu situácií spojených s letom a lietadlom. Ukazuje sa, že piloti, ktorí nemajú také skúsenosti s cockpitmi vybavenými analógovými prístrojmi, nikdy takými rozsiahlymi modelmi ani nedisponovali. [21]

Jedna zo štúdií venovaná danému problému testovala pilotov dopravných lietadiel priamo po ich každoročných previerkach. Jednalo sa o základné manévry potrebné pre prístrojové lietanie ako prístrojové priblíženie, nezdarené priblíženie. Všetky tieto úkony sa leteli „na ruke“. Závety štúdie ukázali, že manuálne letové schopnosti pilotov hraničili s úrovňou minimálnych požiadaviek pre prístrojové lety. [21]

Workload (Pracovná záťaž)

Jedným z hlavných cieľov automatizácie bolo zníženie pracovného zaťaženia posádok a presun rady činností na systém, čím pilot zaujal väčšiu rolu v kognitívnych úlohách plánovania a monitorovania. Nové technológie vo všeobecnosti preukázali zníženie pracovného zaťaženia na posádku, čo napríklad viedlo aj k zániku pozície palubného inžiniera. Toto zníženie záťaže sa prejavuje najmä vo chvíľach, kedy záťaž už bola na nízkych hodnotách (napr. hladinový let). V niektorých prípadoch, ako napríklad pohotovosť, namiesto znižovania záťaže dôjde k jeho zvýšeniu v dôsledku nutnosti rekonfigurácie navigácie a FMS k modifikácii informácií trate, priletu atď. Bainbridge (1983) nazýva tento fakt ako irónia automatizácie pretože pri vysokej pracovnej záťaži prejavuje najmenšiu pomoc. [22]

Situational Awareness

SA (Povedomie o situácii) definoval Endsley v roku 1988 ako vnímanie elementov v prostredí v čase a priestore a chápanie ich stavu a významu pre použitie v blízkej budúcnosti. [20]

Priamy dopad automatizácie na SA je možné vidieť pomocou troch základných mechanizmov.

1. Zmeny v bdelosti a dôvere v systém spojené s monitorovaním a automatizáciou
2. Prijatie pasívnej roly namiesto aktívnej
3. Zmeny v kvalite alebo forme spätnej väzby operátorovi (pilot)

Všetky tieto faktory môžu prispievať k tzv. vypadnutiu zo slučky. Navyše automatizované systémy kvôli svojej komplexnosti vyžadujú vyššie úrovne monitorovania a povedomia.

Existuje história prípadov, kedy si operátori neboli vedomí zlyhania automatizovaných systémov a nedetekovali kritické stavy, pritom v danej sústave mali na starosť monitorovanie. Pritom sa javí že komplexnosť monitorovanej úlohy nemá na zlyhanie vplyv. Človek sa tak javí ako nie najvhodnejší subjekt pre pasívne monitorovanie. Najväčšie riziko hrozí, keď sa zariadenie chová primerane pilotovým predpokladom, ale v skutočnosti pracuje nesprávne.

Nadmerné spoliehanie sa na automatizáciu je jeden z faktorov prispievajúcich k malej bdelosti v monitorovaní. Je to jedna z typických reakcií človeka v prípadoch, kde je jeho pozornosť žiadaná inde. Pilot tak zabúda na monitorovanie danej sústavy a sústreďí sa na niečo iné. Kontroverzným faktom je, že človek využívajúci automatizáciu musí veriť danému systému. Je však nutné nájsť rovnováhu medzi dôverou, pochybnosťami a rozložením času medzi jednotlivé činnosti

Problémy v monitorovaní sa vyskytli vo viacerých prípadoch, keď systém prejavoval veľa falošných poplachov. Daný fakt viedol k tomu, že systém síce poskytoval vizuálne a akustické varovanie, poplach bol napriek tomu ignorovaný kvôli predpokladu ďalšieho falošného prípadu.

Z toho vyplýva že pokles SA v automatizovaných systémoch vzniká z 3 hlavných príčin:

- 1.prehliadanie parametrov a stavu pri monitorovaní systému
- 2.snaha o monitorovanie, ale zlyhanie vplyvom poklesu bdelosti
- 3.vedomosť o poplachu, ale jeho ignorovanie kvôli veľkej frekvencii falošných poplachov[20]

Aktívna a pasívna rola

Okrem problémov s bdelosťou existuje ďalší fakt a to, že pilot vystupuje ako pasívny pozorovateľ automatizovaného systému. Komplikácia môže nastať pri určení, kedy je nutné manuálne zasiahnuť a s tým sa spája nutnosť preorientovania sa do role systému.

Pri testoch (Endsley a Kiris 1995) došli k záveru, že pri monitorovaní dochádza k tomu, že pilot síce má vedomie o informáciách, ktoré mu systém podáva, no pri náhlom prevzatí role nevedia tieto informácie spracovať k riešeniu cieľa. [20]

Nedostatočné znalosti o automatizácií

Jedna z hlavných prekážok pri úspešnej implementácii automatizácie je problém pri porozumení správanía a ovládania daného systému aj v prípade, že systém pracuje tak ako má. Tento fakt má pôvod najmä vo vysokej komplexnosti systému, ale aj v nevhodnom designe a nedostatočnom výcviku posádky.

V danom probléme tak hrá veľkú úlohu návrh systému a jeho prepojenie s operátorom, aby nedochádzalo k mylnej interpretácii, ale správne porozumeniu, a aby chovanie a ovládanie systému nevytvárali prekážku.

Profesionálni piloti podstupujú vo väčšine prípadov kvalitné výcviky ovládania týchto prvkov a ich znalosti sú pravidelne preskúšané. Čo však v prípade, keď sa takýto pokročilý systém dostane do menších lietadiel General Aviation, kde neexistujú požiadavky pre obsluhu takéhoto vybavenia? Ako už bolo spomenuté, dané riziko si musí uvedomiť pilot sám a vyhodnotiť, či jeho znalosti postačujú k bezpečnému prevedeniu letu. Ďalším možným riešením by bolo zavedenie povinného výcviku všetkých pilotov, ktorý je nutné absolvovať.

Dielčí záver

Nástup technologicky pokročilých avionických systémov v leteckej doprave priniesol pokles nehodovosti, no ich príchod nie je taký priamočiary. Okrem rady výhod a funkcií prinášajú nové riziká, ktoré už boli rozpoznané v leteckej doprave a nevymizli ani pri lietadlách všeobecného letectva. Tieto riziká spočívajú najmä v zmene role pilota, ktorá sa presúva z aktívneho ovládania na monitorovanie systémov a stavov lietadla. Hlavným rizikom je tak akési vypadnutie zo slučky, pri ktorom má pilot problémy navrátiť sa k aktívnemu ovládaniu a porozumeniu prezentovaných informácií s ich využitím pri riešení problému.

Ako sa ale vysporiadať s týmito faktormi ? Odpoveď nie je taká jednoduchá a veľká časť leží na tvorcoch systémov a designéroch ako aj na pilotoch, ktorí si musia byť vedomí nástrah automatizovaných systémov. Hlavným cieľom pri vytváraní spojenia človek - stroj tak ostáva vytvorenie súhry týchto dvoch členov systému, kde človek „nevypadne zo slučky“ udržovaním dostatočného povedomia o situácii pre splnenie cieľa.

3. Rozbor nehôd letúňov do hmotnosti 2250 kg MTOW

Daná kapitola sa zaoberá rozborom a prehľadom leteckých nehôd a incidentov letúňov do maximálnej vzletovej hmotnosti 2250 kg počas rokov 2004-2014 v ČR a rozborom nehôd letúňov vybavených analógovými a digitálnymi prístrojmi.

Pre ďalšie pojednávanie je nutné zdefinovať pojmy nehoda a incident, s ktorými sa stretne v ďalších kapitolách.

„INCIDENT (INCIDENT) Udalosť iná než letecká nehoda, spojená s prevádzkou lietadla, ktorá ovplyvňuje alebo by mohla ovplyvniť bezpečnosť prevádzky. Jedná sa o chybnú činnosť osôb alebo nesprávnu činnosť leteckých a pozemných zariadení v leteckej prevádzke, jeho riadenie a zabezpečovanie, ktorých dôsledky však spravidla nevyžadujú predčasné ukončenie letu alebo prevedenie neštandardných (núdzových) postupov. Incidentsy v letovej prevádzke sa rozdeľujú podľa príčin na:

- a) letové
- b) technické
- c) v riadení letovej prevádzky
- d) v zabezpečovacej technike
- e) iné“ [4]

„LETECKÁ NEHODA (ACCIDENT) Udalosť spojená s prevádzkou lietadla, ktorá sa, v prípade pilotovaného lietadla, stala medzi dobou, kedy akákoľvek osoba nastúpila do lietadla s úmyslom vykonať let a dobou, kedy všetky takéto osoby lietadlo opustili, alebo ktorá sa, v prípade bezpilotného lietadla, stala medzi dobou, kedy lietadlo je pripravené k pohybu pre účely letu a dobou, kedy zastaví na konci tohto letu a hlavná pohonná sústava je vypnutá, a pri ktorej:

- a) niektorá osoba bola smrteľne alebo ťažko zranená
- b) lietadlo bolo zničené, alebo poškodené
- c) lietadlo je nezvestné, alebo je na úplne neprístupnom mieste.“ [4]

3.1 Ciele rozboru nehôd

Hlavným cieľom rozboru udalostí kategórie letúňov všeobecného letectva s maximálnou vzletovou hmotnosťou do 2250 kg je dokázanie významnosti vplyvu ľudského činiteľa na vznik udalostí v letectve. Rozbor sa realizuje v bodoch :

1. Určenie pomeru technických príčin a ľudského činiteľa pri vzniku udalostí
2. Určenie príčin vzniku udalostí
3. Vplyv fáze letu na vznik a vážnosť nehôd
4. Rozbor nehôd letúňov vybavených analógovými a digitálnymi prístrojmi

Informácie o nehodách a incidentoch využitých v bodoch 1 až 3 sú získané zo záverečných správ *Ústavu pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod ÚZPLN*. Princípom bolo preštudovanie všetkých prístupných správ danej kategórie a ich roztriedenie. Prvoradou úlohou ÚZPLN v rámci civilného letectva je vyšetrowanie leteckých nehôd a vážnych incidentov. Dôležitou úlohou je taktiež zhromažďovanie, spracovávanie a vyhodnocovanie informácií o udalostiach v civilnom letectve.

Pri bode 4 som vychádzal z informácií od americkej *National Transportation Safety Board NTSB* z dôvodu ďaleko väčšieho podielu letúňov s digitálnymi prístrojmi v prevádzke.

3.1 Klasifikácia podľa technických príčin a ľudského činiteľa

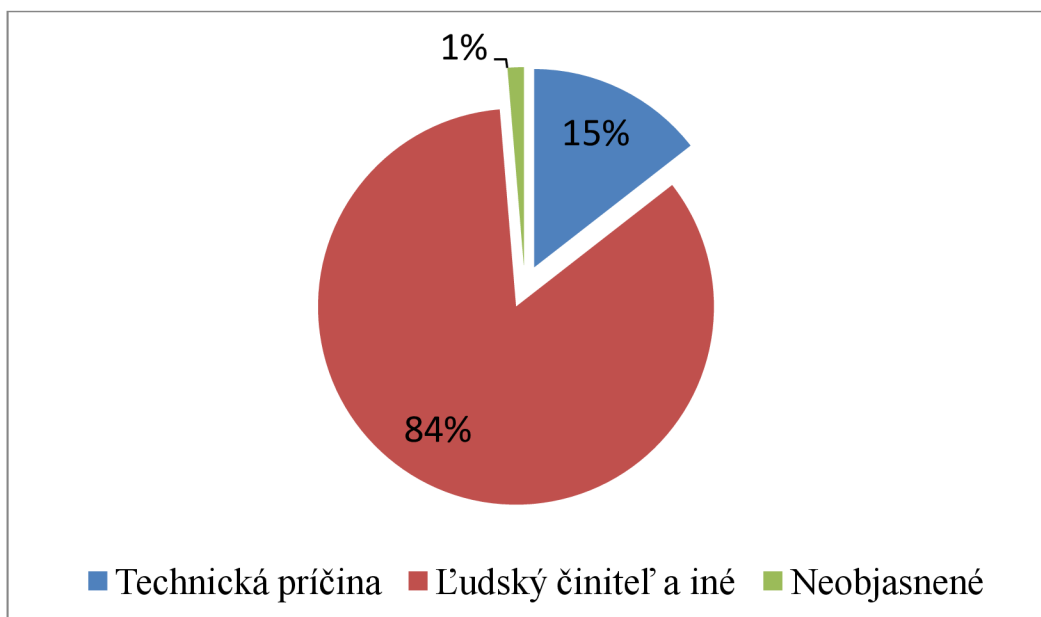
Ako už bolo objasnené v predošlých kapitolách, v posledných desiatkach rokov došlo k rapídному obratu pomeru príčin pôvodu vzniku udalostí. Technický pokrok a zvyšovanie spoľahlivosti spôsobili, že najväčším kontribútorom vzniku udalostí je ľudský činiteľ. ICAO prezentuje vo svojich štatistikách pomer najčastejšie 80% ku 20 % ľudský faktor a technické príčiny[2]

Pri klasifikácii som bral do úvahy udalosti už spomínanej kategórie. Celkový počet preštudovaných správ udalostí bol 152, z toho 57 incidentov a 95 nehôd. Následne boli udalosti roztriedené podľa príčiny udalosti.

Tabuľka č.1-Zastúpenie udalostí podľa pôvodu príčiny

Príčina udalosti	Počet	(%)
Technická príčina	22	15
Ľudský činiteľ a iné	128	84
Neobjasnené	2	1

Graf č.1- Zastúpenie udalostí podľa pôvodu príčiny



Z tabuľky a grafu č.1 je jasne vidieť, že udalosti mali najčastejšie pôvod v ľudskom činiteli a zároveň sa približne potvrdzuje udávaný údaj ICAO. Obe neobjasnené udalosti súviseli so zastavením motora, príčinu sa však nepodarilo objasniť.

3.1.1 Analýza udalostí z technických príčin

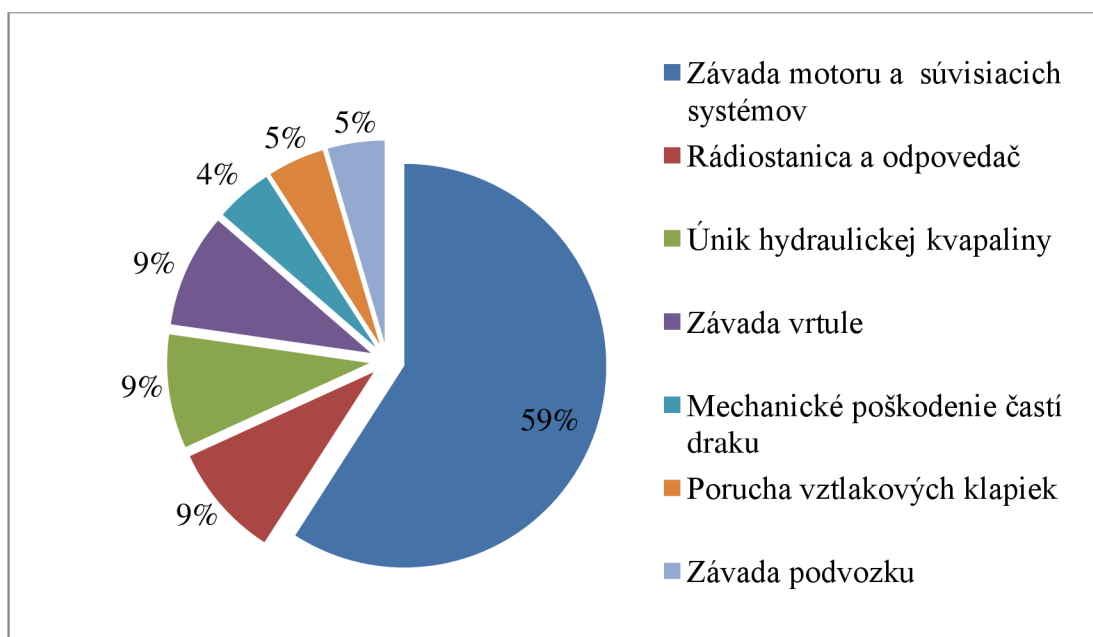
Celkový počet udalostí, ktorých pôvod bol v technických príčinách, je 22 a sú zobrazené v tabuľke 2. Je vidieť, že technické problémy sú síce ďaleko menším faktorom pri vzniku udalosti, no aj tak nesmú byť prehliadané. Presnejšie sa jedná o 17 incidentov a 5 nehôd, kde ani jedna nevedla k smrteľnému zraneniu.

Ako najväznejší a najfrekvencovanejší faktor z technických príčin v danej kategórii lietadiel sa jednoznačne javia závady motora a súvisiacich systémov. Jedná sa prevažne o problémy s únavovým opotrebením častí motora, ktoré viedli k jeho zastaveniu, prípadne porucha systémov potrebných k jeho prevádzke, konkrétne sa jednalo o poruchy zapalovania, palivového čerpadla a olejovej sústavy.

Tabuľka č.2-Udalosti zapríčinené technickou závadou

Technická príčina	Počet	(%)
Závada motora a súvisiacich systémov	13	59
Rádiostanica a odpovedač	2	9
Únik hydraulickéj kvapaliny	2	9
Závada vrtule	2	9
Mechanické poškodenie častí draku	1	4
Porucha vztlakových klapiek	1	5
Závada podvozku	1	5

Graf č.2-Udalosti zapríčinené technickou závadou



3.1.2 Analýza udalostí s pôvodom u ľudského činiteľa

Daná časť sa zaoberá rozborom príčin vzniku udalostí kde hlavným kontribútorom bol ľudský činiteľ. Celkove sa jedná o 128 udalostí, ktoré som ďalej rozdelil na incidenty a nehody. Konkrétne sa jedná o 38 incidentov a 90 nehôd.

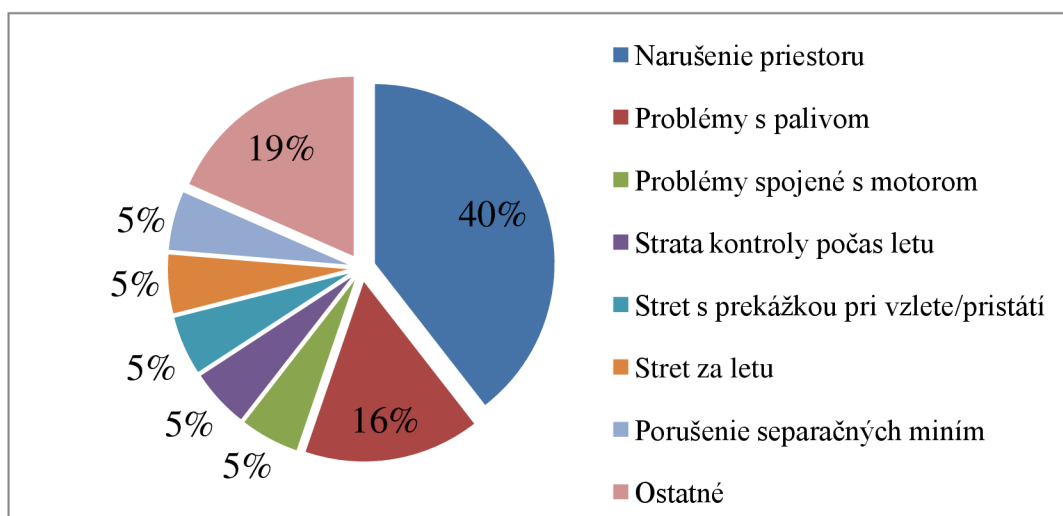
Incidenty

Druhy a počet **incidentov** zobrazuje nasledujúca tabuľka a percentuálne zloženie graf. Z uvedených údajov je vidieť, že absolútna väčšina incidentov je spojená s narušením dočasne vyhradených priestorov, zakázaných priestorov a neidentifikovanie sa v TMA/CTR. Ďalšou významnou príčinou boli problémy spojené s palivom, ktoré sa všetky týkali úplného spotrebovania paliva, či už s nedostatočnej predletovej prehliadky alebo použitia necertifikovaných meracích zariadení. Zbytok incidentov s menším počtom výskytu je možné nájsť v tabuľke. Medzi kategóriu *Ostatné* patrí strata kontroly na zemi, nesprávne povolenie ATC, stret s vtákom, neadekvátna separácia, požiar, neplánovaný vlet do IMC a neštandardný kontakt s RWY.

Tabuľka č.3- Incidenty s pôvodom u ľudského činiteľa

Druh incidentu	Počet	(%)
Narušenie priestoru	15	40
Problémy s palivom	6	16
Problémy spojené s motorom	2	5
Strata kontroly počas letu	2	5
Stret s prekážkou pri vzlete/pristátí	2	5
Stret za letu	2	5
Porušenie separačných miním	2	5
Ostatné	7	19

Graf č.3- Incidenty s pôvodom u ľudského činiteľa



Nehody

Počet a zloženie **nehôd** sú riešené samostatne a sú uvedené s nasledujúcej tabuľke 4 a pomer nehôd a nehôd so smrteľnými zraneniami podľa príčiny nehody prezentuje graf 4. Je vidieť, že za najväčším počtom nehôd stojí neobvyklý/tvrдый kontakt s RWY čo zahrňuje najmä pristátia bez podvozku a nesprávne opravy odskočenia, čo vo viacerých prípadoch viedlo k poškodeniam vrtule a podvozku.

Druhá najčastejšia príčina nehôd, a to strata kontroly nad lietadlom počas letu, zahrňuje radu vecí ako pády do vývrtiek, predvádzanie sa, zhoršenie letových vlastností vplyvom rozloženia váhy/otvorenia kabíny za letu atď. Zároveň do tejto kategórie spadá najviac smrteľných nehôd.

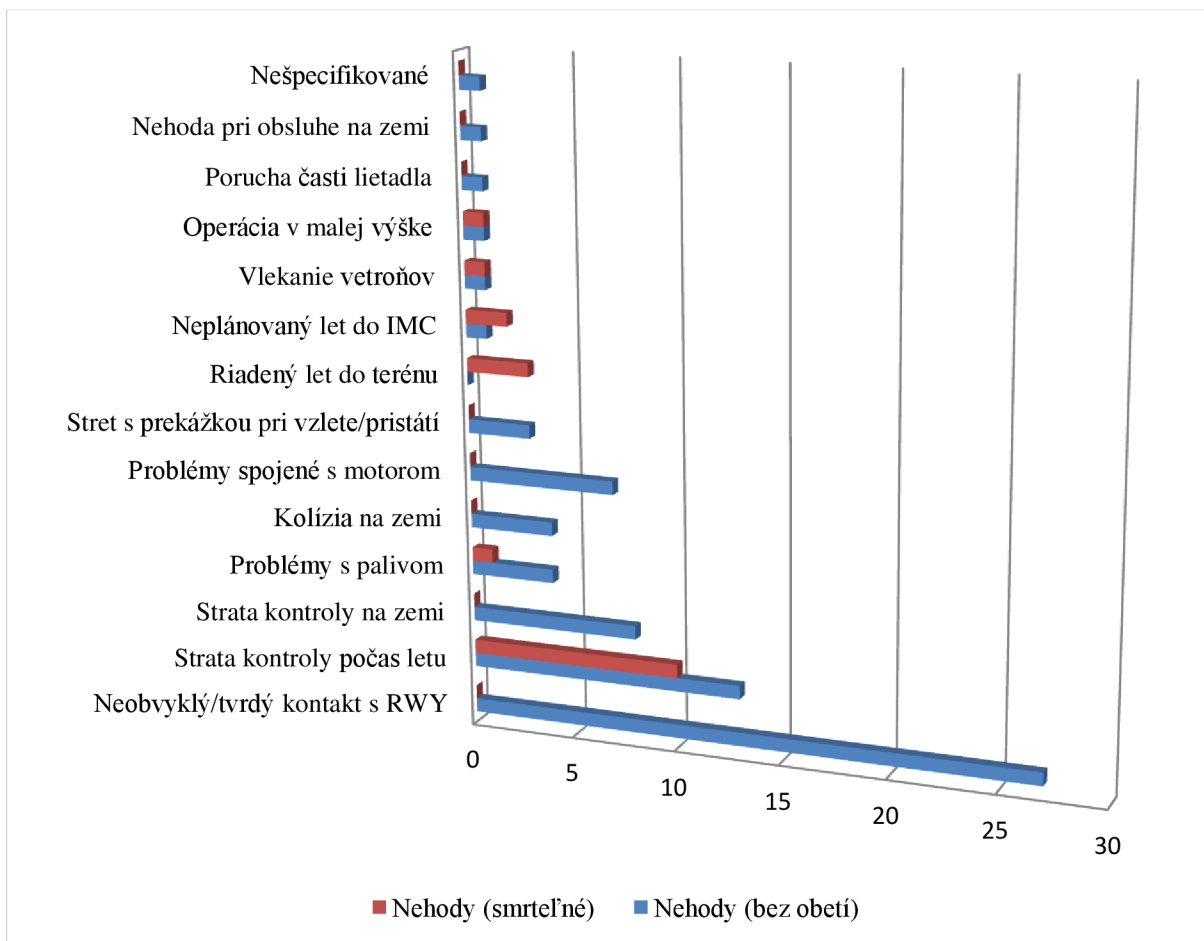
Treťou najčastejšou kategóriou je strata kontroly nad lietadlom na zemi. Jedná sa napríklad o problémy s udržaním smerového riadenia, ktoré viedli k poškodeniu podvozkových nôh.

Zbytok príčin je možné nájsť v tabuľke 4. Pre úplnosť by som ešte uviedol príčiny *Riadený let do terénu* a *Neplánovaný let do IMC*, ktoré vykazujú najväčšie percento smrteľných nehôd.

Tabuľka č.4- Nehody s pôvodom u ľudskeho činiteľa

Druh nehody	Nehody (bez obetí)	Nehody (smrteľné)
Neobvyklý/tvrдый kontakt s RWY	27	/
Strata kontroly počas letu	13	10
Strata kontroly na zemi	8	/
Problémy s palivom	4	1
Kolízia na zemi	4	/
Problémy spojené s motorom	7	/
Stret s prekážkou pri vzlete/pristátí	3	/
Riadený let do terénu	/	3
Neplánovaný let do IMC	1	2
Vlekanie vetroňov	1	1
Operácia v malej výške	1	1
Porucha časti lietadla	1	/
Nehoda pri obsluhu na zemi	1	/
Nešpecifikované	1	/
	72	18

Graf č.4- Nehody s pôvodom u ľudského činiteľa



3.2 Výskyt udalosti podľa fázy letu

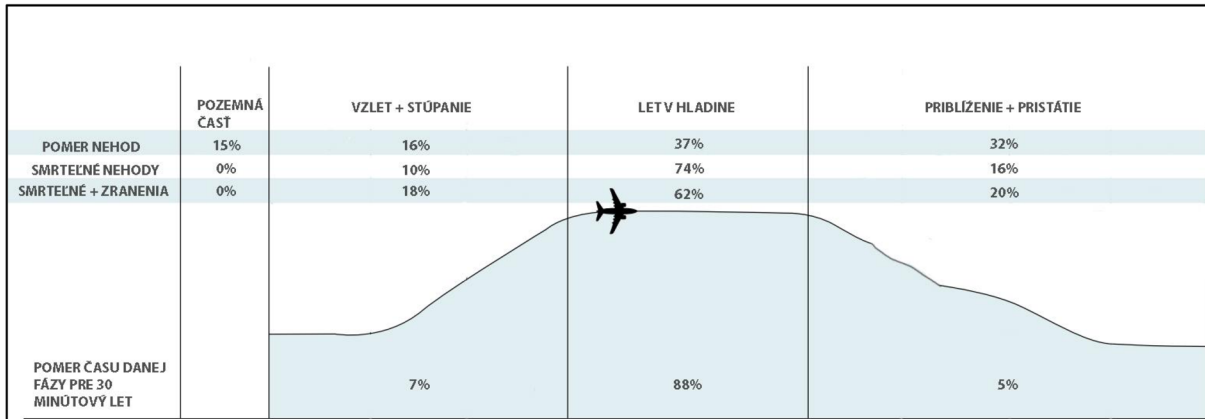
Fáza letu, v ktorej sa lietadlo nachádza, má veľký vplyv na pracovnú záťaž pilota alebo posádky, ale zároveň aj na výkony, ktoré dokáže lietadlo podávať. Z toho vyplýva že riziko vzniku nehody sa líši.

Do tohto rozboru zahrňam len nehody, to znamená 95 udalostí. Keďže rozbor je zameraný na letúne do 2250 kg MTOW, rozhodol som sa kvôli jednotlivým krátkym fázam zlúčiť niektoré z nich. Dostávame tak 4 typy fáz, do ktorých som rozdelil nehody a to: na zemi, vzlet + stúpanie, let v cestovnej hladine a priblíženie + pristátie. Ďalej som zohľadnil pomer smrteľných nehôd a smrteľných nehôd + nehôd so zraneniami pri jednotlivých fázach letu. Čas, ktorý trvajú jednotlivé doby letu, som určil pri vlastnom lete. Konkrétne sa jednalo o priemernú hodnotu 2 minúty a 15 sekúnd od vzletu do nastúpania výšky 300 m AGL a približne 1 minútu a 30 sekúnd od tretej zatáčky do pristátia.

Tabulka č.5- Výskyt nehôd podľa fázy letu

	Celkove	Pozemná časť	Vzlet a Stúpanie	Let v hladine	Priblíženie a pristátie
Nehody	95	14	15	35	31
Smrteľné nehody	19	0	2	14	3
Smrteľné nehody + nehody so zraneniami	34	0	6	21	7

Schéma pomeru nehôd pri jednotlivých fázach letu



Z tabuľky 5 a schémy je vidieť že výskyt nehôd v jednotlivých štádiách letu je vcelku pravidelne rozmiestnený hlavne pre let v hladine a priblíženie + pristátie. Markantný rozdiel však ukazujú hodnoty času, ktoré jednotlivé fázy pre 30 minútový let trvajú. Z toho jasne vyplýva, že fáza priblíženia a pristátia aj pre svoju časovú krátkosť pôsobí ako veľmi riziková časť.

Z hľadiska nehôd, pri ktorých sa vyskytli zranenia a straty na životoch prevláda najmä samotná fáza letu v hladine, prípadne pracovnej činnosti (pri letových prácach ako práškovanie). Pri pozemnej časti nedošlo ani k jednému zraneniu alebo obeti.

3.3 Rozbor nehôd letúňov s analógovým a digitálnym cockpitom

Vplyv možných výhod a rizík digitálnych prístrojov na pilota už bol rozobraný v predošlej kapitole. Reálny dopad na vznik nehôd je však možné odsledovať len v skutočnej prevádzke. Aj keď použitie digitálnych prístrojov je na vzostupe, najvýraznejšie je to možné pozorovať na americkom trhu. Za týmto účelom som zvolil informácie FAA Federal Aviation Administration spracované v bezpečnostnej štúdií NTSB pre porovnanie základných charakteristík nehôd týchto dvoch druhov cockpitov.

Tabuľka 6 zobrazuje primárne rozdiely v charaktere nehôd. Porovnaním približne ekvivalentného počtu nehôd môžeme vidieť, že nehody vyskytujúce sa pri digitálnych cockpitoch vykazujú väčšie percento (31%) fatálnych nehôd oproti klasickým analógovým (16%). Ako na najpravdepodobnejšiu príčinu je možné poukázať na podmienky, v ktorých sa letúne používajú a to ako na základe doby dňa tak poveternostných podmienok. U digitálnych cockpitoch totižto nehody v noci 22% a za IMC 15% prevyšujú tie u analógových 13% a 8%.

Z hľadiska typu letu výcvikové lety tvoria veľký podiel nehôd pri letúňoch s analógovými prístrojmi. Naproti tomu, pri digitálnych prevažujú súkromné a obchodné lety. Tento fakt kopíruje aj distribúcia typov preukazov, kde u analógových tvoria veľký podiel študenti, naproti tomu u digitálnych prevažujú piloti už s ukončenými výcvikmi. Je ale možné pozorovať, že technicky pokročilé lietadlá majú svoje zastúpenie pri výcvikových letoch, i keď v menšej miere než analógové

Ako posledné kritérium vystupuje celkový nálet a nálet na danom type. Zo získaných dát je vidieť, že piloti, ktorí boli účastníkmi nehôd pri lietadlách vybavených digitálnymi prístrojmi mali ďaleko väčší priemerný nálet (466 hodín) oproti analógovým (167 hodín). Tak isto nálet na danom type vykazujú u digitálnych väčšie hodnoty, nie však tak výrazné.

Tabuľka č.6- Porovnanie nehôd u letúňov s analógovými a digitálnymi prístrojmi

Závažnosť nehody	Analógový cockpit		Digitálny cockpit	
	Počet	%	Počet	%
Bez obetí	118	84%	86	69%
Smrteľné	23	16%	39	31%
Celkove	141		125	
Svetelné podmienky	Počet	%	Počet	%
Deň	122	87%	98	78%
Noc	19	13%	27	22%
Celkove	141		125	
Podmienky	Počet	%	Počet	%
VMC	129	92%	105	85%
IMC	11	8%	19	15%
Celkove	140		124	
Typ letu	Počet	%	Počet	%
Výcvikový	66	49%	19	16%
Privátny/Obchodný	70	51%	103	84%
Celkove	136		122	
Najvyšší preukaz	Počet	%	Počet	%
Študent	49	35%	14	12%
PPL	55	40%	76	62%
CPL / ATPL	35	25%	32	26%
Celkove	139		122	
Priemerný celkový nálet	167 hodín		466 hodín	
Priemerný nálet na danom type	70 hodín		99 hodín	

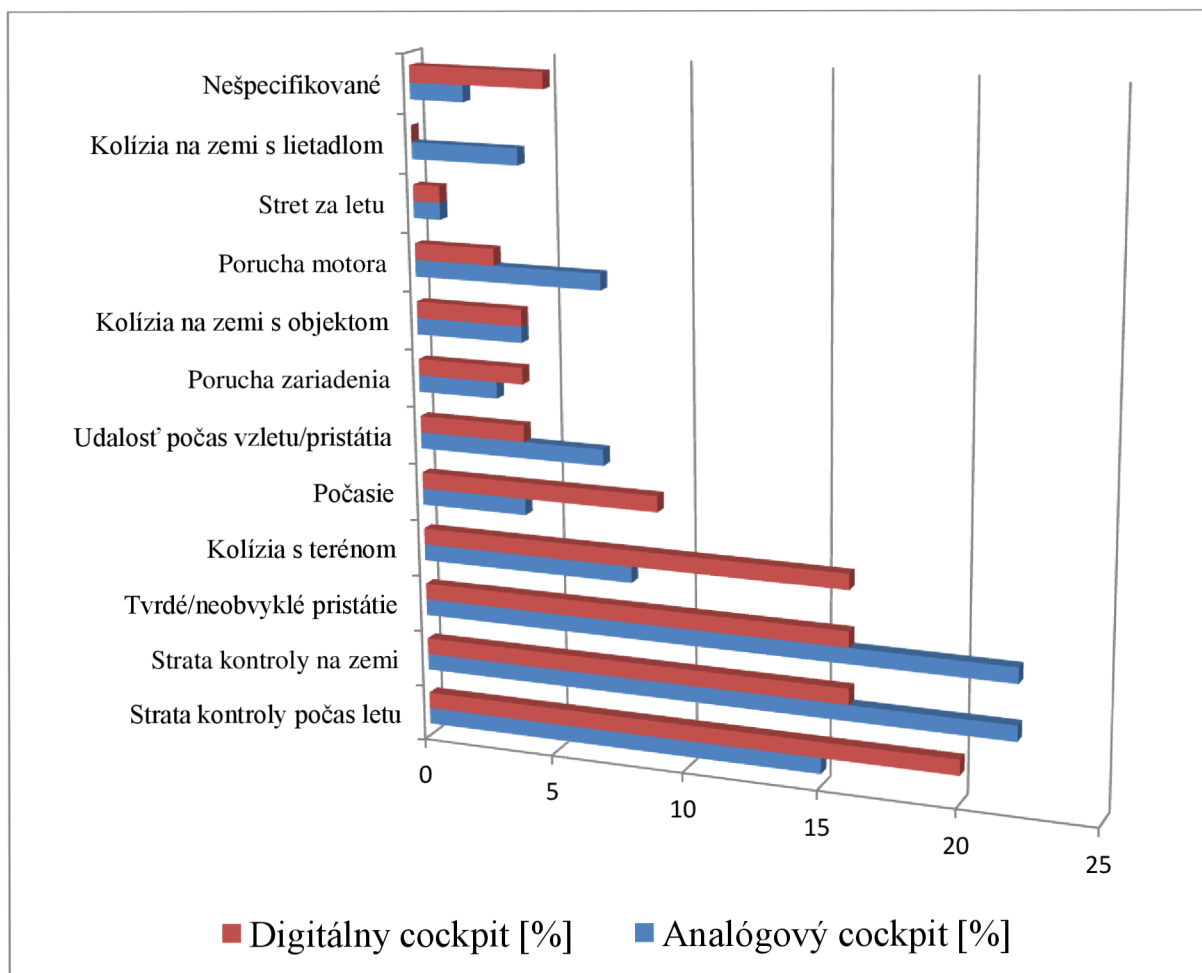
Vo všeobecnosti je možné povedať, že letúne s glass cockpitom boli prítomné vo veľkom percente nehôd, ktoré sa odohrali za letu viz tabuľka a. graf 7, naproti tomu letúne s analógovými prístrojmi boli prítomné najmä pri nehodách na zemi a vo fázach vzletu a pristátia.

Digitálne letové prístroje tak strácajú a zdajú sa byť rizikovejšie v situáciách a podmienkach, kde by sa očakávala ich výhoda oproti klasickým prístrojom. Dokazuje to väčšie percento nehôd vplyvom nepriaznivého počasia, kolíziami so zemou a stratou kontroly počas letu. Ako veľký faktor tu môže pôsobiť fakt, že piloti kvôli vedomiu, že disponujú pokročilými technológiami podceňujú možné riziko plynúce z adverzných podmienok, do ktorých by sa piloti s analógovými prístrojmi neodvážili.

Tabuľka č.7- Najčastejšie príčiny nehôd

Druh nehody	Analógový cockpit [%]	Digitálny cockpit [%]
Strata kontroly počas letu	15	20
Strata kontroly na zemi	22	16
Tvrdé/neobvyklé pristátie	22	16
Kolízia s terénom	8	16
Počasié	4	9
Udalosť počas vzletu/pristátia	7	4
Porucha zariadenia	3	4
Kolízia na zemi s objektom	4	4
Porucha motora	7	3
Stret za letu	1	1
Kolízia na zemi s lietadlom	4	0
Nešpecifikované	2	5

Graf č.7- Najčastejšie príčiny nehôd



4. Rozdelenie pozornosti pilota počas letu

S príchodom digitálnych avionických systémov došlo k tomu, že pilot môže v dnešnej dobe takmer celý let realizovať len pomocou sledovania LCD panelov. Presná poloha zobrazená priamo na mape, autonómne monitorované systémy a stavy lietadla, možnosť 3D zobrazenia terénu, to všetko môže viesť k tomu, že pilot aj za podmienok VMC prevažne sleduje LCD obrazovky a nevenuje dostatočnú pozornosť okoliu.

Jedna zo štúdií venovaná danej problematike sa uskutočnila počas roku 2012, keď francúzska armáda vymenila svoje výcvikové lietadlá s klasickými analógovými budíkmi za lietadlá s pokročilou digitálnou avionikou. Pri výcvikoch si inštruktori všimli, že študentom sa nedarí dodržať pomer času venovaného cockpitu a okoliu. Uvádza sa, že požadujú približne 4-5 sekúnd skenovania prístrojov a 16 sekúnd skenovania vonkajšieho okolia. Daný problém sa prejavil ešte viac pri použití FTD Flight Training Device alebo zjednodušene simulátor, ako pre analógový tak pred digitálny cockpit. V tomto experimente piloti používajúci konvenčné analógové prístroje venovali len 40% času skenovaniu okolia oproti odporúčaným 67%-75%. Ešte viac signifikantný rozdiel sa vyskytol pri použití digitálnych prístrojov na FTD, kde iba 10% vizuálnej pozornosti bolo venovaných okoliu (Wiegmann)[23]. Simulátory ako často používané výcvikové zariadenia môžu prispievať k nesprávnemu návyku vedúcemu k častému „skloneniu hlavy“. Jeden z hlavných cieľov pri predstavení digitálnych avionických systémov bola snaha o redukcii času potrebného pri skenovaní cockpitu. Tomuto faktoru však odporuje napríklad prezentovaná štúdia.

Pre vlastné posúdenie vplyvu digitálneho cockpitu na pozornosť pilota, práca obsahuje analýzu záznamov letov z oboch typov cockpítov.

4.1 Ciele analýzy záznamov

Hlavným cieľom analýzy záznamov jednotlivých druhov cockpítov je posúdenie rozdielu v distribúcii pozornosti pilota za letu. Zámer spočíva v 3 bodoch:

- Slovný rozbor letu s dôrazom na posúdenie smerovania pohľadu pilota
- Vypracovanie rád pre zobjektívnenie budúcich meraní
- Prezentovanie pokročilých technológií slúžiacich pre sledovanie pohybu očí

Základnou hypotézou je väčší prejav sklonov k častejšiemu a dlhšiemu sledovaniu prístrojov pri pilotovi nachádzajúcem sa v cockpíte vybavenom digitálnymi prístrojmi.

4.2 Realizácia záznamu z letu

Hlavným zdrojom informácií pre možnosť posúdenia vplyvu typu prístrojov je záznam z letu. Videozáznam z letu bol smerovaný na zachytenie tváre pilota s možným vyhodnotením miesta, kde pilot sústreďuje svoj pohľad.

Záznam bol uskutočnený dvoma zariadeniami a to mobilným telefónom a kamerou GoPro, ako sa ale neskôr ukázalo aj keď oba záznamy boli uskutočnené v rozlíšení HD, mobilný telefón si lepšie poradil so svetelnými podmienkami a vibráciami v lietadle. Telefón aj

kamera boli umiestnené pred pilotom na kotviacich prvkoch pripevnených o kabínu lietadla tak, aby bolo možné vhodne nasnímať tvár pilota a zároveň boli v takej polohe že pohľad pod rovinu kamery znamenal pohľad na prístroje.

Lietadlá a piloti

1. Pri konvenčnom analógovom cockpite bol použitý typ lietadla Piper PA-28 Cherokee. Pilot mal celkový nálet približne 142 hodín na danom type približne 40 hodín.



Obr.č.27 – Prístrojové vybavenie PA28-151



Obr.č.28 – Rozdiel pri sledovaní prístrojov a okolia

2. Pri digitálnom cockpíte bol použitý typ WT-9 Dynamic disponujúci systémom Garmin G1000. Pilot mal celkový nálet približne 450 hodín a na danom type okolo 50 hodín.



Obr.č.28 – Prístrojové vybavenie WT-9 Dynamic Glasscockpit



Obr.č.29 – Rozdiel pri sledovaní prístrojov a okolia

4.3 Analýza záznamov

Hlavným princípom slovnej analýzy je posúdenie rozloženia pozornosti pilota založenej na pomere času, ktorý pilot venuje prístrojom a okoliu. Princípom je predpoklad, že v prípade keď sa pilot pozerá pod horizontálnu rovinu tvorenú kamerou je považované, že sleduje prístroje a naopak. Vďaka kvalite záznamu bolo jednoduché manuálne určiť momenty a čas venovaný okoliu a prístrojom.

4.3.1 Konvenčný analógový cockpit

Let sa uskutočnil vo forme 4 okruhov, z ktorých boli vybrané najpodstatnejšie fakty a pozorovania:

1. *Vzlet* – vo fáze vzletu mal pilot pozornosť dobre rozdelenú. Väčšinu času venoval priamemu pohľadu pre správnu kontrolu smeru s pravidelnou kontrolou rýchlosti

2. *Stúpanie* – vo fáze však pilot prejavil úplne odlišné správanie, ktoré však plynie s nemožnosti pohľadu dopredu. Pilot tak absolútnu väčšinu času strávil pohľadom na prístroje s občasnou kontrolou situácie z bočnej časti kabíny, až pokým nenastúpil do okruhovej výšky.
3. *Let po vetre* – Počas letu po okruhu v polohe po vetre mal pilot podobne ako pri vzlete správne rozloženie pozornosti medzi okolím, prístrojmi a polohou voči letisku. Záznam nenasvedčuje neúmerné sledovanie prístrojov v tejto fáze.
4. *Priblíženie* – Počas priblíženia v 3. a 4. zatáčke pilot znova zvýšil pozornosť venovanú prístrojom, ale nie až do takej miery ako pri stúpaní. Tieto zatáčky sú totiž kritické z hľadiska rýchlosti a rizika pádu do vývrtky, vyžadujú si tak častejšiu kontrolu prístrojov.
5. *Finále* – Vo fáze, keď už bolo lietadlo v pristávacej konfigurácii a zrovnané na pristátie, bolo jednoznačne vidieť, že pilot sa sústredil len na pristátie a prístrojom venuje pozornosť len pre rýchlu kontrolu rýchlosti.

V závere tak môžeme povedať, že pilot podal očakávaný výkon. Jedinou výnimkou je fáza stúpania, kde pilot väčšinou ani nemá inú možnosť a väčšinu informácií získava z prístrojov v kombinácii s pohľadom z boku kabíny.

4.3.2 Digitálne prístroje

Na rozdiel od analógových prístrojov bol záznam uskutočnený pri prelete letúňa a nie pri okruhoch

1. *Vzlet* - fáza vzletu prebiehala na rozdiel od konvenčného cockpitu tak, že pilot sa na počudovanie ani raz nepozrel na prístroje a celý čas sledoval len okolie. Ako príčinu môžeme predpokladať skúsenosti s daným typom lietadla alebo zmenu chovania vplyvom informovanosti o účele záznamu. O daných vplyvoch bude pojednané.
2. *Stúpanie* – asi najvýraznejší rozdiel oproti analógovému cockpitu sa ukazuje fáza stúpania, kde pilot s digitálnymi prístrojmi takmer po celý čas sledoval okolie a len v krátkych časových úsekoch si kontroloval údaje na prístrojoch. Jedná sa teda o presný opak toho, čo sme mohli vidieť. Ako faktory, ktoré mohli mať vplyv na túto fázu by som uviedol že poloha hlavy voči palubnej doske v type WT-9 Dynamic je vyššie v porovnaní s typom Piper PA-28 a pilot bol navyše urastenej postavy. Mohlo tak dôjsť k tomu, že pilot mal výrazne lepší pohľad dopredu v porovnaní s pilotom u konvenčného cockpitu.
3. *Let* – počas letu sa neodohral žiadny neočakávaný prejav pozornosti. Pilot absolútnu väčšinu času sledoval okolie a v približne pravidelných intervaloch pohybujúcich sa okolo 15-20 sekúnd kontroloval prístroje.
4. *Priblíženie + finále* – Keďže sa jednalo o priame priblíženie rozhodol som sa tieto dve fázy posúdiť spolu. Pilot od momentu zníženia výkonu pri priblížení začal sledovať prístroje výrazne viac. Frekvencia kontroly by sa dala porovnať s tou počas priblíženia pri analógovom cockpite. S klesajúcou výškou a približujúcim sa letiskom pilot čoraz viac pohľadu venoval pred lietadlo na úkor prístrojov až do

dotyku. Přiblížení a přistání v digitálním cockpitu je tak charakteristické tím, že sa najviac podobá priblíženiu a pristátiu v analógovom cockpitu.

4.3.3 Závěry analýzy

Zo slovných rozborov záznamov z letu jednotlivých druhov cockpitov vyplýva, že hypotéza o zvýšenej pozornosti upriamenej na prístroje pri digitálnom cockpitu sa nepotvrdila. Zo záznamov je dokonca možné vidieť, že pri určitých fázach letu mal pilot používajúci analógové prístroje väčšiu tendenciu pre sledovanie prístrojov. Takýto druh pokusu je však možné ovplyvniť viacerými faktormi, ktoré majú negatívny dopad na výsledok.

4.3.4 Faktory ovplyvňujúce analýzu

Pri porovnávaní dvoch druhov prvkov je dôležité zaistiť čo najmenší počet premenných. Prítomnosť faktorov ako skúsenosti, typ lietadla, druh letu, informovanosť o účele experimentu, to všetko môže viesť k tomu, že záznamy vyhotovené počas letu nebude možné objektívne porovnať.

- Skúsenosti pilota – Použitie ekvivalentne skúsených pilotov pri experimente je jeden z dôležitých faktorov, ktorý treba brať do úvahy. Pri pilotovi s malým celkovým náletom a náletom na type je vysoká pravdepodobnosť, že si bude neistejší samotným letom a tak môže dôjsť k tomu, že určité prístroje bude v kritickejších fázach sledovať oveľa častejšie. Najlepšia alternatíva by bola použiť jedného pilota pri oboch typoch cockpitu.
- Typ lietadla – pre maximálnu objektívnosť je vhodné použiť rovnaké typy letúňov, ktorých jediný rozdiel je vybavenie cockpitu. Faktory, ktoré sa tu môžu vyskytnúť sú už napríklad spomínaný výhľad z lietadla, ale aj výkon, kde u lietadla s nízkym výkonom bude pravdepodobne čas venovaný sledovaniu rýchloмера dlhší než u lietadla s vysokým prebytkom výkonu.
- Druh letu – Let okruhov, navigačný let alebo nácvik neštandardných postupov - všetky vplývajú na distribúciu pozornosti inak.
- Informovanosť – Významný faktor, ktorý môže výrazne ovplyvniť chovanie pilota. Tento fakt nám potvrdil aj pilot lietadla WT-9 Dynamic, keď hneď po pristáti prehlásil, že kvôli poznatku účelu letu mal tendenciu sa na prístroje nepozerať a chovať sa neprirodzene. Je však nemožné prehliadnuť upevnené kamery v cockpitu. Jedinou možnosťou tak ostáva neinformovanie o kontexte experimentu.

4.4 Pokročilé spôsoby analýzy pohľadu – Eye Tracking

V našej analýze sme použili slovný rozbor priebehu letu pomocou záznamu tváre pilota. Dnešná doba však ponúka pokročilé technológie, ktorých účelom je záznam obrazu a určenie bodu alebo miesta, ktoré osoba sleduje.

Eye Tracking – technológia umožňujúca zariadeniu presne určiť na čo sú oči zamerané alebo relatívny pohyb očí voči hlave. [24]

V stiesnených podmienkach cockpitu, či už v reálnom lietadle alebo simulátore, kde môže byť problémom rozmiestnenie techniky potrebnej pre účely experimentu sa tak javí ako najvýhodnejšia možnosť použitia tzv. Eye Tracking Glasses. Komfortná a neobštruktívna forma tohto prostriedku ju radí ako veľmi vhodnú pre použitie v cockpite.

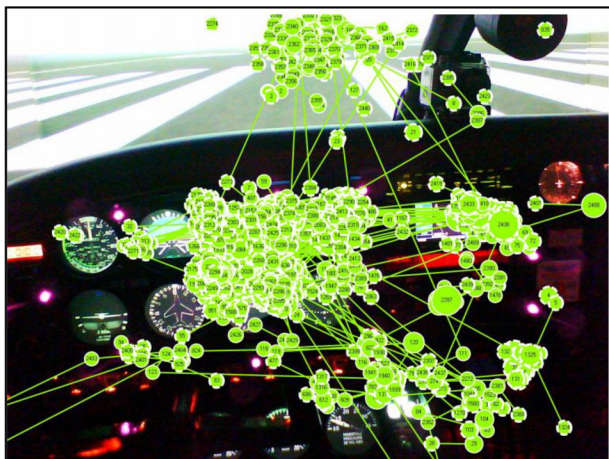


Obr.č.30 – príklad využitia okuliarov pre sledovanie pohyb očí počas simulátora[40]

Mobile Eye Tracking System – príkladom môže byť produkt spoločnosti Tobii, ktorý bol využitý v práci venujúcej sa distribúcii pohľadu v cockpite. Princíp činnosti spočíva v tvorbe infračerveného žiarenia, ktoré sa dostáva do oka a odraža sa od sietnice a vychádza cez zorničku v smere, ktorým sa oko pozerá. Eye Tracking kamery toto svetlo zachytia a vyhodnotia. Informácie sú zlúčené so záznamom kamery, ktorá sníma pilotove zorné pole. S príslušným software-om je tak možné získať rôzne druhy výstupov.[30]



Obr.č.31 – Jeden z možných výstupov analýzy tzv. Heat maps. Červensia plocha znamená vyšší čas venovaný pohľadom na dané miesto[39]



Obr.č.32 – ďalšia z možností výstupu tzv. Bee swarm. Zobrazuje jednotlivé body v čase kde nastala fixácia pohľadu so spojnicou k nasledujúcemu bodu[39]

Záver

Cieľmi mojej práce bolo poukázanie na ľudský činiteľ ako narastajúci faktor vzniku leteckých udalostí a vplyv moderných digitálnych avionických systémov na človeka. Práca je rozdelená do 4 základných častí riešiacich danú problematiku.

Prvá časť je venovaná otázke ľudského činiteľa v letectve. V dnešnej dobe je možné jednoznačne pozorovať, že človek na seba prebral rolu najčastejšieho faktora pri vzniku udalostí, kde vo všeobecnosti udáva ICAO 80% ľudský činiteľ a 20% technické a iné príčiny. Súčasťou je podrobný prehľad používaných analýz zlyhania ľudského činiteľa. HFACS ako kvalitatívna analýza je vhodná pre posúdenie možných príčin nehôd, kde na človeka malo vplyv viacero faktorov. HRA ako kvantitatívna analýza prejavuje uplatnenie pri číselných vyjadreniach pravdepodobností zlyhania LČ.

Rozhranie človek - stroj bolo priblížené v druhej časti. Cieľom bolo objasnenie základných pojmov a rizík plynúcich z interakcie človeka s prístrojmi, ktoré prechádza do analýzy prínosov a rizík digitálnych prístrojov na pilota. Napriek dlhoročným skúsenostiam a relatívnej spoľahlivosti analógových prístrojov, digitálne avionické systémy prinášajú neprehradiateľné výhody, ktoré ich v určitých smeroch stavajú nad konvenčne vybavené letúne. Digitalizácia cockpitu však okrem výhod priniesla aj radu prekážok a nástrah, s ktorými sa piloti musia vysporiadať. Tieto riziká možno charakterizovať ako skryté a na prvý pohľad ťažko odhaliteľné. Dôležitú úlohu tak zohráva samotný pilot, ktorý si sám musí byť vedomý danej hrozby.

Ďalšia časť práce je venovaná rozboru letúňov do maximálnej vzletovej hmotnosti 2250 kg medzi rokmi 2004-2014. Informácie o nehodách boli získané cez záverečné správy o incidentoch a nehodách. Cieľom bolo nielen porovnanie udávaného pomeru ICAO, ktorý sa nám potvrdil výsledkom 84% ku 16%, ale aj rozbor príčin vzniku nehôd spolu určením fázy letu, kde k nehode došlo. Medzi 3 najčastejšie príčiny nehôd patrí neobvyklý/tvrдый kontakt s RWY, strata kontroly nad lietadlom vo vzduchu a strata kontroly nad lietadlom na zemi. Príčina nehody, ktorá stála za najväčším počtom smrteľných nehôd bola strata kontroly počas letu a spadá pod ňu 10 smrteľných nehôd.

Táto časť taktiež obsahuje porovnanie nehôd pri lietadlách v rovnakej váhovej kategórii vybavených analógovými prístrojmi a digitálnymi prístrojmi. Informácie a dáta boli získané z amerického trhu zo štúdie NTSB kvôli ďaleko väčšej popularite a výskytu glass cockpitu. Z informácií môžeme vidieť, že výskyt nehôd u digitálnych prístrojov prevažuje nad analógovými vo fáze letu a to najmä v podmienkach, kde by sa očakávala ich výhoda ako (Noc, IMC), ale aj v príčinách, ktoré sa nástup glass cockpitu snažil eliminovať (CFIT). Digitálne prístroje tak podľa danej štatistiky nepriniesli očakávanú redukciu nehôd už v spomínaných oblastiach, navyše prejavujú väčšie percento smrteľných nehôd 31% oproti analógovým 16%.

Posledná časť práce je venovaná rozboru záznamov z letov uskutočnených pri analógovom a digitálnom cockpíte. Jedná sa o slovný rozbor pozorovaní z letu, ktorých hlavným cieľom bolo určenie faktorov vplyvujúcich na výsledky merania a prezentácia pokročilých technologických princípov Eye Tracking pre presné určovanie polohy pohľadu ako predpoklad k budúcim meraniam. Z rozboru záznamu sa nám nepotvrdilo, že by pilot venoval digitálnym prístrojom nadmernú pozornosť, pričom pilot pri analógových prístrojoch mal ďaleko väčšiu tendenciu pre ich častejšie a dlhodobejšie sledovanie.

S narastajúcim technologickým pokrokom a spoľahlivosťou tak dochádza k tomu, že človek má problémy držať krok a technické riešenia niektorých rizík umožňujú vzniku nových, ktoré vyplývajú z digitalizácie techniky s nepriaznivým dopadom na pilota.

Zoznam použitej literatúry

- [1] TREBICHAŤSKÝ, Ferdinand, Vladimír TICHAVSKÝ a Josef KRÍŽ. *Letecká doprava včera, dnes a zajtra*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1981, 271 s. Edícia dopravnej literatúry.
- [2] WIEGMANN, Douglas A a Scott A SHAPPELL. *A human error approach to aviation accident analysis: the human factors analysis and classification system*. Burlington, VT: Ashgate, 2003, xv, 165 p. ISBN 0754618757. Dostupné z:
<https://dvikan.no/ntnustudentserver/reports/A%20Human%20Error%20Approach%20to%20Aviation%20Accident%20Analysis.pdf>
- [3] Šulc, J. *Lidský cinitel : studijní modul 9*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 112 s. ISBN 80-7204-364-1.
- [4] L 13 ODBORNÉ ZJIŠŤOVÁNÍ PŘÍČIN LETECKÝCH NEHOD A INCIDENTŮ. In: *LETECKÝ PŘEDPIS*. 2013. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-13/index.htm>
- [5] WIEGMANN, Douglas a Troy FAABORG. *Human Error and General Aviation Accidents: A Comprehensive, Fine-Grained Analysis Using HFACS*. Office of Aerospace Medicine Washington, DC 20591, 2005, , 24 s. Dostupné z :
https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/0524.pdf
- [6] ÚZPLN Ústav pro Odborné Zjišťování Příčin Leteckých Nehod, Dostupné z:
http://www.uzpln.cz/cs/ln_incident
- [7] KAPITOLA I. LIDSKÝ ČINTEL V LETECKÉ DOPRAVĚ, Dostupné z: <http://projekt150.hav-el.cz/node/117>
- [8] *HUMAN FACTORS DIGEST No. 6, Ergonomics: CIRCULAR 238-AN/143*. ICAO, 1992. Dostupné z: http://mid.gov.kz/images/stories/contents/238_en.pdf
- [9] *Flight-crew human factors handbook: CAP 737*. Civil Aviation Authority, 2014. Dostupné z:
<https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP%20737%20final.pdf>
- [10] *ÚSTAV PRO ODBORNÉ ZJIŠŤOVÁNÍ PŘÍČIN LETECKÝCH NEHOD* [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.uzpln.cz/cs/ln_incident
- [11] CHIH-WEI YANG a CHIUHSIANG JOE LIN. *A Review of Current Human Reliability Assessment Methods Utilized in High Hazard Human-System Interface Design* [online]. [cit. 2016-04-18]. Department of Industrial Engineering, Chung-Yuan Christian University. Dostupné z:
http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-73331-7_23
- [12] KUN YANG a LIQUAN TAO. *Assessment of Flight Crew Errors Based on THERP: 3rd International Symposium on Aircraft Airworthiness* [online]. 2013 [cit. 2016-04-18]. Department of Industrial Engineering, Chung-Yuan Christian University. Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814011527>
- [13] EUROCONTROL. *Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART)* [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/ehp/?q=node/1591>
- [14] *Aircraft Instrument Systems: Chapter 10* [online]. [cit. 2016-04-19]. Dostupné z:
http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/media/ama_ch10.pdf

- [15] *CERTIFIKAČNÍ SPECIFIKACE PRO LETOUNY KATEGORIE NORMÁLNÍ, CVIČNÁ, AKROBATICKÁ A PRO SBĚRNOU DOPRAVU: CS-23* [online]. [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/file/6289/>
- [16] VOSECKÝ, Slavomír. Radionavigace (062 00 00 00): učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 197 s. ISBN 978-80-7204-764-2.
- [17] *Introduction of Glass Cockpit Avionics into Light Aircraft: Safety Study* [online]. National Transportation Safety Board [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.ntsb.gov/safety/safety-studies/Documents/SS1001.pdf>
- [18] *Operation of Ground Proximity Warning System and Terrain Avoidance Warning System* [online]. International Civil Aviation Organization [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.icao.int/safety/acp/acpwgf/acp-wg-f-25/acp-wgf25-wp05%20gpws%20operation%20on%20aircraft.doc>
- [19] GEOFFREY WHITEHURST a WILLIAM RANTZ. *The Digital to Analog Risk: Should We Teach New Dogs Old Tricks?* [online]. Embry-Riddle Aeronautical University [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1325&context=jaaer>
- [20] MICA R. ENDSLEY. *Automation and Situation Awareness* [online]. Department of Industrial Engineering, Texas Tech University [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: http://www.aerohabitat.eu/uploads/media/Automation_and_Situation_Awareness_-_Endsley.pdf
- [21] KUO KUANG LIU, B.S. *THE HIGHLY-AUTOMATED AIRPLANE: ITS IMPACT ON AVIATION SAFETY AND AN ANALYSIS OF TRAINING PHILOSOPHY* [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a327119.pdf>
- [22] E. L. Wiener, Human Factors and Advanced Technology (Glass Cockpit) Transport Aircraft, NASA-TR 177528 (NASA Ames Research Center: National Aeronautics and Space Administration, 1989). Dostupné z: http://human-factors.arc.nasa.gov/publications/HF_AdvTech_Aircraft.pdf
- [23] *Intelligent decision technologies: proceedings of the 5th international conference on intelligent decision technologies (idt2013)*. ISBN 9781614992639.
- [24] Nadir Weibel, Adam Fouse, Colleen Emmenegger, Sara Kimmich a Edwin Hutchins. *Let's look at the Cockpit: Exploring Mobile Eye-Tracking for Observational Research on the Flight Deck*. Dostupné také z: <http://www.cogsci.ucsd.edu/~bkbergen/cogs200/LetsLookAtCockpit.pdf>

Zoznam použitých obrázkov

- [25] DLUHOŠ, J. Vliv lidského činitele na nehodovost malých letadel. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 90 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Chlebek, Ph.D.
- [26] *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations | 1959 – 2014: Boeing* [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf
- [27] WIEGMANN, Douglas A a Scott A SHAPPELL. *A human error approach to aviation accident analysis: the human factors analysis and classification system*. Burlington, VT: Ashgate, 2003, xv, 165 p. ISBN 0754618757.
- [28] *ÚSTAV PRO ODBORNÉ ZJIŠŤOVÁNÍ PŘÍČIN LETECKÝCH NEHOD* [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.uzpln.cz/pdf/incident_T9gpivsb.pdf
- [29] KUN YANG a LIQUAN TAO. *Assessment of Flight Crew Errors Based on THERP: 3rd International Symposium on Aircraft Airworthiness* [online]. 2013 [cit. 2016-04-18]. Department of Industrial Engineering, Chung-Yuan Christian University.
- [30] *ICAO SHELL Model* [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.skybrary.aero/index.php/ICAO_SHELL_Model
- [31] *Input Devices and Interaction Techniques for Advanced Computing* [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.yorku.ca/mack/Barfield.html>
- [32] *Aircraft Instrument Systems: Chapter 10* [online]. [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: • http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/media/ama_ch10.pdf
- [33] Zdroj VUT Letecký ústav
- [34] Vlastná fotografia – Cessna 172RG
- [35] M. Tooley, D. Wyatt: „Aircraft electrical and electronic systems“, Oxford UK, ISBN 978-0-7506-8695-2, 2009
- [36] *Cessna Aircraft Company* [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://cessna.txtav.com/single-engine/cessna-ttx>
- [37] *CESSNA TTX: Garmin G2000 Integrated Flight Deck Pilot's Guide* [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://cessna.txtav.com/single-engine/cessna-ttx>
- [38] *Introduction of Glass Cockpit Avionics into Light Aircraft: Safety Study* [online]. National Transportation Safety Board [cit. 2016-04-19].
- [39] Nadir Weibel, Adam Fouse, Colleen Emmenegger, Sara Kimmich a Edwin Hutchins. *Let's look at the Cockpit: Exploring Mobile Eye-Tracking for Observational Research on the Flight Deck*. Dostupné také z: <http://www.cogsci.ucsd.edu/~bkbergen/cogs200/LetsLookAtCockpit.p>
- [13] *Cockpit Research Study Uses Eye-tracking Tech* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2016-01-25/helo-cockpit-research-study-uses-eye-tracking-tech>

Zoznam použitých skratiek

3D	3-dimensional	trojdimenzionálny
ADF	Automatic Direction Finder	Automatický rádiokompas
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast	automatický závislý prehľad
AFC	Automatic Flight Control	Automatická kontrola letu
AFCS	Automatic Flight Control System	Systém automatickej kontroly letu
AHRS	Attitude and Heading Reference System	Systém určujúci polohu lietadla
AME	Aviation Medical Examiner	Letecký lekár
APOE	Assessed Proportion of Effect	priradená veľkosť efektu
ATC	Air Traffic Control	Riadenie letovej prevádzky
BHEP	Basic Human Error Probability	Základná pravdepodobnosť ľudskej chyby
CAA	Civil Aviation Authority	Civil Aviation Authority
CDI	Course Deviation Indicator	Indikátor odchýlky kurz
CFIT	Controlled Flight into Terrain	Riadený let do terénu
CRM	Crew Resource Management	Management zdrojov posádky
CTR	Control Zone	Riadený okrsok
ČR		Česká republika
DME	Distance Measuring Equipment	Diaľkomerné zariadenie
EIS	Engine Indication System	Systém indikujúci stav motora
EPC	Error Producing Conditions	Podmienky zvyšujúce riziko chyby
ERM	Error Reduction Measure	Opatrenia na redukcii chýb
ESP	Electronic Stability and Protection	Elektronická stabilita a ochrana
FAA	Federal Aviation Administration	Federal Aviation Administration
FIR	Flight Information Region	Letová informáčná oblasť
FMS	Flight Management System	Systém riadenia letu
FTD	Flight Training Device	Výcvikové zariadenie
GA	General Aviation	Všeobecné letectvo
GAMA	General Aviation Manufacturers Association	Asociácia výrobcov lietadiel
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globálny navigačný družicový systém
GP	Glide Path	Zostupový maják
GPS	Global Positioning System	Globálny pozičný systém
GPWS	Ground Proximity Warning System	Systém varovania blízkosti zeme
HEART	Human Error Assessment and Reduction Technique	Posudok o ľudských chybách a ich redukcii
HEM	Human Error Mode	Mód ľudskej chyby
HEP	Human Error Probability	Pravdepodobnosť ľudskej chyby
HRA	Human Reliability Assessment	Posudok o ľudskej spoľahlivosti
HSI	Human - System Interface	Prepojenie človek a stroj
HSI	Horizontal Situation Indicator	Indikátor horizontálnej situácie
ICAO	International Civil Aviation Organization	Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo
ILS	Instrument Landing System	Systém pre presné priblíženie
IMC	Instrument Meteorological Conditions	Meteorologické podmienky pre let za prístrojov
ISA	International Standard Atmosphere	Medzinárodná štandardná atmosféra
Kap.		Kapitola
LOC	Localizer	Lokalizér
METAR	Meteorological Aviation Report	Meteorologická letecká správa
MFD	MultiFunction Display	Multifunkčný displej
MTOW	Maximum Takeoff Weight	Maximálna vzletová hmotnosť
NHEP	Nominal Human Error Probability	Nominálna pravdepodobnosť ľudskej chyby
NTSB	National Transportation Safety Board	National Transportation Safety Board
OAT	Outside Air Temperature	Vonkajšia teplota
PC	Personal Computer	Osobný počítač
PFD	Primary Flight Display	Hlavný letový displej
PIC	Pilot in Command	Veliteľ lietadla

PSF	Performance Shaping Factors	Faktory ovlivňující výkonnost
RMI	Radio Magnetic Indicator	rádiokompas spojený s magnetickým kompasom
RNP	Required Navigation Performance	Požadovaná navigačná presnosť
RWY	Runway	Vzletová a pristávací dráha
SA	Situational Awareness	Povedomie o situácii
SEP	Single Engine Piston	Kvalifikácia pre jednomotorové piestové letúne
SIGMET	Significant Meteorological Information	Informácie o význačnom počasi
SOP	Standard Operating Procedure	Štandardné postupy
TAA	Technically Advanced Aircraft	Technicky pokročilé lietadlo
TAF	Terminal Aerodrome Forecast	Predpoveď počasia v koncovej oblasti
TCAS	Traffic Collision Avoidance System	Antikolízny systém s prevádzkou
THERP	Technique of Human Error Rate Prediction	Technika predikcie ľudskej chyby
TMA	Terminal Manoeuvring Area	Koncová riadená oblasť
TRM	Team Resource Management	Management tímových zdrojov
TWAS	Terraing Avoidance Warning System	Antikolízny systém s terénom
TWR	Tower	Veža
UL	Ultralight Aircraft	Lietadlá kategórie Ultralight
ÚZPLN		Ústav pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod
VFR	Visual Flight Rules	Pravidlá letu za vidu
Viz.		pozri
VMC	Visual Meteorological Conditions	Meteorologické podmienky pre let za vidu
VOLMET	Meteorological Information for Aircraft in Flight	Meteorologické informácie pre lietadlá za letu

Zoznam príloh

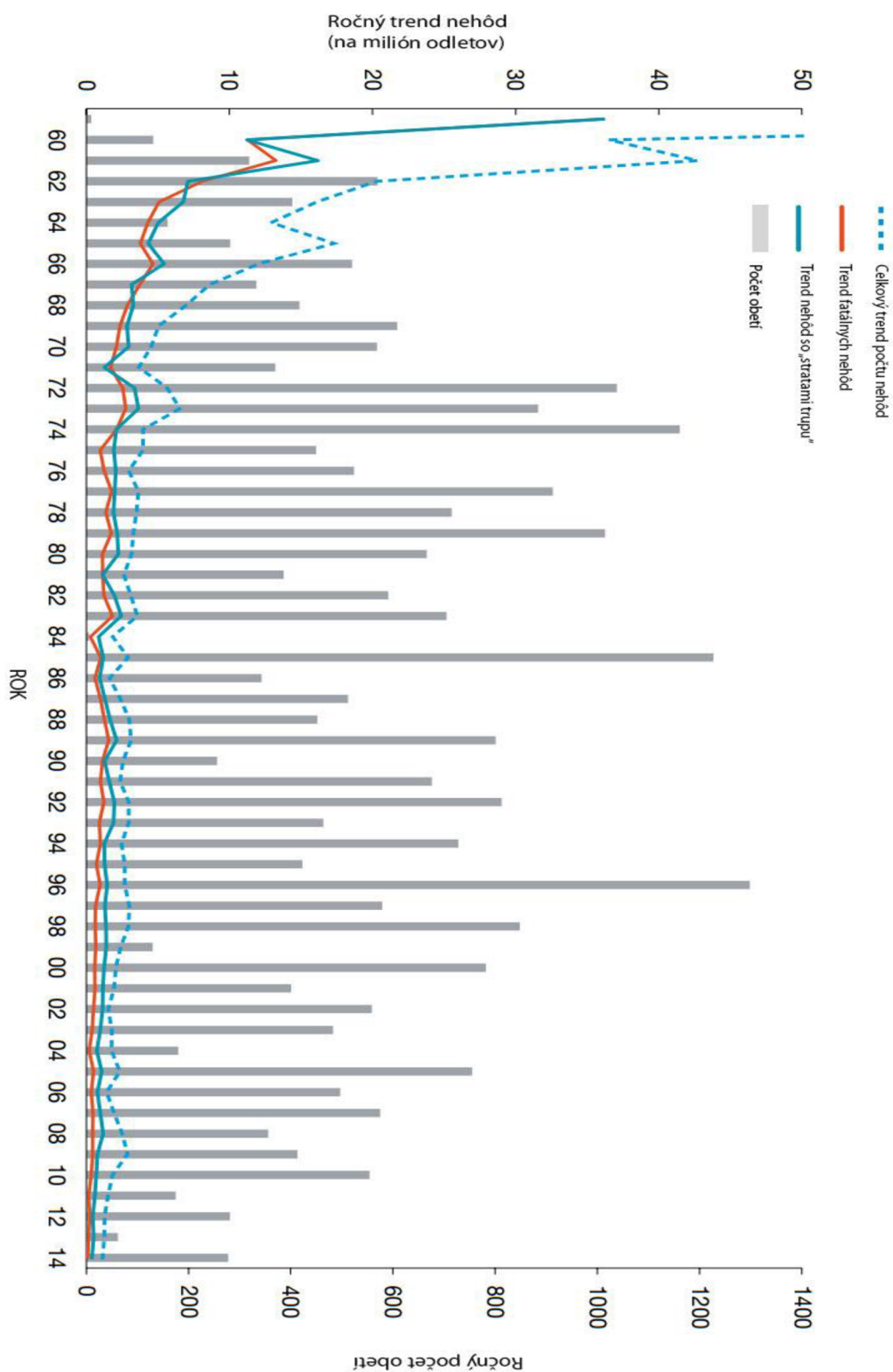
Príloha 1 – Graf spoločností Boeing vyjadrujúci pokles celosvetových nehôd dopravných lietadiel medzi rokmi 1958 až 2014[26]

Príloha 2 – Analýza úloh pilota vo fáze vzletu pri type Airbus 320 pomocou THERP[5]

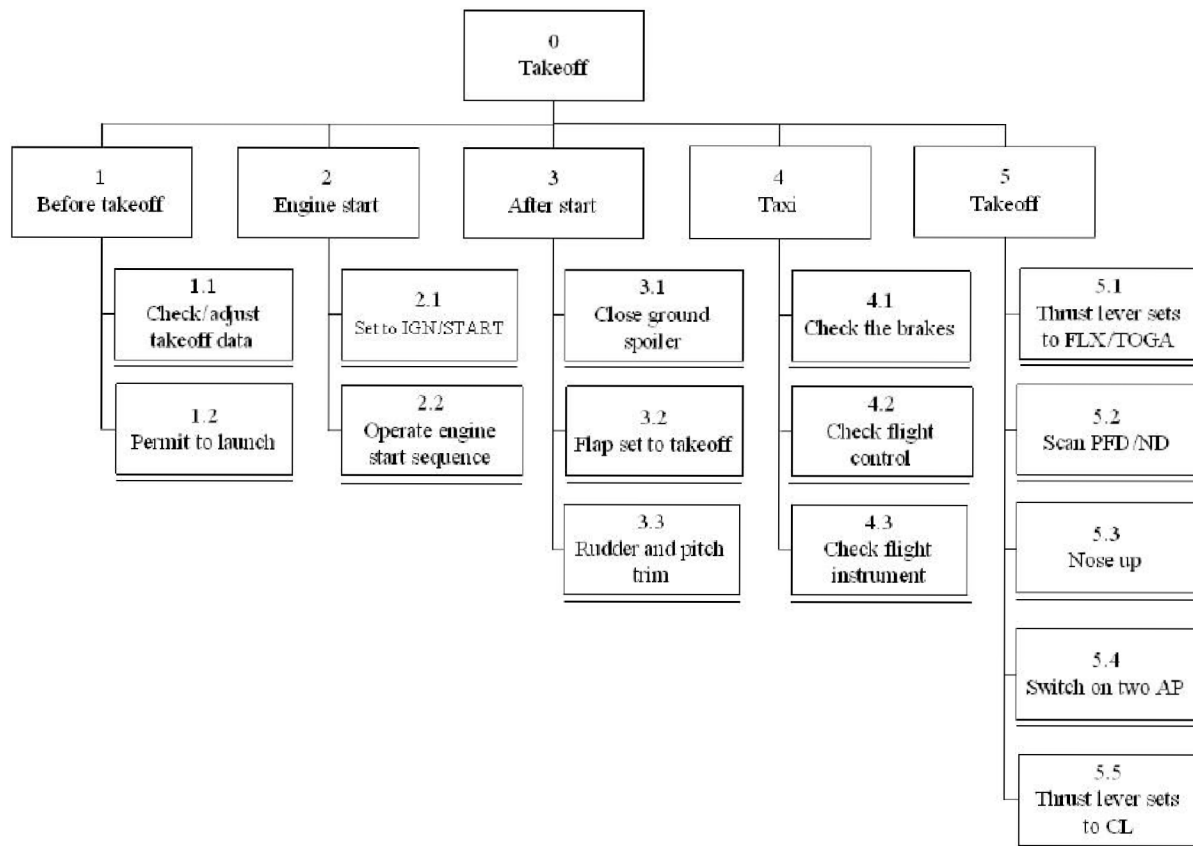
Príloha 3 – Módy ľudských chýb vzťahujúcich sa na úlohy v prílohe 2 s príslušnými možnými následkami[5]

Príloha 4 – Strom udalostí vo fáze vzletu[5]

Príloha 1



Príloha 2



Príloha 3

Subtask	Human error mode	Description	Consequence
Check/adjust takeoff data	Omit	The flight crew forgets to calculate takeoff speed and neither check takeoff configuration nor validate takeoff weight limitation.	The appropriate takeoff speed cannot be determined.
	Lapse	PF does not calculate takeoff speed and FLX temperature independently. Misread the number.	The calculation result cannot be verified. The calculation result is wrong.
Permit to launch	Timing error	Misunderstand that the aircraft is permitted to launch and then execute it.	Ground accident could occur.
Set to IGN/START	Timing error	Before permit to launch, task is executed.	Ground accident could occur.
Operate engine start sequence	Sequence error	The engine start sequence is operated wrong.	The engine cannot be started.
Close ground spoiler	Lapse	Ground spoiler is armed.	The acceleration is abnormal and the distance of takeoff needs to be longer.
Flat set to takeoff	Lapse	Flat position is set incorrectly.	Influence on takeoff performance.
Rudder and pitch trim	Spatial illusion	Because of the different views, it is not trimmed indeed.	The aircraft needs to be controlled manually.
Check the brakes	Omit	Forget to check the brakes	The distance of takeoff is too long.
Check flight control	Omit	Forget to check flight control	Influence on flight control.
Check flight instrument	Omit	Forget to check some flight data.	Do not understand the condition of the aircraft.
	Lapse	The parameters in the instrument are misread.	Influence on takeoff performance.
Thrust lever sets to FLX/TOGA	Lapse	The thrust lever sets to the wrong position.	The thrust is incorrect.
Scan PFD/ND	Omit	The flight data is abnormal and is not cognized by pilot.	Influence on flight performance and flight path.
	Lapse	Pilot does not cognize something wrong.	Influence on flight performance and flight path.
Nose up	Timing error	The control stick is moved too early.	It need more force to control the stick.
		The control stick is moved too late.	Tail strike
Switch on two AP	Force error	Too much pitch angle	Tail strike
	Omit	Two AP are not switched on.	Not controlled by two AP.
Thrust lever sets to CL	Timing error	Set to CL too early.	Influence on climb performance.
		Set to CL too late.	Influence on engine.

Príloha 4

