

ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

**ZAJIŠŤOVÁNÍ PROVOZNÍ
SPOLEHLIVOSTI V ETAPĚ NÁVRHU**



**MATERIÁLY Z XXII. SETKÁNÍ
ODBORNÉ SKUPINY PRO SPOLEHLIVOST**

Praha, březen 2006

OBSAH

VÝZKUMNÝ PROJEKT MPO TANDEM FORMADE, TÉMA T3	3
<i>Doc. Ing. Antonín Mykiska, CSc., Ing. Michal Havel, Ing. Miloslav Svoboda</i>	
HODNOCENÍ PROVOZNÍ TECHNOLOGIČNOSTI MALÝCH DOPRAVNÍCH LETADEL	12
<i>Ing. Miloslav Svoboda</i>	
ELEKTRONICKÝ KATALOG INTENZIT PORUCH LETADLOVÝCH SYSTÉMŮ	16
<i>Doc. RNDr. Gejza Dohnal, CSc.</i>	
ANALÝZA VLIVU SPOLEHLIVOSTI LIDSKÉHO FAKTORU NA HODNOCENÍ PROVOZNÍ TECHNOLOGIČNOSTI	23
<i>Ing. Petr Kolář</i>	

VÝZKUMNÝ PROJEKT MPO TANDEM FORMADE, TÉMA T3

Doc. Ing. Antonín Mykiska, CSc., Ing. Michal Havel, ČVUT v Praze

Ing. Svoboda Miloslav, Divize 4400, VZLÚ, a. s.

Výzkumný projekt MPO Tandem FORMADE, téma T3

Výzkum faktorů ovlivňujících provozní
technologičnost (PT) konstrukčních skupin a
systémů letadla

doc. Ing. Antonín Mykiska, CSc. - Ing. Michal Havel
(Fakulta strojní ČVUT v Praze),
Ing. Miloslav Svoboda (VZLÚ Praha)

Projekt programu MPO TANDEM
FOREMADE

(na léta 2004 – 2007)

**Vytvoření integrovaného výzkumného prostředí
s posílením analytických přístupů virtuálního
modelování jako nástrojů efektivní stavby letadlových
konstrukcí**

*Formation of Integrated Research Analytical Approaches for Virtual
Modelling of Effective Modern Aircraft Design*

Projekt programu MPO TANDEM
FOREMADE

(na léta 2004 – 2007)

**Vytvoření integrovaného výzkumného prostředí
s posílením analytických přístupů virtuálního
modelování jako nástrojů efektivní stavby letadlových
konstrukcí**

*Formation of Integrated Research Analytical Approaches for Virtual
Modelling of Effective Modern Aircraft Design*

Organizace projektu:

Projekt FOREMADE je účelově rozdělen do **15 relativně samostatných témat oboru leteckého výzkumu a vývoje**, které v souhrnu pokrývají současné požadavky leteckého průmyslu na řešení vědecko-výzkumných úloh vyplývajících z návrhových představ o vývoji **nové generace malých dopravních letadel**.

Přehled témat projektu FOREMADE

- **T1** Aerodynamický výzkum malých obchodních a dopravních letounů
 - **T2** Výzkum vysokorychlostního proudění kruhovými mřížemi lopatkových strojů
 - **T3 Výzkum faktorů ovlivňujících provozní technologičnost konstrukčních skupin a systémů letadla**
 - **T4** Výzkum radioprůzračné kompozitní struktury
 - **T5** Výzkum bezchromanových konverzních úprav Zn-povlaků a Al-materiálů
 - **T6** Výzkum optimální koncepce a metodiky dynamické analýzy deformačních zón pro malé dopravní letouny
 - **T7** Výzkum chování moderních tenkostěnných klasických i kompozitových konstrukcí podle zatížení a mezních stavů, výzkum metod EAN a deformací, sběru a vyhodnocení dat
-
- **T8** Výzkum vlivu zbytkových a montážních pnutí pro analytickou podporu aplikace technologií zpevňování povrchu
 - **T9** Výzkum efektivních metod nedestruktivní detekce poruch leteckých konstrukcí
 - **T10** Výzkum vlivu parametrů technologií zpevňování povrchů na vytvoření zbytkových napětí, jejich měření a hodnocení
 - **T11** Výzkum a algoritmizace mechanismů poškozování materiálů v obecném stavu napjatosti při náhodném zatěžování
 - **T12** Výzkum a hodnocení ekvivalence vlivů prostředí na vlastnosti kompozitních konstrukcí
 - **T13** Výzkum a vývoj analytických a experimentálních metod vyšetřování dynamických a aeroelastických vlastností letadlových konstrukcí
 - **T14** Výzkum vlastností matematických modelů pro generování spekter zatížení z hlediska adekvátnosti k fyzikálním procesům únavového poškozování
 - **T15** Nové metody dimenzování a predikce únosnosti, životnosti a spolehlivosti vysokoparametrických soustav s moderním čelním ozubením

Řešitelské týmy projektu FOREMADE

Řešitelské týmy celého projektu FOREMADE zahrnují:

- 11 řešitelů z podniků Asociace leteckých výrobců
- 7 pracovišť vysokých škol
- 2 ústavy AV ČR se 4 pracovišti
- 3 další spoluřešitelé

Na řešení úkolu T3 se podílejí:

- **Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s.**
- **Ústav jaderného výzkumu Řež a.s.**
- **Fakulta strojní ČVUT v Praze - Ústav přístrojové a regulační techniky a Ústav technické matematiky,**
- **Fakulta dopravní ČVUT v Praze,**
- **Evektor, s r.o.**
- **Jihlavan, a.s.**

Charakteristika projektu FOREMADE T3

Výzkum faktorů ovlivňujících provozní technologičnost (PT) konstrukčních skupin a systémů letadel

Zaměření: Malý dopravní letoun (kategorie podle EASA CS-23, FAR 23)

Cíl výzkumu:

- **Stanovit a zhodnotit faktory ovlivňující provozní technologičnost (PT) letadel, jeho systémů a konstrukčních skupin.**
- **Zpracovat metodiku pro posuzování, hodnocení různých variant návrhu a výběru optimální varianty konstrukčního řešení z hlediska provozní efektivity a nákladů.**

Dílčí cíle projektu

- Stanovit faktory ovlivňující provozní technologičnost (PT),
- Stanovit ukazatele pro hodnocení PT variant návrhu letadel,
- Stanovit požadavky/kriteria pro zhodnocení PT letadla s ohledem na předpokládanou požadovanou provozní efektivnost a náklady.
- Stanovit vliv druhů provozu, a způsobu zabezpečení provozu letadla na hodnoty kritérií provozní technologičnosti,
- Stanovit omezení při řešení PT vyplývající z požadavků leteckých předpisů,
- Začlenit analýzy a hodnocení PT do procesu návrhu a vývoje a stanovit návaznost a použitelnost výsledků ostatních analýz systémů letadel (analýzy bezpečnosti, spolehlivosti, nákladů apod.),
- Zpracovat návrh metodiky pro hodnocení PT a navrhnout prostředky SW podpory,
- Provést ověření metodiky s využitím výsledků z provozu malého dopravního letadla podobné kategorie (L410 nebo jiný typ),
- Stanovení normalizační báze pro zajištění optimální dostupnosti normalizovaných součástí a materiálů.

Provozní technologičnost:

**vlastnost letadla (výrobku letecké techniky atd.)
spočívající v aplikovatelnosti nejvýhodnějších technologií
a postupů při technické obsluze, údržbě a opravách a
umožňující dosažení vysoké (konkurenční) úrovně
efektivnosti letadla v provozu.**

Hlavní faktory ovlivňující PT:

- **bezporuchovost, udržovatelnost, zajištěnost údržby, náklady, tj.:**
 - rozsah preventivní (plánované) údržby a provozní obsluhy letadel,
 - časová náročnost a pracnost preventivní (plánované) údržby a obsluhy,
 - náklady na preventivní údržbu (pracnost, cena náhradních dílů, materiálů pro údržbu atd.),
 - poruchovost
 - identifikovatelnost a lokalizovatelnost poruch,
 - pracnost a časová náročnost opravy (údržby po poruše),
 - faktory ovlivňující udržovatelnost a opravitelnost
 - přístupnost
 - snadnost montáže
 - vyměnitelnost

Navržený postup řešení

- Použít dostupnou metodiku [1] jako ideový vzor.
- Stanovit faktory ovlivňující PT a posoudit jejich významnost.
- Stanovit hodnoty kritérií PT odvozením z dostupných údajů o provozní efektivnosti malých dopravních letadel:
 - pravděpodobnost zpoždění odletu,
 - měrné náklady na údržbu a běžné opravy v USD/h letu,
 - měrná časová náročnost obsluhy a údržby v h/h letu.
- Na základě analýz spolehlivosti systémů letadla prováděných v rámci průkazu bezpečnosti (CS/FAR 23.1309) navrhnout způsob rozdělení (alokace) hodnot kritérií PT letadla na systémy.
- Analýzy PT systémů letadla provádět v souladu s předpisy MSG – 3 [2]

Ukazatele provozní technologičnosti [1]

Obecné ukazatele:

- Měrná operativní doba údržby a oprav

$$K_r \leq \frac{2294}{W_R} - 0,149 \quad [\text{hod/hodlet}]$$

- Pravděpodobnost obnovy

$$P_o(t_z) \geq \frac{P_v - R}{P_s \cdot (1 - R)}$$

t_z [h] – doba určená k obnovení provozuschopnosti

P_v [1] – pravděpodobnost včasného odletu

R [1] – pravděpodobnost bezporuchového provozu letadla během posledního letu

P_s [1] – pravděpodobnost dostupnosti údržby (personálu, techniky, ND atd.)

Obecné ukazatele PT - pokračování

- **Měrná pracnost údržby a oprav**

$$K_p \leq 11,1 G_k^{0,56} \quad [Nh/h letu]$$

G_k [10^3 kg] hmotnost konstrukce (prázdná hmotnost)

- **Měrné náklady na náhradní díly**

$$K_{ND} \leq 9,5.C.10^{-6} \quad [Rbl/h letu]$$

C [je v mil. Rbl]

Parciální ukazatelé provozní technologičnosti:

- $K_D[1]$ Kriterium přístupnosti – poměr pracnosti úkonu údržby k celkové pracnosti včetně přípravných a pomocných prací
- $K_L[Nh]$ Kriterium pracnosti – pracnost potřebná k demontáži a montáži (při výměně) nebo pracnost požadované práce.
- $K_V[1]$ Kriterium vyměnitelnosti – poměr pracnosti úkonu bez přizpůsobení k pracnosti včetně přizpůsobení.

Číselné hodnoty kritérií jsou stanoveny v [1] pro následující skupiny/systémy/agregáty letadla a prováděné práce:

1. Výměna agregátů (draku, pohonné jednotky, řízení, podvozku, elektrické soustavy, radiovybavení, přístrojového vybavení atd.)
2. Kontrolní a seřizovací práce – pro všechny systémy a skupiny letadla.
3. Mazání
4. Ostatní práce
5. Hodnoty K_V pro vybrané konstrukční skupiny a agregáty.

Další požadavky:

- PT letadla musí umožnit roční nálety
2000 – 2500 hodin
- Pravděpodobnost zpoždění letu z technických příčin
musí být menší než
 $1 \cdot 10^{-2}$ - $2 \cdot 10^{-2}$
- Požadavky na periodicitu údržby a oprav
- Struktura agregátů/vyměnitelných dílů podle technického
života do opravy/výměny
90% agregátů $T_{\bar{z}} > 10\,000$ hodin
- Požadované doby výměny agregátů/ dílů:
u 80% agregátů $T_{\text{výměny}} < 30$ min
< 1% agregátů $T_{\text{výměny}} 6 - 8$ hod

Etapy a úkoly řešení projektu T3

1. Rok 2004:

- Shromáždění podkladů pro řešení, literární rešerše
- Analýza jednotlivých faktorů ovlivňujících provozní
technologičnost (PT)
- Výběr ukazatelů pro hodnocení PT a metody jejich
stanovení

2. Rok 2005:

- Zpracování návrhu metody hodnocení PT
- Zahnutí vlivu podmínek provozu a systému údržby
a oprav
- Stanovení zásad SW podpory pro aplikaci metody
v etapě návrhu a vývoje letadla

Etapy a úkoly řešení projektu T3 – pokračování:

3. Rok 2006:

- Ověření metody na vybraných konstrukčních skupinách a systémech s využitím dat z provozu
- Zpracování návrhu metodiky včetně DB vstupních dat a SW aplikační podpor

4. Rok 2007:

- Zhodnocení výsledku ověření metody a připomínek k praktickému používání metodiky hodnocení PT
- Dokončení a vydání metodiky.

Literatura (výchozí):

1. Všeobecné technické požadavky na provozní technologičnost nově vyvíjených civilních dopravních letadel (schváleno MGA 1977) Zdroj: RI-VZLU č. 402, 1977
 2. MSG -3 Maintenance Program Development Document.
Revize 2, září 1993, Původní vydání 1980
Zpracováno: Maintenance Steering Group 3 Air Transport Association of America (ATA)
 3. ATA Spec no 100. Manufacturers Technical Data
 4. GAMA Spec. No 2
 5. MIL-HDBK-470A Designing and Developing Maintainable Products and Systems (vol. I,II). Ministerstvo obrany USA (DOD), Srpen 1997
 7. Části předpisů FAR a EASA vztahující se k údržbě letadel, např. EASA Part M, FAR 43, FAR 120, FAR 135 .
 8. Normy IEC zpracované technickou komisí TC 56 Dependability vztahující se k managementu spolehlivosti (zejména údržby)
- Další literární zdroje podle provedené rešerše

HODNOCENÍ PROVOZNÍ TECHNOLOGIČNOSTI MALÝCH DOPRAVNÍCH LETADEL

Ing. Svoboda Miloslav, Divize 4400, VZLÚ, a. s.

Úvod do problematiky

Provozní technologičnost (PT) je jeden z technických parametrů letadla, které mají významný vliv na jeho provozní efektivnost (operational effectiveness), to jest schopnost provedení požadovaných letových přepravních úkolů v daném čase a v daných provozních podmínkách a zároveň ekonomickou efektivnost, tzn. s jakými náklady je letadlo schopno příslušný přepravní úkol zajistit a jaké náklady musí být vynakládány na udržení jeho provozuschopnosti a letové způsobilosti v průběhu jeho života. Provozní a ekonomická efektivnost jsou hlavní hlediska, podle nichž provozovatel hodnotí užité vlastnosti letadla, samozřejmě s ohledem na bezpečnost. Provozní technologičnost byla jako vlastnost letadla formulována a definována v 60tých až 70tých letech 20. století v souvislosti se vzrůstem nákladů na údržbu systémů letadla vyvolaným zvyšováním jejich složitosti a v souvislosti se zaváděním nových funkcí letadel umožňujících rozšíření provozního využití i za zhoršených provozních podmínek.

Používání dokumentu MSG bylo v USA oficiálně doporučeno leteckým úřadem FAA leteckým oběžníkem FAA/AC 120-17 „Maintenance Control by Reliability Methods“. Tento dokument uvádí místo předtím prakticky jediné metody údržby podle pevných lhůt (Hard Time Maintenance Methods) založené na generálních opravách, přezkušování a prohlídkách spojených s úplnou nebo částečnou rozeběrkou agregátů a letadlových celků dvě další rovnocenné metody, a to:

Podle stavu (On-condition); a

Sledování stavu (Condition Monitoring).

Zásady jejich uplatnění při vytváření programu údržby letadla jsou uvedeny obecně v AC 120-17A a konkrétně v metodice vytváření programu údržby MSG-3 [1]. Letecké předpisy ovšem obsahují soubor požadavků, které musí jak program údržby, tak jeho provádění u provozovatele splňovat. Důležitým jsou např. požadavky na pravidelné (roční) prohlídky za účelem prokázání způsobilosti letadla k létání, způsobilost organizace údržby, viz CS-M/FAR 43 a CS-145/FAR-145.

V tomto období vznikla řada odborných studií shrnujících a zobecňujících zkušenosti z údržby složitých letadlových systémů, které prokázaly, že uplatňování tradiční metody údržby formou generálních oprav a revizí systémů a jejich částí podle pevně stanovených lhůt nejenže u některých systémů nepřispívá ke zvýšení jejich provozní spolehlivosti, ale v některých případech ji i snižuje – viz např. práce specialistů společnosti United Airlines [10, 11] nebo práce [13], později vydané jako publikace NASA [14]. Na základě těchto zkušeností a ověřovacích programů údržby u leteckých společností vznikly následně ze společné iniciativy leteckých společností, výrobců letadel a za přispění a podpory leteckých úřadů nové přístupy k plánování a provádění údržby letecké techniky formulované v dokumentech Řídící rady pro údržbu (MSG) při Sdružení leteckých dopravců ATA [1] a v tehdejší SSSR v dokumentu vydaném Ministerstvem civilního letectví [2].

Z hlediska vlastního programu údržby stanovují předpisy postup a pravidla jeho schvalování leteckým úřadem. Důležitý je rovněž požadavek na postup a pravidla schvalování všech činností údržby, na jejichž správném a termínovém provedení závisí bezpečnost letadla – viz např. AC 25-16 „Certification Maintenance Requirements“. Programy údržby dopravních letadel vyráběných (L-410) nebo vyvíjených (L-610) v ČR byly postupně modifikovány (souběžně s prováděním programů zvyšování provozní spolehlivosti) tak, aby vyhověly trendu zvyšování provozní technologičnosti letadel a zvyšování jejich provozní a ekonomické efektivity, viz např. [15] Předpis pro údržbu L-410 UVP bez generální opravy, podle kterého je již většina přístrojů a agregátů udržována podle stavu. I když se uvedené progresivní metody týkají především systémů letadel, významného pokroku bylo dosaženo i v oblasti údržby draku a leteckých motorů, zejména v souvislosti s uplatňováním přístupu konstrukcí odolných při porušení (fault tolerant) a souvisejícím uplatňováním prostředků diagnostiky poruch a monitorování stavu motorů (Engine Health Monitoring) apod.

V současnosti vyvíjené a do provozu uváděné výrobky letecké techniky jsou z hlediska provozní technologičnosti charakteristické vysokým podílem tzv. LRU (Line Replaceable Unit) – jednotek vyměnitelných v provozu do 15, případně 30 minut (což jsou doby zpoždění letu, které jsou tolerovatelné v provozu dopravních letadel), navíc bez následného seřizování nebo úprav a bez použití speciálního nářadí, nástrojů nebo přípravků. Většina upevňovacích prvků nevyžaduje použití žádného, nebo pouze běžného nářadí. Například poslední verze motoru P&W 6000 umožňuje výměnu 77 % LRU do 15 minut a 92 % LRU do 30 minut.

Rovněž organizace údržby zaznamenala zejména v posledních dvou desetiletích významný pokrok díky aplikacím informačních technologií, umožňujícím personálu údržby na letištní ploše přímý vstup do databází technického úseku provozovatele, předávání informací o vzniku poruch za letu do středisek údržby aj. Plánovaná údržba se z pracovišť údržby u provozovatelů soustřeďuje do specializovaných středisek s plným vybavením, logistickým zajištěním atd., což zkracuje doby odstavení letadel z provozu, snižuje cenu plánované údržby a zvyšuje její kvalitu.

Většina budoucích malých dopravních letadel bude co do vybavení, vlastností a složitosti velmi podobná současným regionálním letounům. Na rozdíl od nich však budou tato letadla operovat převážně z letišť bez nebo jen s minimálním technickým zázemím. Aby se zajistila vysoká provozní pohotovost budoucích malých dopravních letadel zajišťující konkurenceschopnost s jinými prostředky v dopravním systému, musí být tyto letouny vysoce bezporuchové, resp. jejich systémy musí být schopné provozu i při výskytu poruchy a musí být snadno obnovitelné po vzniku poruchy a nenáročné na rozsah plánované údržby. Dva posledně uvedené obecné požadavky vyplývají z rozdílnosti technického provozu malých dopravních letadel v porovnání s linkovými letouny. Není to pouze již zmíněné malé procento letišť s technickým zázemím, ale také skutečnost, že tyto letouny bude nejpravděpodobněji provozovat velký počet dopravců, kteří budou vlastnit relativně malý počet letadel. To znamená, že personál provádějící předepsanou údržbu plánovanou i opravnou bude z hlediska počtu i specializace značně omezený, takže bude zajišťovat převážně jen tzv. operativní údržbu a údržba většího rozsahu včetně plánovaných prohlídek bude zajištěna zadáním specializovaným servisním střediskům, což je současný trend i u velkých dopravců. Opravná údržba bude rovněž omezena, pravděpodobně pouze na běžnou údržbu a na výměny LRU (jednotek vyměňovaných za provozu). Tyto LRU by navíc neměly po výměně vyžadovat žádné úpravy nebo dodatečné seřizování. Pokud se jedná o údržbu a obnovu

provozuschopnosti na destinacích mimo mateřské letiště a zejména při provozu na letištích bez technického zázemí, je již dnes tato údržba často zajišťována smluvně u místního provozovatele jeho personálem. V případě letišť bez jakéhokoliv technického zázemí klade provoz z takových letišť na provozní technologičnost a na celý systém operativní údržby zvláště tvrdé požadavky, neboť jedinou osobou, která schopna v takových podmínkách obnovit provozuschopnost letadla po poruše je posádka letadla, u MDL většinou pouze pilot.

Je nutno poznamenat, že samotná inherentní provozní technologičnost letadla ještě není zárukou vysoké provozní efektivity letadla. Ta je navíc zásadně ovlivněna způsobem provozu a organizací zajištění technického provozu letadla u provozovatele. Proto jsou do návrhu metody hodnocení provozní technologičnosti zahrnuty i faktory charakterizující reálný provoz letadla, jako druh provozu, dostupnost údržby apod.

Definice provozní technologičnosti letadla

Existují dvě základní definice provozní technologičnosti letadla (PT) [2], [3].

První definice vymezuje PT jako vlastnost letadla spočívající v přizpůsobení konstrukce pro použití nejvýhodnějších technologií při obsluze a údržbě [2]. Ukazatele, kterými se hodnotí úroveň PTL podle této definice jsou zaměřeny na hodnocení technických vlastností letadla a jsou to:

- Pracnost a průběžná doba na provedení výměny komponent/letadlových celků;
- Součinitel přístupnosti, který je stanoven jako podíl pracnosti určité činnosti při údržbě k celkové pracnosti včetně pomocných, kontrolních a jiných činností;
- Součinitel vyměnitelnosti, který je stanoven jako poměr pracnosti výměny bez přizpůsobení k celkové pracnosti.

Kritériální hodnoty jsou pro jednotlivé systémy a letadlové celky stanoveny v příloze dokumentu [2].

Konstrukce navržená tak, aby vyhovovala kritériálním hodnotám těchto ukazatelů, se následně hodnotí pomocí tzv. všeobecných ukazatelů:

- Měrná doba operativní a celkové údržby;
- Pravděpodobnost provedení opravné údržby v zadané době;
- Měrná pracnost plánované a neplánované údržby;
- Měrné náklady na náhradní díly a materiály.
- Je požadováno, aby rozsah údržby umožnil dosažení dostatečného ročního náletu letadla (např. letouny pro dlouhé tratě 3 500 – 4 500 h, pro krátké tratě 2 000 – 2 500 hodin).

Od tohoto náletu se odvozuje kritérium ukazatele měrné doby údržby. Například pro roční nálet 2 000 hodin je měrná doba celkové údržby 0,8 h/let. h.¹

¹ Poznámka: Jedná se o čisté doby bez administrativních a jiných zpoždění. Hodnota pravděpodobnosti k provedení letu má být nejméně v rozmezí 0,98 až 0,99 a to za předpokladu, že před letem je vždy dosažitelná údržba.

Metodika obsahuje ještě další kvantifikovaná kritéria týkající se periodicity jednotlivých druhů plánované údržby a GO letadlových celků, minimální doby do opravy/výměny komponent a agregátů, letadlových celků a jejich poměrné zastoupení v konstrukci. Například komponenty s dobami do výměny kratšími než 5 000 letových hodin mají být v konstrukci letadla pouze v rozsahu 3 %, pro doby nad 10 000 hodin nebo jsou-li udržovány podle stavu, je to 90 % zastoupení v konstrukci. Metodika dále obsahuje slovně formulované doporučení pro konstrukci.

Tato užší definice a související metodika vznikla historicky dříve, na počátku 70. let 20. století, a reflektovala vzrůstající složitost letadel ... a potřebu zavádění v té době progresivních a dnes již všeobecně zavedených metod údržby letecké techniky „podle stavu“ (On-condition; OC) a „sledování (monitorování) stavu“ (Condition Monitoring; CM) na místo do té doby převládající údržby podle „pevných lhůt“ (Hard Time; HT).

Je nutno poznamenat, že metodika návrhu konstrukce a hodnocení PT [2] vznikla v podmínkách někdejšího Aeroflotu. Kriteriační hodnoty ukazatelů byly odvozeny ze souborů statistických dat a následně byly uplatňovány u domácího i zahraničního leteckého průmyslu pro jeho výrobky dodávané pro leteckou dopravu v bývalém SSSR. V ČSSR se jednalo o zvyšování PT letounů L-410 a zajištění PT vyvíjeného typu L-610 M. Jakkoli bylo zavedení uvedené metodiky v té době přínosem, měla některé zásadní nedostatky, jmenovitě: až na ukazatel měrných nákladů na náhradní díly a materiály nebrala v úvahu další náklady spojené s obsluhou a údržbou letadla, dále nebrala v úvahu omezení daná organizací technického provozu, zejména na destinacích letů (předpokládala 100% dosažitelnost údržby) a konečně byla stanovena pouze pro letouny s MTOW větší než 5 700 kg, ale ve skutečnosti s MTOW větší než 51-60 000 kg, nasazené v pravidelné linkové dopravě. Proto také její uplatnění u malých dopravních letounů bylo spojeno s mnoha problémy [3].

Širší pojetí provozní technologičnosti

Definice podle tohoto pojetí vymezuje PT jako soubor vlastností letadla a všech činností souvisejících se zachováním a obnovováním jeho provozuschopnosti při minimálních nákladech.

Rozdíl mezi užším a širším (současným) pojetím PT je patrný na první pohled a spočívá v tom, že zatímco užší pojetí se omezuje na technické vlastnosti letadla, je širší pojetí zaměřeno jak na PT samotného letadla, tak na technický provoz. Jakkoli se uvedená pojetí liší, jedno mají společné. Provozní technologičnost letadla je jeho inherentní vlastnost a jako taková musí být zahrnuta již do návrhu konstrukce. Navíc by měl, podobně jako u spolehlivosti, existovat program jejího růstu spočívající ve zlepšování provozní technologičnosti po zavedení nového typu do provozu tak, aby se reálné PT u většiny provozovatelů co nejvíce přiblížila ideální inherentní PT. Prakticky to znamená, že programy údržby letadla by měly být ve spolupráci výrobce – provozovatel a za účasti dohlédacího úřadu postupně dovyvinuty tak, aby umožnily co nejvyšší uplatnění možností poskytovaných konstrukčním návrhem letadla v reálném provozu.

Elektronický katalog intenzit poruch letadlových systémů

Doc. RNDr. Gejza Dohnal, CSc. – Ondřej Wretzl – Fakulta strojní ČVUT v Praze

Katalog intenzit poruch letadlových soustav (dále jen *Katalog*) byl vydán VZLÚ Praha v roce 1985 (autor zprávy M. Jelínek). Katalog má dvě části:

1. údaje získané z různých pramenů (VHJ AERO, VÚ 030, TESLA-VÚST, dostupná literatura)
2. střední intenzity poruch prvků, uzlů, agregátů a přístrojů, získané z provozu flotily letadel typu L-39 u uživatelů do roku 1984 (podklady byly poskytnuty pracovníky provozní spolehlivosti AERO-Vodochody).

Hodnoty, uvedené jako vypočtené, byly stanoveny z podkladů Katalogu spolehlivostních údajů elektrotechnických a elektronických součástek a dílů, vypracovaného a vydaného TESLA-VÚST. Výpočet vychází z filozofie americké práce „*Předvídaní spolehlivosti elektronických zařízení MIL-HDBK-217C*“. Jsou tam stanoveny jednotlivé metody pro prognostikování spolehlivosti vojenských elektronických zařízení a systémů (metoda analýzy zatížení součástek a metoda předpovědi odhadu spolehlivosti). Údaje uvedené v Katalogu intenzity poruch jsou korigovány na úroveň jakosti československých součástek a to na základě sběru dat z provozu u uživatelů. Sběr dat a stanovení parametrů spolehlivosti provedli pracovníci spolehlivosti firmy MESIT Uherské Hradiště.

Stanovení velikosti intenzity poruch ve druhé části *Katalogu intenzity poruch* nebylo možné provést pro všechny prvky v letadle. Do výpočtu mohly být zařazeny pouze takové elementy, které byly během provozu porouchány a byly opravou vyměněny. Rovněž nejsou uvedeny intenzity poruch vlastní pohonné jednotky, která je dovážena a výrobce nedal podklady o poruchách k dispozici.

Střední intenzita poruch λ_S zde byla stanovena jako poměr počtu poruch r a kumulovaného počtu provozních hodin T . Tyto odhady střední intenzity poruch jsou celkem věrohodné, neboť celková provozní doba dosahovala hodnoty $5 \cdot 10^5$ hodin. Podle metodiky uvedené v normě ČSN 35 8001 byly vypočteny meze λ_D a λ_H oboustranného 90% konfidenčního intervalu pro intenzitu poruch.

Identifikace jednotlivých prvků v Katalogu obsahuje název prvku a soustavu, do níž prvek patří, v některých případech je uvedeno i označení prvku číselným kódem, který vychází z „*Metodiky pro zpracování katalogů pro novou IT pro sledování spolehlivosti v systému počítačů JSEP*“. Záznamy v Katalogu mají dále uveden pramen informací, doplněném o dvojčíslí roku, kdy byl údaj získán.

Autoři uvádějí, že „ukazatele spolehlivosti uvedené v katalogu, je nutno posuzovat pouze orientačně a to za předpokladu, že uvedené hodnoty jsou více méně věrohodné pouze uvedeným řádem.“ Jako hlavní důvody jsou uváděny: zhoršená kvalita sběru dat v provozních podmínkách, dlouhá doba shromažďování údajů a tím i jejich zastarávání, poruchy se vyskytovaly za specifických podmínek, které nemusí být platné obecně a podobně. Data by měla být pravidelně aktualizována. Nicméně je to v současné době a v našich podmínkách jediný a nejrozsáhlejší zdroj informací o intenzitách poruch v dané oblasti, který je k dispozici.

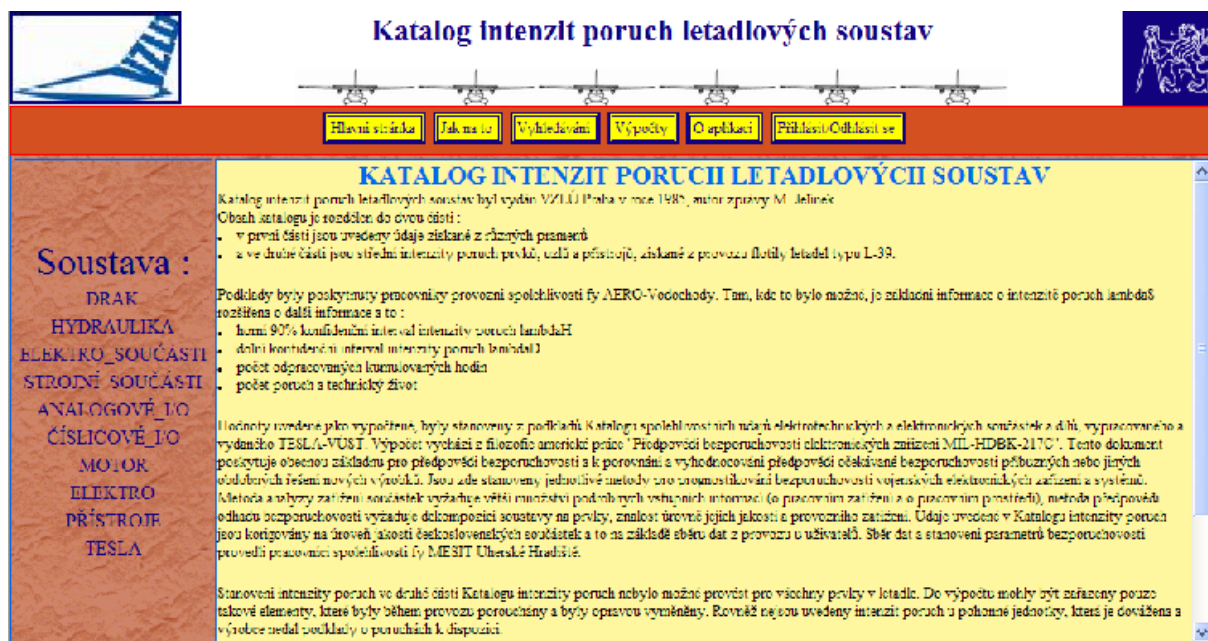
Elektronická verze katalogu

V souvislosti s možností automatizovaného zpracování údajů o spolehlivosti a spolehlivostních výpočtů na počítači, vznikla potřeba vytvoření elektronického katalogu ve formě databáze. Tato databáze obsahuje údaje ze stávajícího Katalogu a zároveň umožňuje jejich revizi a další doplnění. SQL databáze poskytuje možnosti pro nové pohledy na data, jejich třídění, porovnávání a další manipulace. Údaje o spolehlivosti jednotlivých prvků je nyní možno snadno použít při výpočtech spolehlivostních charakteristik složitých systémů, respektive při predikci spolehlivostních ukazatelů těchto systémů.

Dalším důvodem pro vznik elektronického katalogu ve formě SQL databáze je možnost exportu a importu dat do jiných programových systémů, transformace dat do libovolného formátu a tedy možnost využití pro stávající programové vybavení ve VZLÚ Praha.

Byla navržena a vytvořena klientská aplikace pro vkládání dat a jejich prohlížení. Tato aplikace je vytvořena v jazyce PHP (pro možnost přístupu přes internet s využitím MS Internet Explorer jako tenkého klienta).

Jedná se o klientské rozhraní naprogramované v jazyce PHP a HTML. HTML kód zajišťuje statickou a grafickou stránku, přičemž kód PHP se stará o dynamické funkce, zpracování formulářů a komunikaci s databázovým serverem. Pro zajištění některých dodatečných funkcí je využito také programovacího jazyka JAVA SCRIPT. Klient je optimalizován pro internetový prohlížeč MS Internet Explorer 4.0 a vyšší verze.



Obr. 1: Webové rozhraní pro práci s katalogem.

Při návrhu struktury databázových tabulek jsme vycházeli z následujících předpokladů: informace o intenzitě poruchy se týkají vždy konkrétního prvku:

- každý prvek je součástí některé soustavy
- pro každý prvek je uveden pramen informací podle číselníku, údajů o roce, případně slovním označením podniku, který údaje poskytl. Není-li v katalogu tento pramen uveden, použije se kód „0“ (Pramen není uveden)
- v relaci (tabulce) jsou uvedeny pouze základní informace o intenzitě poruch λ_{MIN} a λ_{MAX} s možností uvést zvlášť hodnotu pro pozemní provoz a zvlášť pro provoz letecký

Dolní a horní meze 90% konfidenčního intervalu λ_D a λ_H jsou dány vztahy podle normy a proto nejsou uloženy (lze je kdykoli dopočítat s využitím kritických hodnot chí-kvadrát rozdělení).

Návrh datového modelu zahrnuje jednu relaci (tabulku) s uloženými údaji o intenzitách poruch (relace PRVKY), dvě tabulky číselných kódů (relace SOUSTAVY - letadlové soustavy a tabulka obsahující typy pramenů informací – relace PRAMENY) a tabulku kritických hodnot chí-kvadrát rozdělení pro výpočet mezí konfidenčních intervalů (relace CHIINV). Mezi relacemi SOUSTAVY a PRVKY existuje relační vztah R1: „prvek P patří do soustavy S“ a podobně mezi relacemi PRAMENY a PRVKY je relační vztah R2: „informace o prvku P pocházejí z pramene R“ (oba tyto relační vztahy jsou typu 1:N).



Obr. 2: Relační vztahy

Atributy jednotlivých záznamů v tabulce PRVKY lze rozdělit do tří částí:

- identifikace prvku:
 - identifikace záznamu (celé číslo, jednoznačné v rámci tabulky, primární klíč),
 - a. označení katalogového listu (znakový řetězec pevné délky 5 znaků), který se v elektronické formě nezobrazuje
 - b. identifikátor soustavy (celé číslo cizí klíč, odkaz do tabulky SOUSTAVY), který se v elektronické formě nezobrazuje
 - c. označení prvku číselným kódem (znakový řetězec proměnlivé délky do 50 znaků),
 - d. slovní označení (název) prvku (znakový řetězec proměnlivé délky do 50 znaků),
- charakteristiky spolehlivosti:
 - minimální intenzita poruch λ_{Dmin} (desetinné číslo),
 - střední intenzita poruch pro pozemní provoz λ_{sp} (desetinné číslo),
 - střední intenzita poruch pro letecký provoz λ_{sl} (desetinné číslo),
 - maximální intenzita poruch λ_{Hmax} (desetinné číslo),
 - počet provozních hodin T (celé číslo),
 - počet poruch r (celé číslo),
 - slovní označení druhu poruchy (znakový řetězec proměnlivé délky do 50 znaků),
 - délka technického života (desetinné číslo),
- zdroj informace, věrohodnost:
 - e. identifikátor zdroje informací (celé číslo, cizí klíč, odkaz do tabulky PRAMENY), který se v elektronické formě nezobrazuje
- rok získání informace (celé číslo)
- slovní označení zdroje údajů (znakový řetězec proměnlivé délky do 50 znaků),
- poznámka (znakový řetězec proměnlivé délky do 1024 znaků)-

Výpočty spolehlivostních charakteristik

Uživatelské rozhraní a elektronická databáze nabízejí možnost provádět i některé základní výpočty následujících spolehlivostních charakteristik:

Interval spolehlivosti pro intenzitu λ budeme hledat jako interval spolehlivosti pro parametr λ exponenciálního rozdělení. Tento interval byl uveden ve zprávě [DZ3] ve tvaru:

$$\hat{\lambda}_L = \chi_{2n}^2(\alpha/2)/2n\lambda_s \quad \hat{\lambda}_U = \chi_{2n}^2(1-\alpha/2)/2n\lambda_s,$$

kde α je zadaná hladina významnosti, n je počet pozorování, na základě kterého byla odhadnuta střední hodnota λ_s .

100 α -percentil exponenciálního rozdělení s parametrem λ lze interpretovat jako čas, který zařízení s intenzitou poruchy λ přežije s pravděpodobností $1-\alpha$. 100 α -percentil y_α je řešením rovnice

$$\alpha = 1 - \exp(-\lambda \cdot y_\alpha),$$

tedy

$$y_\alpha = -\frac{\ln(1-\alpha)}{\lambda}.$$

Pro výpočet je třeba zadat hodnotu α a intenzitu poruchy λ (ta může být převzata ze záznamu podle zadaného ID)

Funkce přežití (funkce spolehlivosti) $R(y)$ udává pravděpodobnost, s jakou zařízení s danou intenzitou poruchy λ přežije dobu y :

$$R(y) = 1 - F(y) = 1 - (1 - \exp(-\lambda \cdot y)) = \exp(-\lambda \cdot y)$$

Pro výpočet je třeba zadat dobu y a intenzitu poruchy λ (ta může být převzata ze záznamu podle zadaného ID)

Export dat a tisk

Použitý databázový systém umožňuje přímý (uživatelský) export dat do textového souboru. Tím lze zabezpečit import dat do jiných databázových systémů (např. MS Access), do tabulkových editorů (např. MS Excel) a dalších programů. Předmětem dalšího rozšiřování programu bude zajištění importu dat do specializovaných systémů pro spolehlivostní výpočty, jako je například Relex nebo Isograph. Možnost exportu dat do textového souboru a tisk je v nabídce přístupná všem uživatelům. Nabízí se zde ještě otázka možnosti tisku vybraných záznamů. Tisk je umožněn všem uživatelům. Pomocí funkce vyhledávání lze pro tisk vybrat podmnožinu dat, obsahující pouze ty informace, které uživatele zajímají. Pro tisk je ze stránky odstraněno menu a další grafické prvky.

Náhled na stránku připravenou pro tisk:

Tisk záznamů ze soustavy HYDRAULIKA!

ID	Název prvku	Označení prvku	Lambda			Počet provozních hod.	Počet poruch	Označení poruch	Délka tech. života	Rok	Zdroj info.	Pramen	Pozn.	
			min	pozemní	letecké									max
2	HYDROMOTOR		1.123E-005			4.47E-005			50J	1945	osy2	úlože ústřední » litracový		
3	HYDROMOTOR		1E-005			17E-005			/0.25			úlože ústřední » litracový	úlože ústřední » litracový	
4	HYDROGENÉRÁTOR		2.1E-005			2.87E-005						úlože ústřední » litracový	úlože ústřední » litracový	

Obr. 2: Stránka pro tisk

Vyhledávání

Internetové uživatelské rozhraní poskytuje dvě varianty vyhledávání:

A. Detailní způsob vyhledávání

- Tento způsob umožňuje zadat hodnoty všech atributů, které se v databázi vyskytují. Intenzity poruch a další číselné atributy se dají zadávat v intervalech. Dá se například vyhledávat rok zdroje informací v rozmezí „od - do“.

B. Fulltextové vyhledávání

Fulltextové vyhledávání znamená, že hledaný řetězec bude porovnán s každým jednotlivým záznamem a všemi jeho atributy.

Tento způsob vyhledávání je ještě rozdělen na další dvě možnosti. Buď se vyhledává fulltextem číselný údaj nebo text. Toto rozdělení bylo nutné, kvůli funkci použité při komunikaci s databází na serveru.

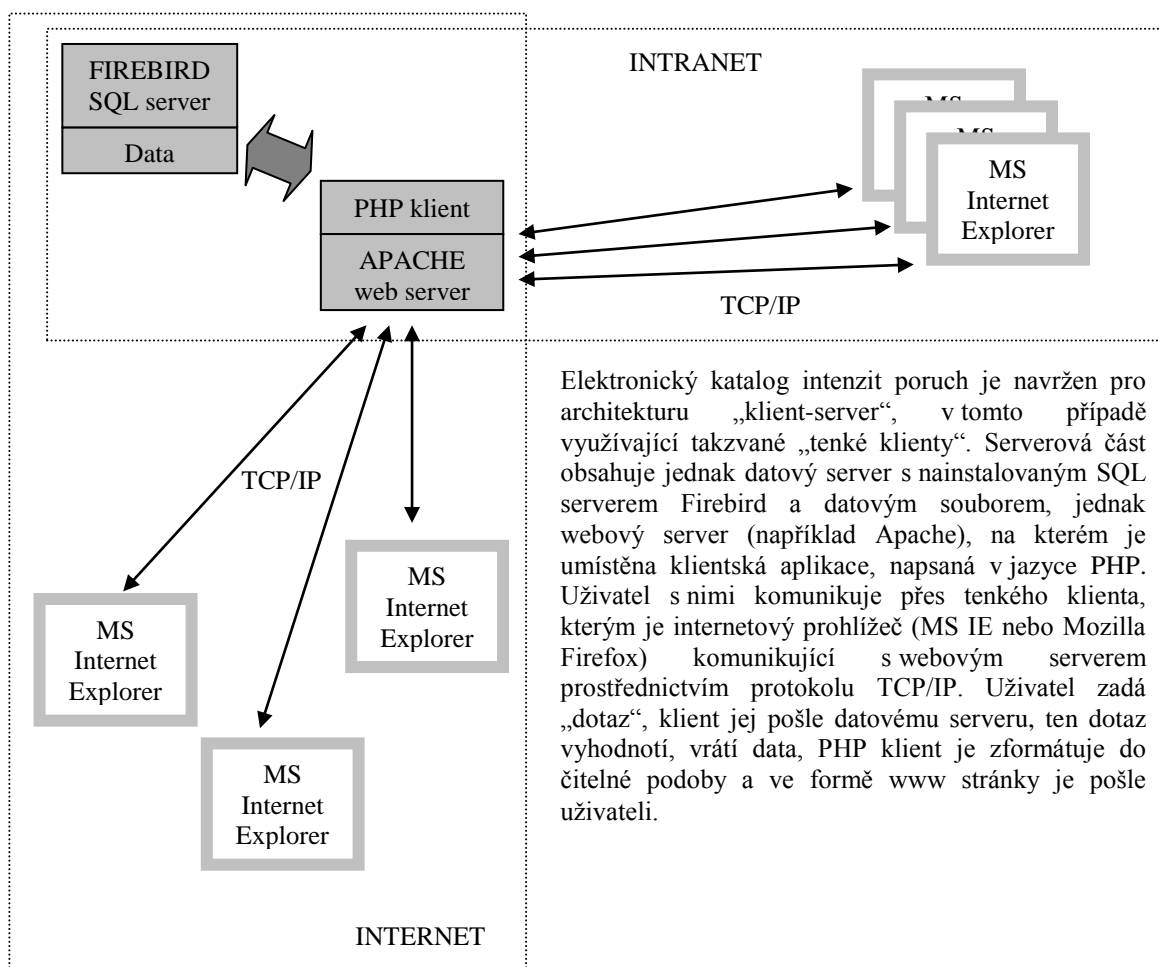
Vyhledávání je navíc doplněno o možnost zadávání složených podmínek, to jest kombinaci zadání jednotlivých vyhledávacích podmínek pomocí logických spojek NEBO, A ZÁROVENĚ, NEGACE. Použitím závorek je možné sestavit velmi složitou podmínku, která umožní co nejlépe vyhledat požadovaný záznam. K tomuto účelu bude sloužit standardní formulář pro nastavení podmínky, doplněný o možnost volby následující akce: přidat další podmínku, negaci nebo spustit vyhledávání.

Realizace databáze

Pro realizaci databáze byl vybrán databázový systém Firebird. Tento systém je šířen v rámci sdružení Open Source, tedy jeho používání je bezplatné a je volně ke stažení například na internetové adrese <http://www.ibphoenix.cz> (včetně dokumentace a zdrojových souborů).

Systém Firebird používá pro manipulaci s daty a jejich definici standardní jazyk SQL. Navíc nabízí pro vytváření programových modulů na straně serveru vlastní jazyk uložených procedur (PSQL – Procedural SQL), pomocí něhož lze programovat vlastní uložené procedury a spouště (procedury spouštěné událostmi, trigger). Tento jazyk rovněž dovoluje vytvářet relační tabulky, které lze přímo zahrnout do příkazu SELECT. Firebird dále umožňuje vkládat příkazy jazyka SQL přímo do zdrojového kódu aplikací, vytvářených v jiných programovacích jazycích PHP a dále C++ a Delphi. K tomu poskytuje množinu konstrukcí jazyka SQL, tzv. „zapouzdřený SQL“ (ESQL - Embedded SQL).

Serverová část systému Firebird by měla být umístěna na datovém serveru správce databáze. Systém Firebird je možné provozovat jak pod operačním systémem MS Windows, tak i pod systémem Linux. Data jsou ukládána jediném souboru na disku a jejich velikost je omezena pouze velikostí vyhrazeného prostoru. V případě nutnosti lze nastavit automatickou duplicitu databáze (shadowing). Údržba systému je minimální, nevyžaduje speciální péči. Pro lepší funkci systému je třeba pouze občas provést „vyčištění“ (sweeping) databáze (podle intenzity práce s daty – při intenzivní práci alespoň 1x týdně, při práci občasné přibližně 1x za měsíc, při pouhém nahlížení do dat vůbec), nejlépe provedením zálohy (backup) a opětovnou její restaurací (restore). Tím se z databáze odstraní všechny nedokončené transakce a duplicitní záznamy, což urychlí práci s daty.



Elektronický katalog intenzit poruch je navržen pro architekturu „klient-server“, v tomto případě využívající takzvané „tenké klienty“. Serverová část obsahuje jednak datový server s nainstalovaným SQL serverem Firebird a datovým souborem, jednak webový server (například Apache), na kterém je umístěna klientská aplikace, napsaná v jazyce PHP. Uživatel s nimi komunikuje přes tenkého klienta, kterým je internetový prohlížeč (MS IE nebo Mozilla Firefox) komunikující s webovým serverem prostřednictvím protokolu TCP/IP. Uživatel zadá „dotaz“, klient jej pošle datovému serveru, ten dotaz vyhodnotí, vrátí data, PHP klient je zformátuje do čitelné podoby a ve formě www stránky je pošle uživateli.

Přístupová práva – Granty

Přístupová práva pro práci s databází (takzvané *granty*) lze definovat až na úrovni atributů jednotlivých tabulek. Tak lze vytvořit uživatele „jen pro čtení“ nebo „jen pro některé tabulky“ a tedy i „jen pro některá data“ (prostřednictvím pohledů). Při vytváření databáze se automaticky vytvoří superuživatel – vlastník databáze. Ten má právo vytvářet další uživatele a přidělovat jim práva. Práva jsou definována pro jednotlivé uživatele nebo pro skupinu uživatelů (PUBLIC).

Granty definují přístupová práva pouze na úrovni databáze (jsou její součástí). Neomezují tedy přístup uživatelů ke klientské aplikaci. Přístup k databázi prostřednictvím klientského programu je určován tímto programem. To znamená, že jestliže na úrovni klientského programu bude například registrováno 20 různých uživatelů (jejich přístupová jména a zašifrovaná hesla budou uložena v databázové tabulce UZIVATEL), kteří se budou přihlašovat do systému, k databázi budou přistupovat buď jako ADMIN nebo jako PUBLIC (dle hodnoty atributu UZPRAVA v tabulce UZIVATEL, kterou si klientské aplikace přečte).

Z bezpečnostních důvodů je třeba manipulaci s databází (vkládání nových záznamů, úpravu a mazání stávajících záznamů) umožnit pouze vybraným uživatelům. Výše jmenované funkce jsou přístupné jen po přihlášení a ověření hesla systémem. Přihlašovací jméno a heslo se mezi

serverem a klientskou stanicí předává v šifrovaném tvaru. Zatím není podrobně vyřešena registrace nových uživatelů s editačními právy. Navrhujeme následující postup registrace:

1. Nový uživatel vyplní registrační formulář na stránce aplikace. Přitom dojde ke kontrole jednoznačnosti přihlašovacích údajů.
2. Správce databáze uživatele zaregistruje zápisem jeho přihlašovacích údajů do databáze (nebo pouze jejich potvrzením – doplněním kódu pro přístup k databázi)
3. Uživatel bude o zaregistrování informován e-mailem.

Při tomto způsobu registrace musí být uživateli umožněna změna jeho přihlašovacích údajů, speciálně hesla, neboť jeho heslo zná pouze on (v databázi je uloženo v zašifrovaném tvaru. Případné zablokování uživatelského účtu může provést správce změnou kódu pro přístup k databázi (položka UZPRAVA v tabulce UZIVATEL).

Literatura

- [1] JELÍNEK, M.: *Katalog intenzit poruch letadlových soustav*. Zpráva VZLÚ Praha, 1985.
- [2] MYKISKA, A. – DOHNAL, G. – KOLÁŘ, P.: *Upřesňování metod a postupů pro stanovení ukazatelů provozní technologičnosti*. Zpráva k řešení projektu FT-TA/026, téma T3 – Výzkum faktorů ovlivňujících provozní technologičnost konstrukčních skupin a systémů letadla. Fakulta strojní ČVUT – VZLÚ, Praha, červen 2005 (43 str.)
- [3] CÍSAŘ, P.: *InterBase a Firebird, Tvorba, administrace a programování databází*. Computer Press, Praha 2003

Analýza vlivu spolehlivosti lidského faktoru na hodnocení provozní technologičnosti

Ing. Bc. Petr Kolář

České vysoké učené technické v Praze, Fakulta strojní,
Ústav přístrojové a řídicí techniky

Abstrakt: *Ve všech etapách životního cyklu produktu (ať už se jedná o software, či hardware) a v procesech zúčastněných organizací se objevuje člověk jako základní činitel ovlivňující jakost. Lidský faktor (HF – human factor) je tedy nutné zahrnout do všech úvah o zlepšování či zabezpečování jakosti. Tento příspěvek se věnuje metodám kvalifikace a kvantifikace spolehlivosti lidského faktoru v kontextu provozní technologičnosti malého dopravního letounu v rámci projektu FT-TA/026, téma T3.*

Úvod

Důraz byl kladen na komplexní chápání spolehlivosti systému se zahrnutím vlivu spolehlivosti lidského faktoru, shrnutí analogie mezi spolehlivostí objektů a lidského faktoru včetně vysvětlení použitelnosti shodné terminologie.

Byla uvedena nejběžnější úskalí při kvalifikaci činností s vlivem lidského faktoru a jeho případného selhání včetně doporučení pro získávání informací o procesech s účastí lidského faktoru. Významná část byla věnována metodám kvantifikace lidského selhání. Byly uvedeny jednak postupy použitelné pro často se opakující procesy s využitím statistických dat z provozu, jednak postupy pro málo se opakující či jedinečné činnosti, nebo činnosti s nedostupnými záznamy z praxe. Byla uvedena doporučení pro použití SW vybavení, které umožňuje zpracovávat kvalitativní i kvantitativní analýzy spolehlivosti lidského faktoru. Součástí byla doporučení směru dalšího aplikovaného výzkumu.

Vliv lidského činitele na spolehlivost systémů

Pod pojmem spolehlivost systému se rozumí zejména studium, analýza a hodnocení spolehlivostních vlastností systému v závislosti na spolehlivostních vlastnostech prvků, nichž je systém vytvořen tak, aby plnil požadované funkce, a to pro stanovené podmínky užívání. Tato obecná formulace je zcela aplikovatelná i na spolehlivostní systém vlivu lidského faktoru. I u HF je třeba zdůraznit nezbytnost systémového přístupu k zabezpečování spolehlivosti systémů ve všech etapách životního cyklu a to z hlediska manažerského, technického a ekonomického.

Základním nástrojem hodnocení spolehlivosti systémů jsou postupy a metody analýz spolehlivosti. Obecný postup analýzy spolehlivosti objektů chápaných jako systémy zahrnuje (dle ČSN IEC 300-3-1) celkem pět základních kroků:

1. Definice systémů a požadavků
2. Definice poruchových stavů systému, mezního stavu

3. Rozdělení požadavků na subsystémy, bloky, komponenty
4. Analýzy spolehlivosti
 - a. Kvalitativní (např. metody FMEA, FTA, SHARP, ATHEANA, HRA)
 - b. Kvantitativní (např. metody RBD, THERP, CREAM, SLIM)
5. Hodnocení splnění požadavků eventuálně opatření k nápravě
 - a. Přezkoumání návrhu systému
 - b. Vývoj alternativních postupů zlepšení
 - c. Rozbory a vyhodnocení nákladů

Při aplikaci tohoto postupu na HF je nutné vzít v úvahu, že definice spolehlivosti, bezpečnosti, životnosti, pohotovosti, bezporuchovosti, udržovatelnosti a zajištěnosti údržby jsou analogicky použitelné i na hodnocení HF.

Při uplatnění analýz spolehlivosti člověka (HRA) v provozu si je nutné uvědomit několik základních faktů:

- lidský faktor je nedílným prvkem moderní technologie,
- člověk je zapojen do procesu údržby a řízení technologických zařízení,
- člověk je často klíčovým faktorem celkové spolehlivosti provozu,
- požadavek na kvantitativní analýzu lidského faktoru.
- Metoda HRA je zejména kvalitativní metoda k posuzování vlivu typických chybných činností pracovníků (operátorů, údržbářů apod.) na spolehlivost (nejčastěji bezpečnost či bezporuchovost) systému.

Kvalifikace lidského selhání

Lidské selhávání lze kategorizovat na:

- chyby způsobené selháním nebo chvilkovým výpadkem pozornosti (záměr je správný, ale nesprávný je postup),
- chyby způsobené nedostatečným školením a instrukcemi (operátor neví, co má dělat nebo ještě hůře, myslí, že ví, ale ve skutečnosti neví; někteří autoři považují chybování tohoto typu za velmi nebezpečné, neboť “už rozhodnutí bylo špatné”),
- chyby způsobené nedostatkem tělesné nebo duševní zdatnosti (nevhodné vlohy operátora pro danou činnost),
- chyby způsobené nedostatkem motivace nebo opatrným rozhodováním, které se neřídí směrnicemi (často se nazývají přestupkem, ale bývají to chyby vzniklé špatným odhadem situace s následným zvolením špatné směrnice a chybného postupu),
- chyby manažerů (využití lepšího plánu, zajištění školení pro operátory, využití zkušeností z předchozích nehod).

V procesním cyklu s účastí HF lze rozlišit tyto typy selhání HF:

1. předhavarijní pochybení údržby s latentním efektem,
2. závažné porušení pravidel provozu vedoucí k mimořádnému stavu,
3. nezvládnutí odezvy na vznik mimořádného stavu.

K nalezení a kvalifikaci selhání HF lze použít metody používané při obecných postupech analýz spolehlivosti systému, např. FMEA či FTA. Výhodou použití těchto metod v praxi při analýze HF je, že tyto metody pracovníci v odděleních jakosti běžně používají a tudíž dokáží dobře využít jejich předností. Dále jsou pak schopni výsledky takovýchto analýz okamžitě připojit k základnímu spolehlivostnímu systému, a to nejen ve fázi kvalifikace jednotlivých selhání HF, ale i ve fázi kvantifikace. Souhrnné výsledky celého pravděpodobnostního systému analýzy (PSA) je možné na základě dosavadních zkušeností pracovníků jakosti srozumitelnou formou prezentovat a dokumentovat. Použití metody HRA v kombinaci s metodami FMEA a FTA je proto vhodné pro praxi.

Další metodou vhodnou pro využití v oboru leteckého průmyslu je MEDA (Maintenance Error Decision Aid – Systém zjišťování chyb údržby). Tento systém byl vytvořen ve spolupráci několika leteckých společností

Ve zprávě jsou rozebrána specifika HF, faktory ovlivňující spolehlivost HF a hlavní příčiny selhání.

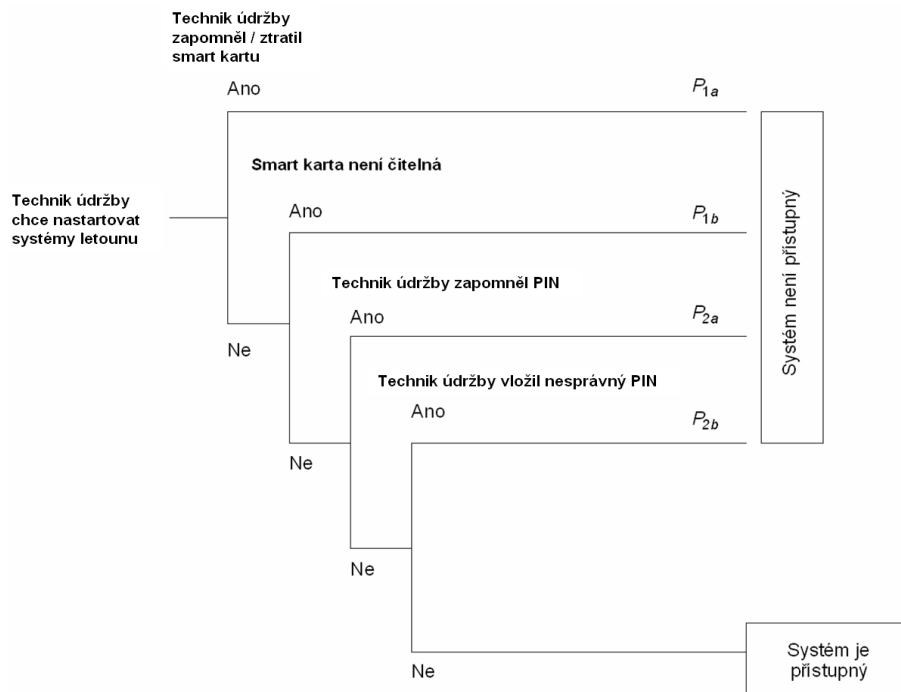
Použití metody FMEA (identifikuje způsoby poruch systémů, jejich příčiny a důsledky) při hodnocení HF ilustruje následující příklad (podobně může být řešena většina chyb HF):

Položka č.	Položka popis	Mód poruchy č.	Mód poruchy	Možné příčiny	Detekováno	Lokální důsledek	Důsledek na systém	Opatření proti poruše	Třída následků	Intenzita poruchy
1.1.1	Test systémů statického tlaku	1111	vizuálně odhalitelná porucha	nedůsledná vizuální kontrola	nefunkčnost výškoměru	chyby v zapojení el. systému	výpadek	supervize vizuální kontroly	4	0,001
		1112	nefunkční ohřev systému	chybná kontrola ohřevu	teplota systému mimo meze	přehřátí či podchlazení systému	výpadek, destrukce systému	záložní namátkové opakované	5	0,0007
		1113	absence kontroly všech podsystémů	nedůslednost kontroly	odlišné výstupy jednotlivých podsystémů	nefunkčnost některých podsystémů	nedostatečná záloha správných informací	2há úroveň kontrol	3	0,005
		1114	neoprávněná kontrola	neautorizovaný kontrolor, neautorizované nástroje a měřidla	nedostatky v dokumentaci	opoždění kontroly	prodloužení doby kontroly, snížení důvěryhodnosti v kontrolu	organizační supervize	4	0,0003
		1115	chybné výstupy systému	špatně provedený výpočet	špatná kalibrace	nefunkčnost podsystému	výpadek	2há úroveň kontrol	5	0,002
1.1.2	Certifikační test výškoměru	1121	neoprávněná kontrola	neautorizovaný kontrolor dle §91.411(b)	formální nedostatky	opoždění kontroly	nutnost reakreditace	organizační supervize	4	0,0001
		1122	nehodné datové propojení	použití neschválených prostředků	chaotické výstupy dat	poškození výstupních portů podsystému	výpadek, destrukce systému	supervize administrátora	5	0,002
		1123	malý rozsah použitelnosti	nedokončené testování	odchylky dat v částech rozsahu	nefunkčnost některých podsystémů	výpadek	2há úroveň kontrol	2	0,001
1.1.3	Ověření elevace	1131	-	-	-	-	-	-	-	-
		1132	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 1 – Aplikace FMEA pro údržbu výškoměru letadla

Aplikace metody ETA v kontextu HRA je také ilustrována na konkrétním příkladu:

U startu systémů letounu při údržbě, musí být klíč nahrazen elektronickou čipovou smart kartou. Je nutné odhadnout dopad této změny na pohotovost systému.



Obr. 1 – Lidské chyby znázorněné jako strom událostí

Kvantifikace lidského selhání

Kvantitativní analýza HF je od analýzy výrobků či strojů odlišná zejména ve způsobu chápání míry, významnosti a pravděpodobnosti lidského selhání. Obtíže se vyskytují především u kognitivních činností člověka. Hodnocení těchto činností zasahuje i do oblastí psychologie, psychiatrie, obecné medicíny, manažerského řízení a personalistiky.

Již ve fázi kvalitativní analýzy by měly být alespoň v základních rysech zřejmé korelace jednotlivých procesů a ovlivňujících podmínek. Z obecně používaných metod lze jmenovat metody ETA či RBD, při hlubších analýzách HF lze použít např. metody TESEO, THERP či SLIM.

Nejjednodušší metodou je metoda TESEO, která odhaduje spolehlivost lidského činitele pomocí pěti klíčových faktorů, které byly oceněny jako nejdůležitější mezi všemi faktory ovlivňujícími pravděpodobnost lidské chyby. Její model definuje pravděpodobnost chyby personálu jako multiplikační funkci následujících faktorů:

- typu realizované aktivity (K_1) = faktor typu činnosti,
- času, který je k dispozici pro provedení aktivity (K_2) = stresový faktor běžných činností, resp. stresový faktor mimořádných činností,
- charakteristiky personálu (K_3) = faktor operátorových kvalit,
- psychického stavu personálu (K_4) = faktor úzkosti a stresu,
- místních pracovních podmínek (K_5) = ergonomický faktor.

Pravděpodobnost lidské chyby při realizaci dané aktivity je pak počítána jako $P(\text{HEP}) = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$.

Konkrétní numerické hodnoty jednotlivých faktorů K_i lze získat z tabulek. Pokud dosáhne součin všech pěti faktorů numerické hodnoty větší než 1, předpokládá se, že pravděpodobnost lidské chyby je rovna jedné.

SW podpora analýzy spolehlivosti lidského faktoru

Analýza spolehlivosti lidského faktoru je nejméně stejně datově a výpočtově náročná, jako analýza spolehlivosti jakéhokoli jiného spolehlivostního systému. V předchozím textu bylo vysvětleno, že při zaměření se na lidskou činnost je odlišná zejména fáze kvalitativní – přitom metody dokumentace jednotlivých stavů a chyb jsou podobné, v některých aspektech dokonce totožné, s přístupy k dokumentaci v oblasti hodnocení výrobků či procesů.

K zpracování analýzy HRA lze tedy využít jakýkoli SW nabízející některé z metod FMEA, FTA, ETA či RBD. Rozhodujícím faktorem tedy zřejmě bude, jaké SW vybavení je dostupné v konkrétním provozu, resp. organizaci zabezpečující zpracování spolehlivostního systému (např. Relex a Isograph).

Zahrnutí lidského selhání do analýz spolehlivosti letecké techniky

Dle normy ČSN 31 0001 jsou letecká nehoda a letecká událost definovány takto:

- Letecká nehoda je událost související s provozem letadla mezi dobou nastoupení kterékoliv osoby do letadla s úmyslem zúčastnit se letu a dobou, kdy všechny takové osoby z letadla vystoupily a které má za následek smrt nebo zranění nějaké osoby nebo poškození letadla.
- Letecká událost (incident) je událost související s provozem letadla, kromě letecké nehody, která ovlivnila nebo mohla ovlivnit bezpečnost provozu.

Podobně jako v jiných oborech výskytu hodnocení spolehlivosti lidského faktor platí i v letecké dopravě, že „nemít žádné incidenty je horší než nějaké incidenty mít“ – toto konstatování výstižně akcentuje obtížnou dostupnost vstupních dat pro analýzu spolehlivosti činnosti člověka. I leteckém průmyslu je v určitém smyslu mít nehody považováno za normální.

Mnoho aerolinií přijalo strukturovaný přístup na základě Bezpečnostního informačního systému vyvinutého British Airways (BASIC – British Airways Safety Information System), který oznamuje, vytyčuje a analyzuje trendy v incidentech. Nicméně, existuje překážka v podobě neochoty učit se z incidentů.

Dále stojí za to zaměřit svou pozornost na model, který vyvinul James Reason, profesor University of Manchester v Anglii, který je proslulým odborníkem na lidskou chybu, jenž udělal význačnou práci např. pro organizaci ICAO, popisem vícevrstvé příčiny nehody. V tomto modelu se rozeznává pět elementů s dále popsány vrstvami a chybami, které se v nich vyskytují:

2. management: strategické plánování a ti kdo rozhodují (skrytá selhání: nedostatečná rozhodnutí),

3. organizace: struktura organizace, funkce a vztahů mezi jednotlivými odděleními, způsob, jakým je uspořádána kontrola přímého řízení a dozor, (bezpečnostní) kultura (skrytá selhání: struktura navozující chyby),
4. podmínky: všechny ty okolnosti (výcvik, pracovní motivace a uspokojení, pracovní tlak a časový rozvrh, jasné pracovní postupy), jež mají vliv na lidi, kteří jsou spojeni s leteckou dopravou (skrytá selhání: psychologické faktory),
5. produkce: konkrétní řízení letu, servisní aktivity, řízení letového provozu atd. (aktivní a skrytá selhání),
6. poslední ochrany: zabudování záloh, neobvyklé a záchranné postupy, záchranné vybavení apod. (aktivní a skrytá selhání).

Každý z těchto elementů může být považován za bezpečnou bariéru před jakoukoliv očekávanou nehodou, která se přihodí při absenci lidské chyby nebo technického selhání. Ve skutečnosti se selhání (kterým také a především je míněna lidská chyba) vyskytuje v každém prvku a ten odhaluje díru v pěti vrstvách ochrany proti nehodě.

Nicméně již bylo rozpoznáno, že mnoho aktivních lidských selhání uniká nahlášení. To proto, že okamžité rozpoznání a korekce chyb nezachrání od způsobení škody nebo zranění, a tak i od nutnosti identifikovat a nahlásit incident, natož plnohodnotnou nehodu. Tak zde máme příklad významného (okamžitého) poučení pro jednotlivce, bez jakéhokoliv vědomostního prospěchu pro organizaci. Poučení není dále šířeno a potenciál pro identifikaci základu skrytého selhání (lidského činitele) v řízení, organizačních hlediscích nebo pracovních podmínkách je kompletně zmeškán.

Významnou metodou v rámci HRA je tzv. řízení chyby - v kontextu leteckého průmyslu se pod tímto pojmem rozumí využívání všech dostupných údajů k porozumění příčinám chyb a přijímání příslušných kroků, včetně změny firemní politiky, postupů a odborné přípravy k jejich redukci a k minimalizaci důsledků těch, které se vyskytnou.

Požadavky pro výkon činnosti „řízení chyb“:

- školit a cvičit osoby přímo zainteresované na letadle a/nebo letové činnosti (letová a kabinová osádka, servisní obsluha, řídicí letového provozu atd.) k porozumění těmto principům lidského činitele a zvláště k pochopení, že jejich potenciální nejisté jednání není věcí svalování viny, ale možností poučení pro organizaci,
- organizovat zpravodajský systém, a povzbuzovat k jeho používání pro všechny události v oblasti incidentu, které neprodukovali poškození nebo zranění a které by jinak proběhly neoznámeny; dát záruku absence kárných opatření (mimo případy hrubé nedbalosti nebo úmyslného chování) pro případ oznámení události,
- zabezpečit adekvátní a vysoce zviditelněné vyšetřování, použít Reasonův model k poznání kořenů chyby v bezpečnostní ochraně ve všech elementech systému,
- nastavit standardy pro bezpečnostní kulturu firmy předvedením chování vysoce ambiciózních odpovědných manažerů (vedoucí provozu, ředitel údržby atd.) při jejich denních činnostech; z tohoto pohledu přijmout pozitivně nálezy, které signalizují přítomnost špatného rozhodnutí managementu v řetězci příčin vedoucích k incidentu, a pohotově realizovat doporučené změny,
- zapojit leteckého výrobce (držitele typového certifikátu) jako účastníka vašeho vyšetřování, kdykoliv nelze vyloučit možnost výskytu konstrukční chyby.

Závěr

V rámci projektu TANDEM byly doporučeny metody kvalitativního i kvantitativního hodnocení spolehlivosti lidského činitele včetně návaznosti na využitelnost SW k provedení analýz a dokumentace.

V další práci na tomto tématu by bylo vhodné provést konkrétní analýzu nějakých procesů v rámci PT MDL, které jsou již dobře popsány, provést kvalitativní i kvantitativní hodnocení takovýchto činností.

Bude přínosem zaměřit se také na metodiku získávání dat v podmínkách konkrétního provozu, analyzovat odpovědnostní strukturu jednotlivých pracovníků způsoby práce se stupněm utajení jednotlivých dat a informací.

Seznam literatury

Normy:

- [1] ČSN EN ISO 9001:2001 *Systémy managementu jakosti – Požadavky*
- [2] ČSN IEC 60300-3-1:2003 *Management spolehlivosti – Část 3-1: Pokyn k použití – Techniky analýzy spolehlivosti – Metodický pokyn*
- [3] FAA AC 43-6B: *Altitude reporting equipment and transponder systém maintenance and inspection practices*

Monografie:

- [4] MYKISKA, A.: *Bezpečnost a spolehlivost technických systémů*. Praha: Vydavatelství ČVUT 2004. ISBN 80-01-02868-2. 206 s.
- [5] NOVÁ, M.: *Zahrnutí selhání lidského činitele do analýzy spolehlivosti/bezpečnosti letecké techniky*. Praha: CLKV 2002. DT 629.7.004.6. T-VZLÚ P 3-8. Č.z. R-3439/02. 50 s.
- [6] MYKISKA, A. a kol.: *Elektronický katalog intenzit poruch, analýza vlivu spolehlivosti lidského činitele na složky ukazatelů provozní technologičnosti a koncepce její SW podpory*. Zpráva k projektu FT-TA/026, Téma T3. ČVUT Praha 2005. 62 s.