

40. EAN

40. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE
EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZY NAPĚTÍ
40th INTERNATIONAL CONFERENCE
EXPERIMENTAL STRESS ANALYSIS
3. – 6. VI. 2002, PRAHA/PRAGUE, CZECH REPUBLIC

**INTEGRATED METROLOGICAL CENTRE OF SPECIAL
MEASUREMENTS FOR GOVERNMENT SUPERVISION, AIRCRAFT
TESTING, AERONAUTICAL AND OTHER INDUSTRY NEEDS.**

**INTEGROVANÉ METROLOGICKÉ PRACOVÍŠTĚ SPECIÁLNÍCH
MĚŘENÍ PRO POTŘEBY STÁTNÍHO DOZORU, LETECKÉHO
ZKUŠEBNICTVÍ A LETECKÉHO I NELETECKÉHO PRŮMYSLU**

Ing. Václav Horák

The integrated metrological centre of VZLÚ's Experimental strength and its most important part – certified laboratory of metrology were created during 1996 - 2000 years in frame of government supported Transportational engineering I program for EU standard development and EU joining support. The process of metrology centre creation was divided into number of partial steps which were aimed to the equipment, methods and staff modernization of individual metrological branches entering into test and certification process of aircraft development. The whole project has been successfully completed by obtaining of accreditation of Experimental strength metrological laboratory by Czech Accreditation Institute in 2001 year.

Keywords: metrological centre, experimental strength, certification, calibration, accreditation

Objektivní potřeba metrologických pracovišť vývoje a zkušebnictví

V první polovině minulého desetiletí byl nastartován v podnicích a to nejen leteckého průmyslu náročný proces přizpůsobování se evropským normám jakosti. Tento proces, který je sám o sobě nesmírně finančně i organizačně náročný, nabyl ještě většího významu v okamžiku rozhodnutí přizpůsobit obranné prostředky a samozřejmě letectvo standardům NATO. Rozhodnutí vybavit českou armádu moderním bojovým letounem L-159 tento proces maximálně urychlilo s tím, že je rovněž nutné dosáhnout mezinárodního uznání a oprávnění k výrobě a v našem případě k vývoji a zkouškám letecké techniky, letounů a jejich částí.

Nezbytným požadavkem v souvislosti s úkoly pevnostních zkoušek VZLÚ a podobných pracovišť v leteckém i neleteckém průmyslu je zajistit v průběhu zkoušek a certifikace moderních letadel schopnost měřit řadu důležitých fyzikálních veličin na nezpochybnitelné úrovni, která je právě evropskými i jinými normami (např. MIL, FAR atd.) požadována. Nestáčí však tuto schopnost jenom mít. Je bezpodmínečně nutné ji příslušným dohlédacím, kontrolním, akreditačním, certifikačním orgánům případně zákazníkům prokázat a dokladovat metrologickými ověřeními, kalibračními protokoly, cejchováním, návaznostmi na podnikové popř. národní etalony apod. Obecně lze tento problém formulovat jako zajištění a průkaz konformity zkoušek a konformity zkušebních zařízení a jeho začlenění do systému řízení jakosti. Součástí tohoto průkazu je pak samozřejmě metrologie na patřičné úrovni. Specializované zkušebny Divize pevnosti letadel VZLÚ byly k takovým měřením podmíněně vybaveny. Problém však nastával s ověřováním měřidel extrémně malých a nebo naopak velkých sil a zrychlení, neboť mnohdy byly a jsou naše zkušebny vybaveny měřidly lepších měřicích schopností než má k dispozici metrologický institut. Na podporu úsilí o dosažení kompatibility s evropskými standardy a vybřednutí z „metrologické pasti“ se proto jevilo jako vysoce účelné vytvořit v rámci Divize pevnosti letadel VZLÚ vlastní metrologické pracoviště vybavené technickými prostředky pro měření sil, hmotností a zrychlení popř. dalších veličin jako jsou deformace či dráha, zatěžovací stroji a kvalifikovaným technickým personálem, schopným poskytovat měření uvedených veličin a kalibrace snímačů, měřidel i měřicích řetězců s příslušným oprávněním národního metrologického úřadu, viz [1].

Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s., Beranových 130, Praha 9, 199 05; horak@vzlu.cz

Zde je namístě poznamenat že pro úspěšné zvládnutí vývoje nových výrobků a certifikačních procesů samozřejmě i s ohledem na zavedený systém řízení jakosti je vždy úzká spolupráce s takovýmto pracovištěm objektivně nutná, což platí obecně nejen v letectví.

Podstatou bylo vytvoření popř. zdokonalení již existujících specializovaných pracovišť, soustředění stávajících měřicích prostředků, které jsou v potřebné kvalitě schopné měření poskytovat, poměrně masivní dovybavení další měřicí, výpočetní a zatěžovací technikou, shromáždění a proškolení odborného technického personálu, vytvoření zkušebních, měřicích a kalibračních metodik, viz [2].

Paralelně s tím byla vyvíjena činnost na získání oprávnění národního metrologického úřadu a institutu pro akreditaci k veřejnému provozování střediska kalibrační služby pro ověřování a kalibraci siloměrů a siloměrných řetězců pro potřeby leteckého i neleteckého podnikového zkušebnictví, průmyslu, školství a státního dozoru atd.

Základní aktivity a systémy Integrovaného metrologického pracoviště Divize pevnosti VZLÚ

Vybudované Integrované metrologické pracoviště speciálních měření pokrývá prakticky veškeré potřeby na měření a metrologii vzniklé v procesu vývojových i certifikačních pevnostních zkoušek letecké techniky ve VZLÚ. Uvedená měření a metrologické úkony je schopné poskytovat i dalším subjektům tak, jak je naznačeno v úplném názvu pracoviště.

1. Měření a zpracování deformací konstrukcí, posuvů a drah.

Využíván digitální systém AMD 01 (Obr. 1) s číslicovými inkrementálními průhyboměry MDI 11 a MDI 81 s rozlišovací schopností 0,01mm resp. 0,02mm. Systém původně vyvinut a vyroben TZUS Praha. V rámci projektu byl systém adaptován na moderní výpočetní techniku tak aby byla zajištěna mobilita měření a možnost vlastní kalibrace tzn.:

- Celý systém byl převeden na vyhodnocování a sběr dat pomocí počítače PC. Systém byl doplněn přenosným počítačem pro zajištění mobility při externích měřeních.
- Byla dodavatelsky provedena úprava softwarového vybavení a úprava kalibrační jednotky QMD 11 pro kalibraci inkrementálních průhyboměrů s vyhodnocením a zpracováním kalibračního protokolu na PC. Kalibrační jednotka byla doplněna kalibračními pomůckami – etalony (přesné základní měrky a číselníkový úchylkoměr).

2. Měření a zpracování poměrných povrchových deformací

Primárně využíván systém multikanálových měřicích ústředěn ORION – Solartron firmy Schlumberger. Ústředny byly rozšířeny o další karty a okalibrovány. Systém byl doplněn o digitální tenzometrické indikátory VISHAY P-3500, kalibrátorem SIC-1550A a testovacím přístrojem tenzometrických instalací GIT 1300.

Dalším systémem je moderní modulární systém měření fyzikálních veličin a sběru dat National Instruments SCXI s multifunkčními 16ti kanálovými měřicími rozhraními typu AT-MIO-16E-10 s příslušenstvím a speciálním programovatelným, grafickým vývojovým prostředím LabView ve verzi full development 6i. Systém je řízen počítačem PC a v současnosti umožňuje měřit současně 64 kanálů. Systém byl doplněn přenosným počítačem s měřicím rozhraním DAQ Card pro zajištění mobility měření. Systém umožňuje měření veškerých fyzikálních veličin včetně inkrementálních vstupů (Obr. 2).

Systém tvoří HW a SW bázi pro měření sil a hmotností.

3. Měření sil a hmotností

Jsou využívána vybraná provozní měřidla (tenzometrické siloměry splňující nároky na schopnost měření a stabilitu. Tato měřidla jsou doplněna ucelenou řadou vysoce přesných siloměrů VIBRO-METER řady LTC a HBM řady Z 4 v rozsazích 1, 5, 10, 20, 50, 100, 200 a 500 kN, které jsou zařazeny do třídy etalonů a jsou využívány pro kalibrace a ověřování siloměrů a siloměrných řetězců v Metrologické laboratoři Experimentální pevnosti, která je pro tuto činnost akreditovaná. U všech vybraných siloměrů a etalonů je zajištěna návaznost na normály ČMI (Obr. 3).

Pro vlastní měření, vyhodnocování a kalibrace jsou primárně využívány ověřené ústředny ORION – Solartron firmy Schlumberger splňující nároky na přesnost měření a stanovení nejistot měření.

4. Měření a zpracování dynamických a přechodových jevů

Původní zastaralý můstkový systém HBM byl pro sběr dat a vyhodnocení dynamických a přechodových jevů nahrazen již dříve osvědčeným vícekanálový systém SCXI firmy National instruments s multifunkčním rychlým měřicím interfacem AT-MIO-64E-3 a grafickým vývojovým prostředím LabView. Systém byl doplněn měřicí kartou DAQ Card typu PCMCIA pro využití ve slotu přenosného počítače zajišťující mobilitu měření

Systém rovněž tvoří HW a SW bázi pro měření zrychlení

5. Měření a zpracování zrychlení

Snímačovou bázi pro měření dynamických a přechodových jevů (samozřejmě kromě vybraných původních snímačů zrychlení HBM, tenzometrických siloměrů a speciálních tenzometrických měřicích desek tvoří sada snímačů zrychlení od firem HBM, Techlab a Vishay MGM v rozsazích 5,50,100 250g s vhodnými frekvenčními vlastnostmi.

6. Ověřování a kalibrace siloměrů a siloměrných řetězců – Středisko kalibrační služby

Je hlavní náplní akreditované Metrologické laboratoře Experimentální pevností. Laboratoř je vybavená komplexem statického zatěžovacího stroje TIRAtest 28500S, který umožňuje kromě kalibračních činností i zkoušky materiálových vzorků a menších konstrukčních dílů na statickou pevnost v tahu i tlaku v rozsahu sil od 0 do 500 kN (Obr. 4 a 5).

Postavení Metrologické laboratoře Experimentální pevnosti, její možnosti a proces akreditace jsou pro Integrované metrologické pracoviště Divize pevnosti letadel VZLÚ natolik významné, že si zaslouží podrobnější popis v samostatné kapitole.

Metrologická laboratoř Experimentální pevnosti

Vlastní laboratoř je umístěna v areálu VZLÚ v budově Staticko-dynamické zkušebny č. 55. Laboratoř má samostatný zkušební box s podlahovým upínacím rostem pro ukotvení zkušebních strojů. Je vybavena doplňkovým nezávislým vytápěním pro zajištění předepsaných pracovních teplot prostředí a speciálním pracovním nábytkem, který umožňuje přípravu kalibrací, ukládání etalonů i kalibrovaných snímačů podle požadavků systému jakosti.

V laboratoři jsou umístěny dva statické zatěžovací stroje. Historický 25 tunový AMSLER (plně funkční) a světovou špičku představující univerzální statický zatěžovací stroj TIRAtest 28500S výroby TIRA Rauenstein (dnes se sídlem v Schalkau).

Popis kompletu TIRAtest

Zatěžovací stroj:	TIRAtest 28500S
Typ:	Elektromechanický, digitální řízení zatěžování podle síly nebo deformace počítačem, s ovládáním plně softwarovým automatickým nebo manuálním; řízení počítačem PC Pentium, OS MS Windows 95, zkušební firmware TIRAtest s výstupem ve formě protokolů a grafů na barevnou tiskárnu.
Rozsah zatížení:	0 – 500 kN
Rozsahy měření sil:	0-5 kN; 0-50 kN; 0-200 kN; 0-500 kN (tah i tlak)
Přesnost řídicích siloměrů GTM:	0,03%
Měřicí frekvence:	400 Hz
Citlivost měření sil i posuvů:	50 000 dílků na rozsah
Rozsah rychlostí posuvu příčniku:	0,5 180 mm/min
Velikost měřicích prostorů:	spodní 2500 mm; spojený 4700 mm
Šířka zkušebních prostorů:	600 mm

Upínání vzorků:
Zvláštní příslušenství:

mechanické čelisti 80 mm s vložkami pro kulaté i ploché vzorky
automatický extenzometr MFNA pro měření relativního a
absolutního prodloužení a kontrakce;
opticky izolované I/O interface se senzorickými konektory pro
měření doplňkových parametrů;
interface propojení systémů sběru dat a vyhodnocení SCXI a Orion;
sady kalibračních přípravků, šroubení a mezikusů pro etalony a
různé siloměry;
ČSN EN 10002-1-1:1990
software TIRAscript; umožňuje vstup do firmware a ve scriptu
naprogramovat libovolný zatěžovací proces, případně cyklus;

Standardní trhačí zkoušky:
Speciální příslušenství:

Zkušební stroj vyhovuje požadavkům ČSN EN 10002-2 a splňuje třídu přesnosti 0,5 v plném rozsahu a je
použitelný pro průkazné zkoušky materiálu

Akreditace Metrologické laboratoře jako střediska kalibrační služby

Akreditace představovala poměrně, pracný a nákladný proces, který byl navíc poznamenán jistými průtahy způsobené tím, že ČIA přecházela v době podání žádosti na akreditaci dle nové normy ČSN EN ISO/IEC 17025.. Na základě získaných informací, materiálů a oficiálních výkladů ČIA byl zpracován rozsáhlý dotazník a v listopadu 2000 podána žádost o akreditaci. Byl zpracován 1. návrh Příručky laboratoře, kde jsme se snažili v maximální míře využít systém jakosti VZLÚ a harmonizovat dokumenty jakosti divize Pevnost letadel s požadavky normy ČSN EN ISO/IEC 17025.

Na základě žádosti byla s ČIA uzavřena Smlouva o kontrolní činnosti pro posouzení předložené dokumentace a zahájen tak vlastní akreditační proces pracoviště.

Po prvním posuzování dokumentace a systému řízení jakosti metrologické laboratoře pracovníkem ČIA vyplynuly zásadní podmínky, které bylo nutno splnit pro zahájení etapy vlastního posuzování systému jakosti na místě.

Pro úspěšné udělení akreditace a to platí obecně je zejména nutno:

- Zajistit nezávislost laboratoře; jak organizační v rámci podniku, tak i faktickou z hlediska personálního obsazení.
- Stanovit konkrétní kontrolovatelné cíle a politiku jakosti laboratoře.
- Zajistit doložitelnou odbornou způsobilost pracovníků laboratoře a manažera jakosti laboratoře; absolvování příslušných odborných školení a získání certifikátů.
- Vypracovat a vydat dokumenty SŘJ laboratoře, interní a externí dokumentované postupy řešící prvky jakosti a zpracovat je do Příručky jakosti laboratoře.
- Zjistit mezilaboratorní srovnání kalibrací.
- Vytvořit systém interního posuzování SŘJ laboratoře a systém auditů.
- Předložit kalibrační metodu, způsoby validace a odhad nejistoty měření.

Po splnění všech požadavků ČIA a několikerém přepracování a vydání Příručky jakosti, viz [5], byla po závěrečném posuzování na místě udělena v 9/2001 laboratoři akreditace s Osvědčením o akreditaci č. 2303 pro kalibraci tenzometrických siloměrů v rozsahu od 0,1 do 500 kN v tahu a tlaku.





Obr. 1 Modernizovaný systém měření posuvů a drah AMD 01 při zkoušce



Obr. 2 Modulární systém měření fyzikálních veličin a sběru dat NI SCXI



Obr. 3 Přesné siloměry a etalony VIBRO-METER



Obr. 4 Metrologická laboratoř s zatěžovacím strojem TIRAtest 28500S



Obr. 5 Kalibrace siloměru posilovače podélného řízení bojového letounu L-159

Kalibrace a odhad nejistoty měření

Jednou z podmínek úspěšné akreditace byla kalibrační metodika, kterou jsme zvolili adekvátně metodice používanou Českým metrologickým institutem. Rovněž odhad nejistoty měření byl odvozen dle dokumentu EA-4/02 viz [6], který též používá ČMI. Odhad nejistoty měření je zásadní pro každou kalibrační laboratoř. Její uspokojivý výpočet by měl být součástí výsledků každého měření. Problematika odhadu nejistoty měření není právě jednoduchá, tím spíše, že metod pro její stanovení existuje více. Dokonce si každá laboratoř může odvodit vlastní. O její korektnosti ovšem musí přesvědčit jak ČIA tak ČMI. Považuji za užitečné stručně seznámit čtenáře s námi používanou metodikou odhadu nejistoty měření.

V našem případě výsledkem kalibrace siloměru je kalibrační list. V kalibračním listě jsou stanoveny konstanty polynomu třetího řádu pro funkci $\mathbf{X} = \mathbf{X}(\mathbf{F})$ a pro inverzní funkci $\mathbf{F} = \mathbf{F}(\mathbf{X})$, kde $\mathbf{F}$ je síla a $\mathbf{X}$ je výstupní signál siloměru. Dále jsou v kalibračním listě uvedeny naměřené hodnoty, střední hodnota výstupního signálu siloměru stanovená pro tři polohy siloměru pootočeného o 120° vzhledem k základní poloze, střední hodnota výstupního signálu siloměru v základní poloze a relativní rozšířená nejistota kalibrace siloměru $\mathbf{W}$. Dále jsou v kalibračním listě uvedeny následující relativní náhodné chyby: reprodukovatelnosti (změřeno s otáčením siloměru), opakovatelnosti (změřeno bez otáčení siloměru), relativní chyba interpolace, relativní chyba zpětného chodu, relativní chyba nulové hodnoty a odchylka rozlišovací schopnosti. Z těchto vypočtených chyb pro každou zatěžovací úroveň jsou stanoveny příslušné odhady relativního rozptylu. Z těchto odhadů je vypočtena kombinovaná standardní nejistota siloměru $\mathbf{w}_{tra}$. Tato $\mathbf{w}_{tra}$ spolu s nejlepší měřicí schopností stanovení síly etalonem $\mathbf{w}_{bmcF}$ pro příslušný rozsah a spolu s nejlepší měřicí schopností měřidla (ORION) výstupního signálu siloměru $\mathbf{w}_{bmcORI}$ vstupuje do rovnice pro relativní rozšířenou nejistotu kalibrace siloměru

$$W = 2 \cdot \sqrt{w_{tra}^2 + w_{bmcF}^2 + w_{bmcORI}^2}$$

Závěr

V laboratořích Experimentální pevnosti jsou zajišťovány vývojové i certifikační pevnostní zkoušky celých letadlových konstrukcí i jejich částí. Tyto zkoušky jsou vždy náročné jak na objem prací při jejich přípravě, tak i na jejich realizaci. Vzhledem k vysokým cenám zkušebních kusů a úzkou vazbu na prokazovanou úroveň bezpečnosti z hlediska statické i dynamické pevnosti je nutné používat co nejvyšší úroveň metrologického zajištění experimentu. A to nejen z hlediska plnění požadavků konformity zkušebního zařízení, ale i z hlediska měření vstupních parametrů zatížení zkoušené konstrukce a její odezvy v průběhu zatěžování. Uvedené parametry splňují integrovaná metrologická pracoviště experimentální pevnosti VZLÚ spolu s akreditovanou metrologickou laboratoří pro kalibrace tenzometrických siloměrů. Vybudování těchto špičkových pracovišť ve VZLÚ, viz [4], za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu ČR je významným příspěvkem k podpoře výrobců letecké techniky a rozvoji výzkumné a vývojové základny leteckého průmyslu s cílem dosažení souladu s požadavky a postupy evropských a mezinárodně uznávaných leteckých předpisů.

Literatura

- [1] Horák, V.: Popis a charakteristiky projektu, zaměření analytických a investičních činností. R-2832/97, zpráva VZLÚ, 1997.
- [2] Mezihorák, B., Vavřík, J., Pudil, J., Havlová, M.: Návrh modernizace zatěžovacího stroje M&F, systému měření deformací a drah a poměrných povrchových deformací. R-2836/97, zpráva VZLÚ 1997.
- [3] Horák, V.: Rozvoj integrovaného metrologického pracoviště speciálních měření a realizace investic v roce 2000. R-3260/00, zpráva VZLÚ, 2001
- [4] Horák, V.: Závěrečná zpráva dílčího projektu č. 1.8 za celou dobu řešení 1996 až 2000. R-3261/00, zpráva VZLÚ, 2001.
- [5] Příručka jakosti metrologické laboratoře EP, 2. vydání, dokument SJ VZLÚ 2001.
- [6] EA-4/02 Expressions of the Uncertainty of Measurements in Calibration – prosinec 1999.