

Experimentální **A**nalýza **N**apětí **2003**

EXPERIMENTAL DETERMINE OF WING LOADING **EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ ZATÍŽENÍ KŘÍDLA**

Ivo Jebáček¹,

This papers describes the measurements of the wing bending moment of ultra light aircraft TL-96 Star. The bending moment was obtained by a series of strain gauges installed in the cantilevers of wings. Basic parameters such as, flight load factor, speed, altitude and electrical response of strain gages, were recorded by the data acquisition system DAS 12. Then the recorded data was analysed. The results of this analysis were the bending moments of the wings. The measured bending moments were compared with the computed results.

Keywords

Measurement, in flight, loading, calibration, strain gauges.

Úvod

Tato měření proběhla na letišti v Benešově a ve spolupráci s ČVUT Praha.

Popis letounu TL – 96 Star

TL 96 STAR je dvoumístný celokompozitový dolnoplošník se sedadly vedle sebe (obr.1 a obr.2). Křídlo je obdélníkové. Výškovka je plovoucí. Podvozek je tříkolový s brzděnými hlavními koly a řiditelnou přední podvozkovou nohou.

Letoun má tyto základní technické parametry (dle výrobce TL –Ultralight):

Rozpětí 9,2 m

Délka 6,5 m

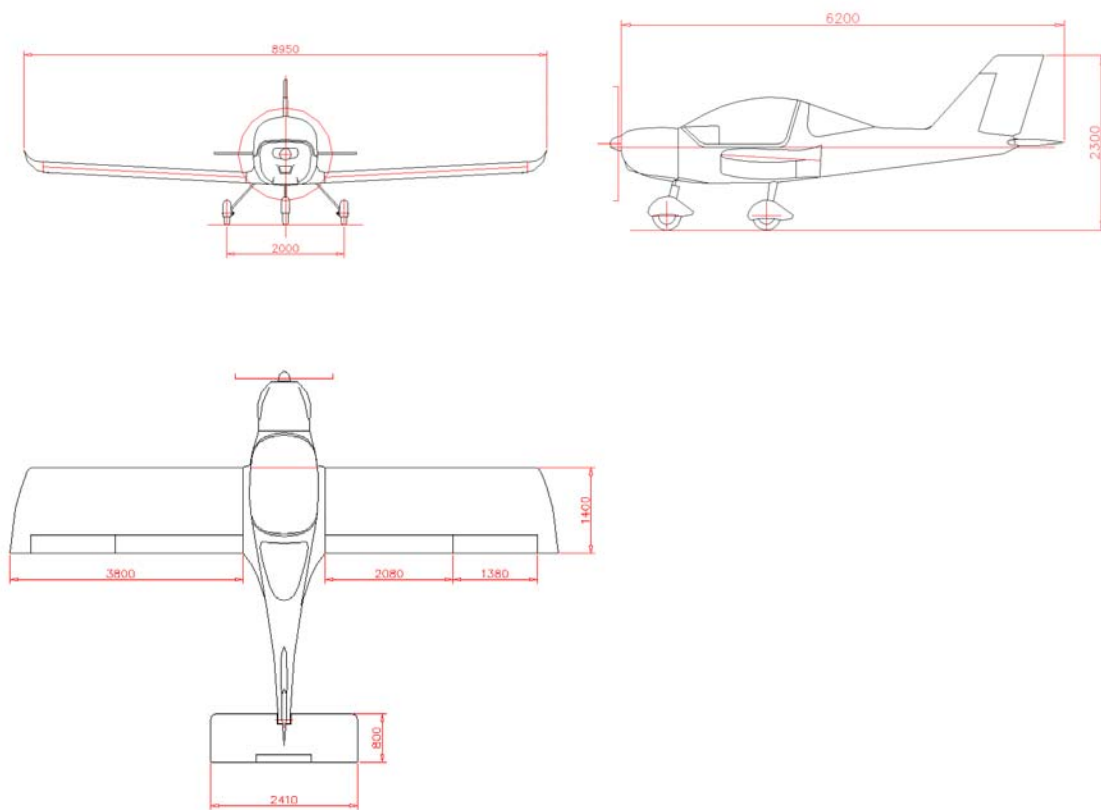
Výška 2,15 m

Nosná plocha 12,2 m²

Maximální vzletová hmotnost 450 kg

Rychlosti: - cestovní 180 - 220 km/h, - pádová na klapkách 63 km/h, - nepřekročitelná 275 km/h.

¹ Ing. Ivo Jebáček, Ph.D.: VUT v Brně, FSI, Letecký ústav; Technická 2, 616 69 Brno, tel.: +420-5-4114 2457, e-mail: jebacek@lu.fme.vutbr.cz



Obr.1 Celková dispozice letounu TL – 96 Star



Obr.2 Letoun TL – 96 Star připravený pro měření ohybových momentů

Měřené veličiny

Základní měřenou veličinou byl ohybový moment na levém i pravém křídle letounu.

Vzhledem ke konstrukci křídla, které přenáší ohybový moment pomocí krakorce uchyceného v druhém křídle, byl tenzometrickými půlmistry osazeny právě krakorce křídel.

Další měřené veličiny:

rychlost

tlak

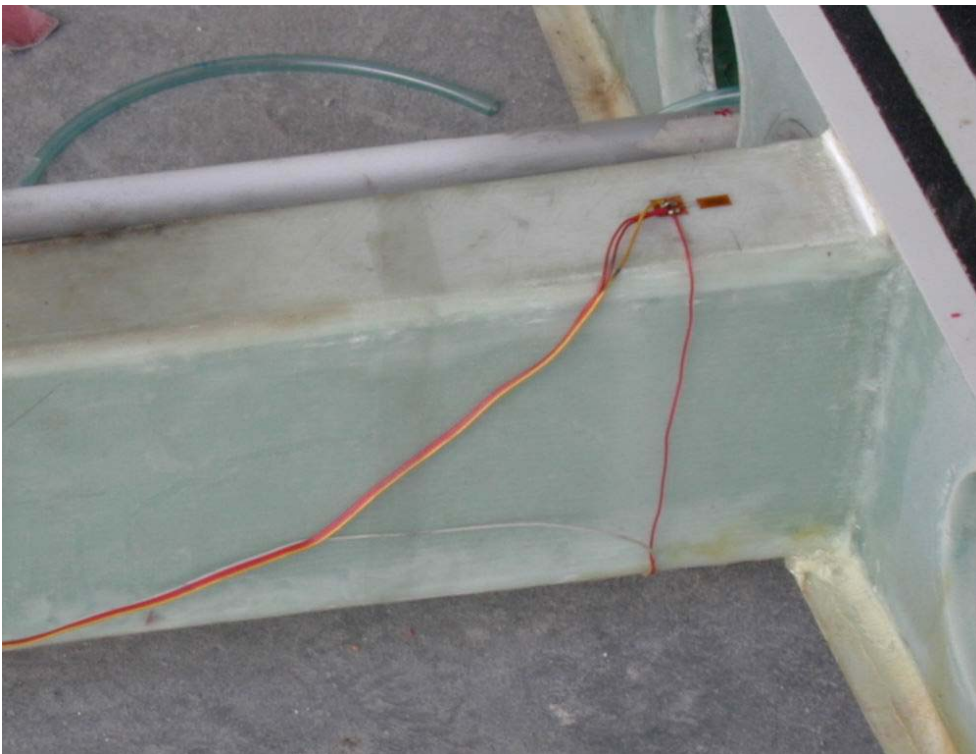
zrychlení v těžišti letounu

teplota

Tyto veličiny kromě násobku byly měřeny doplňkově, protože např. u rychlosti lze předpokládat, že nebude mít vliv na ohybový moment. Rozhodující z hlediska velikosti ohybových momentů bude násobek.

Umístění a kalibrace tenzometrů

Pro měření ohybového momentu byla vybrána místa na krakorcích křídel (obr.3). Křídlo má v kořeni žebro pouze s malými otvory a tak nebylo možné osadit tenzometry před kořenové závěsy, kde by bylo možné snímat i posouvající sílu.



Obr. 3 Umístění tenzometrického půlmistry na krakorci letounu TL-96 Star

Ohybový moment byl cejchován tak, že v definovaných místech na křídle byly umístěny podpěry na váhách a zvedáním letounu byly vyvozeny ohybové momenty na křídlech. Pro kalibraci byly provedeny i nesymetrické případy zatížení křídel.

Celková matice zatížení a odezev je v Tab. 1.

Tab. 1. Naměřené hodnoty odezev na zatížení

Zatížení	Mo	[Nm]	1294,5	1618,1	1941,7	2427,1	2912,6	3236,2	809,0	1294,5	1618,1	1941,7	2427,1
Odezvy	mp	[-]	-170,0	-218,1	-258,3	-320,5	-384,6	-432,3	-111,1	-169,9	-213,2	-256,6	-321,4
	ml	[-]	-172,0	-219,3	-261,5	-328,1	-395,5	-442,4	-107,0	-169,5	-216,9	-261,8	-328,6

Zatížení	Mo	[Nm]	2912,6	3236,2	1618,1	2589,0	3236,2	3883,4	4854,3	1618,1	2589,0	3236,2	3883,4
Odezvy	mp	[-]	-389,5	-429,9	-219,7	-346,6	-432,7	-516,2	-654,3	-221,6	-346,8	-434,3	-513,8
	ml	[-]	-397,0	-440,4	-219,0	-351,0	-439,2	-526,6	-662,5	-221,3	-352,0	-443,0	-524,0

kde mp a ml značí odezvy půlmostů na pravém a levém křídle

Kalibrační rovnice pro výpočet ohybového momentu byly stanoveny řešením rovnice:

$$\begin{Bmatrix} M_{ol} \\ M_{op} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{Bmatrix} * \begin{Bmatrix} m_l \\ m_p \end{Bmatrix} \quad \text{kde jsou}$$

m_l a m_p odezvy jednotlivých tenzometrů a

$b_{1,2}$ kalibrační koeficienty

pak jednotlivé kalibrační rovnice jsou:

$$M_{OP} = (-7,499 \pm 0,00925) \times m_p$$

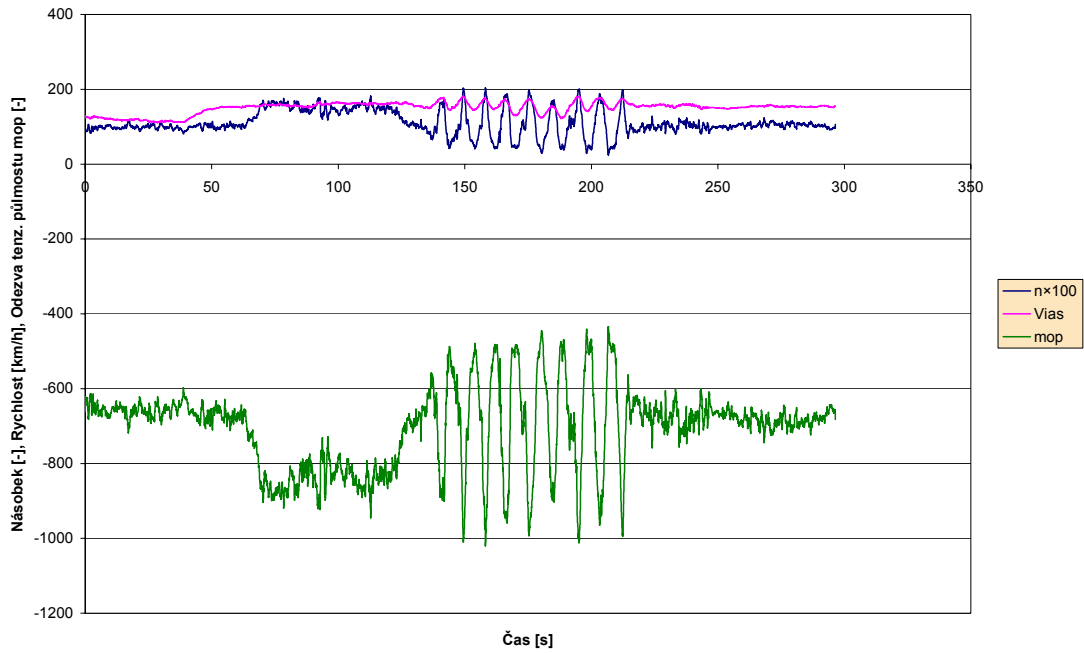
$$M_{OL} = (-7,358 \pm 0,00744) \times m_l$$

Letová měření

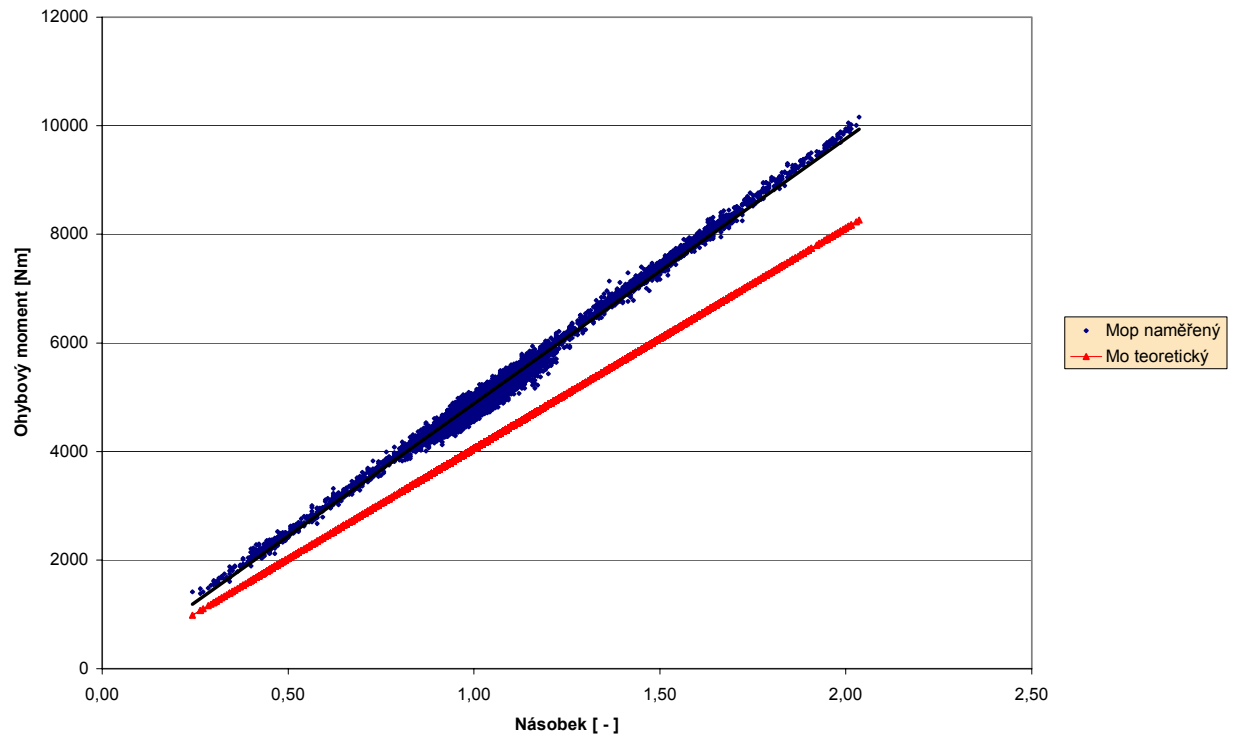
Pro získání závislosti ohybových momentů na násobku ke kořeni křídla bylo zapotřebí provést lety kde se bude objevovat větší rozsah násobků. Proto byly zvoleny lety ve vlnách s prostřídáním ostrých zatáček a manévřů. Pro snímání odezev tenzometrů a dalších veličin byla měřicí ústředna DAS 12 umístěna i se snímači tlaků do prostoru pro zavazadla a napojena na pitotstatický systém letounu. Snímač zrychlení byl umístěn do těžiště letounu. Před letem byl letoun zvážen. Celková vzletová hmotnost byla 587,2kg.

Vzhledem k předpokladu, že ohybový moment nezávisí na rychlosti letu nebyla provedena aerodynamická oprava a uváděné rychlosti jsou indikované.

Typický záznam části letu je na obr. 4.



Obr. 4 Typický záznam části letu



Obr. 5 Změřené a teoretické hodnoty ohybových momentů pravého křídla

Porovnání naměřených výsledků s výpočtem

Výpočet ohybového momentu je převzat z firmy Vanessa air s.r.o., která letoun TL – 96 navrhla. Grafické zobrazení závislosti teoretického a změřeného ohybového momentu pravého křídla je na obr. 5. Zde uvedené hodnoty jsou dopočítány proložení naměřených dat lineární závislostí.

Pro pravé a levé křídlo platí:

$$M_{OP} = 4882,8 \cdot n$$

$$M_{OL} = 4869,2 \cdot n$$

Závěr

Podařilo se na dobré úrovni rozlišení změřit ohybové momenty v kořeni křídel letounu TL-96 STAR v závislosti na násobku a ty porovnat s hodnotami vypočtenými. Z naměřených grafů je patrné, že směrnice proložené přímkou změřených hodnot má strmější tendenci a teprve při násobku blízcím se nule jsou hodnoty teoretických a změřených momentů totožné.

Bude-li zachována přímková tendence až do maximálního návrhového násobku, znamená to, že ve skutečnosti při těchto maximálních násobcích budou křídla přetěžována ohybovým momentem až o 20%.

Literatura

- [1] H. Skopinski, W. Aiken: *Calibration of strain-gage instalations in aircraft structures for the measurement of flight loads* - NACA TN 2993, 1953
- [2] I. Jebáček: *Zhodnocení výstupu projektu č. FP 310046* - Grant fondu vědy VUT FSI – posterové prezentace, Brno 2001