

PŘÍSPĚVEK K EXPERIMENTÁLNÍ
ANALÝZE NAPĚTÍ LETECKÉ VR-
TULE Z HLEDISKA SPOLEHLI-
VOSTI JEJÍ KONSTRUKCE

Ing. Milan Holl, CSc

Ing. Slavomil Soukup

Ing. Zdeněk Huječek, CSc

Výzkumný a zkušební letecký ústav, Praha

Dnešní letecká vrtule je složitým agregátem, jehož účinnost, hmotnost a spolehlivost mají silný vliv na užité hodnoty dopravního letadla. Po zvládnutí aerodynamické problematiky jsou dostupný materiál a technologie faktory, které předurčují mezní hodnoty ukazatelů technickoekonomické kvality nové vrtule, jako jsou hmotnost na jednotku výkonosti, účinnosti, náklady na výrobu, provoz a údržbu i soubor ukazatelů spolehlivosti, jako je celkový technický život, doba do generální opravy, udržovatelnost apod.

Dostatečná míra schopnosti vrtule plnit svou funkci bez poruch a bez nepřipustného poškození musí být založena již v návrhu a konstrukčním řešení. Je všeobecně uznávaným požadavkem, že únava materiálu jednotlivých detailů nesmí limitovat deklarovanou či garantovanou provozní dobu vrtule. Dalším jednoznačným požadavkem je nepřipustnost výskytu nestabilit jako je divergence v krutu a samobuzené kmitání. Optimalizační návrhové postupy tedy musí obsahovat taková kritéria, která s dostatečnou přesností zaručí věrohodný odhad splnitelnosti zmíněných požadavků. Experimentální analýza napětí je nezastupitelným prostředkem při ověřování, zpřesňování i eventuálních korekcích výchozích odhadů těchto kritérií, což můžeme příkladně demonstrovat v následujících případech

- průkaz bezpečnosti vrtule vůči odtrhovému flutteru
- předpověď životnosti konstrukčního uzlu : kořen listu +

valivé uložení listu včetně spoje s nábojem vrtule.

Pro nás závazné letecké předpisy definují pro vztažený řez vrtulového listu v podstatě Strouhalovo číslo, jehož hodnota musí být větší než 0,70 pro vrtule s úhlem nastavení při startu (bez dopřední rychlosti) menším než 20° a 0,73 při úhlu nastavení větším. Uvažuje se pouze režim práce vrtule na místě, při brzdění vrtulí (reverz) může být odtrhový flutter ještě závažnější. Uvedené hodnoty zobecňovaly zřejmě jisté zkušenosti s dřívějšími vrtulami s klasickou profiláží listů. Nevystihují dostatečně složité podmínky vzniku uvažovaného fyzikálního jevu.

Proto jsme provedli experiment s aerodynamicky silně zatíženými listy. Náboj třílisté vrtule V506 byl opatřen přípravkem, aby jej bylo možno zamontovat na hřídel motoru M601 na přemístitelném zkušebním zařízení pro vrtule ve VZLÚ. Do tohoto náboje byly postupně montovány vrtulové listy ze tří sad různých typů experimentálních listů pětিলísté vrtule. S listy každé sady bylo provedeno úplné aerodynamické a pevnostně dynamické měření. Otáčky byly nastavovány po 50 ot/min až do hodnoty $n_{\max}$ a úhel nastavení při aretovaných listech byl stupňovitě měněn do $+30^\circ$ a v záporných hodnotách do -30° . Úhel nastavení listů pětিলísté vrtule V509 je asi 19° pro absorbování vzletové výkonnosti motoru M601. Na základě zkušeností z předchozích měření experimentální pětিলísté vrtule byly na listech třílisté vrtule měřeny jen vybrané tenzometry tak, aby byly získány postačující informace. Měřicí řetězec pro drátkové tenzometry sestával z přenosových kontaktů fy Hottinger, speciálního přepínače s kalibračním obvodem (vyvinutého ing.Pospíšilem), osciloskopu Tesla, zesilovačů B & K, magnetofonu Bell Howel, oscilografu Siemens a aparatury pro měření translačních vibrací (B & K). Tah a moment vrtule byly měřeny další aparaturou při použití tenzometrických siloměrů. Záznamy na magnetofonovou pásku byly zpracovány na vyhodnocovací lince za pomoci počítače Varian programem vypracovaným ing.Krejčou. Grafické zpracování experimentem zjištěných závislostí smykového dynamic-

kého namáhání listů bylo podkladem pro vypracování přehledného diagramu. Na základě experimentální analýzy napětí z provedeného experimentu a s uvážením výsledků tenzometrických měření experimentálních vrtulí na letadle, zejména při přistání s reverzem, byla zhodnocena odolnost ve VZLÚ navržených vrtulových listů se superkritickou profiláží vůči odtrhovému flutteru a jsou připravovány materiály pro ev. korekci předpisu.

Spolehlivost upevnění vrtulového listu s nábojem stavitelné vrtule je podmíněna celou řadou faktorů, z nichž při daných vlastnostech materiálu, dané konstrukci, technologii a kvalitě výroby lze experimentálně sledovat především vliv zatížení od odstředivých sil listu a dynamického namáhání od ohybového kmitání listu. Ve VZLÚ bylo pro provádění únavových zkoušek listů kmitajících v základním ohybovém tvaru (v rovině min.tuhosti) a v základním torzním kmitu v poslední době též vyvinuto zařízení umožňující tyto typy zkoušek:

- únavové zkoušky kořenových částí listu při rezonanci základního typu ohybového kmitání v rovině max.tuhosti listu
- zkoušky valivého uložení listů zatíženého statickou silou imitující výslednici odstředivých sil listu a dynamickými silami resp. momenty od ohybově kmitajících listů.

Na základě analýzy namáhání v jednotlivých místech zkoumaného uzlu se určuje kritické místo nebo kritická oblast a stanovují se relace umožňující vyhodnotit extrémní hodnoty v nebezpečných, za letu obtížně měřitelných místech z výsledků letových měření prováděných již standartní metodikou. Na základě analýz napětí zkoumaného uzlu, jednak při laboratorních, jednak při letových zkouškách se určuje metodika porovnávacích zkoušek nově vyvíjeného typu valivého uložení listu s uložením listů seriových vrtulí, jejichž vlastnosti včetně provozní spolehlivosti a životnosti jsou poměrně dobře známy. Měření napjatosti ve správně volených referenčních místech je vstupem pro nastavování zkušebních režimů. Metodika těchto zkoušek je u nás dosud v počátečním stadiu.