

WIND TUNNEL TESTING OF STACIONARY AND NESTACIONARY AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE AIRFOIL

D.Rozehnal*

Summary: This paper describes stacionary and nestacionary measurement of aerodynamic characteristics of the airfoils between angle of attack 0-360° and the wind turbine rotor when the wind yaw angle is considered. The results have a major influence on the stress of the wind turbine blades. The experimental part of the research covers 72 variants of different flow passing by the wind turbine rotor blades. Testing work was held in low speed wind tunnels on Military Academy Brno.

1. Úvod.

Při výpočtech aerodynamických charakteristik leteckých vrtulí, listů větrných turbín, nosných rotorů vrtulníků nebo rychle manévrujících letounu jsou pro výpočet aerodynamických zatížení používány aerodynamické podklady, které né vždy zcela odpovídají skutečnému způsobu obtékání těchto těles. Za vstupní aerodynamické údaje jsou ve výpočtových metodách velmi často dosazovány hodnoty, které byly získány měřením při stacionárním způsobu obtékání těchto profilů. Odlišnosti v průbězích stacionárních aerodynamických součinitelů od jejich nestacionárních je tak značně rozdílné, že je z těchto důvodů nelze, pro výpočty aerodynamických zatížení na těch profilech, které jsou obtékány při velkých cyklických změnách úhlů náběhu, doporučit. viz.diag.č.1. Příčinu tohoto nesprávného použití vstupních aerodynamických hodnot ve výpočtových postupech je nutno hledat především v absenci aerodynamických podkladů, které by co nejvěrohodněji postihovaly aerodynamické zatěžování těchto leteckých konstrukcí při jejich provozu.

Zkoumání nestacionárních aerodynamických charakteristik profilů s velkými a rychlými změnami úhlu náběhu je prováděno už více než 30 let [2], [3]. Počátky tohoto výzkumu se datují do doby, kdy byl poprvé zjištěn významný vliv dynamického zatížení na profilové Zkoumání nestacionárních aerodynamických charakteristik profilů s velkými a rychlými změnami úhlu náběhu je prováděno už více než 30 let [2], [3]. Počátky tohoto výzkumu se datují do doby, kdy byl poprvé zjištěn významný vliv dynamického zatížení na profilové charakteristiky [1]. Z důvodu fyzikální složitosti celého jevu bylo od začátku použito výhradně experimentálních metod, které teprve v nedávné minulosti začaly doplňovat i metody numerické.

Skutečné aerodynamické namáhání dynamicky obtékaných leteckých konstrukcí tak může dosáhnout mnohem větších zatížení, než se původně předpokládalo. Pokud je

^{*} Ing.Dalibor Rrozehnal Ph.D., Katedra letadel a motorů, Vojenská akademie v Brně Kounicova 65, 612 00 Brno, Czech Republic, E-mail:daro@cs.vabo.cz, tel.+420-973 44 2706

konstrukce navržena bez uvážení těchto skutečností, je pravděpodobné, že se při provozu projeví zvýšený výskyt poruch a dojde ke snížení životnosti takto obtékaných částí letecké konstrukce. V mezních případech může dojít i k vážné poruše resp. havárii celého zařízení.

2. Experimentální zařízení

Literární prameny popisující konkrétní uspořádání testovacích stendů jsou zejména v posledním období skoupé na detailní zobrazení daného zařízení a omezují se ponejvíce na zevrubné a často jen blokové schéma, nebo na globální pohled v podobě fotografie. U experimentů, které byly prováděny v minulosti v zahraničních se vesměs měří tlakové rozložení na povrchu prostřednictvím miniaturních tlakových snímačů .

Na Vojenské akademii v Brně na Katedře letadel a motorů byly v posledních době vybudovány speciální experimentální stendy, na kterých lze v aerodynamickém tunelu simulovat nejrůznější subsonické způsoby obtékání profilů, leteckých vrtulí, rotorů větrných turbín, rotorů vrtulníku atd. viz. obr.č 1,2,3,4. Volba výsledné podoby experimentálního zařízení byla rozhodujícím způsobem determinována materiálovými a technickými možnostmi laboratoře aerodynamického zatížení namísto v zahraničí používané tlakové metody [4]. S tím souvisel i způsob uchycení modelu křídla viz.obr.č.1 a také skutečnost, že výsledné charakteristiky byly stanoveny jako aerodynamické charakteristiky křídla dané štíhlosti.

Na stendu viz.obr.č.1 dosahují, vzhledem ke způsobu vetknutí křídla, vlastní ohybové frekvence nízkých hodnot a tím omezovaly možnosti komplexního proměření většího množství variant. U nového stendu obr.č.2 jsou tyto problémy potlačeny. Modernizované zkušební zařízení navíc umožňuje měření aerodynamických charakteristik profilu v rozsahu 0-360° s libovolně zvolenou hodnotou středního úhlu náběhu a amplitudy kmitavého pohybu.



Obr. č.1 Uchycení křídla ve stendu pro dynamické měření aerod. charakteristik



Obr. č.2 Uchycení profilu křídla v měřicím prostoru modernizovaného stendu



Obr.č.3 Zkušební stend s modelem větrné turbíny v měřicím prostoru aerod. tunelu

Ukázka některých výsledků měření, která byla provedena v AT na VA [5] a [6] je uvedená v diagramech č. 1 až 3.



Diagram č.1 Srovnání statické a dynamické poláry křídla



Diagram č.2 Srovnání statické a dynamické vztlakové křivky křídla



Diagram č.3 Časový průběh úrovně signálů ze snímačů na stendu VE při zvětšení úhlu šikmého obtékání na β =30°



Diagram č.4 Frekv. průběh signálů na stendu VE při úhlu šikmého obtékání na β =30°

Zkušenosti z měření a analýzy naměřených hodnot na šikmo obtékané vrtule byly využity při návrhu stendu pro měření aerodynamických charakteristik rotoru vrtulníku obr.č.4.



Obr.č.4 - Model vrtulníku v měřicím prostoru aerodynamického tunelu na VA

Náročnost numerického řešení, které by komplexně popisovalo obtékání rotoru vrtulníku je tak obtížné, resp. v současné době nedostatečné, že je nutné provádět tunelová, resp. letová měření na modelech tak, aby podmínky měření co nejvěrohodněji odpovídaly skutečnému provozu dané techniky viz.obr.č.5.



Obr.č.5 Příprava modelu vrtulníku pro letová měření - IAG Stuttgart

3. Závěr

V reálném provozu letecké techniky může nastat situace, kdy skutečné zatížení v důsledku dynamického obtékání překročí statická maxima. Typickým případem je vysoce manévrující letoun, nebo šikmo ofukovaný rotor s velkým úhlem vybočení – typicky u moderních bojových vrtulníků. Ukazuje se, že při použití klasického výpočtu vycházejícího ze statických charakteristik dochází ke značné chybě při určení maximálního zatížení, neboť poměr maximálního profilového dynamického a statického součinitele vztlaku může dosáhnout téměř trojnásobku. Ačkoliv výsledná zatížení za celou periodu se v důsledku relativní symetrie hysterezí vůči statickému průběhu nebudou příliš odlišovat diag.č. 3, pulsační charakter dynamického silového působení má za následek zhoršení ergonomie při provozu letecké techniky v těchto režimech. Experimentem získané aerodynamické charakteristiky lze použít při zpřesňujících výpočtech aerodynamických charakteristik rotoru při jeho šikmém ofukování. Dynamické odtržení, ke kterému při těchto režimech na listech dochází nebezpečně zatěžuje listy rotoru.

Naznačený způsob silového měření na VA Brno prokázal, že ho lze použít k měření a zkoumání dynamického odtržení na kmitajícím modelu křídla resp. na šikmo obtékané vrtuli. Použité řešení je cenově mnohonásobně levnější než v zahraničí používaná tlaková měření. Lze jej aplikovat jak pro statická tak i stále žádanější dynamická měření, která umožňují postihnout skutečné průběhy zatěžování konstrukce.

Problematika jevu "Dynamického odtržení – Dynamic stall", je natolik významná, že je nutné se ji i nadále věnovat a znalosti operativně aplikovat jak při provozu, tak i při modernizaci používané a nově vyvíjené letecké techniky.

Literatura

- [1] CARR L. W. : Progress in Analysis and Prediction of Dynamic Stall. Journal of Aircraft, Vol.25, January 1988.
- [2] HAM N. D., GARELICK M. S. : Dynamic Stall Considerations in Helicopter Rotors. Journal of the American Helicopter Society, Vol.13, April 1968.
- [3] HARRIS F. D., PRUYN R. R. : Blade Stall Half Fact, Half Piction. Journal of the American Helicopter Society, Vol.13, April 1968.
- [4] ONDERLIČKA P., ROZEHNAL D. : Soudobé trendy při měření aerodynamických charakteristik letadel a jejich částí. In: The 2nd International Scientific Conference "AVIATION OF THE FUTURE". Košice, Slovenská republika, September, 1996.
- [5] ONDERLIČKA P. Stanovení nestacionárních aerodynamických charakteristik profilu ovlivněných dynamickým odtržením proudu. Doktorandská disertační práce, VA Brno 1998.
- [6] ROZEHNAL D. : Aerodynamické charakteristiky větrného motoru v mezních pracovních režimech. Doktorandská disertační práce, VA Brno 1998.