

EXPERIMENTAL SYSTEM FOR THE SMALL AIRCRAFT PROPELLER TESTING

D. Rozehnal*

Summary: *This paper describes the testing stand and the method of measurement of aerodynamic characteristics of the propellers. The discussed method allows to get aerodynamic characteristics for static as well as for dynamic regions and is extremely quick and cheap. The results of testing are presented.*

1. Úvod

Informace o aerodynamických charakteristikách leteckých vrtulí jsou nedílnou součástí jakéhokoliv návrhu nově vyvíjeného, nebo modifikovaného vrtulového letounu. Na Univerzitě obrany v Brně bylo v roce 2005, v rámci specifického výzkumu, vybudováno nové zkušební zařízení, které umožňuje realizovat aerodynamická měření malých leteckých vrtulí a to jak s pevnými, tak i se sklopnými listy.

Znalost těchto aerodynamických charakteristik vrtulí nachází praktické uplatnění při stále častějším využívání bezpilotních prostředků nejen ve vojenském, ale i civilním sektoru použití. Rozměry letounů používané např. k topografickému snímkování, monitorování terénu, nebo k průzkumu nad cizím územím dosahují rozpětí křídla kolem tří metrů a jsou poháněny většinou malým pístovým motorem s vrtulí. Pohonné vrtule s průměrem kolem 500mm, které tyto prostředky používají, patří svým průměrem do letecko modelářských aplikací. Je zřejmé, že tak jako při návrhu pohonných jednotek pro vrtulové dopravní letouny bude i při návrzích vrtulového pohonu pro bezpilotní prostředky znalost těchto aerodynamických charakteristik vrtulí nepostradatelná. Vážným problémem při výběru a používání těchto vrtulí je právě absence jejich aerodynamických charakteristik.

2. Zkušební zařízení – měřicí stand

Zkušební zařízení pro měření aerodynamických charakteristik vrtulí je umístěné v cirkulačním aerodynamickém tunelu s otevřeným měřicím prostorem viz. obr.č.1. Měřicí stanoviště je plně automatizované a umožňuje měřit jak statické, tak i dynamické aerodynamické charakteristiky vrtulí.

* Dalibor Rozehnal, Engineer, Ph.D.: University of Defence Brno, Department of Aircraft and Rocket Techniques, Kounicova 65, 612 00 Brno, Czech Republic, E-mail: dalibor.rozehnal@unob.cz, tel.+420-973 44 5161

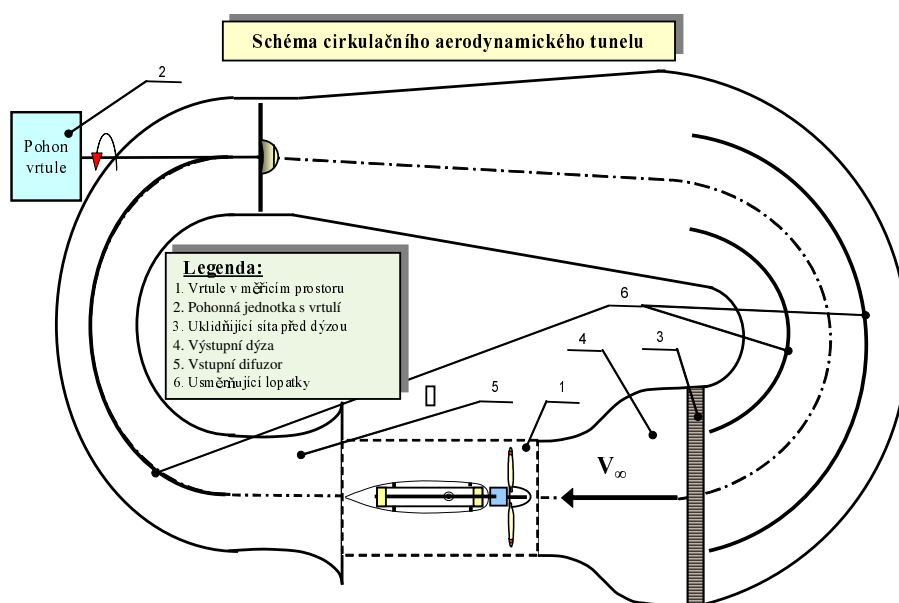
Zkoušené vrtule byly měřeny standardním způsobem. Vrtule byla uchycena na pohonnou jednotku do měřicího stendu a ten byl umístěn do měřicího prostoru aerodynamického tunelu obr.č.1. Po nastavení příslušných otáček vrtule je plynule zvyšována rychlost proudu v aerodynamickém tunelu tak, až je na měřené vrtuli dosaženo režimu nulového tahu resp. kdy se vrtule dostane do režimu brždění. Vzhledem k velmi pomalému rozběhu asi 100s a krátkému integračnímu času 0,2s, během kterého se měřené veličiny vzorkují, lze konstatovat, že měření probíhá v kvazistacionárním režimu a odpovídá velmi reálně skutečnému provozu dané vrtule. Hlavní výhodou tohoto způsobu vyhodnocování jsou časové a energetické úspory při měření.

Parametry aerodynamického tunelu na UO BRNO

Příkon pohonu	$P = 18 \text{ kW}$
Průměr měřicího prostoru tunelu	$D = 0.6 \text{ m.}$
Maximální rychlost	$V_{\max} = 42 \text{ ms}^{-1}$
Minimální nastavitelná rychlost	$V_{\min} = 2 \text{ ms}^{-1}$
Odchylka rychlostí v MP na prům. $D = 0.5\text{m}$	$\Delta V < \pm 1.5\%$

Parametry měřicího stendu motoru s vrtulí

Výkon elektomotoru –plynule regulovaný	P_{out} do 2,1kW při 7000ot/min
Stabilizovaný stejnosměrný zdroj PowerTen	3,3kW (50V/66A)
Elektronický regulátor motoru MGM	45V/80A
Výkon spalovacího pístového motoru (dle typu)	P_{out} 2,2kW -5,8kW při 7400ot/min
Průměr měřených vrtulí	do 20“ tj. 0,5m
Rozsah měření tahu vrtule	do 250 N
Rozsah měření točivého momentu	do 12,0 N·m
Hmotnost a rozměry stendu s podstavcem	70kg – 1100x600x1200mm





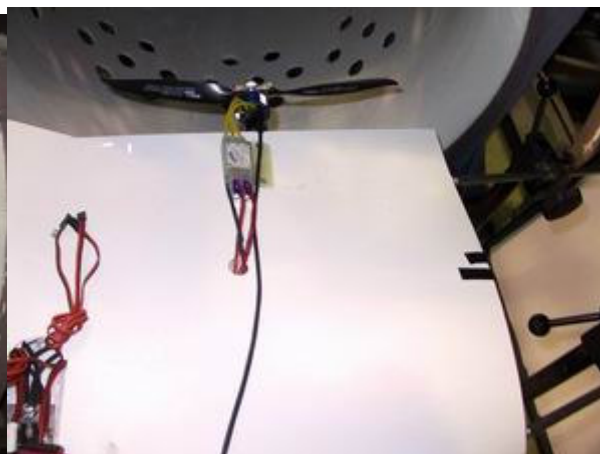
Obr. 2 Kompozitové karbonové vrtule typ Mejzlik o rozměrech 18"x 6-12", 20"x 6-10".



Obr. 3 Stavitelné vrtule Aeronaut o rozměrech 11"x10", 13"x11" a 15"x13" s unášeči.



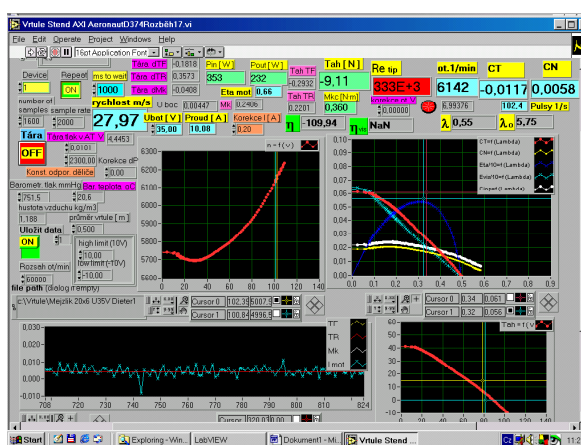
Obr. 4 Stend elektromotoru s vrtulí v měřicím prostoru aerodynamického tunelu.



Obr. 5 Měření elektrických parametrů pohonu vrtule v aerodynamickém tunelu.



Obr. 6 Testovaná sklopná vrtule Aeronaut v aerodynamickém tunelu.



Obr. 7 Panel měřicího software s naměřenými hodnotami.

3. Výsledky měření

Pro posouzení a stanovení pracovního bodu vrtule je nutné stanovit požadavky, které se od finálního zařízení očekávají. Na ukázkou byla vybrána vrtule Aeronaut 11“x10“. Tato vrtule má, při použití středového unášeče s nulovým úhlem zkroucení, úhel nastavení $\sim 21^\circ$. Z toho lze předpokládat její použití při vyšších rychlostech letu. Rozsah maximálních účinností byla ve všech třech proměřovaných variantách středového unášeče v rozsahu od 65% do 68%. Vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o standardní, běžně dostupné vrtule lze tyto hodnoty maximálních účinností považovat za průměrné. Vhodné použití nalezne tato vrtule na letounech, kde je prioritním požadavkem tichý chod – nízké otáčky vrtule při požadované letové rychlosti, dlouhý dolet, resp. dostatečná vytrvalost letu.

Základní výpočtové vztahy:

$$\text{Tah vrtule:} \quad T = c_T \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \quad [N]$$

$$\text{Příkon vrtule:} \quad P = c_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5 \quad [W]$$

$$\text{Rychlost letu:} \quad V = \lambda \cdot n \cdot D \quad [m \cdot s^{-1}]$$

a) Výkony vrtule Aeronaut 11“x10“ - unášeč 0° v předpokládaném režimu letu.

Předpokládané otáčky vrtule: $n=6600 \text{ ot/min} = 110 \text{ ot/s}$, hustota vzduchu $\rho = 1,16 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Provoz vrtule v oblasti max. účinnosti $\eta = 0,67$ tj. 67%

Hodnoty odečtené z diagramu 1 až 3.

Rychlostní poměr $\lambda = 0,76 \Rightarrow c_T = 0,051, c_N = 0,057$

$$\text{Tah vrtule:} \quad T = 0,051 \cdot 1,16 \cdot 110^2 \cdot 0,29^4 = 5,06 \quad [N]$$

$$\text{Příkon vrtule:} \quad P = 0,057 \cdot 1,16 \cdot 110^3 \cdot 0,29^5 = 180 \quad [W]$$

$$\text{Rychlost letu:} \quad V = 0,76 \cdot 110 \cdot 0,29 = 24,24 \text{ m/s} = 87,3 \text{ km/h}$$

Nulového tahu dosáhne daná vrtule při $\lambda = 1,08$ tj., pro konstantní otáčky vrtule 110 ot/s, při rychlosti letu 124 km/h.

b) Výkony vrtule Aeronaut 11“x10“ - unášeč 0° v režimu startu letounu.

Předpokládané otáčky vrtule: $n=6600 \text{ ot/min} = 110 \text{ ot/s}$, hustota vzduchu $\rho = 1,16 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Hodnoty odečtené z diagramu 1 až 3.

Rychlostní poměr $\lambda = 0,0 \Rightarrow c_T = 0,086, c_N = 0,069$

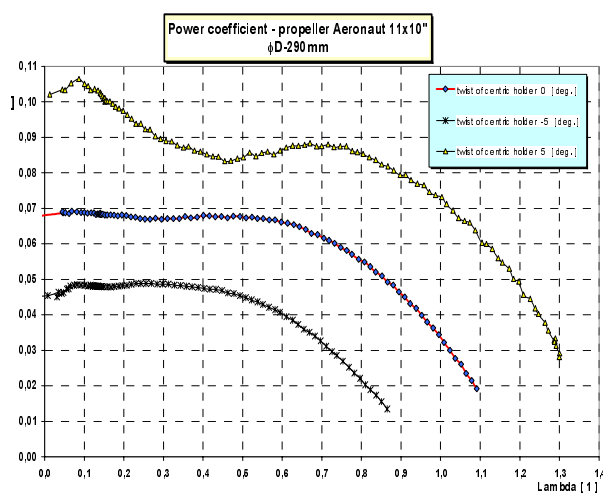
Tah vrtule: $T = 0,090 \cdot 1,16 \cdot 110^2 \cdot 0,29^4 = 8,93 \text{ [N]}$

Příkon vrtule: $P = 0,069 \cdot 1,16 \cdot 110^3 \cdot 0,29^5 = 218 \text{ [W]}$

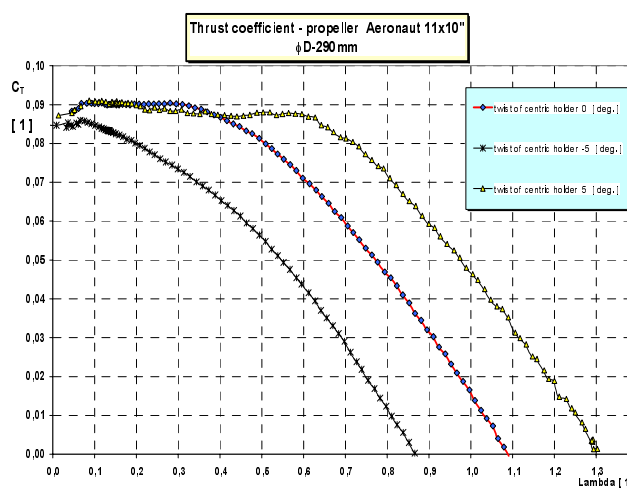
Rychlost letu: $V = 0 \text{ km/h}$ - start letounu

Vrtule dosáhne při návrhových otáčkách $n = 110 \text{ ot/min.}$ statického tahu $8,93 \text{ N.}$

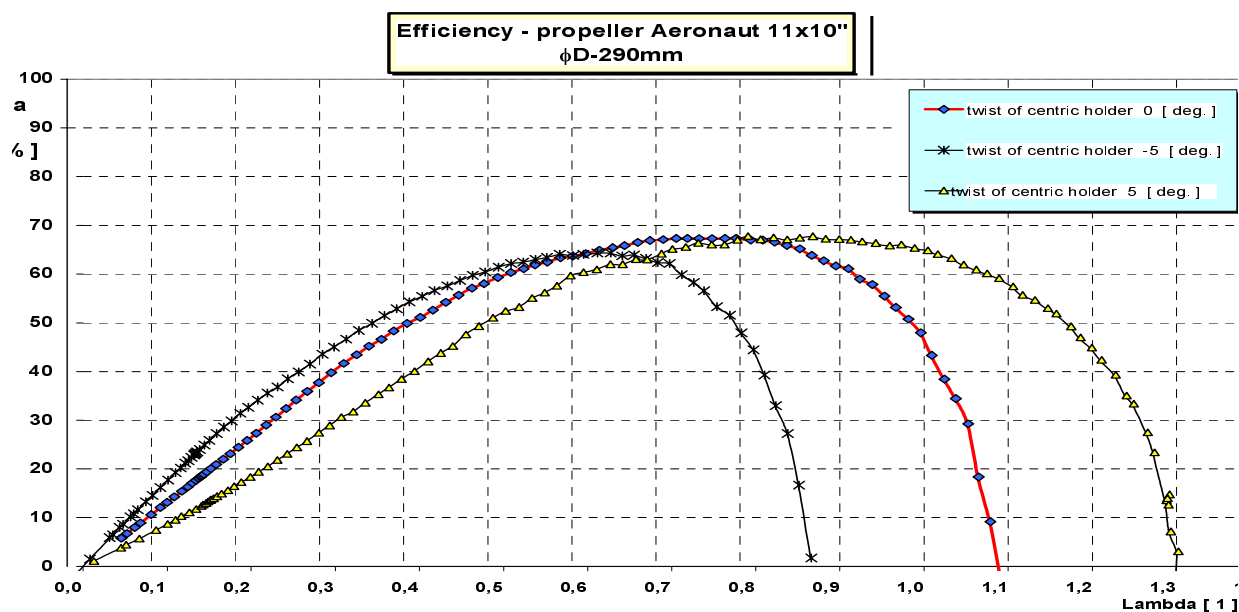
V diagramech 1 až 3 jsou uvedeny výsledky měření aerodynamických charakteristik vrtule Aeronat 11x10“



Diag. 1 Součinitel výkonosti vrtule c_N



Diag. 2 Součinitel tahu vrtule c_T



Diag. 3 Účinnost vrtule Aeronaut 11“x10“

4. Závěr

Nově vybudované zkušební zařízení na měření a zkoušení aerodynamických charakteristik vrtulí, které bylo v roce 2005 uvedeno do provozu na Univerzitě obrany, rozšiřuje významně vědecko výzkumnou kapacitu školy. Jedná se o moderní kvalitní zkušební zařízení, které umožňuje seriózní verifikaci přijatých teoretických závěrů. Své využití nachází nejen při měření a testování samostatných vrtulí, ale i celých kompletů malých vrtulových pohonných jednotek včetně jejich zainstalování do letounu obr.č.4 až 6.

Dosažené parametry testovaných vrtulí, diag.1 až 3, odpovídají teoretickým předpokladům. Komplexní posouzení a výběr optimálního vrtulového pohonu pro potřeby bezpilotního prostředku vyžaduje znalost jak aerodynamických charakteristik vrtule, tak i charakteristik pohonu. Pro správné naladění celé pohonné jednotky je nezbytné podrobněji specifikovat dominantní požadavky kladené na bezpilotní prostředek a to nejen z pohledu letových výkonů, ale i způsobu startu.

Literatura

- [1] ALEXANDROV V.L.: Letecké vrtule. SNTL, Praha 1954.
- [2] RIEGELS F.W.: Aerodynamische profile. R.Oldenbourg, München 1958.
- [3] ROZEHNAL D.: Měření aerod. charakteristik dřevěných leteckých vrtulí. BOMI. Interní zpráva VA, Brno 2002 :
- [4] SCHMITZ F.W.: Aerodynamik des Flugmodells, Berlin 1942.
- [5] SELIG M.S., DONOVAN J.F., FRASER D.B.: Airfoils at low speeds. Stokely H.A, Virginia Beach 1989.
- [6] ŠVÉDA J., SALGA J., HOŘENÍ B.: Návrhové výpočty aerodynamických charakteristik vrtulí V 509, V 518 a jejich modifikací. Zpráva VAAZ/636, Brno 1981.