

Účinnost vrtule

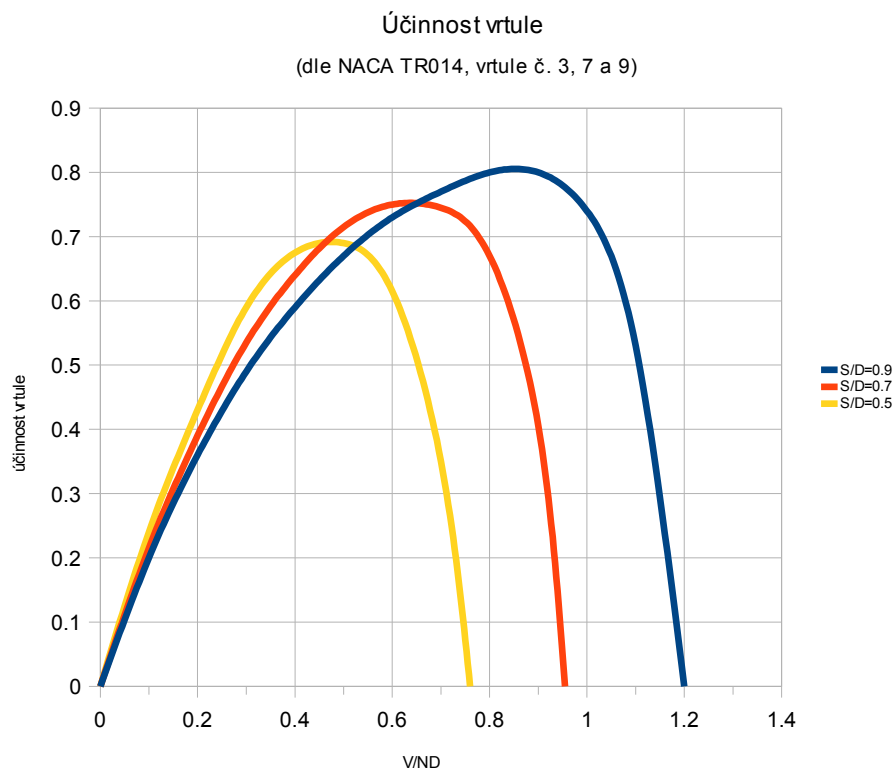
Na téma volby pohonu pro elektromodel bylo napsáno již mnohé, po pravdě řečeno se ale nikdo nezabývá tím, co je na konci pohonného řetězce, totiž vrtulí.

Zejména v souvislosti s kategoriemi termických elektrovětroňů, v nichž je předepsán buď příkon nebo výkon pohonu, bude správná volba vrtule důležitá.

Křivka účinnosti vrtule

Informace o dynamickém měření vrtulí prakticky neexistují. Většina dostupných dat je statická, z měření na zemi, kdy se vrtule vůči vzduchu nepohybuje. Jedinou výjimkou, kterou se mi podařilo nalézt, je archiv NACA (dostupný na <http://ntrs.nasa.gov>) se zprávami o měření vrtulí v aerodynamickém tunelu. Pro případné zájemce je asi nejlépe vyjít hned z první zprávy „Technical Report NACA No. 14, W. F. Durand, E. P. Lesley: Experimental Research on Air Propellers (Experimentální výzkum leteckých vrtulí), 1918“.

Dále uvedený graf znázorňuje křivky účinnosti vrtulí se štíhlými listy, profilem listu s rovnou spodní stranou a geometrickými stoupáními 50%, 70% a 90% průměru. Průměr zkušebních vrtulí byl 914 mm, proto chci ihned zde upozornit, že v našich modelářských aplikacích mohou dosažitelné účinnosti být odlišné. Například výkony malých vrtulí aeronaut vycházejí dle metodiky ve zprávě zhruba dvojnásobně oproti údajům aeronautu.



Nicméně jde o jediný dostupný zdroj informací a něco se z toho přeci jen vyčíst dá.

1. Tedy, hodnoty účinnosti jsou vztažené k výrazu $V/(ND)$, kde V je rychlost letu, N jsou otáčky vrtule a D je průměr vrtule. Pokud by bylo ve jmenovateli ještě π , byl by to poměr dopředné rychlosti ku obvodové rychlosti špičky listu.
2. Maximální dosažitelná účinnost roste se stoupáním. Pro zajímavost, tento růst maximální účinnosti se nezastaví na "čtvercové" vrtuli, nýbrž pokračuje dále.
3. Účinnosti obecně rostou s V/ND
4. Pro malé rychlosti letu jsou ale výhodnější vrtule s malým stoupáním.
5. Zdá se, že závislost na obrázku je poměrně obecná a nezávisí na tvaru listů, profilu, apod. Pro jiné vrtule se sice liší sklony a výšky křivek, celkově to ale při prvním pohledu vypadá stejně. U téměř všech vrtulí platí, že červená a žlutá čára se protínají u $V/ND=0.5$ a modrá a červená u 0.7.

Jakou vrtuli pro elektrovětroň RCES

Jako příklad budu uvažovat s vrtulemi pro RCES, pro které už jsou vypočtené potřebné otáčky pro daný výkon. Jako návrhovou rychlost letu jsem zvolil $V=8$ m/s.

Potom snadno spočítám poměry V/ND a S/D , účinnosti jsou potom odečtené z grafu.

D	S	N	V/ND	S/D	účinnost
8	5	9300	0.32	0.63	0.49
9	5	8000	0.33	0.56	0.52
9.5	5	7400	0.34	0.53	0.54
9	7	7300	0.36	0.78	0.5
10	6	7200	0.33	0.6	0.51
10	7	6800	0.35	0.7	0.51
11	6	6200	0.35	0.55	0.55
10	8	6000	0.39	0.8	0.53
11	7	5800	0.37	0.64	0.55
11	8	5600	0.38	0.73	0.54
12	6.5	5500	0.36	0.54	0.56
11	10	5100	0.42	0.91	0.53
12	8	4800	0.41	0.67	0.58
13	8	4700	0.39	0.62	0.57
13	11	4000	0.45	0.85	0.57

Optimální vrtule pro tyto podmínky má tedy buď velké stoupání a velké V/ND nebo malé stoupání s menším V/ND . Vrtule s malým V/ND a velkým stoupáním je jednoznačně nevýhodná.

Znovu připomínám, že reálné účinnosti mohou být odlišné, protože graf byl získán na vrtulích průměru přibližně trojnásobného.

Jaký pohon pro *Bird of Time*

Jako demonstraci případu, kdy je předepsaný výkon, lze použít následující úvahu (realizovanou).

Potřeboval jsem pohon do lehkého třímetrového větroně, zdrojem měly být 3 články Lipol a zhlédl jsem se v motoru MVVS 3.5. Otázkou bylo, zda 1200 nebo 960 ot./V. Dle údajů výrobce pro první motor hodí vrtule 10x6", pro druhý 12x6.5". Rychlost letu modelu při stoupání jsem volit 10 m/s.

	Jednotky	MVVS 3.5/960	MVVS 3.5/1200
Vrtule		12x6.5	10x6
Napětí	V	10	10
Proud	A	27	27
Otáčky	1/min	7700	10400
Účinnost motoru		79%	83%
Výkon motoru	W	213	224
Rychlost modelu	m/s	10	10
Průměr vrtule	mm	305	255
Nominální stoupání	mm	165	153
S/D		0.54	0.6
V/(ND)		0.26	0.23
Účinnost vrtule (z grafu)		52%	46%
Účinnost pohonu		41%	38%



Vybral jsem MVVS 3.5/960.

Pohonnou jednotku teď používám v Havranovi, model o hmotnosti asi 1 kg dokáže stoupat kolmo vzhůru, stoupavost odhaduji na asi 10 m/s při příkonu 275W (při čerstvě nabité baterii). Výkon vrtule může být tedy asi 110 W (10 m/s při hmotnosti 1 kg je 100 W, další 1 m/s či 10 W je na aerodynamický odpor). Celková účinnost pohonu tedy vychází asi 40%.

Tedy, pro pomalé modely se zdá být lepší vrtule s menším stoupáním, pro motory bez převodovky určitě.

Znovu důrazně varuji před absolutní interpretací zde uvedených poznatků. Neznámých je příliš mnoho, teorie zde v podstatě nefunguje (i o tom existují NACA zprávy, uspokojivá teorie vrtule umožňující předpovědět chování vrtule při různých režimech letu je až dílem moderní „počítačové“ doby). Dalším, zde nediskutovaným faktorem, je tzv. „odlehčení motoru“ při letu. U větších V/ND bude toto odlehčení větší, ale i tak asi nevýrazné.

Nezbývá než zkoušet a měřit. Ostatně v dnešní době palubních záznamníků už by to neměl být takový problém :-)

Jan Kubica
28.3.09