

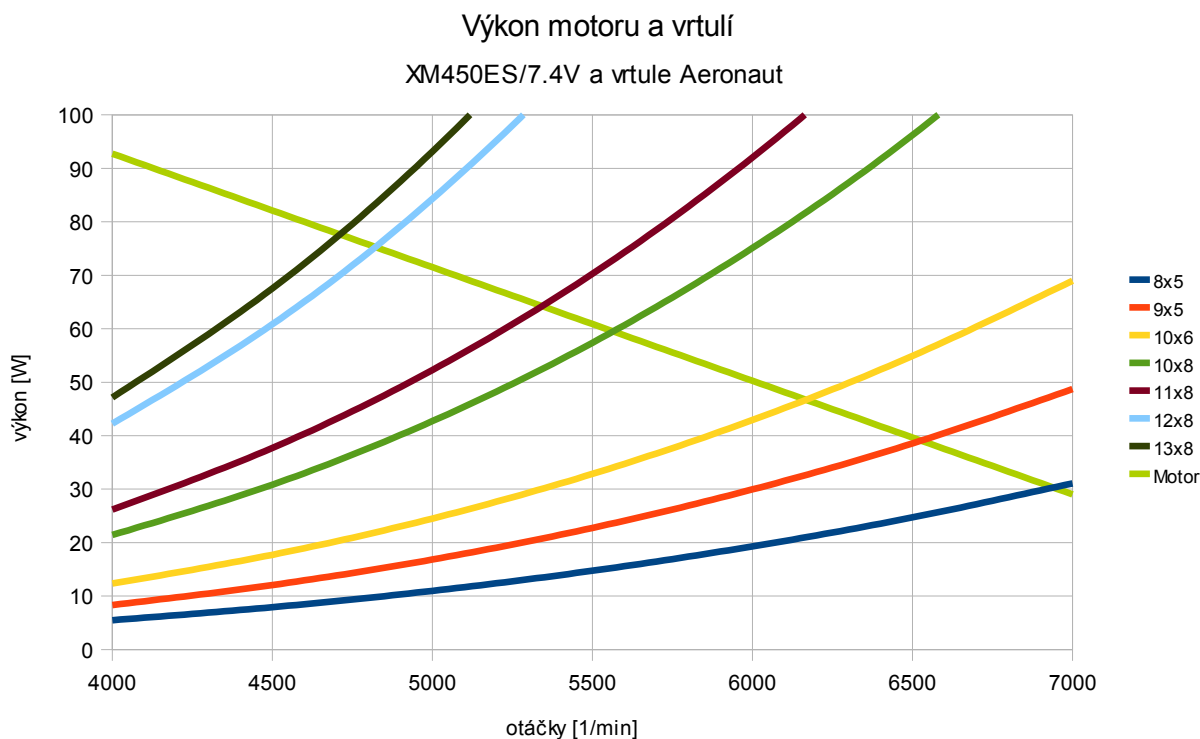
Charakteristika vrtule za letu

Tento článek je třetí a snad již poslední částí povídání o vrtulích.

V první části byla definována statická charakteristika vrtule a motoru (tj. závislost výkonu na otáčkách), druhá část obsahovala povídání o účinnosti vrtule za letu. Tento text doplňuje chybějící část - jak určit otáčky vrtule za letu.

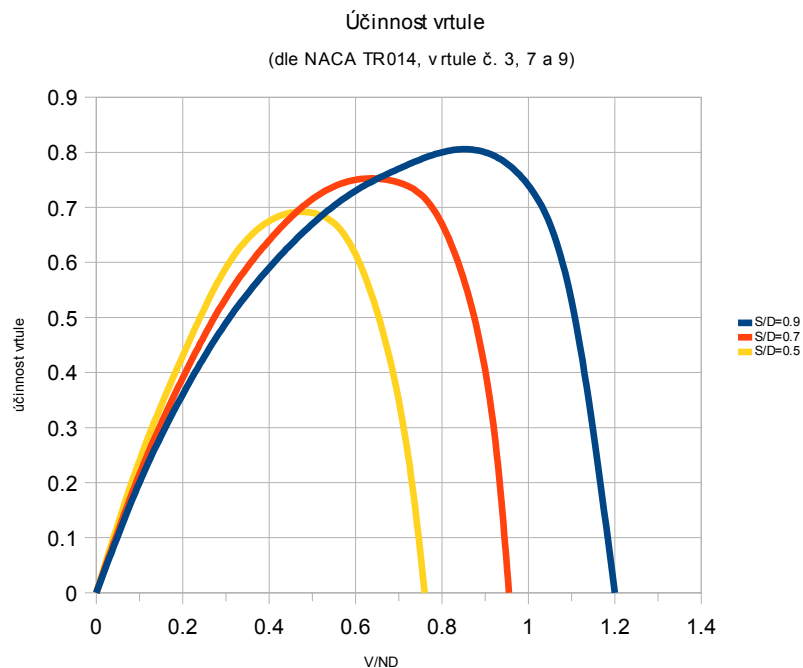
Nejprve opakování:

Statické charakteristiky (některých) vrtulí Aeronaut a motoru XM450ES vypadají následovně:



Tedy s vrtulí 9x5 (červená čára) bude motor (světle zelená) točit asi 6500 ot./min a bude mít výkon asi 38W, s vrtulí 12x8 (světle modrá) bude točit asi 4800 ot./min a bude odevzdávat asi 75 W.

Část výkonu předaná motorem vrtuli (tj. příkonu vrtule) se ale nespotřebuje na pohon modelu, nýbrž na urychlování vzduchu. Vrtule má nějakou účinnost, jak je ukázáno na následujícím grafu. Na ose „x“ je přitom poměr rychlosti letu ku obvodové rychlosti listu (součin otáček a průměru vrtule).



Například pro vrtuli 12x8 (kterou budu nadále uvažovat jako příkladnou) je při rychlosti letu 8 m/s a otáčkách 4800 ot./min účinnost 58%.

Otázka však zní, budou otáčky za letu stejné jako na zemi? Nebo, jaký výkon vrtule odevzdává při rychlosti letu 8 m/s? Jinak řečeno, jak určit odlehčení.

V původním pramenu („Technical Report NACA No. 14, W. F. Durand, E. P. Lesley: Experimental Research on Air Propellers (Experimentální výzkum leteckých vrtulí), 1918“) jsou i změřené koeficienty tahu vrtulí. Jak jsem již psal, tyto koeficienty jsou zřejmě pro modelářskou praxi nevyužitelné, protože byly získány na mnohem větších vrtulích. Co je ale zajímavé, zdá se, že všechny 3 vrtule mají podobné závislosti výkonu na V/ND , kterou lze vyjádřit empirickým vztahem:

$$(P/P_0)^{1.5} = 1 - (X/X_0)^{3.33}$$

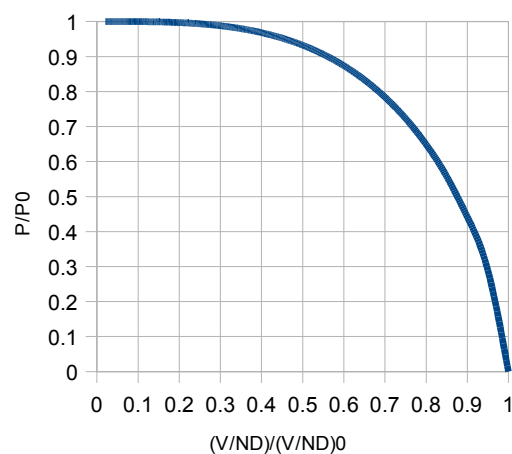
kde:

P_0 je statický příkon vrtule (tj. změřený na zemi)

P je příkon za letu

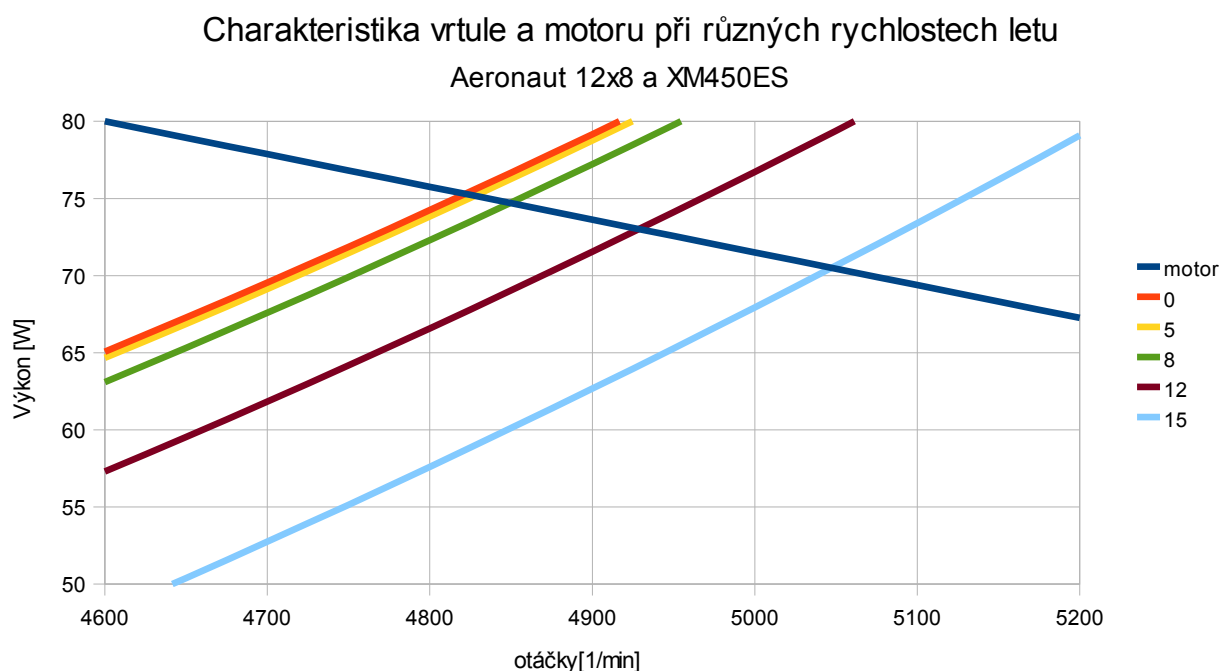
$X_0 = V/ND$ při nulovém tahu

$X = V/ND$ za letu



Statický příkon vrtule lze určit „snadno“. S $X_0 = V/ND$ při nulovém tahu“ je to horší. Tato hodnota závisí na stoupání. Kdyby se udávalo u vrtulí aerodynamické stoupání, byl by to přímo poměr mezi stoupáním a průměrem vrtule. Pokud má ale vrtule udané stoupání geometrické, bývá to aerodynamické (či efektivní) o kousek větší. Povšimněte si, že na předchozím grafu má vrtule s geometrickým $S/D = 0.7$ nulový výkon až při asi 0.95, tj. asi o 30% více, než by odpovídalo jen její geometrii. U zbývajících vrtulí je to obdobné. Tedy, pro účely tohoto příkladu bude předpokládat, že ona vrtule 12x8 má V/ND při nulovém tahu asi $8/12 * 1.3 = 0.87$.

No a dále je to jednoduché, vypočteme charakteristiky vrtule při různých rychlostech letu, například pro 5, 8, 12 a 15 m/s.



Znovu důrazně varuji před absolutní interpretací zde uvedených výsledků, jsou získané od stolu a ze 100 let starých, bohužel jediných dostupných, dat.

Přesto se některá zobecnění, zejména ve vztahu k větroňářským kategoriím, udělat dají, nejdůležitější je asi toto:

1. Čím účinnější je za letu vrtule, tím větší je její odlehčení. Povšimněte si, že vrtule s velkým stoupáním (druhý graf) má maximální účinnost při X/X_0 asi $0.85/1.2 = 0.7$. Potom by odlehčení (druhý graf) při stejných otáčkách bylo asi o 25% (při stejných otáčkách!). Pro vrtuli s malých stoupáním je odlehčení v optimálním režimu asi jen 15%. Pokud se pracovní bod vrtule pohybuje vlevo od vrcholu maximální účinnosti (což většinou bývá), bude odlehčení ještě menší. Tedy, čím větší účinnost od vrtule chceme, tím bude její odlehčení větší.
2. Bod 1. platí za předpokladu stejných otáček. Ve skutečnosti se v důsledku charakteristiky motoru bude vrtule dále roztáčet, čímž se výkon zase zvýší.

3. Záleží i na charakteristice motoru. Nízkootáčkové motory mívají charakteristiku „měkkou“, tj. více vodorovnou, vysokotáčkové motory mívají charakteristiku „tvrdší“, tj. více kolmou. U vysokootáčkového motoru bude tedy odlehčení za letu větší.
4. U některých větroňářských kategorií (třeba RCEX) je omezený příkon z akumulátorů nebo otáčky vrtule při měření na zemi. Účelem optimalizace takového pohonu je tedy také minimalizovat rozdíl mezi statickým a letovým režimem. Za jistých okolností je pro takovou soutěž výhodnější nízkootáčkový motor s vrtulí s menším stoupáním.

Tedy, toto je z mé strany k vrtulím vše. Znovu doporučuji - používejte pro návrh pohonu Motocalc nebo podobný software, který umí počítat parametry za letu. Parametry změřené na zemi jsou většinou, pokud nejsou potřeba pro ony některé soutěže, k ničemu.

Jan Kubica