

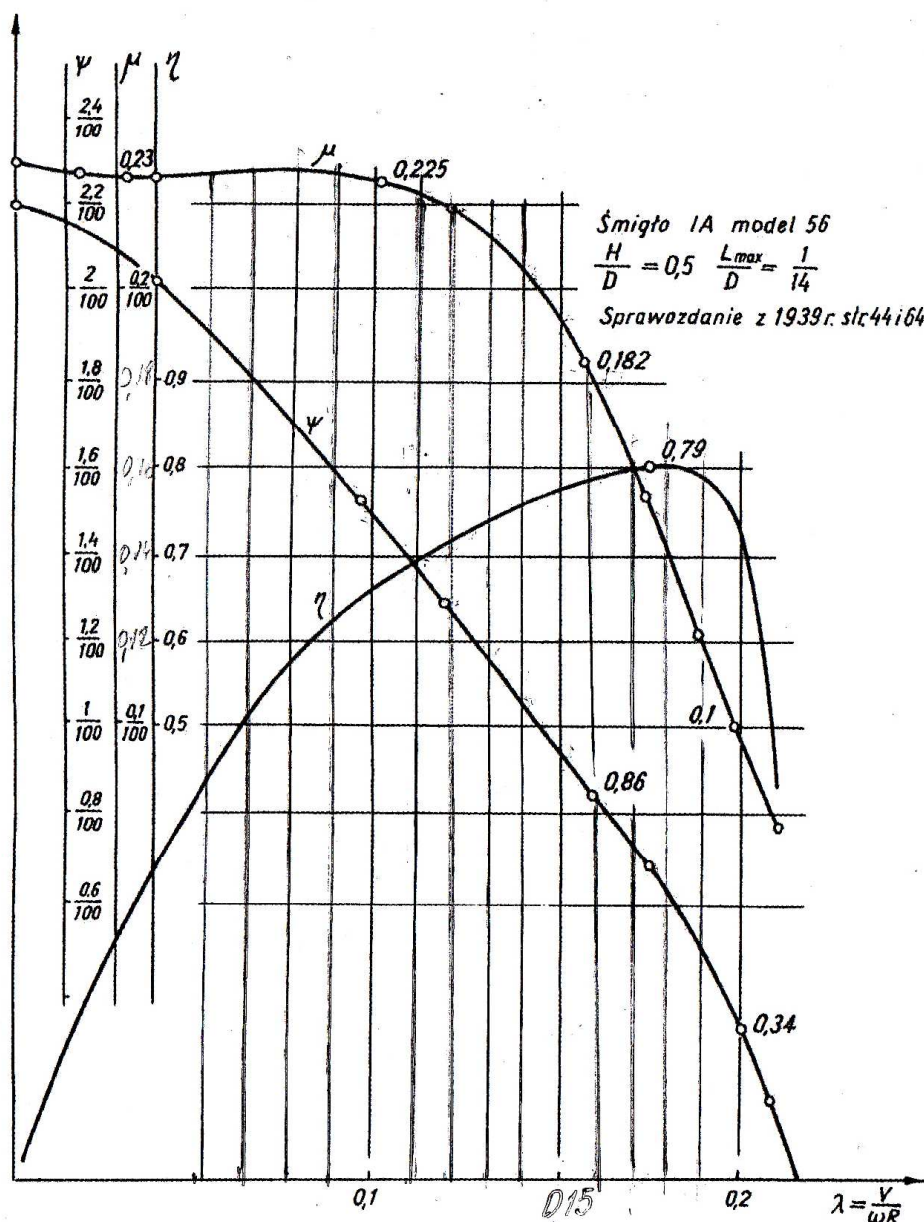
## Dobór śmigła

W artykule "Charakterystyka aerodynamiczna" omówiono sposób budowy najbliższej prawdy biegunowej samolotu sposobem opracowanym przez Profesora Tadeusza Sołtyka.

Kontynuując rozważania na przykładzie samolotu J-3 Kitten opiszę metodę doboru śmigła.

Od doboru śmigła zależy jego sprawność w locie z prędkością maksymalną, wznoszenia, czy też przy starcie. Staranne dobranie śmigła wpływa na lepsze wykorzystanie mocy silnika. Do sporządzenia obliczeń potrzebna będzie charakterystyka modelu śmigła oparta na wiarygodnych badaniach laboratoryjnych. Możemy posłużyć się badaniami Instytutu Aerodynamiki Politechniki Warszawskiej z 1939 roku.

Do małych, powolnych samolotów bardzo dobrze pasuje model M56. Ma on  $H/D=0,5$  (skok/średnicy) oraz  $l_{max}/D=1/14$  (maksymalna szerokość łopaty/średnicy). Posługując się danymi IA PW należy pamiętać, że modele były badane w tunelu o dużej turbulencji i z tego powodu wyniki są nieco zawyżone. Bezpiecznie jest liczyć na sprawność i ciąg o kilka procent mniejsze niż obliczone, co również uwzględniono w obliczeniach przedstawionych w artykule "Charakterystyka aerodynamiczna".



Rys. 23. Charakterystyki modelu śmigła IA-PW, model M56 –  $H/D = 0,5$

Charakterystyka modelu śmigła przedstawia przebieg trzech współczynników:

- a)  $\mu$  - do obliczania momentu
- b)  $\psi$  - do obliczania siły ciągu
- c)  $\eta$  - sprawność

w funkcji posuwu śmigła

$$\lambda = \frac{V}{\omega * R}$$

gdzie:

V - prędkość lotu w m/s

R = 0,5D

$$\omega = \frac{2\pi * n}{60} \text{ - prędkość obrotowa śmigła w rad/s}$$

$\rho$  - gęstość powietrza równa 1,225 kg/m<sup>3</sup> na poziomie morza. Ze wzrostem wysokości gęstość zmniejsza się.

Analizując przebieg krzywych na wykresach można zauważyć, że współczynnik momentu  $\mu$  niewiele się zmienia aż do poziomu 0,12, potem szybko zmniejsza się, a  $\psi$  siły ciągu jest największy przy ruszaniu z miejsca (V=0,  $\lambda=0$ ) i prawie równomiernie spada aby osiągnąć wartość 0 przy  $\lambda=0,22$ , zaś sprawność rośnie aż do  $\lambda=0,18$  i potem bardzo szybko spada.

Intuicyjnie możemy założyć, że dobrane śmigło powinno pracować przy posuwach nieco mniejszych niż 0,18 aby najmniej tracić na sprawności.

Kolejność postępowania będzie następująca:

1. Ustalić model śmigła - wybraliśmy M56
2. Obracć kilka najbardziej prawdopodobnych promieni śmigła R
3. Znając prędkość maksymalną i obroty śmigła obliczyć posuw  $\lambda$  dla każdego założonego wstępnie R
4. Mając  $\lambda$  dla obranych R z wykresu znaleźć  $\mu$  i  $\psi$
5. Obliczyć moment oporowy śmigła M
6. Obliczyć ciąg śmigła P
7. Wyniki nanieść na wykres M i P w funkcji R
8. Obliczyć moment obrotowy silnika i ciąg potrzebny do lotu i nanieść na wykres
9. Wyznaczyć metodą interpolacji właściwy promień śmigła.

Obliczenia przeprowadzimy dla dwóch wersji:

1. z silnikiem Rotax 277 26 KM
2. z silnikiem Global CB40 40 KM (29400W).

Pamiętamy, że wersja 1 miała  $V_{\max} = 101$  km/h (28 m/s) przy obrotach śmigła 3600 obr/min, a wersja 2 osiągała  $V_{\max} = 128$  km/h (35,6 m/s) przy obrotach 3250 obr/min. Wyniki najlepiej zamieścić w tabelach.

Obrotowe prędkości kątowne przy  $V_{\max}$  wyniosą odpowiednio.

$$\omega_1 = \frac{2\pi * n}{60} = \frac{6,28 * 3600}{60} = 377 \text{ rad / s}$$

$$\omega_2 = \frac{2\pi * n}{60} = \frac{6,28 * 3250}{60} = 340 \text{ rad / s}$$

Moment obrotowy potrzebny do obracania śmigła

$$M = \pi * \mu * \frac{\rho}{2} * R^5 * \omega^2 \text{ [Nm]}$$

$$M_1 = \pi * \mu * \frac{\rho}{2} * R^5 * \omega_1^2 = \frac{3,14 * 1,225 * 377^2}{2} * \mu * R^5 = 273350 * \mu * R^5$$

$$M_2 = \pi * \mu * \frac{\rho}{2} * R^5 * \omega_2^2 = \frac{3,14 * 1,225 * 340^2}{2} * \mu * R^5 = 222328 * \mu * R^5$$

Siła ciągu śmigła

$$P = \pi * \Psi * \frac{\rho}{2} * R^4 * \omega^2 \text{ [N]}$$

$$P_1 = \pi * \Psi * \frac{\rho}{2} * R^4 * \omega_1^2 = \frac{3,14 * 1,225 * 398^2}{2} * \Psi * R^4 = 273350 * \Psi * R^4$$

$$P_2 = \pi * \Psi * \frac{\rho}{2} * R^4 * \omega_2^2 = \frac{3,14 * 1,225 * 398^2}{2} * \Psi * R^4 = 222328 * \Psi * R^4$$

#### silnik 26KM

zakładamy R[m]	0,5	0,55	0,6	0,65
posuw $\lambda_1 = \frac{V}{\omega_1 * R} = \frac{28}{377 * R}$	0,15	0,135	0,124	0,115
z wykresu $\mu$	0,192/100	0,21/100	0,22/100	0,222/100
z wykresu $\psi$	0,95/100	1,1/100	1,18/100	1,3/100
moment $M_1 = 273350 \mu R^5$	16,4	28,9	47	70,4
ciąg $P_1 = 273350 \psi R^4$	162	275	415	634

Zauważmy, że moment oporowy śmigła rośnie w piątej potędze. Oznacza to, że śmigło pracujące przy tym samym posuwie i prędkości obrotowej o średnicy większej tylko o 15% potrzebuje aż dwa razy większego momentu do obrócenia.

#### silnik 40KM

zakładamy R[m]	0,6	0,65	0,7	0,75
posuw $\lambda_2 = \frac{V}{\omega_2 * R} = \frac{35,6}{340 * R}$	0,175	0,16	0,15	0,14
z wykresu $\mu$	0,15/100	0,18/100	0,19/100	0,204/100
z wykresu $\psi$	0,70/100	0,86/100	0,95/100	1,07/100
moment $M_2 = 222328 \mu R^5$	26	46	71	108
ciąg $P_2 = 222328 \psi R^4$	202	341	507	753

Moment obrotowy na wale przekładni

$$M_w = \frac{N_{sw}}{\omega} = \frac{0,94 * N_s}{377} \approx 47 [Nm]$$

Opór samolotu przy  $V_{max}$  wg wzoru

$$P = \frac{C_x * S * V^2 * \rho}{2}$$

$$P_{C1} = \frac{0,0785 * 11 * 28^2 * 1,225}{2} \approx 415 [N]$$

gdzie  $C_x = 0,0785$  z biegunowej.

Dobre śmigło musi spełniać dwa warunki: moment oporowy śmigła musi być równy momentowi obrotowemu na wale, a siła ciągu generowana przez śmigło równa sile oporu samolotu.

Jeżeli śmigło będzie miało za duży moment oporowy to silnik nie osiągnie obrotów maksymalnej mocy (śmigło "za ciężkie"). W przypadku gdy siła ciągu generowana przez śmigło będzie mniejsza od siły oporu samolotu (która zależy od  $C_x$  i kwadratu prędkości) to prędkość maksymalna zmniejszy się na tyle, aby te siły zostały zrównoważone.

Moment obrotowy silnika 40KM

$$M = \frac{N}{\omega} = \frac{29400}{340} = 86,5 [Nm]$$

Opór samolotu przy  $V_{max} = 35,6$  m/s

$$P_{C2} = \frac{0,068 * 11 * 35,6^2 * 1,225}{2} \approx 581 [N]$$

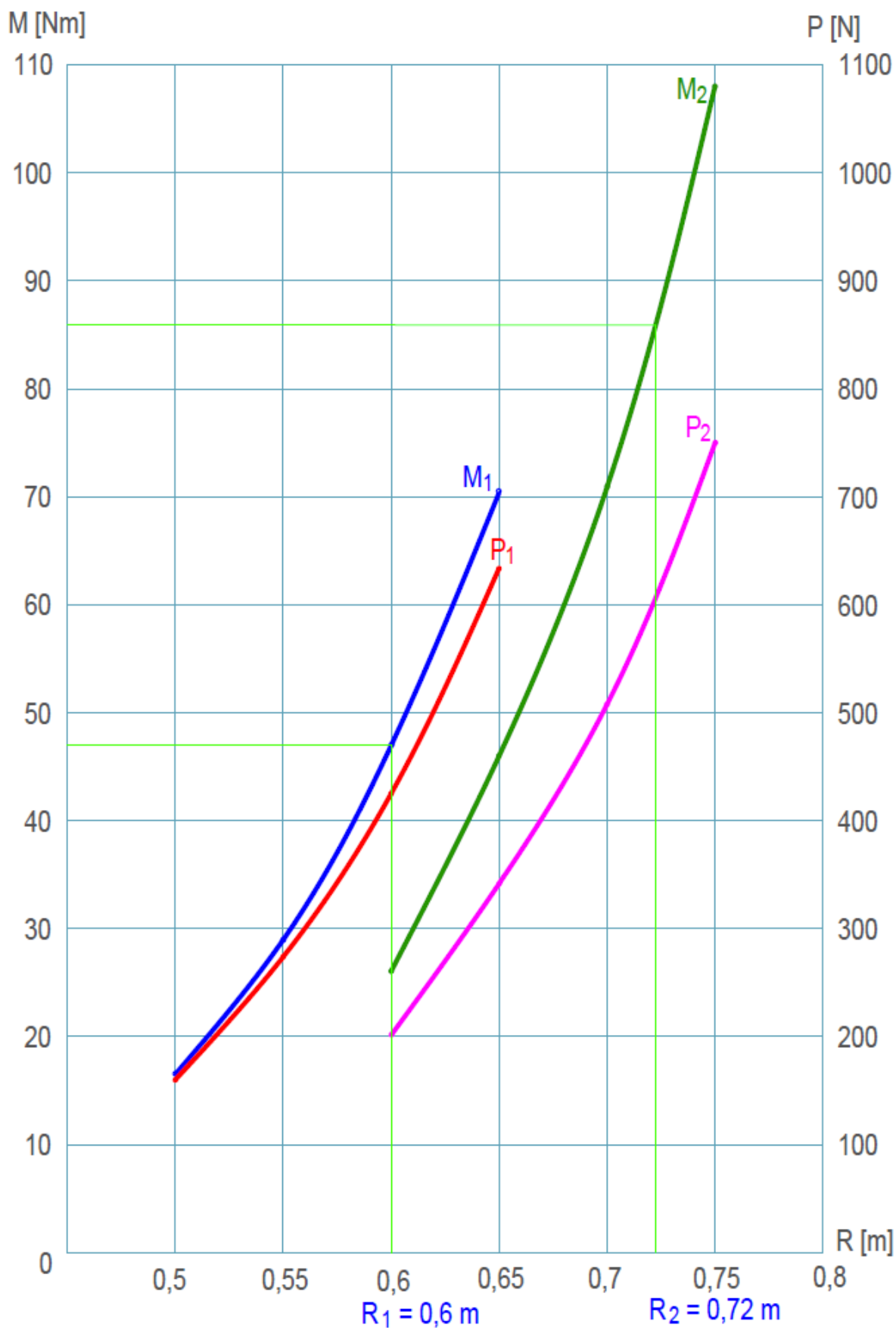
gdzie  $C_x = 0,0068$  z biegunowej.

Prędkość obwodowa śmigła

$$V_o = \omega * R = 340 * 0,72 = 245 [m/s]$$

co stanowi 72% prędkości dźwięku.

Dobre śmigło nie powinno przekraczać 0,8 prędkości dźwięku (340 m/s) aby nie było także źródłem nadmiernego hałasu.



Dobraliśmy śmigła dla silników 26 KM i 40 KM o średnicach 1,2 m i 1,44 m. W pierwszym przypadku zamontowane śmigło okazało się całkowicie zgodne z obliczeniami, a w drugim nieco za małe bo zamontowano 1,4 m, a powinno być nieco większe. Teoretyczne sprawności odczytane z charakterystyki wyniosą dla  $\lambda = 0,124$  0,72, a dla  $\lambda = 0,145$  0,77.

Wykonawcy makiet będą mieli niestety gorzej. Przyczyną jest brak danych potrzebnych do obliczeń.

Gdzie te czasy lat 60 i 70 kiedy "Modelarz" wydawany na kiepskim papierze i bez kolorów zawierał jednak dużo artykułów technicznych na wysokim poziomie. Przedstawiano charakterystyki silników, itd. Obecnie publikowane są ogłoszenia handlowe i "panegiryki" o kolorach pięknych znaków na obudowie silnika...

Przy okazji zwracam się z apelem do modelarzy warszawskich (szperaczy bibliotekowych), a szczególnie młodszych kolegów z MEiL'u PW. Moja telefoniczna próba dotarcia do innych charakterystyk modeli śmigieł badanych przez IA PW nie powiodła się. Jeżeli komuś uda się to odszukać proszę przekazać redakcji RC PM, a z pewnością zostaną udostępnione czytelnikom.

Z charakterystyk M56 można skorzystać z dużym prawdopodobieństwem małego błędu obliczeń przy zastosowaniu śmigieł o skoku H/D w zakresie od 0,45 do 0,55 i maksymalnej szerokości łopatki l/D w zakresie od 1/12 do 1/15.

W następnym artykule zajmiemy się tym co dość łatwo zmierzyć czyli (ma)ciągiem statycznym.

*Stanisław Maciąg*

Na podstawie książki Profesora T. Sołtyka "Amatorskie projektowanie samolotów"