



Odgłosy z jaskini (17) Rozrzutny odrzut

Adam Smólski

Warto czasem wpaść w pułapkę, żeby odkryć coś ciekawego. Tym razem pułapką okazało się zadanie dla „Lwiątko 2010”, które w pierwotnej wersji brzmiało:

Jaką maksymalną moc muszą łącznie posiadać, co najmniej, silniki samolotu, jeśli w czasie 30 sekund rozbiegu osiąga on prędkość 270 km/h? Masa samolotu to 200 ton.

A. 562,5 MW, B. 243 MW, C. 75 MW, D. 37,5 MW, E. 18,75 MW.

Niby proste, prawda? Autorzy (czyli niżej podpisany) kombinowali tak: moc to siła razy prędkość, maksymalna będzie przy maksymalnej prędkości, czyli na koniec rozpędzania. Dalej siła to masa razy przyspieszenie, a przyspieszenie to prędkość przez czas, tutaj zatem przyspieszenie wynosi $2,5 \text{ m/s}^2$, siła 500 kN i moc 37,5 MW.

Pułapka taka, że ślepy by zauważył, tylko nie ja, na szczęście recenzenci czuwali i zadanie na konkursie brzmiało:

Jaką co najmniej moc musi osiągać silnik samochodu wyścigowego (nie licząc mocy potrzebnej do pokonania oporu powietrza), jeśli w czasie 5 sekund rozbiegu (ze stałym przyspieszeniem) samochód uzyskuje prędkość 180 km/h? Masa samochodu to 1000 kg.

A. 1000 kW. B. 648 kW. C. 500 kW. D. 324 kW. E. 250 kW.

Z samochodem jest dobrze, z samolotem było źle. Chodzi o to, że silnik samolotu napędza nie tylko samolot, ale odpychane powietrze (napęd śmigłowy) czy też gazy wylotowe (napęd odrzutowy). Wyrażenie „nie tylko” może sugerować, że to jakiś uboczny, mniej istotny efekt. Otóż nie, raczej należałoby powiedzieć, że silnik samolotu napędza przede wszystkim gazy wylotowe. Przekonajmy się o tym prostym rachunkiem.

Niech M – masa samolotu razem z paliwem, ΔM – masa gazów wyrzucanych w czasie Δt . Niech także V – prędkość samolotu, ΔV – jej przyrost w czasie Δt , a w niech będzie prędkością wylotową gazów, liczoną względem płyty lotniska. Klasyczny wywód wzoru na siłę ciągu rakiety uwzględnia zmianę masy pojazdu w procesie odrzutu – dla samolotu nie warto tego robić, bo od-

rzucane powietrze wcześniej jest zasysane z przodu, a masa paliwa jest drobną częścią masy samolotu. Mamy więc, z zasady zachowania pędu, równanie

$$V \cdot M = (V + \Delta V) \cdot M - \Delta M \cdot w.$$

Po przekształceniu

$$M \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta M}{\Delta t} \cdot w.$$

Lewa strona to masa razy przyspieszenie, czyli siła ciągu, działająca na samolot. Mnożąc ją przez V otrzymamy moc przyspieszania samolotu – można by ją nazwać mocą efektywną silników:

$$P_{\text{ef}} = \frac{\Delta M}{\Delta t} \cdot w \cdot V.$$

Natomiast moc unoszona przez odrzucane gazy, to

$$P_{\text{gaz}} = \Delta M \cdot \frac{w^2}{2}.$$

Dzieląc jedno przez drugie otrzymujemy

$$\frac{P_{\text{ef}}}{P_{\text{gaz}}} = \frac{2V}{w}.$$

Prędkość wylotowa gazów jest zapewne rzędu 1000 m/s (nie znalazłem danych na temat odrzutowców, dla rakiet jest to 2000–3000 m/s, por. <http://www.astronautix.com/props/index.htm>). Przy V rzędu 100 m/s daje to, jak widzimy, nikłą „mechaniczną sprawność” (nie mylić z termodynamiczną) silnika. Gdy oceniać od strony energetycznej, silnik głównie napędza gazy, a samolot niejako przy okazji.