

Bestemmelse af en raketmotors udstødningsfart

Steen Eiler Jørgensen

August 2021

I raketligningen indgår raketmotorens *effektive* udstødningsfart, u . Den kan nemt bestemmes ved at udmåle en thrustkurve for motoren, dvs. måle motorens kraft som funktion af tiden, se fig. 1. Har man foretaget målingen elektronisk, kan man i sit dataopsamlingsprogram integrere kurven op og dermed få den totale impuls,

$$I_{tot} = \int_0^{t_b} F(t) dt \quad (1)$$

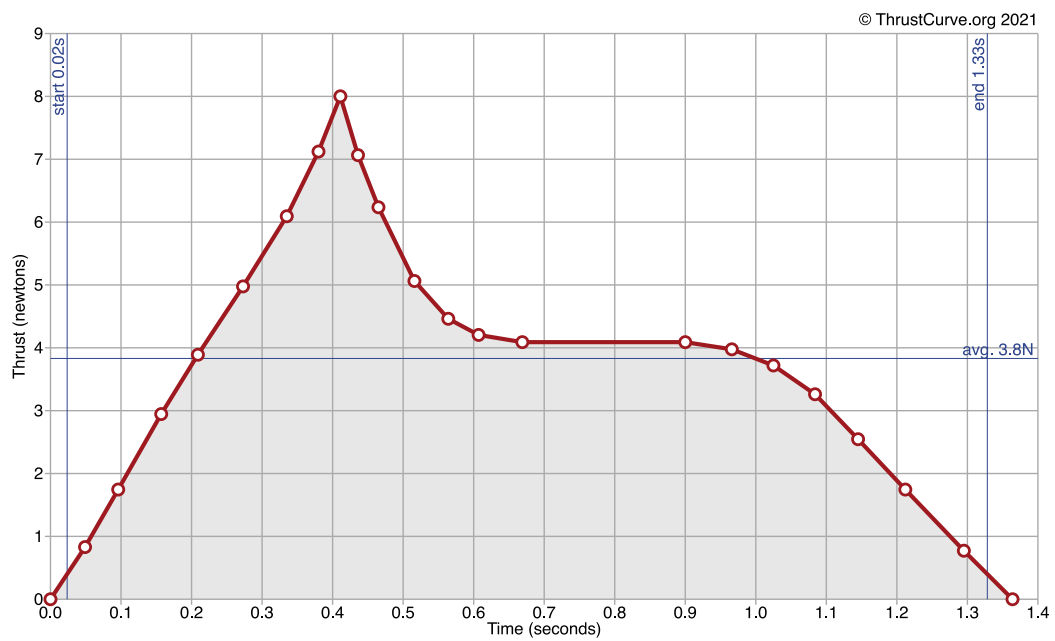
hvor t_b er motorens brændtid. For at finde den effektive udstødningsfart u skal vi dividere totalimpulsen med brændstofmassen, altså massen af drivmidlet. Er der tale om en modelraketmotor med forsinkelsesladning og faldskærmsudløsning skal vi huske ikke at tage disse to med – det er kun drivmidlets masse m_b , der skal divideres med:

$$u = \frac{I_{tot}}{m_b} \quad (2)$$

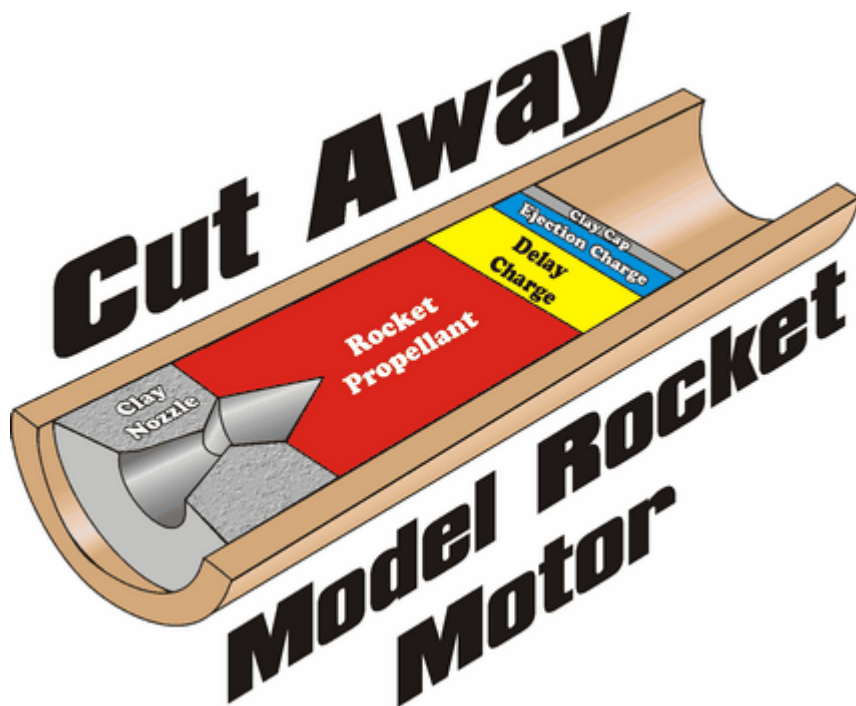
Motorproducenten skal udenpå pakken specificere Netto Eksplosiv Mængde NEM (på engelsk Net Explosive Quantity NEQ), og massen af forsinkelsesladningen og faldskærmsudløsningen skal *formodentlig* regnes med her – dette tal kan altså ikke umiddelbart anvendes.

Generelt har websitet www.thrustcurve.org gode data for alle kendte modelraketmotorer, f.eks. findes data for Klima B4-4 motoren på <https://www.thrustcurve.org/motors/Klima/B4/>, og her kan man se, at B4-4 motoren har en totalimpuls på 5.0 N·s og indeholder 5 g brændstof. Nu kan vi beregne udstødningsfarten:

$$u = \frac{I_{tot}}{m_b} = \frac{5 \text{ N} \cdot \text{s}}{0,005 \text{ kg}} = 1000 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (3)$$



Figur 1: Thrustkurve for Klima B4-4 motor fra thrustcurve.org. Thrustkurven viser motorens kraft som funktion af tiden. Ved at integrere thrustkurven fås den totale impuls I_{tot} , det grå område under grafen.



Figur 2: Modelraketmotor med dyse (grå), drivmiddel (rød), forsinkelse (gul), faldskærmsudløsning (blå) og prop (grå). Motorer, der ender på -P eller -0 har hverken forsinkelse eller faldskærmsudløsning, og motor, der ender på -0 har heller ingen prop.

Det er denne fart, man skal indsætte i raketligningen, når man kender raketens startmasse, for at finde den resulterende fartændring.

Har man selv målt totalimpulsen, er det selvfølgelig den, man sætter ind i ligning 3 for at finde udstødningsfarten.

I stedet for at slå brændstofmassen op på thrustcurve.org kan man også vælge at teste en motor, der ender på -0 eller -P, se figur 2. Tallet efter bindestregen angiver forsinkelsen mellem "burnout" og faldskærmsudløsningen; med en B4-4 går der f.eks. fire sekunder fra burnout til faldskærmen kommer ud. En -0 motor har hverken forsinkelse eller udløserladning, men er beregnet som førstetrin i en flertrinsraket, hvorfor den er åben i enden, så de varme udstødningsgasser kan antænde næste trin. En -P motor indeholder heller ikke andet end drivmidlet, men er lukket opadtil.