

Waterweerstand

Wrijvingskracht

Een voorwerp in een gas- of vloeistofstroom ondervindt een kracht F_w van het stromende medium. Voor een voorwerp in de vorm van een bol wordt deze kracht, afhankelijk van de omstandigheden (zie hieronder bij *Reynoldsgetal*), gegeven door een van de volgende twee formules:

$$F_w = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$$

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

In deze formules is F_w de kracht (in N) van het stromende medium op het voorwerp, η de dynamische viscositeit (in kg/ms of Pas) en ρ de dichtheid (in kg/m³) van het stromende medium, c_w de weerstandscoefficiënt (zonder eenheid), r de straal (in m) en A het frontaal oppervlak (in m²) van het voorwerp (het oppervlak van de dwarsdoorsnede van het voorwerp, loodrecht op de richting van de stroomsnelheid) en v de stroomsnelheid (in m/s).

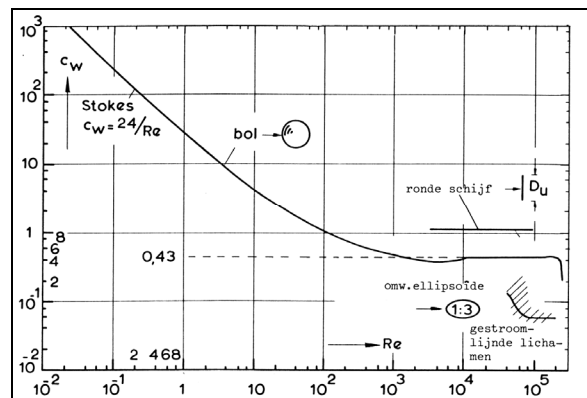
Reynoldsgetal – Welke van deze twee wrijvingskrachtformules van toepassing is, hangt af van het zogenaamde *Reynoldsgetal* Re . Dit Reynoldsgetal wordt gegeven door:

$$Re = v \cdot L_k \cdot \rho / \eta$$

In deze formule is Re het Reynoldsgetal (zonder eenheid), v de stroomsnelheid (in m/s), L_k de karakteristieke afmeting (in m) van het voorwerp, ρ de dichtheid (in kg/m³) en η de dynamische viscositeit (in kg/ms of Pas) van het stromende medium.

De eerste wrijvingskrachtformule geldt bij een Reynoldsgetal $Re < 1$. Meestal is dat het geval bij een zeer kleine snelheid v en/of een zeer viskeus (stroperig) medium met een grote waarde van de dynamische viscositeit η . De tweede wrijvingskrachtformule geldt bij grotere waarden van het Reynoldsgetal: $10^3 < Re < 10^5$.

Weerstandscoefficiënt – De weerstandscoefficiënt c_w in de tweede wrijvingskrachtformule is in het aangegeven gebied van het Reynoldsgetal ($10^3 < Re < 10^5$) vrijwel constant, zoals zichtbaar in het diagram van figuur 1.



Figuur 1 – De weerstandscoefficiënt c_w van een bol en enkele anders gevormde voorwerpen als functie van het Reynoldsgetal Re .

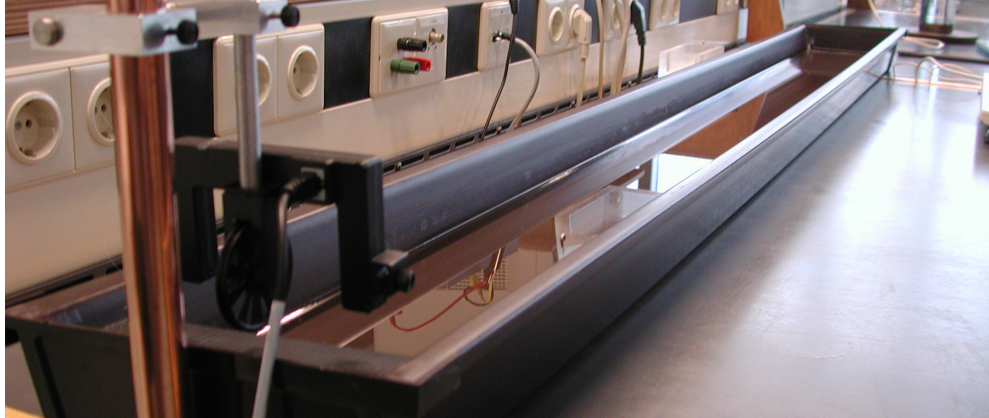
Bron: Beek, W.J. (1968), *Fysische transportverschijnselen I*. Delft: VSSD.

In het geval van een constante c_w -waarde is sprake van een kwadratisch evenredig verband tussen de wrijvingskracht F_w van het stromende medium op het voorwerp en de stroomsnelheid v . Daarbij hangt de weerstandscoefficiënt c_w af van de *vorm* van het voorwerp. In het diagram van figuur 1 zijn enkele karakteristieke c_w -waarden voor verschillend gevormde voorwerpen aangegeven.

Modelvaartuigen

Met behulp van de metingen aan modelvaartuigen in een sleeptank is na te gaan of de meetresultaten in overeenstemming zijn met de hierboven weergegeven theorie van

stromingsverschijnselen. Daarbij gaat het om het verband tussen de waterwrijvingskracht F_w op en de snelheid v van de modelvaartuigen, en om de waarde van de weerstandscoefficiënt c_w van de modelvaartuigen.



Figuur 2 – Modelvaartuig in een sleeptank. Uit de meetresultaten is af te leiden hoe de waterwrijvingskracht F_w afhangt van de vaarsnelheid v en hoe groot de c_w -waarde van het modelvaartuig is.

Snelheidsafhankelijke wrijvingskracht – Het karakter van het verband tussen F_w en v wordt bepaald door de grootte-orde van het Reynoldsgetal: $Re = v \cdot L_k \cdot \rho / \eta$. De dichtheid ρ en de dynamische viscositeit η van het stromende medium (water) zijn te vinden in BINAS. Van de karakteristieke afmeting L_k en de snelheid v van het modelvaartuig zijn alleen maar schattingen te maken op grond van de uitgevoerde metingen. Wat betreft de karakteristieke afmeting L_k moet daarbij worden gedacht aan de grootte-orde van de breedte en diepgang van het modelvaartuig. De zo gevonden waarde van het Reynoldsgetal Re bepaalt welke van de twee wrijvingskrachtformules in dit geval van toepassing is volgens de theorie van stromingsverschijnselen.

Weerstandscoefficiënt – Uit de uitgevoerde metingen is de waarde van de weerstandscoefficiënt c_w van de modelvaartuigen te bepalen. Met behulp van het diagram van figuur 1 is de grootte-orde van deze c_w -waarde te controleren. Daarbij kan worden gedacht aan een vergelijking met een dwars op de stromingsrichting geplaatste ronde schijf – dat lijkt (waarschijnlijk) het meest op de boegvorm van de modelvaartuigen.