

Tentamen weerstand en voortstuwing

Vakcode: MT527

Datum: 24 Jan. 2008

Tijd:

Plaats:

Opmerkingen

1. Noteer uw studienummer en naam op elk blaadje dat u inlevert.
2. Dit tentamen is gesloten boek! Geen aantekeningen of formulebladen toegestaan.
3. Beargumenteer uw rekenantwoorden: zeg even kort wat u gaat doen, en waarom.
4. Let op uw eenheden!
5. Er zijn in het totaal 4 vragen

Het maximaal te behalen aantal punten per deelvraag staat aan het eind van de vraag tussen haakjes aangegeven.

Gegeven fysische parameters en omgevingsparameters:

Temperatuur water sleeptank: $T_s = 15^{\circ}C$

Temperatuur zeewater: $T_z = 10^{\circ}C$

Soortelijke massa water sleeptank: $\rho_s = 1000 \frac{kg}{m^3}$

Soortelijke massa zeewater: $\rho_z = 1025 \frac{kg}{m^3}$

Versnelling van de zwaartekracht: $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

1 Mijl = 1852 m

1 knoop = $1 \frac{mijl}{uur}$

Bijlagen: 2 maal diagram met open water karakteristiek B4.70 propeller

Sterkte toegewenst

Vraag 1:

Nota Bene: De tekst naast de Figuren in deze vraag geeft slechts achtergrond informatie en is niet noodzakelijk voor de beantwoording van de vragen

U verplaatst zich zo'n 250 jaar in het verleden waar u benoemt bent tot assistent van de heer Pieter van Zwijndrecht, scheepsbouwer te Rotterdam. Pieter van Zwijndrecht is in een dispuut verwickeld met de admiraliteit over de meest optimale rompvorm van een nieuw te bouwen fregat. Hiertoe beproeft hij drie verschillende ondiepe vormen, no 1 t/m 3, met een niet veranderende waterlijnform in de diepte.

Drie waterlijnvormen die door Van Zwijndrecht werden geslept. De twee bovenste testte hij ook met de achterkant naar voren. De resultaten waren voor de bovenste vorm, die het breedste punt op een kwart van de lengte had: met A naar voren 70 seconden, met B naar voren 50 seconden. De tweede vorm, die zijn grootste breedte had op eenderde: met A naar voren 63 seconden en met B naar voren 53 seconden. De derde vorm had zijn grootste breedte in het midden en scoorde 56 seconden. Uit: *De Grote Nederlandsche Scheepsbouw op een Proportionale Reegel Voor Gestelt.*

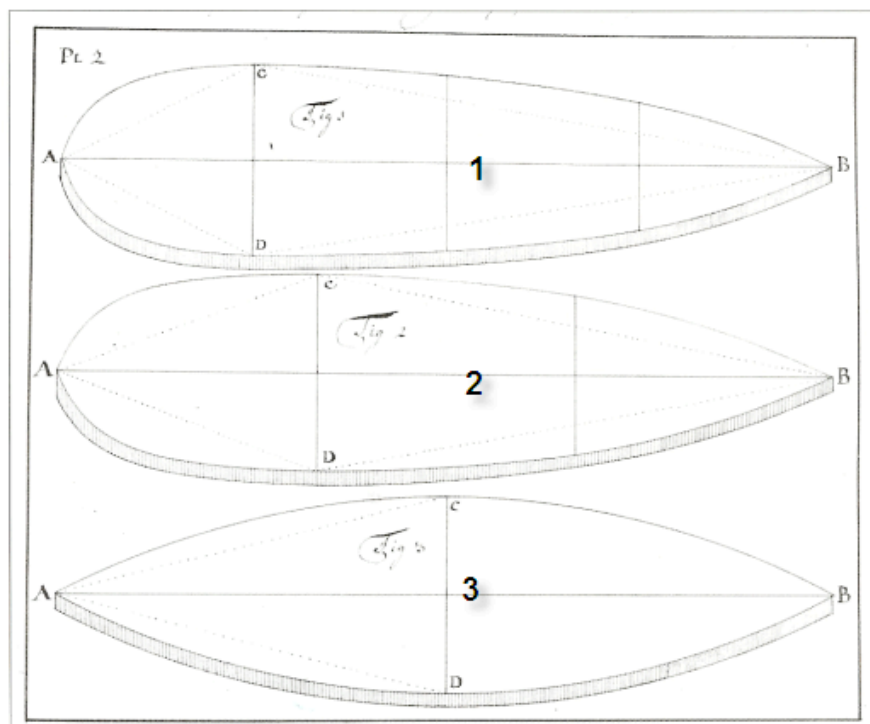
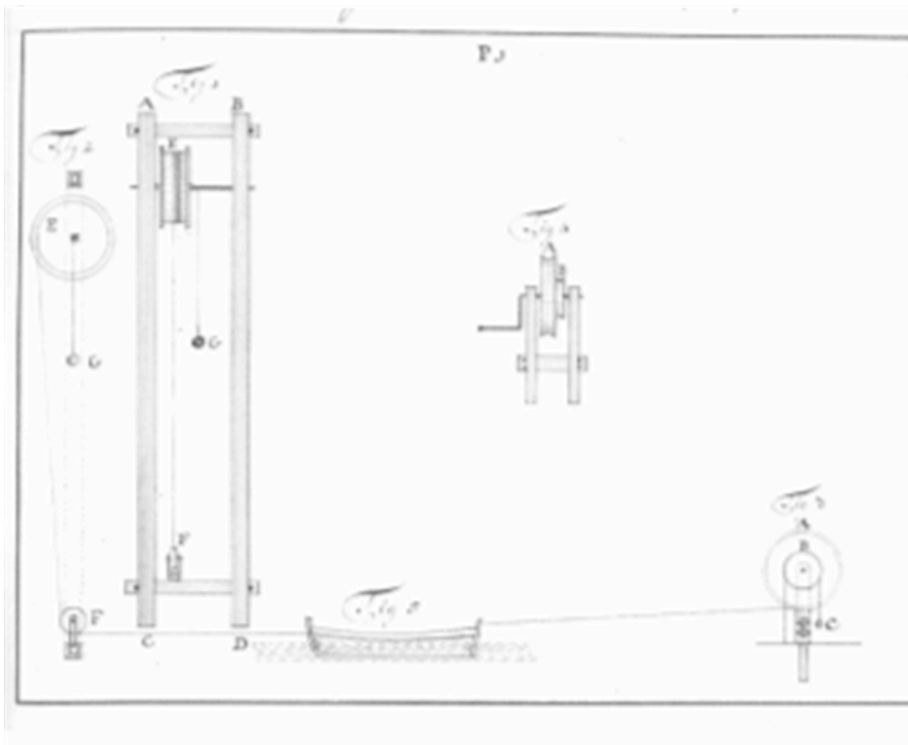


Figure 1 Drie waterlijnvormen die rond 1757 door Pieter van Zwijndrecht in de buurt van Rotterdam zijn geslept¹

Het werkelijk te bouwen schip heeft een lengte over alles van 40 m en een waterlijn lengte van 36 m.. De verwachte maximale snelheid van het schip bedraagt 7 kn. V. Zwijndrecht wil de modellen met een snelheid van 1 m/s door het water trekken en de maximale waterlijn lengte van het model mag tussen de 1 m en de 12 m bedragen. Van Zijndrecht stelt voor om hiervoor modellen met een waterlijn lengte van 1.80 m te kiezen. Voor alle modellenlengtes kan een maximale modelsnelheid van 1 m/s volgehouden worden.

¹ Hoving, A.J. en Lemmers, A.A.; "In tekening gebracht – De achttiende-eeuwse scheepsbouwer en hun ontwerpmethoden", De Bataafsche Leeuw, Amsterdam, 2001, ISBN 90 6707 541 8



Pieter van Zwijndrecht voerde kennelijk al voor 1757 een vorm van sleepproeven uit. Hij gebruikte een stuk water van 168 voet lang en planken van 6 voet, die hij zaagde in de vorm van waterlijnen. Zo kreeg hij inzicht in de weerstand die verschillende vormen ondervinden als zij door het water worden gesleept. Het slepen gebeurde door middel van een gewicht om de uitgeoefende trekkracht bij elke proef gelijk te laten zijn. De tijd werd gemeten door het aantal slingeringen te tellen van een gewicht aan een touw (G). Elke slingering noemde Van Zwijndrecht een 'seconde'.
 Uit: *De Grote Nederlandsche Scheepsbouw op een Proportionale Reegel Voor Gestelt.*

Figure 2 Modelproef opstelling zoals door van Zwijndrecht destijds is gebruikt.¹

Wat zou u, met de wetenschap die u nu heeft opgedaan, van Zwijndrecht adviseren bij de volgende vier vragen:

- a. Welke modelschaal en welke modelsnelheid zou u hem adviseren. Leg uit waarom (3)
Kies een max. modelsnelheid om een zo hoog mogelijk R_n getal te halen, en dus zo weinig mogelijk last van schaalears effecten te hebben. De max. modelsnelheid bedraagt 1 m/s. Het $F_n=0.19$. Hieruit volgt een WL lengte van 2.78 m
- b. Zijn er schaalwetten waar u niet aan kunt voldoen? (2)
Als we eisen dat aan gelijkvormigheid de zwaartekracht en massa traagheidskrachten voldaan wordt, dan kan niet tegelijkertijd voldaan worden aan R_n . op modelschaal (alleen als schaalfactor $\lambda=1$, maar dan is het geen model meer.
- c. Hoe kunt u het onder b beschreven probleem oplossen? (2)
Door te accepteren dat wrijvingskrachten niet goed schalen. Hiertoe wordt de vlakke plaat wrijvingslijn eerst bepaald (bijv. ITTC 57). Dan wordt op basis van het juiste R_n getal, de plaatwrijvingscoëfficiënt bepaald. Hierop kan nog het vormeffect verrekend worden m.b.v. een vormfactor $1+k$. Zo kan dan de restweerstandcoëfficiënt op modelschaal bepaald worden wanneer de wrijvingsweerstand, het nat oppervlak en de totale modelweerstand bekend zijn. Bij F_n schaling blijft de restweerstandcoëfficiënt schaalafhankelijk. Zo kan dan op ware grootte weer de wrijvingsweerstandskomponent gevonden worden a.d. hand van de plaatwrijvingslijn. en wordt daarmee de totale weerstand gevonden.

Van Zwijndrecht heeft destijds een waterlijn lengte van 1.80 m gekozen. Van de waterlijn vormen in Figuur 1 doet waterlijn vorm 1 ca. 50 s over het traject van 51 m, waterlijn vorm no 2 doet er 53 s over, en vorm 3 doet er 56 s over. De waterlijn vormen verschillen vooral in de lengtepositie van de maximale breedte (respectievelijk $1/4 L$ van achteren, $1/3 L$ van achteren en $1/2 L$ van achteren)

- d. Geef een analyse van de oorzaak van de snelheidsverschillen en beargumenteer of dit wel of niet representatief is voor het schip (3)

Een meer voorlijke ligging van het LCF of LCB levert een hogere golfmakende weerstand. Het gevaar op loslating wordt hierdoor echter kleiner, waardoor mogelijk de visceuze weerstand positief beïnvloed wordt bij een iets voorlijker ligging van LCF. Bij hogere snelheden, zal je dus het LCF iets verder naar achteren leggen dan bij lagere snelheden, waarbij de visceuze weerstand relatief belangrijker wordt. Omdat v. Zwijndrecht bij een iets te hoog F_n getal heeft getest ($F_n = 0.24$ terwijl het 0.19 had moeten zijn), zal het verschil in weerstand hier vermoedelijk iets groter zijn dan het op ware grootte zou zijn.

Vraag 2

Gegeven is het schroefdiagram van een B4.70 schroefserie.

Een visserijsschip heeft vrijvarend de volgende weerstandskarakteristiek:

$$R = cV^2 \text{ met } c = 764 \frac{Ns^2}{m^2} . \text{ Tijdens visserijbedrijf houdt de weerstand dezelfde vorm, maar wijzigt}$$

de coëfficiënt c in $c = 923 \frac{Ns^2}{m^2}$. Bovendien wordt op het schip meegeleverd een regelsysteem zodanig het schip een constante voorspanning op het vistuig houdt van 20 kN.

Uit het lijnenplan volgt dat de propeller diameter maximaal 1.80 m kan bedragen. Hierbij is de minimaal verantwoorde vrijslag aangehouden. De beoogde motor kan 700 kW aan de schroef leveren. Verder geven berekeningen de volgende informatie

zoggetal $t=0.12$

volgstroomgetal $w=0.27$

relative rotative efficiency $\eta_R = 1$

- a) Wat is de optimale diameter van de schroef in vrijvarende conditie voor een scheepssnelheid van 12 kn? Waarom kiest u deze diameter? (2 ptn)

De optimale diameter is gelijk aan de max. diameter. Uit de actuator disk theorie volgt dat het max. rendement bereikt wordt bij de lichtste belasting.

- b) Wat is het toerental bij het maximaal haalbare rendement? (3 ptn)

$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{c}{\rho(1-t)(1-w)^2 D^2} = 0.491 \text{ en is snelheids-onafhankelijk. De scheeps vraag naar}$$

stuwkracht $K_T = 0.491 J^2$ en de propeller capability volgt uit het B4-70 diagram. Het maximale rendement bedraagt 0.61 bij een spoedverhouding $P/D=1$. Het bijbehorende werkpunt is $J=0.645$. Het toerental bedraagt 233 rpm (3.88 Hz).

- c) Welke maximale snelheid zal het schip vrijvarend kunnen halen? (2 ptn)

De maximale snelheid wordt verkregen uit het beschikbare vermogen ($P_D = 700 \text{ kW}$ aan de schroef), en het gevonden open water rendement en de hull efficiency.

$$P_D = \frac{RV}{\eta_0 \eta_h \eta_r} = \frac{cV^3}{\eta_0 \eta_h \eta_r} = 700 \text{ kW}$$

waarbij $\eta_h = \frac{1-t}{1-w}$. De enige onbekende is nu V , die dus eenvoudig opgelost kan worden.
 $V=17.04 \text{ kn}$.

- d) Bereken of de onder a geselecteerde schroef ook de beste is voor visserijbedrijf. Hierbij is de max. scheepssnelheid 4.3 knopen. Ondersteun uw antwoord met een enkele berekening. (2 ptn)
Bij visserij bedrijf wordt de weerstand hoger, en dus de scheepsvraag naar stuwkracht.
 $\frac{K_T}{J^2} = 3.22$. Hierdoor schuift het punt van optimale efficiency naar een lagere spoedstand P/D , en is de onder c gekozen schroef dus niet meer de optimale voor visserijbedrijf.
- e) Welke maatregelen kunt u bedenken om het voortstuwer rendement te vergroten tijdens het visserijbedrijf? (1 pt)
Rendements verhogende maatregelen zijn een straalbuis om de schroef, zodat de schroefbelasting zelf lichter wordt omdat de straalbuis een deel van de stuwkracht levert. Ook kan een verstelbare spoedschroef aangepast worden zodat voor elke bedrijfstoestand de optimale spoedverhouding gekozen kan worden.

Vraag 3

Uit de actuator disk theorie blijkt een aantal parameters en fysische verschijnselen die van invloed zijn op het rendement.

- a) Bespreek drie componenten of fysische verschijnselen die van invloed zijn op het rendement van de actuator disk; het zgn. "ideaal rendement η_i " (2 ptn)
Het ideaal rendement wordt gegeven door:

$$\eta_i = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \tau C_T}}, \text{ waarbij } \tau = \frac{T_P}{T} \text{ en } C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho V^2 A_P}$$
Drie componenten die dus van invloed zijn op het ideaal rendement zijn de stuwkracht T , de snelheid V en het oppervlak van de schroefschijf A_P .
- b) Om een maximaal rendement te verkrijgen, moeten deze componenten worden geoptimaliseerd, Hoe moeten deze componenten worden gevarieerd opdat een maximale rendement wordt behaald. (2 ptn)
 C_T moet zo klein mogelijk zijn, dus T zo klein mogelijk, V , zo groot mogelijk en A_P eveneens zo groot mogelijk. Men zou ook vol kunnen houden dat τ klein mogelijk zou moeten zijn. Dit betekent echter een grote belasting op de straalbuis. Deze is echter eindig, daar de straalbuis op een gegeven ogenblik gaat overtrekken en zijn rendement verliest.
- c) Welke energieverliezen zijn inbegrepen in het ideaal rendement. Kunt u uitleggen waarom een eventuele rotatie in het zog van de propeller tot een verliesterm leidt in het ideaal rendement? (3 ptn)
In het ideaal rendement is alleen het axiale kinetische energie verlies inbegrepen. Een rotatie in het zog levert kinetische energie en impuls in rotatie richting. Deze rotatie impuls (of meer precies, het reactiekoppel dat de stroming uitoefent op de schroef) levert een koppel op de actuator (of propeller) en komt dus niet ten goede aan de stuwkracht. Dit kan men dus als verlies beschouwen.
- d) Teken in het bijgevoegde B-serie diagram de lijn voor het ideaal rendement voor de $P/D=1.4$ schroef. Waar treedt de grootste afwijking op tussen ideaal rendement en open water rendement? Wat is hiervan de reden? (3 ptn)

We kunnen C_T herleiden tot

$C_T = \frac{8 K_T}{\pi J^2}$. Daarmee kunnen we η_i uitdrukken in K_T en J , en kunnen we haar dus in het

open water diagram plotten voor een gegeven propeller, waarvan we voor elke J , de K_T waarde kunnen aflezen. De grootste afwijking tussen ideaal rendement en open water rendement treedt op bij de lichtste belasting (waarbij $K_T = 0$). Hier gaat het ideaal rendement naar 1 (geen wrijvingskoppel en geïnduceerd koppel, maar ook geen stuwkracht, terwijl het open water rendement negatief wordt (wel wrijvingskoppel)).

Vraag 4

Het visserijschip blijkt bij visserijbedrijf veel last te hebben van trillingen in het achterschip. Bovendien blijkt bij een eerste dokbeurt, dat het schroefmateriaal sterk verruwd is op ongeveer 80% van de straal tussen 50 en 70% van de koorde lengte.

- a. U wordt gevraagd om een plan van aanpak op te stellen. Hoe ziet uw voorstel voor een analyse van het probleem eruit. U wordt in de gelegenheid gesteld om hierbij modelproeven in ofwel een sleeptank ofwel in een cavitatie tunnel te doen (3)

Bij trillingen en schade op het schroefblad denken we in eerste instantie aan een cavitatie probleem. Hiertoe moeten we proeven in de Cav Tunnel doen. We hebben echter wel de bedrijfstoestand van de schroef nodig in termen van K_t of C_t . Die kunnen we uit ware grootte metingen halen.

- b. De reder is skeptisch over de te maken kosten. Hoe kunt u deze kosten in het kort verdedigen? Doe dit door eerst uw hypothese te geven over het verwachte probleem, gevolgd door een toelichting van het actieplan (5)

De diagnose van het probleem is een dynamische en geïsoleerde vliescavitatie rond $r=0.80$. De negatieve effecten van cavitatie laten zich nog niet betrouwbaar uitrekenen in detail. Om te kijken welke vorm van cavitatie tot deze problemen kan leiden, zijn modelproeven zeer aan te raden. Uit de modelproeven moet dus blijken welke vorm van cavitatie mogelijk verantwoordelijk is voor de schade. Deze proeven moeten echter wel in het juiste volgstroomveld uitgevoerd worden, waardoor er een model voor de propeller aanwezig moet zijn. Het schroefontwerp kan dan aangepast worden, zodat de geïsoleerde vorm van cavitatie verdwijnt, en de vliescavitatie via de tipwervel afgevoerd kan worden.