

Tentamen weerstand en voortstuwing

Vakcode: mt527

Datum: 18 Jan 2010

Tijd: 14.00 u

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 antwoorden: Bij berekeningen, zeg even kort wat u gaat doen, en waarom.
4. Let op uw eenheden!
5. Er zijn in het totaal 3 hoofd vragen en voor elke subvraag kunt u het aangegeven (tussen haalkjes) aantal punten behalen.

Gegeven fysische parameters en omgevingsparameters:

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

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

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

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

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

Dampdruk bij $15 \text{ }^\circ\text{C}$: $p_v = 1706 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Dampdruk bij $10 \text{ }^\circ\text{C}$: $p_v = 1226 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Kinematische viscositeit sleeptank water bij $T=15 \text{ }^\circ\text{C}$: $\nu_{fw} = 1.139 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

Kinematische viscositeit zeewater bij $T=10 \text{ }^\circ\text{C}$: $\nu_{sw} = 1.354 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

1Mijl = 1852 m

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

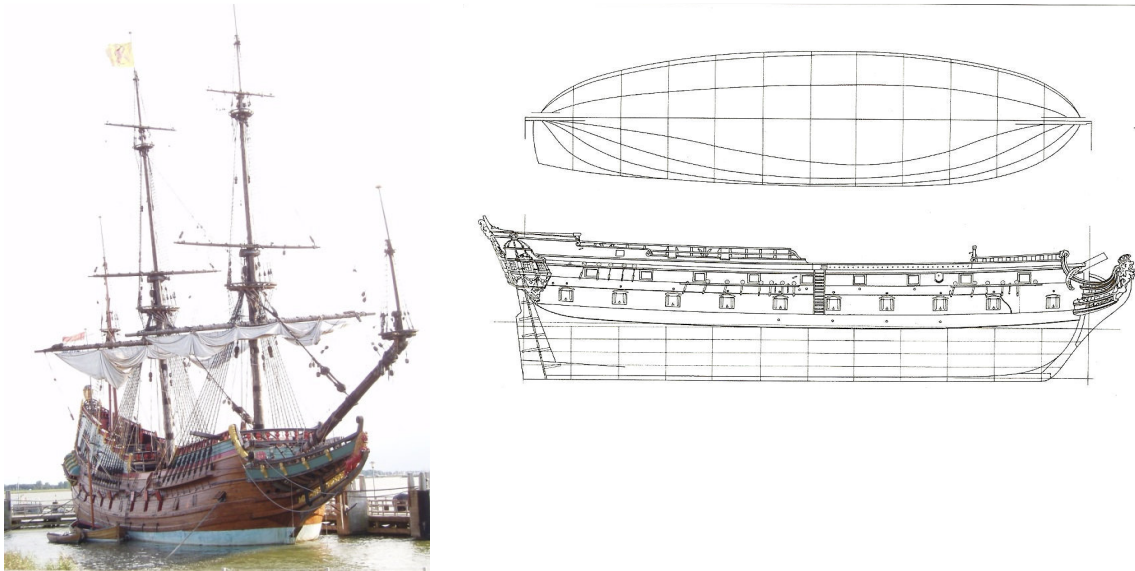
Bijlagen: 2 maal diagram met open water karakteristiek B4.70 propeller

Ik wens u veel succes bij dit tentamen,

prof. Tom van Terwisga

Vraag 1

De Batavia is een van de bekendste VOC schepen, waarvan een replica te bewonderen is op de Batavia werf in Lelystad. De originele Batavia is tussen 1627 en 1628 op de Peperwerf in Amsterdam gebouwd en op haar eerste reis naar Indonesia voor de Australische westkust gezonken.



Figuur 1 Foto van het VOC schip Batavia afgemeerd bij de Batavia werf in Lelystad. Rechts een langsaanzicht en vormplan van een 18^e eeuwse zeilschip, waarvan we het waterlijnenplan hier representatief veronderstellen voor de Batavia¹

Verplaats u in de schoenen van de oude werfbaas, anno 1626. De VOC wil graag een snel schip laten bouwen en vraagt u of u een idee heeft hoe u de weerstand hiervan kunt bepalen. Omdat dit geen eenvoudige opgave was in die dagen, probeert u door een analyse van het probleem hier een antwoord op te vinden. Dit tentamen beoogt u te helpen bij die analyse fase door u een aantal deelproblemen voor te leggen:

- Welke fysica gerelateerde weerstandscomponenten kunt u noemen die een kracht uitoefenen via de druk (of normaalspanning) op de romp? (2 ptn)
- Uit welke van de bovengenoemde componenten is de restweerstand opgebouwd? (1 pt)
- Zo'n twee eeuwen later beweert een Engelsman dat de snelheid van het schip geschat kan worden aan de hand van het aantal gemeten golflengtes langs de romp van het transversale golfsysteem. Bent u hiermee eens, en hoe ziet dan de relatie eruit waarmee u de snelheid van het schip kunt bepalen? (2 ptn)
- De waterlijn lengte op ontwerpdiepgang bedraagt 50.4 m. U ziet bij een ruim windse koers tijdens de proeftocht dat er zo'n 4 golflengtes langs de waterlijn lopen. Om uw bewering onder b te staven, rekent u uit welke snelheid het schip loopt in knopen. (1 pt)

¹ Pas in de 18e eeuw begon men te bouwen aan de hand van lijnenplannen. In de 17^e eeuw werden de schepen gebouwd op basis van vuistregels, die i.h.a. een acceptabel standaard schip opleverde: Voor speciale wensen gebruikte de scheepsbouwer zijn inzicht en ervaring om het "standaard"schip aan te passen. (uit Hoving, A.J. en Lemmers, A.A. "In tekening gebracht – De achttiende eeuwse scheepsbouwers en hun ontwerpmethoden", De Bataafsche Leeuw, Amsterdam, 2001, ISBN 9067075418)

Enkele jaren voordat u de vraag over de weerstand van het schip gesteld krijgt, is er een uitvinding gedaan om de totale weerstandskracht van een scheepsmodel te meten, voor een willekeurige snelheid van het model. Deze snelheid kan eveneens gemeten worden.

U besluit een scheepsmodel met een schaalfactor $\lambda=6$ te maken, en vraagt zich vervolgens af welk snelheidsgebied op modelschaal u moet beproeven.

- e. Welke schaalwetten past u toe voor de uitvoering van zinvolle modelproeven? (2 ptn)
- f. Welke schaalwetten past u vervolgens toe voor de bepaling van de modelsnelheid, gegeven een vraag naar de maximale snelheid van de ware grootte Batavia. Deze ligt volgens eerste schattingen in de buurt van de 9 kn (2 ptn)

Antwoorden:

- a. *De intiele golfmakende weerstand kan uitgesplitst worden in een golf patroon weerstand en een brekende golfweerstand. Daarnaast is er nog een visceuze drukweerstand, die gesplitst kan worden in een vormweerstand en een geïnduceerde weerstand. De laatste component hangt samen met circulatie (dus lift) die optreedt bij een niet-symmetrische stroming (a.g.v. een invalshoek of a-symmetry). De vormweerstand kan weer gesplitst worden in een loslatingsweerstand en een grenslaag verdringingsweerstand.*

Beoordeling: golfmakende weerstand en visceuze drukweerstand: 1 pt. Als daarnaast nog de grenslaagverdringingsweerstand, de loslatingsweerstand en de golfmakende en golfbrekkingsweerstand genoemd worden nog 1 pt erbij. Als geïnduceerde weerstand genoemd wordt, nog een halve bonus punt. Als wrijvingsweerstand genoemd wordt: -1 pt.

- b. Uit alle componenten uit vraag a.
- c. Het golfpatroon langs het schip is stationair t.o.v. het varende schip, d.w.z. de golven moeten dezelfde snelheid hebben als het schip. De snelheid van de transversale golven heeft dezelfde richting als die van het schip, dus de fase-snelheid van de golven is gelijk aan de scheepssnelheid. Hiervoor kunnen we de dispersie relatie gebruiken:

$$v_w = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$$

Beoordeling: Als niet genoemd wordt dat golven dezelfde snelheid moeten hebben als schip: -0.5. Als dispersie relatie genoemd, maar niet goed opgeschreven: 0.5 pt.

- d. $\lambda = \frac{L_{wl}}{4} = 12.6$. Hiermee vind je een fasesnelheid $v_w = 4.44 \text{ m/s} = 8.62 \text{ kts}$
- e. *Bij het doen van modelproeven moet in principe voldaan worden aan de drie gelijkvormigheidswetten: geometrische, kinematische en dynamische gelijkvormigheid. Deze wetten geven de verhoudingen tussen gelijke grootheden, zoals bijvoorbeeld de schroefdiameter/scheepslengte verhouding (geometrische), de voortgangscoefficient van schroeven (kinematische: $J = \frac{V_a}{nD}$, waarmee de verhouding aanstroomsnelheid,*

omtreksnelheid bepaald is) en dynamische, bijv. het Froude en het Reynolds getal. Voor de fabricage van het model houden we de geometrische gelijkvormigheidswet aan.

Beoordeling: -.5 voor niet uitleggen wat fysische achtergrond R_n en F_n is. -.5 voor achterwege laten drie gelijkvormigheidswetten (geometrisch, kinematisch en dynamisch).

- f. *Wat betreft de dynamische gelijkvormigheid moet voldaan worden aan identiteit van het Froude getal bij model en full scale, als ook aan het Reynolds getal. Het Froude getal geeft de verhouding van massastraagheidskrachten tot zwaartekracht aan in de stroming, het Reynoldsgetal geeft de verhouding tussen massastraagheidskrachten en visceuze*

krachten aan:
$$Fn = \frac{V_m}{\sqrt{gL_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{gL_s}}$$

waarbij de subscripts m en s refereren aan "model", respectievelijk "ship".

Evenzo voor R_n :
$$Rn = \frac{V_m L_m}{\nu_m} = \frac{V_s L_s}{\nu_s}$$

Uit beide gelijkvormigheidswetten kunnen we nu de verhouding tussen modelsnelheid / full scale ship snelheid afleiden.

$$\text{Volgens Froude: } \frac{V_m}{V_s} = \sqrt{\frac{L_m}{L_s}} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$$

$$\text{waarbij } \lambda = \frac{L_s}{L_m}$$

$$\text{Volgens Reynolds Rn: } \frac{V_m}{V_s} = \frac{v_m L_s}{v_s L_m} \approx \lambda$$

Aan beide gelijkvormigheidswetten kan dus alleen voldaan worden als $\lambda = 1$. In de praktijk houden we de schaalwet van Froude aan, en wijken we af van de Reynolds gelijkvormigheid. Een andere reden is dat voor afwijkingen van het Reynolds getal eenvoudiger te corrigeren is dan voor afwijkingen van het Fn. Dit komt door het goed gedefinieerde verloop tussen de wrijvingsweerstand en Rn, terwijl dit een complexe functie is voor de golfmakende weerstand als functie van Fn.

Beoordeling: geen complete argumentatie voor aanhouden Froude schaling: -0.5. Helemaal geen argumentatie: -1

Vraag 2

Gegeven is het schroefdiagram van een B4.70 schroefserie.

Een visserijship 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 coefficient 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 $\eta_R = 1$

- Wat is de optimale diameter van de schroef in vrijvarende conditie voor een scheepssnelheid van 12 kn? Waarom kiest u deze diameter? (2 ptn)
- Wat is het toerental bij het maximaal haalbare rendement? (3 ptn)
- Welke maximale snelheid zal het schip vrijvarend kunnen halen? (2 ptn)
- Beredeneer 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. (1 ptn)
- Wat zijn de drie belangrijkste propeller parameters die u tot uw beschikking heeft om het rendement te verhogen? Wat zijn de beperkende factoren hierbij? U mag hierbij niet gebruik maken van een straalbuis (2 ptn)

Op de proeftocht blijkt dat het schip last heeft van hinderlijke trillingen in het achterschip bij de hogere snelheden.

- f. Wat is uw hypothese over de oorzaak hiervan? Wat kunt u doen om de trillingshinder te verminderen? (3 ptn)

Antwoorden

- a. *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.*

Beoordeling: Goede antwoord zonder argumentatie: 0.5 pt.

b.
$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{c}{\rho(1-t)(1-w)^2 D^2} = 0.491$$
 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).

Beoordeling:

- 1-w vergeten: -1 pt
- verkeerde KQ: uit Pd gehaald: -0.5
- Op K_t/J^2 gezocht en verder alles fout: 1.5 pt
- Op K_t/J^4 of K_q/J^5 gezocht en verder alles goed: 2 pt

- c. *De maximale snelheid wordt verkregen uit het beschikbare vermogen ($P_D = 700$ 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. $V=17.04$ kn.

- d. *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. *propeller diameter, bladoppervlak verhouding en spoed. Ook goed zijn snelheid en stuwkracht.*
- f. *vermoedelijk is er sprake van sterke dynamiek van vliescavities, evt. in combinatie met tipwervel cavities. De belangrijkste oorzaak van trillingshinder door vliescavities is de niet-uniformiteit van het volgstroomveld, die vooral door het achterschip bepaald wordt. Het achterschip laat zich echter niet eenvoudig veranderen. Wat waarschijnlijk wel verlichting brengt is het vergroten van de vrijslag van de propeller tip naar de romp. Bij dezelfde as-hoogte betekent dit dat de propeller diameter kleiner wordt en het toerental hoger moet worden bij kleinere spoed. Het hogere toerental zorgt er voor dat de invalshoek variaties a.g.v. het niet uniforme volgstroomveld gereduceerd worden (construeer dit in een vector-diagram van intreesnelheden op een propeller blad sectie). Maatregelen in het schroefontwerp kunnen zijn het verdikken van de Leading Edge, hierdoor worden de variaties in zuigpiek a.g.v. invalshoekvariaties ook kleiner. Ook effectief is het vergroten van het bladoppervlak, waardoor de drukpiek beter uitgesmeerd kan worden. Een effectieve maatregel is ook om langzamer te gaan varen, dit verhoogt het cavities getal en vermindert de afgeschudde cavities volumes. Een wake equalizing duct vermindert de vliescavities dynamiek eveneens.*

Beoordeling: Per goed genoemde maatregel een punt tot een max van 3 punten

Vraag 3

De propeller series en de actuator disk theorie bieden krachtige theorieën voor zowel analyse als voorspelling van voortstuwereigenschappen. We zullen deze stelling en de beperking van deze theorie hieronder nader onderzoeken.

- Hoe maakt u voor een dimensieloze beschouwing van de schroef eigenschappen, stuwkracht, koppel en toerental dimensieloos? (1 pt)
- Hoe kunt u vervolgens het open water rendement uitdrukken in bovenstaande dimensieloze grootheden? Afleiding is vereist. (2 ptn)

Gegeven is nu een relatie voor het ideaal rendement: $\eta_i = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \tau C_T}}$

waarbij $\tau =$ stuwkrachtsverhouding $\frac{T_p}{T}$ (stuwkracht propeller / totale stuwkracht) en C_T de stuwkracht coefficient

- Welke energieverliezen zijn inbegrepen in het ideaal rendement? Kunt u uitleggen of een eventuele rotatie in het zog van de propeller tot een verliesterm leidt in het ideaal rendement en in het open water rendement? (3 ptn)
- 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? (2 ptn)
- Hoe kunt u bij gelijkblijvende stuwkrachtcoefficient C_T , het ideaal rendement verhogen? Wat zijn de beperkende factoren bij deze rendementsverhoging? (2 ptn)

Antwoorden

- Stuwkracht, koppel en toerental worden dimensieloos gemaakt met toerental n , soortelijke massa van het medium (water) ρ en de propeller diameter D en de voortgangs snelheid V of V_a :*

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

$$J = \frac{V}{nD}$$

Beoordeling: Goede antwoord zonder argumentatie: 0.5 pt.

$$b. \quad \eta_0 = \frac{TV_a}{P_D} = \frac{TV_a}{2\pi Qn} = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \frac{\rho n^2 D^5}{Q} \frac{V_a}{2\pi n} = \frac{K_T}{K_Q} \frac{J}{2\pi}$$

- In het ideaal rendement is alleen het axiale kinetische energieverlies verrekend. Een eventuele rotatie in het zog van de propeller zal dus niet (direkt) leiden tot een verlies aan ideaal rendement, omdat deze bijdrage van de kinetische energie niet in de definitie zit. Het zal echter wel tot een verliesterm leiden in het open water rendement, omdat deze energie flux ten koste gaat van de axiale kinetische energie flux en dus ten koste van de stuwkracht (Stuwkracht wordt volgens de tweede hoofdwet van Newton gegeven door het verschil van uitgaande en ingaande axiale impuls).*
- Voor een schroef zonder straalbuis is $\tau = 1$.*

$$C_T = \frac{8K_T}{\pi J^2}$$

$$\eta_i = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}}}$$

Compute the η_i for a few J values for the P/D propeller =1.4 and find the ideal efficiency curve.

De grootste verschillen ontstaan bij de lichtste belasting: $K_t=0$, waar $\eta_i=1$. Hier wordt het verschil veroorzaakt door de visceuze verliezen, die wel in het open water rendement zitten, maar niet in het ideaal rendement.

Beoordeling: Wanneer $\eta_i > 1$ of verder doorloopt dan $K_t=0$, aftrek 0.5 pt

Wanneer formule voor η_i juist is, maar uitwerking in diagram verkeerd: 1.5 pt

Rekenfoutje in η_i maar formule goed: -0.2

Formule en plot OK, maar geen verklaring voor grootste verschil: -1 pt.

Bij verkeerd gebruik van τ -0.5

- d. *Door een straalbuis om de schroef te plaatsen, zodat een deel van de belasting door de straalbuis wordt gedragen. Om bij gelijkblijvende stuwkrachtcoëfficiënt te vergelijken, moet de totale stuwkracht gelijk blijven. Bij te grote stuwkracht op de buis, gaat deze overtrekken en levert kleinere stuwkracht bijdrage bij grotere weerstand. Hierdoor zakt het rendement snel in.*

Beoordeling: -0.5 wanneer totale stuwkracht niet gelijkgehouden wordt. -0.5 wanneer beperking van de straalbuis niet genoemd wordt.