

Tentamen weerstand en voortstuwing

Vakcode: mt527

Datum: 10 Nov. 2011

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 antwoorden:** zeg kort wat u gaat doen, en waarom.
4. Let op uw eenheden!
5. In het totaal zijn er 3 hoofd vragen en voor elke subvraag kunt u het aangegeven (tussen haakjes) aantal punten behalen. Elke hoofdvraag telt voor het eindcijfer in principe even zwaar mee.

Gegeven fysische parameters en omgevingsparameters:

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

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

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°C : $p_v = 1706 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

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

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

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

1 Mijl = 1852 m

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

Bijlagen: 2 maal diagram met open water karakteristiek B4.70 propeller en 1 open water karakteristiek van een Ka4-70 propeller in 19 A straalbuis.

Ik wens u veel succes bij dit tentamen.

Vraag 1

Met deze vraag beogen we de weerstand die een schip ondervindt en de schaalwetten die haar controleren, beter te begrijpen.

- Wat zijn de twee fundamentele vormen van spanning (stresses) die krachten kunnen overbrengen van de stroming op het schip. (1 pt)
- Welke van deze spanningen is verantwoordelijk voor de golfmakende weerstand. Hoe kunt u dat afleiden uit visuele observaties aan de stroming? (2 ptn)
- Benoem drie belangrijke weerstandscomponenten en geef een beschrijving van de fysica die deze weerstandscomponenten veroorzaakt (beschrijving per component). (3 ptn)
- Gegeven is de x-component van de Navier Stokes Vergelijking:
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$
Leid hier het Reynolds getal uit af. (4 ptn)
- Wat is de fysische interpretatie van het Reynolds getal? (2 ptn)
- Hoe kunnen we uit de Navier Stokes vergelijking het Froude getal afleiden? (geef in hoofdlijnen aan hoe je dit doet, afleiding zelf is niet nodig). En wat is de fysische interpretatie van het Froudegetal? (3 ptn)



Antwoorden:

- Schuifspanning en normaalspanning (of druk). Shearstress and Normal stress is ook goed.
 - Normaalspanningen. Dit kun je zien aan de golven die door het schip gemaakt worden. De waterhoogtevariaties worden direct veroorzaakt door het drukveld rondom het schip. De lokale druk bepaalt rechtstreeks de lokale waterhoogte, zodat overal op het oppervlak de luchtdruk heerst (randvoorwaarde).
 - 0.2 als gesteld wordt dat de Kelvin hoek veroorzaakt wordt door schuifspanningen
 - 1 als er geen argumentatie wordt gegeven
 - Je kunt de volgende drie componenten onderscheiden:
 - Wrijvingsweerstand – weerstandscomponent veroorzaakt door integratie van alle schuifspanningen over de sloopshuid.
 - Golfmakende weerstand – component veroorzaakt door integratie van die normaalspanningen die verantwoordelijk zijn voor de generatie van het golfsysteem dat door het schip veroorzaakt wordt.
 - Vormweerstand – heeft twee componenten. Een door de verhoogde schuifspanningen a.g.v. het niet vlak zijn van het schip, en een a.g.v. visceuze drukverliezen t.g.v. de energie verliezen in de grenslaag en evt. loslatingsgebieden in de stroming.
- Beoordeling
- Component wel genoemd, maar geen of foute beschrijving v.d. fysica: -0.7 pt per component
 - Onvolledige beschrijving vormweerstand: -0.3
- Zie boek Resistance & Flow, pag 10.
 - Vgl wel dimensieloos gemaakt en R_n verkregen, maar verkeerde uitwerking: 2.5 pt
 - Het Reynolds getal geeft de verhouding tussen de massa-traagheidskrachten in de vloeistof en de krachten opgewekt door schuifspanningen.
 - R_n wel genoemd maar geen goeie beschrijving: 0.5 pt

- f. Het Froude getal kan afgeleid worden uit de dynamische conditie aan het golvende vrije oppervlak: de druk aan het oppervlak moet gelijk zijn aan de luchtdruk. Door deze randvoorwaarde te dimensieloos te maken ontstaat het Froude getal. Dit getal is de verhouding tussen de mass-traagheidskrachten en de zwaartekracht.

Beoordeling

- Alleen de fysische interpretatie van F_n : 1.5 pt
- Alleen F_n gedefinieerd: 0.5 pt.

Vraag 2

Gegeven is het schroefdiagram van een B4.70 schroefserie.

Een Chemicalientanker met een lengte van 145 m heeft de volgende weerstandskarakteristiek:

$$R = cV^2 \text{ met } c = 17 \cdot 10^3 \frac{Ns^2}{m^2}$$

R in N, V in m/s

$P_D = 12400 \text{ kW}$ aan de voorzijde van de schroef bij een max. toerental van $175 \frac{omw}{min}$.

Ook gegeven is de maximale schroefdiameter die nog in de schroefschijf past, namelijk 4.95 m.



Verder blijkt uit modelproeven dat voor ware grootte het effectieve volgstroombetal (=wake) $w = 0.30$ bedraagt en dat het zoggetal (= thrust deduction) $t = 0.15$ is. Verder geldt $\eta_R = 1.0$

- Bepaal het optimale toerental van de schroef bij een scheepssnelheid van 13 knopen. Een belangrijke eis hierbij is dat het minimale toerental voor deze snelheid niet kleiner mag zijn dan 140 omw/min, i.v.m. de dieselmotorbelasting. Bepaal eveneens de volgende grootheden die bij deze schroef behoren (5 ptn):
 - stuwkracht coefficient K_T
 - koppel coefficient K_Q
 - snelheidsgraad J
 - spoedverhouding $P_{0.7}/D$
 - overall rendement η_D
 - bladoppervlak verhouding A_E/A_0
- Is de eis gesteld aan het minimale toerental een belemmering voor de optimale schroefkeuze uit oogpunt van rendement? Leg uit waarom. (2 ptn)
- U wordt gevraagd door de reder of er een brandstofbesparing mogelijk is door een schroef in een straalbuis met dezelfde diameter te plaatsen. Voor een snelle beoordeling neemt u de openwater karakteristiek van een Ka4-70 in 19 A straalbuis. Beoordeel op basis van dit diagram of er een brandstofbesparing mogelijk is door een straalbuis toe te passen? U

mag er hierbij van uitgaan dat zoggetal, volgstromgetal en relative rotative efficiency gelijk blijven. (3 ptn)

- d. Geeft dit ene diagram een optimistische of een pessimistische schatting van het optimale open water rendement? (3 ptn)

Antwoorden:

- a. Gegeven zijn een maximale schroefdiameter ($D=4.95$ m) en een randvoorwaarde aan het toerental. Omdat het toeren-koppel verband slechts door een ondergrens beperkt is, moeten we voor een maximaal rendement beginnen met de grootste schroefdiameter (lichtste belasting), en later checken of het toerental voldoet aan de randvoorwaarde ($n_{\min}=140$ rpm en $n_{\max}=175$ rpm).

$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{c}{\rho(1-t)(1-w)^2 D^2} = 1.63 \text{ en is snelheids-onafhankelijk. De scheeps vraag naar}$$

stuwkracht en de propeller capability volgt uit het B4-70 diagram. Het maximale rendement bedraagt 0.45 bij een spoedverhouding $P/D=0.82$. Het bijbehorende werkpunt is $J=0.378$. Het toerental bij een snelheid van 13 kn. bedraagt 150 rpm (2.50 Hz).

Overige antwoorden:

K_T	0.233
$10K_Q$	0.315
J	0.378
$P_{0.7}/D$	0.822
η_0	0.446
η_D	0.541
A_E / A_0	0.70

Beoordeling:

- 1-w vergeten: -1 pt
- Geen argumentatie en geen lijnen in B4-70 diagram: -2 pt.
- Rekenfout: -1 pt
- Goede A_e/A_0 : +0.5
- Verkeerde K_t of K_q : -1
- verkeerde K_Q : uit P_d gehaald: -0.5
- Op K_t/J_2 gezocht en verder alles fout: 2.5 pt
- Op K_t/J_4 of K_q/J_5 gezocht en verder alles goed: 2 pt

- b. Nee, geen belemmering omdat we uitgegaan zijn van het maximaal haalbare rendement door de maximale schroefdiameter te kiezen. Het toerental dat hierbij hoort past binnen de gestelde randvoorwaarden

- c. Volgens dezelfde procedure als onder a, vinden we voor de propeller in straalbuis combinatie:

J	0.42
---	------

η_0	0.51
n [rpm]	135

Er is dus inderdaad een rendementsverhoging mogelijk. Wel zit het optimale toerental nu iets beneden de grens van 140 rpm, dus een kleine spoedcorrectie (iets kleinere spoed), zou gewenst zijn. Veel mensen beschouwen de verandering door de straalbuis propeller uitgaande van dezelfde J. Dat is natuurlijk fout, omdat er een ander snijpunt ontstaat met de Kt/J^2 kromme. Deze laatste blijft wel gelijk (gelijke demand door het schip, maar andere capability van de voortstuwer)

Beoordeling:

- Beschouwing uitgaande van dezelfde J is fout: 0 pt.

- d. Als we een iets kleinere spoed zouden moeten nemen om binnen de toerenbeperking te blijven, zal dit alleen rendementsverhogend werken als de belasting op de propeller zwaarder wordt. Omdat ie echter lichter wordt a.g.v. de straalbuiswerking, zal deze spoedcorrectie dus het rendement alleen maar iets verlagen. De toerenlimiet van 140 rpm zit hier dus in de weg om een hoger rendement te halen.

Beoordeling:

- Goede antwoord maar geen argumentatie: 1 pt.
- Pessimistisch omdat optimalisatie op P/D niet mogelijk is: 2 pt.
- Goede maar niet volledige argumentatie en niet het goede antwoord: 1.5-2 pt.

Vraag 3

Het actuator disk model is een veel gebruikte modellering van een schepsschroef in een stroming.

- Leg uit wat de actuator disk theorie behelst en welke aannames en vereenvoudigingen hierin gebruikt worden (3 ptn)
- Welke verliestermen zijn inbegrepen in het ideaal rendement. En welke verliestermen zitten hier niet in? Kunt u uitleggen waarom een rotatie in het zog van de propeller tot een verliesterm in het rendement leidt? (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?

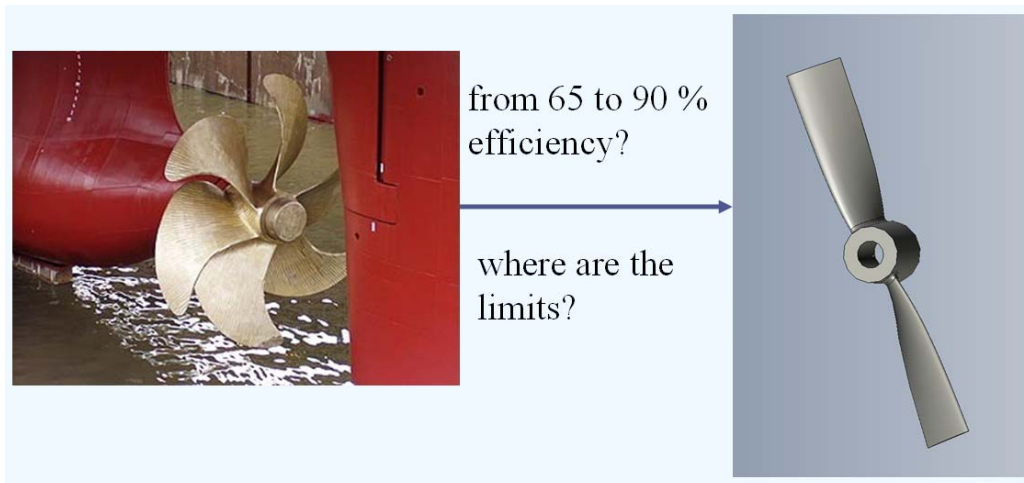
De generieke vorm van het ideaal rendement voor een schroef in een straalbuis is:

$$\eta_i = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \tau C_T}} ,$$

waarbij τ = stuwkrachtsverhouding $\frac{T_p}{T}$ (stuwkracht propeller / totale stuwkracht) en C_T de stuwkracht coefficient (4 ptn)

- Tijdens de feestelijke tewaterlating van de TUD zonneboot, afgelopen jaar, wordt u gevraagd door een hoogleraar van Lucht en Ruimtevaart, waarom het toch is dat in de

maritieme techniek, die schroefbladen zo breed worden gemaakt. Dit levert volgens de desbetreffende hoogleraar alleen maar verliezen op. U weet inderdaad dat de twee-bladschroef een rendement van zo'n 87% kan halen, waar de propeller van een containerschip typisch blijft steken op ca. 65% rendement. Geef aan en beargumenteer wat waarschijnlijk de belangrijkste redenen zijn voor het grote verschil in rendement. Hint: het gebruik van de actuator schijf theorie alleen is niet genoeg. (3 ptn).



Antwoorden:

- a. Actuator disk theorie behelst een eenvoudig model van een schroef in een uniforme stroming. De schroef wordt voorgesteld door een schijf (disk) die een axiale kracht uitoefent op een wrijvingsloze stroming. De kracht uit zich door een druksprong over de schijf. In het model worden alleen axiale beschouwingen meegenomen (dus geen radiale en tangentele snelheden en fluxen). De propeller wordt voorgesteld als een krachtschijf met uniforme verdeling van de krachten (oneindig aantal bladen, uniforme radiele belasting).

Beoordeling:

Wanneer geen goede omschrijving, maar wel begrip getoond van de vereenvoudigingen en aannames: 1.5 pt.

- b. Verliestermen in het ideaal rendement die niet gemodelleerd zijn:
- zijn visceuze verliezen t.g.v. de wrijving langs de schroefbladen
 - rotatie verliezen t.g.v. tangentele snelheden in het zog, of t.g.v. geïnduceerde weerstand op het blad als gevolg van de eindige aspect verhouding
 - verliezen t.g.v. de niet uniforme snelheidsverdeling a.g.v. het eindige aantal bladen en de niet uniforme belastingsverdeling over de schroefschijf.

Beoordeling: voor elke juiste verliespost 1 pt.

Verliesposten juist, maar geen goeie verklaring voor verliespost door rotatie: -0.5

- c. Voor een schroef zonder straalbuis is $\tau = 0$.

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

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

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

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

Wanneer formule voor η_i juist is, maar uitwerking in diagram verkeerd: 2 pt

Rekenfoutje in η_i maar formule goed: -0.3

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

Bij verkeerd gebruik van τ -1

- d. Lichte belasting en geringe bladoppervlak verhouding. De geringe belasting is mogelijk door de relatief grote propeller diameter en het geringe bladoppervlak is mogelijk omdat cavitatie geen rol van betekenis speelt.