

Tentamen weerstand en voortstuwing

Vakcode: mt527 + mt518 (oud)

Datum: 23-1-2009

Tijd: 1400 – 1700 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 rekenantwoorden: zeg even kort wat u gaat doen, en waarom.
4. Let op uw eenheden!
5. Er zijn in het totaal 4 vragen

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: $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

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

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

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

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

1 Mijl = 1852 m

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

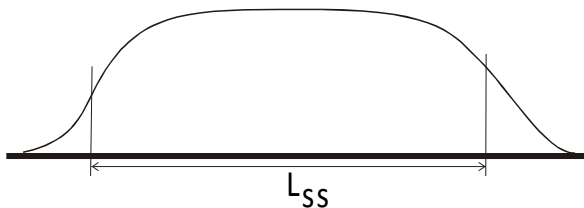
Bijlagen: 2 maal diagram met open water karakteristiek B4.70 propeller

Ik wens u veel succes bij dit tentamen.

Vraag 1

U bent verantwoordelijk voor het ontwerp van een nieuw containerschip. Door de economische crisis heeft de reder op economische gronden besloten dat de snelheid verlaagd moet worden van 25 kn naar 22.5 kn (knopen).

Het schip heeft een loodlijn lengte L_{PP} van 198 m. De onderlinge afstand L_{SS} tussen de buigpunten in de KVS (Kromme van Spantoppervlakken) bedraagt ca. 160 m.



Overige gegevens zijn:

$$C_B = 0.69$$

$$B = 35.10 \text{ m}$$

$$\text{Nat oppervlak } S \text{ (zonder appendages)} = 8182 \text{ m}^2.$$

De dimensieloze wrijvingsweerstand coefficient C_f wordt gegeven door de ITTC '57 plaatwrijvingslijn:

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}$$

$$\text{waar } C_f = \frac{R_f}{\frac{1}{2} \rho V^2 S}$$

en R_f = vlakke plaat wrijvingsweerstand. Van een empirisch predictieprogramma heeft u geleerd dat voor de vormfactor $1+k$ voor dit schip, 1.15 een representatieve waarde is.

- a. Kunt u aangeven of en waarom de snelheidsverandering uit oogpunt van scheepsweerstand gunstig is gekozen? (2 ptn)

U vindt het belangrijk om een zo goed mogelijke beoordeling van het ontwerp te maken en een betrouwbare bepaling van de te behalen vaarsnelheid in vlak water. U besluit om hiertoe modelproeven te gaan doen. In eerste instantie wordt een weerstandsproef uitgevoerd met een model lengte van $L_{pp_m} = 10 \text{ m}$.

- b. Bij het uitvoeren van modelproeven dient u rekening te houden met schaalwetten. Welken zijn dit? Hoe kiest u de modelsnelheid? (2 ptn)
- c. De gemeten weerstand tijdens de modelproef bedraagt 342 N. Geef uw beste schatting van de werkelijke golfmakende weerstand van het schip zonder appendages. (4 ptn)
- d. Ongeacht uw vraag, krijgt u eveneens een voortstuwingsproef aangeboden. Wat levert deze proef u aan informatie en wat heeft u aan deze informatie? (2 ptn)

Antwoorden

- a. Een minimale golfmakende weerstand wordt verkregen als de boeggolf t.p.v. het achterschip een golftop vertoont. Dit komt omdat in het achterschip de putten (sinks) dominant zijn die de stroomlijnen weer naar elkaar toe trekken. De afstand tussen de zwaartepunten van bronnen (voorschip) en achterschip (putten) wordt hier L_{SS} genoemd. De eerder genoemde toestand voor minimale golfmakende weerstand treedt op als de sink-source lengte L_{SS} een geheel aantal keren k de dominante golflengte bedraagt. De fasesnelheid die behoort bij een golflengte λ volgt uit de dispersie relatie:

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

De verhouding $\frac{\lambda}{L} = 2\pi \frac{v_w^2}{gL} = 2\pi F n_{L_{SS}}^2$ moet dus een geheel getal zijn voor een optimale interferentie tussen het boeggolf en het hekgolf systeem. Voor $k=0.5$ treedt een maximale versterking op, en dus een maximale golfmakende weerstand.

In dit geval betekent heeft k een waarde van 1.5 voor $V_s=25$ kn en een waarde van 1.86 voor $V_s=22.5$ kn. Bij de hoge snelheid treedt dus maximale versterking van het golfsysteem op. Het verlagen van de snelheid is derhalve gunstig uit economisch oogpunt.

NB: De dispersie relatie hoefde je niet uit je hoofd te kennen (vanaf dit tentamen echter wel!!!!). Een relatie met het Froudegetal en de golflengte/scheepslengte zou je moeten kennen. Een kwalitatief goed antwoord zal derhalve ook als volledig goed gerekend worden.

Beoordeling:

Een antwoord over humps en hollows levert 1 pt op.

Als humps en hollows niet genoemd worden, alleen V^2 term, dan 1 pt.

- b. 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. 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 subscript m en s refereren aan “model”, respectievelijk “ship”.

Evenzo voor Rn :

$$Rn = \frac{V_m L_m}{\nu_m} = \frac{V_s L_s}{\nu_s}$$

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

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

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

Volgens Reynolds Rn: $\frac{V_m}{V_s} = \frac{\nu_m L_s}{\nu_s L_m} \approx \lambda$

Aan beide gelijkvormigheidszettgen 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. Dit betekent dat we de golfmakende weerstand goed omschalen zonder schaaleffecten te introduceren. Schaaleffecten worden dus wel geïntroduceerd bij de verschaling van visceuze krachten, omdat we niet voldoen aan de Reynolds schaalregel. Hiervoor wordt echter gecorrigeerd door gebruik te maken van de bekende relatie tussen de vlakke plaat wrijvingsweerstandscoefficient C_F en de dimensieloze snelheid Rn (via bijv. ITTC '57 wrijvingslijn).

Beoordeling: -0.5 bij niet vermelden conflict in schaling modelsnelheid

Wanneer de drie gelijkvormigheidszettgen genoemd worden, +0.2

-1 wanneer niet vermeld wordt hoe modelsnelheid nu in de praktijk bepaald wordt

-1 wanneer fysische interpretatie (verhouding massastraagheid / zwaartekracht of wrijvingskrachten)

Wanneer alleen Froudeschaling genoemd wordt: 1 pt

- c. Omdat het niet volledig helder was welke snelheid genomen moest worden (25 of 22.5), is voor beide snelheden de som uitgewerkt in onderstaande tabel

Lw	m	198
Vs	[kts]	22.5
Fn		0.263
Lss		160
k		1.864553
lambda		19.8
S		8182.02
1+k	Tabel pag. 144	1.15
Ca	Holtrop pg 147	0.000361
nu		1.14E-06

Vs	Vm	Rt [N]	Ctm	Rnm	Cfm	Crm	Rws [kN]
22.5	2.601265	342	0.004843	2.28E+07	2.61E-03	1.84E-03	1.03E+03
25	2.890295	342	0.003923	2.54E+07	2.57E-03	9.70E-04	5.45E+02

Beoordeling: Bij juiste formule gebruik maar verkeerd antwoord: 2.5 ptn.

Bij vergeten van 1+k factor maar rest goed, 2 ptn.

- d. Een voortstuwingsproef levert u de volgende informatie op:

Het vermogen-snelheidsverband voor het schip met schroef (vaak stockschroef waarop correcties voor de definitieve schroef worden toegepast)

In combinatie met de open water proef levert het u ook de interactie coefficient w (volgstream getal) en η_r (relative rotative efficiency) op.

In combinatie met de weerstandsproef levert het u ook het zoggetal t op.

Met weerstandsproef, open water schroefproef en voortstuwingsproef kunt u een goede analyse maken van de winst en verliezen van romp en voortstuwingssysteem.

Beoordeling:

1.5 pt wanneer alleen t genoemd wordt. 1 pt wanneer alleen w en η_R genoemd worden.
1 pt wanneer alleen vermogen-snelheid relatie genoemd wordt.

Vraag 2

Gegeven is het schroefdiagram van een B4.70 schroefserie.

Een relatief snelle kabelleger in zeewater heeft de volgende weerstandskarakteristiek:

$$R = cV^2 \text{ met } c = 985 \frac{Ns^2}{m^2}$$

R in N, V in m/s

Verder wordt geeist dat het schip bij het leggen van de kabel een voorspannings-trekkraft van 20 kN moet leveren op de kabel (Een regelsysteem zorgt voor een constante voorspanning in de kabel). Voor het schip is reeds een motor geïnstalleerd met een uitgangsvermogen van

$P_D = 790 \text{ kW}$ aan de voorzijde van de schroef bij een max. toerental van $108 \frac{\text{omw}}{\text{min}}$. Ook

gegeven is de maximale schroefdiameter die nog in de schroefschijf past, namelijk 3.5 m. Verder blijkt uit modelproeven dat voor ware grootte het effectieve volgstroomgetal (=wake) $w = 0.30$ bedraagt en dat het zoggetal (= thrustdeduction) $t = 0.15$ is.

- a. Bepaal de optimale spoed-diameter verhouding van de schroef bij een scheepssnelheid van 4.3 knopen. Een belangrijke eis hierbij is dat het minimale toerental niet kleiner mag zijn dan 60 omw/min, i.v.m. de dieselmotorbelasting. Bepaal eveneens de volgende grootheden die bij deze schroef behoren (4 ptn):

stuwkracht coefficient K_T

koppel coefficient K_Q

snelheidsgraad J

rendement η

bladoppervlak verhouding A_E/A_0

- b. Is de eis gesteld aan het minimale toerental een belemmering voor de optimale schroefkeuze uit oogpunt van rendement? Leg uit waarom. (2 ptn)
- c. Beredeneer of de onder a geselecteerde schroef ook de beste keuze is voor vrije vaart condities (d.i. zonder voorspannings-trekkraft door de kabel). Max. snelheid ca. 17 kn. (2 ptn)

Answers

2a) Bij deze vraag moeten zowel spoed als toeren worden uitgerekend. Eigelijk moet je alleen toeren bepalen, maar omdat het diagram vele open waters bevat kun je dat in een keer doen voor een aantal spoedstanden. Merk op dat je er NIET van uit kan gaan dat in deze conditie maximaal vermogen wordt gevraagd. Bij deze vraag wordt dus het optimale toerental gevraagd, oftewel een aansnijding van het openwater diagram met een lijn

$$K_T = \left(\frac{K_T}{J^2} \right) J^2 = \left(\frac{T}{\rho D^2 V_A^2} \right) J^2 = \left(\frac{\frac{cV_s^2}{1-t} + T_{kabel}}{\rho D^2 V_s^2 (1-w)^2} \right) J^2 = 0.8526 J^2$$

Veel gemaakte fouten zijn het vergeten van de kabel kracht en de term $(1-w)^2$ (en dan zijn de punten al weer bijna op). Je kunt de kabel wel of niet door $1-t$ delen, beide goed gerekend, alhoewel het

beter is het NIET te doen.

J	Poly
0	0.000
0.1	0.009
0.2	0.034
0.3	0.077
0.4	0.136
0.5	0.213
0.6	0.307
0.7	0.418
0.8	0.546
0.9	0.691

Merk op dat er een MAXIMUM J van $J = \frac{V_A}{nD} = 0.442$ is (Heel veel mensen zien het als minimum!).

Diagram tekenen geeft een maximum bij $P/D=0,9$ en $J=0,51$. Dit geeft $n=52,04$ rpm. Da's te laag!
Dus kijken bij 60 rpm, dan $J=0,442$, geeft $P/D=0,75$ (Even rekenen met eigen programma geeft P/D optimaal= 0.865 en $n=54$ en bij 60 rpm $P/D=0,747$ dus aflezen kan best nauwkeurig).

Nu nog even wat rest waarden uitrekenen. Bladoppervlak? Wat zou dat nou zijn voor een B4-70 schroef? Lastig lastig...

Beoordeling:

- 1-w vergeten: -1 pt
- trekkracht vergeten: -1
- bladoppervlak verhouding vergeten: -0.2
- Op K_t/J_2 gezocht en verder alles fout: 1 pt
- Op K_t/J_4 gezocht en verder alles goed: 2.5 pt
- Som goed, maar geen rekening gehouden met min. toerental: -0.2 pt.

2b) Des werelds slechts gelezen vraag. Hier wordt naar het effect op het rendement gevraagd en niet naar een toereneffect! Het rendement bij $J=0,442$ en $P/D=0,75$ is ongeveer $\eta_O=53\%$. Bij $J=0,51$ en $P/D=0,9$ is dit $\eta_O=54\%$. Dit is dus niet echt een belemmering! (Rekenen geeft 53,8% tegen 53,2%)

2c) Het is gevaarlijk te veronderstellen dat een schoef "het maar op een punt goed doet" dus in een ander punt fout is. Wie weet zijn de J-waarden van de twee punten in deze opgave wel hetzelfde (want zo zijn we) en dan is het echt dezelfde conditie. Wederom even aansnijden:

$$K_T = \left(\frac{K_T}{J^2} \right) J^2 = \left(\frac{T}{\rho D^2 V_A^2} \right) J^2 = \left(\frac{\frac{c}{1-t}}{\rho D^2 (1-w)^2} \right) J^2 = 0.188 J^2$$

Dit is wel een verschil, een geeft een veel hogere spoed als je dit aansnijdt. Je kunt eigenlijk direct al zien dat met de spoed uit de vorige vraag J zo hoog is dat de KT lijn al door nul is. In dit geval is de spoed absoluut niet geschikt voor vrije vaart.

Vraag 3

Het actuator disk model is een veel gebruikte modellering van een scheepsschroef 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? (2 ptn)

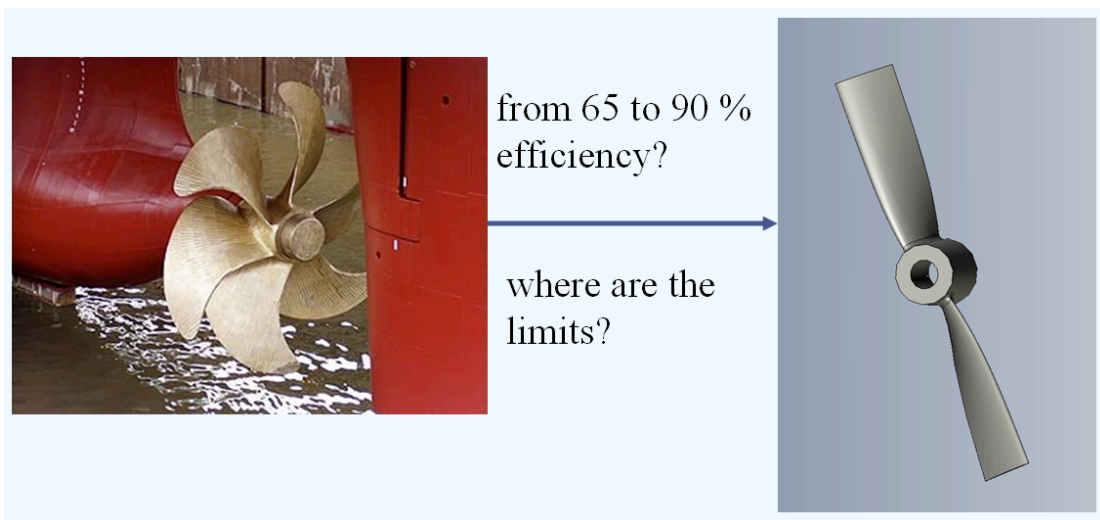
- c. Teken in het bijgevoegde B-serie diagram de lijn voor het ideaal rendement voor de $P/D=1.4$ schroef. Waar treedt de grootste afwijking op tussen ideaal rendement en open water rendement? Wat is hiervan de reden?

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 (3 ptn)

- d. 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 druksrong over de schijf. In het model worden alleen axiale beschouwingen meegenomen (dus geen radiale en tangentiële snelheden en fluxen). De propeller wordt voorgesteld als een krachtschijf met uniforme verdeling van de krachten (oneindig aantal bladen, uniforme radiale 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

- b. 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
- c. 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 0.67 pt.

- 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 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. 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.

Vraag 4

U heeft CFD (Computational Fluid Dynamics) berekeningen uit laten voeren aan een B4-85 propeller in een uniforme aanstroming. De spoedverhouding $P_{0.7}/D=1.0$. De snelheidsgraad J van de propeller bedraagt $J=0.7$. Hieruit krijgt u een gedetailleerde drukverdeling aangeleverd over het oppervlak van de schroef. De berekeningen zijn uitgevoerd bij een willekeurige omgevingsdruk die 90% van de atmosferische druk p_0 blijkt te zijn ($p_0=10^5$ Pa). De minimale drukcoëfficiënt C_p blijkt een waarde van -1.2 te hebben, en treedt op nabij de Leading Edge van het propeller blad op ca. 90% van de straal.

- Bij welke uniforme aanstroomsnelheid verwacht u cavitatie inceptie? (3 ptn)
- Bij uitvoering van de cavitatie inceptieproeven op de propeller blijkt dat de cav. inceptie snelheid afwijkt van wat u berekent heeft. Welke redenen kunt u hiervoor bedenken? (het antwoord dat dit aan een fout in uw berekening ligt levert geen punten op, maar moet wel als een reële mogelijkheid beschouwd worden). (2 ptn)
- U laat vervolgens proeven uitvoeren bij een cavitatie getal $\sigma=0.7$ en neemt vliescavitatie waar die achter het vlies opbreekt en als wolkencavitatie over de rest van het blad met de stroming meegenomen wordt. Kunt u dit als vertegenwoordiger van de reder accepteren? Kunt u bovendien aangeven of deze situatie een effect zal hebben op de stuwkracht en het rendement? (3 ptn)
- Welke maatregelen kunt u bedenken om de onder c geschetste situatie te verbeteren? (2 ptn)

Antwoorden:

- Voor cavitatie inceptie (het moment waarop de schroef begint te caviteren), nemen we aan dat $p=p_v$. Hieruit volgt dat $\sigma = \frac{p - p_v}{\frac{1}{2} \rho V^2} = -C_p$

waarbij $p = 0.9 p_{atm}$

Substitutie levert een snelheid van $V=12.13$ m/s

Beoordeling: Bij gebruik van C_p ipv σ : geen punten

Bij gebruik van verkeerde p_{atm} : -1.5

Bij gebruik van verkeerde p_v : -0.5

Formules goed, maar rekenfoutje: -.5

- De volgende mogelijke oorzaken kunnen genoemd worden
 - verkeerde referentiedruk p_0
 - schaaleffecten op cav. inceptie t.g.v. gebrek aan kernen
 - verkeerd ingestelde conditie waardoor drukverloop anders is
 - verkeerde p_v genomen omdat temperatuur bijv. niet is gemeten of verkeerd is gemeten.
 - fout of onzekerheid in CFD berekeningenBeoordeling: bij 4 van de vijf opties 2 pt. Voor elke goede reden 0.5 pt.
ontbreken van kernen wordt beloond met 1.5 pt.
- Wolkencavitatie over het blad is zeer dikwijls erosief. Het voorafgaande vlies en de dynamiek hiervan zal bovendien tot flinke drukfluctuaties leiden die het schip aanstoten zodat er trillingshinder optreedt. Bij grote cav. volumes zal bovendien de stuwkracht aangetast worden. Dit gebeurt echter pas bij grote cav. extensies (bijv. cav. lengte > 0.5 koorde). De stuwkracht wordt het eerst aangetast. Omdat het koppel aanvankelijk in gelijke

mate wordt aangetast, blijft het rendement nog even gelijk. Bij erger wordende cav. zal ook het rendement aangetast worden.

Beoordeling:

- Bij benoemen erosie en trillingshinder 1.5 tot 2.5 pt (afhankelijk van omschrijving).
 - Bij niet noemen effect op stuwkracht en later rendement: -0.5
 - bij niet benoemen trillingen of erosie: -1
- d. Maatregelen om dit te verminderen zijn dus belasting omlaag of cav. getal omhoog:
- a. grotere prop. diameter
 - b. lagere snelheid
 - c. wijziging volgstroomveld door achterschip vorm verandering
 - d. Andere P/D zodat schroef langzamer draait is ook genoemd. Dit gaat echter alleen in combinatie met aanpassen welving, zodat een vlakke drukverdeling ontstaat. Immers, er moet nog steeds een bepaalde stuwkracht geleverd worden.
 - e. Op het niveau van de schroefgeometrie kunnen nog maatregelen genomen worden om de drukverdeling op het schroefblad vlakker te maken (dus voorkomen van zuigpiek t.p.v. de Leading Edge van het blad. Bijv. door het bladoppervlak te vergroten, of de welvingsverdeling over de koordelengte aan te passen. (ik verwacht niet dat dit laatste punt genoemd wordt)

Beoordeling: 0.5 punt per goed benoemde maatregel a t/m d. Bonus van plus 1 als detailmaatregel schroefontwerp genoemd wordt.

Slecht gestelde vraag. Veel antwoorden mogelijk. Weinig discriminerend vermogen.