

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Venealan koulutusohjelma

Andreas Snellman

OPTIMERING AV SEGELBÅTSPROPELLRAR VID OLIKA CRUISING VARVTAL

Examensarbete 2010

Sammandrag

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Venealan koulutusohjelma

ANDREAS SNELLMAN

OPTIMERING AV SEGELBÅTSPROPELLRAR VID
OLIKA CRUISINGVARVTAL

Examensarbete

61+37 sidor

Handledare

Skeppsbyggnads Ingenjör Lars Ström,
Lektor Tapio Pilhjerta

Uppdragsgivare

Oy Nautor Ab

Mars 2010

Nyckelord:

Optimering, Segelbåtspropeller, cruising varvtal

Genom att analysera en befintlig propellerinstallation och beräkna dess teoretiska prestanda i form av fart, bränsleförbrukning och tryckkraft, har en realistisk referensdata kunnat erhållas och jämföras mot andra propelleralternativ optimerade för olika cruising varvtal med olika reduktionsförhållanden.

Studien är baserad på Wageningens B-seriens propellerpolynom och kan påvisa vilka egenskaper som erhålls med de olika konfigurationerna av cruising varvtal, reduktionsförhållanden och propelleralternativ för ett displacement skrov i form av fart, bränsleförbrukning, tryckkraft, motorbelastning och andra propellerparametrar.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Venealan koulutusohjelma

ANDREAS SNELLMAN

OPTIMIZATION OF SAILING BOAT PROPELLERS
AT DIFFERENT CRUISING RPM'S

Bachelor's Thesis

61+37 pages

Supervisor

Ship Building Engineer Lars Ström,
Senior Lecture Tapio Pilhjerta

Commissioned

Oy Nautor Ab

March 2010

Keywords:

Optimization, Sailing boat propeller, cruising rpm

By analyzing an existing propulsion installation and calculate the theoretical performance in terms of Speed, Fuel consumption and thrust force, A realistic reference data has been derived witch has been used as reliable reference data when calculating other propeller options optimized for different cruising rpms with various reduction ratios.

This thesis is based on Wageningen B-series propeller polynomial and shows what kind of performance that can be achieved with the various configurations of cruising rpms, reduction ratios and propeller alternative on an displacement hull, the results are displayed as fuel consumption, speed, thrust, engine load and other propeller parameters.

FÖRORD

"Practical expertise is needed because propeller selection , particularly for small craft, seems to many to be just a bit less than a 'black art' where no solution is offered with complete confidence and no two designers produce exactly the same recommendation" , (Donald M. MacPherson)

Detta examensarbete har gjorts för Oy Nautor Ab som tillverkar oceangående lyxsegelbåtar från 42-130 fot Loa. Tack vare Oy Nautor Ab:s godkännande har jag haft möjlighet att ordna gedigen dokumentation av motor- och propulsionsinstallationen på Swan 53 (härefter S53) vilket har gjort det möjligt att verifiera riktigheten i de teoretiska beräkningarna.

Tack till Lars Ström som har hjälpt med kunskap, expertis och erfarenhet i området i och även Matts Johansson för den optiska scanningen av propellern för den valda S53 samt de personer på Brunton Varifold och Flex-o-Fold som hjälpt med information om propellrarna.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	10
1.1	Uppgift.....	10
1.2	Begränsning.....	10
1.3	Symboler och terminologi.....	11
1.4	Formler.....	12
2	SEGELBÅTSPROPELLERTEORI	14
2.1	Propellerns karaktär	14
2.2	Propellerns effektivitet som funktion av framfart.....	15
2.3	Design av optimal propeller.....	16
2.4	Belastning av icke- optimal propeller.....	17
2.5	Propellerns parametrar	18
2.5.1	Diameter	18
2.5.2	Stigning.....	19
2.5.3	Bladarea (BAR/DAR/EAR).....	20
2.5.4	MWR.....	21
2.5.5	Bladantal.....	22
2.5.6	Skew.....	22
2.5.7	Rake	23

2.5.8	Kavitation.....	23
2.5.9	Wake factor for VA.....	26
2.5.10	Slip	28
2.5.11	Lutande propelleraxel.....	29
2.5.12	Propelleraxel	29
2.6	Bollard pull	31
2.7	Skrovmotstånd	31
2.8	Wageningen B-Series	33
2.9	Bränsleförbrukning	35
3	TESTOBJEKT	38
3.1	Allmänt.....	38
3.2	Skrov.....	38
3.3	Beskrivning av befintlig motorinstallation	38
4	REFERENS BERÄKNING	41
4.1	Förklaring av referensberäkningsblad	41
4.2	Skanning och utvärdering av testpropellergeometri	47
4.3	Teoretisk propelleroptimering med reduktionsförhållande 2,714:1	48
4.4	Teoretisk propelleroptimering med reduktionsförhållande 1,47:1	49
4.5	Teoretisk propelleroptimering med reduktionsförhållande 3,00:1	50
4.6	Analys av optimeringsberäkningarna	51
5	BOLLARD PULL	53
5.1	Beräkning.....	53

5.2	Resultat.....	54
5.3	Analys	56
6	SLUTDISKUSSION.....	57
7	KÄLLOR.....	60

BILAGOR

Bilaga 1	Referens modeller i DSYHS.....	62
Bilaga 2	Skrov parametrar i DSYHS	63
Bilaga 3	Fart och bränsleförbruknings mättdokument av S53.....	64
Bilaga 4	S53 "Light displacement 35mm sink from DwL" Skrov parametrar för DSYHS -93 och -98 skrovmotståndsberäkning.....	65
Bilaga 5	skrovmotståndsdata för S53	66
Bilaga 6	Teknisk bulletin för Yanmar 4JH4-HTE 1/2.....	67
Bilaga 7	Teknisk bulletin för Yanmar 4JH4-HTE 2/2.....	68
Bilaga 8	Wageningen B-seriens Kq polynom.....	69
Bilaga 9	Wageningen B-seriens Kt polynom.....	70
Bilaga 10	Material egenskaper Aqualoy22.....	71
Bilaga 11	GOM Scannings dokument av referenspropeller 24"x16"x3	72
Bilaga 12	GOM Scannings data av referenspropeller 24"x16"x3	73
Bilaga 13	Teoretisk prestanda av 100 % propeller, reduktionsförhållande 2,714:1	74
Bilaga 14	Teoretisk prestanda av 90 % propeller, reduktionsförhållande 2,714:1	75
Bilaga 15	Teoretisk prestanda av 80 % propeller, reduktionsförhållande 2,714:1	76
Bilaga 16	Teoretisk prestanda av 70 % propeller, reduktionsförhållande 2,714:1	77

Bilaga 17 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (1/7)	78
Bilaga 18 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (2/7)	78
Bilaga 19 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (3/7)	79
Bilaga 20 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (4/7)	79
Bilaga 21 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (5/7)	80
Bilaga 22 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (6/7)	80
Bilaga 23 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (7/7)	81
Bilaga 24 Teoretisk prestanda av 100 % propeller, reduktionsförhållande 1,47:1	82
Bilaga 25 Teoretisk prestanda av 90 % propeller, reduktionsförhållande 1,47:1	83
Bilaga 26 Teoretisk prestanda av 80 % propeller, reduktionsförhållande 1,47:1	84
Bilaga 27 Teoretisk prestanda av 70 % propeller, reduktionsförhållande 1,47:1	85
Bilaga 28 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (1/7)	86
Bilaga 29 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (2/7)	86
Bilaga 30 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (3/7)	87
Bilaga 31 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (4/7)	87
Bilaga 32 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (5/7)	88

Bilaga 33 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (6/7)	88
Bilaga 34 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (7/7)	89
Bilaga 35 Teoretisk prestanda av 100 % propeller, reduktionsförhållande 3,00:1	90
Bilaga 36 Teoretisk prestanda av 90 % propeller, reduktionsförhållande 3,00:1	91
Bilaga 37 Teoretisk prestanda av 80 % propeller, reduktionsförhållande 3,00:1	92
Bilaga 38 Teoretisk prestanda av 70 % propeller, reduktionsförhållande 3,00:1	93
Bilaga 39 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (1/7)	94
Bilaga 40 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (2/7)	94
Bilaga 41 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (3/7)	95
Bilaga 42 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (4/7)	95
Bilaga 43 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (5/7)	96
Bilaga 44 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (6/7)	96
Bilaga 45 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (7/7)	97
Bilaga 46 Resultat av samtliga propellrars statiska tryckkraft	98

1 INLEDNING

1.1 Uppgift

Uppgiften är för det första att räkna igenom en befintlig propellerinstallation med dess kända data för att få fram teoretiska värden på verkningsgraden och egenskaper på yachten så som fart, bränsleförbrukning och dragning vid kaj (härefter Bollard pull).

För det andra att test köra motsvarande yacht, ta uppmätta värden på fart och varvtalsförhållanden samt Bollard pull . Och på så vis bekräfta riktigheten i de teoretiska beräkningarna mot den uppmätt data.

Och slutligen att optimera propellern för respektive 100, 90, 80, 70 % av motorns topp varvtal, och analysera hur de olika uppläggen påverkar effektiviteten, bränsleförbrukningen, tryckkraft vid de andra varvtalen samt Bollard pull, med olika reduceringar på bakslag och olika propeller typer.

Syftet med denna studie är att få en ökad förståelse för propeller dimensionering och dess egenskaper i segelbåtar . Som i sin tur leder till en klarare bild i hurdana egenskaper uppnås med olika lösningar .

1.2 Begränsning

Denna studie analyserar endast en känd motorkonfiguration där motor, reduktionsväxel och propeller är kända i en bestämd segelbåt och behandlar därmed inte motor- eller reduktionsväxelval för båten. Optimering och analysering av propellern görs med tre olika reduktionsförhållanden nämligen det befintliga reduktionsförhållandet, det minsta reduktionsförhållandet som finns att tillgå i produktbulletinen samt ett fiktivt reduktionsförhållande som är högre än det installerade reduktionsförhållandet.

Optimeringen görs med den valda motorn vid 100, 90, 80, 70 % varvtal med de olika reduktionsförhållandena.

Beräkningarna tar endast hänsyn till "upright resistance" skrovmotstånd vid lugnt väder enligt DSYHS serien -95 eftersom resultat från referensberäkningar gjorda med både DSYHS-98 & DSYHS-95 visar att den serien passar S53:ans skrovmotstånd bättre än DSYHS-98.

Propellertypen som används i studien antas vara utformad enligt Wageningens B-seriens geometri med fast stigning.

1.3 Symboler och terminologi

(Eliason, 1994, 2000)

D = Diameter(m)

P = Pitch (Stigning)(m)

J = Advance ratio (framdriftstal)

K_Q = Torque coefficient (Vridmoments koefficient)

K_T = Thrust coefficient (Tryckkrafts koefficient)

η_0 = Efficiency (Effektivitet)

T = Thrust (Tryckkraft)(N)

Q = Torque (Vridmoment)(Nm)

V_A = Water velocity at the propeller

(Vattnets strömnings hastighet till propellern)(m/s)

δ = Inverted advance ratio (Inverterat framdriftstal)

B_U = Thrust coefficient (Tryckkrafts koefficient)

P_D = Power delivered (Levererad effekt hos optimal propeller)(kW)

P_D = Power required (effekt behov hos icke optimal propeller) (kW)

1.4 Formler

(Eliason, 1994, 2000)

Formel 1 Advance ratio

$$J = \frac{V_A}{D * n}$$

Formel 2 Torque coefficient

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

Formel 3 Thrust coefficient

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

Formel 4 Propeller efficiency

$$\eta_0 = \frac{J}{2\pi} * \frac{K_T}{K_Q}$$

Formel 5 Inverted advance ratio

$$\delta = \frac{101,3}{J}$$

Formel 6 Thrust coefficient

$$B_U = 13,36 * \sqrt{\frac{T * n^2}{\rho * V_A^4}}$$

Formel 7 Optimum diameter

$$D = \frac{\delta * V_A}{101,3 * n}$$

Formel 8 Power delivered (power available at the propeller)

$$P_D = \frac{T * V_A}{\eta_0}$$

Formel 9 Propeller RPS

$$n = \frac{\text{Engine Rpm}}{\text{Gearbox reduction} * 60}$$

Formel 10 Propeller RPS, Calculating power required for non-optimum propeller

$$n = \frac{V_A}{D * J}$$

Formel 11 Propeller loading coefficient

$$\text{coefficient} = \frac{K_T}{J^2} = \frac{T}{\rho * D^2 * V_A^2}$$

Formel 12 Power required for non-optimum propeller.

$$P_D = 2\pi * K_Q * \rho * D^5 * n^3$$

2 SEGELBÅTSPROPELLERTEORI

2.1 Propellerns karaktär

I Bild 1 kan man se en sektion av ett propellerblad vid en godtyckligt vald radie, den kraft som ett propellerblad presterar består av den axiella komponenten (V_A) som uppstår av den framåtgående rörelsen av propellern genom vattnet (Principless of yacht design anser att denna kan antas vara lite lägre än båtens framfart men tar inte denna fartminskning i beaktande i sina beräkningar utan använder båtens framfart) samt den tangentiella komponenten som uppkommer av propellerns rotation.

Den tangentiella komponenten är proportionell till den lokala radien samt varvtalsfrekvens och stiger linjärt med stigande radie. Detta gör att anfallsvinkeln mellan propellerbladet och tillströmmande vattnet blir mindre och mindre mot bladspetsen, som ger det karakteristiska vridna propellerbladet egenskapen av att varje radie av propellerbladet ger samma teoretiska distans framåt per rotationsvarv med undantag av till exempel vinkelförändring längs med propellerbladet för att avlasta bladspetsarna och för att få en jämn övergång till propellernavet. Detta begrepp heter stigning (Pitch) och är tillsammans med diametern en av propellerns viktigaste parametrar. Stigningen skall vara tillräckligt stor för att få en lämplig anfallsvinkel mellan propellerbladets sektion och det tillströmmande vattnet (V_A) för att få en så stor kraftresultant som möjligt, denna resultant består av en nyttokomponent linjärt med propelleraxeln (Thrust) och en mindre önskad komponent (Torque). Dessa komponenter fås dimensionslösa enligt beräknings

Formel 1, 2, 3. (Eliason, 1994, 2000, 169:170.)

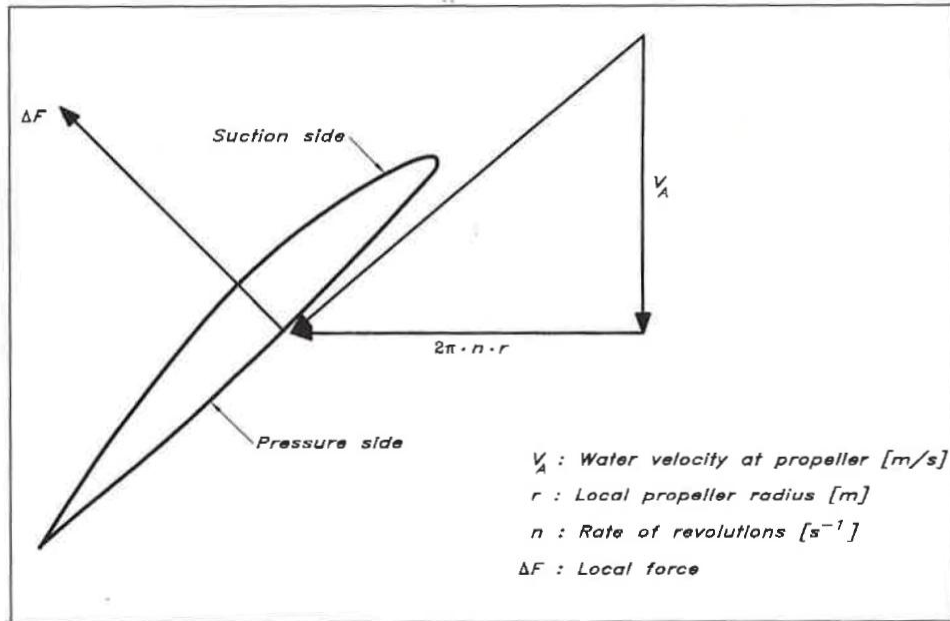


Bild 1 Sektions beskrivning av ett propellerblad (Eliason, 1994, 2000)

2.2 Propellerns effektivitet som funktion av framfart

När framfarten är noll uppnås den största tryckkraften och vridmomentet men den teoretiska effektiviteten är också noll eftersom ingen framfart av propellern existerar i beräkningen.

Tryckkraften går även till noll när hastigheten blir den samma som stigningen gånger varvtalet eftersom vattnets anfallsvinkel till bladen blir noll.

När tryckkraften blir noll är även den teoretiska effektiviteten noll och det enda som genererar vridmoment är då friktionen till vattnet. (Eliason, 1994, 2000,170.)

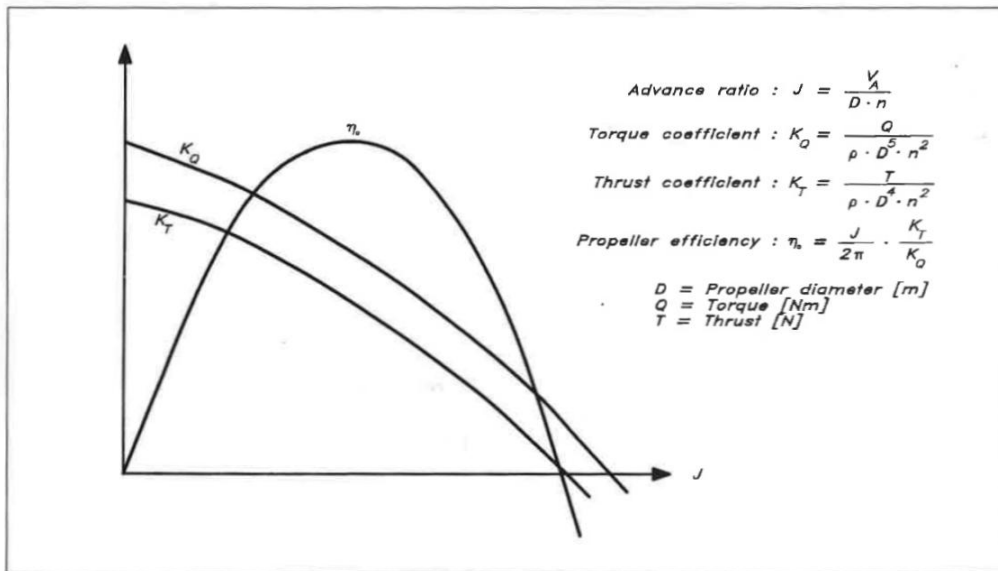


Bild 2 Propeller karaktär (Eliason, 1994, 2000)

2.3 Design av optimala propeller

Vid design av den optimala propellern behövs följande indata: Framfart V_A , tryckkraften och varvtal på propelleraxeln.

För att göra B_U beräkningarna antas propellerns tryckkraft vara lika med det totala motståndet för skrovet vid valda hastigheter.

Vid användning av ett B_U - δ diagram (Bild 3) så hittas de optimala propellerparametrarna genom att först beräkna B_U för given hastighet. Från det beräknade B_U fås längs den lodräta axeln skärningspunkten för den optimala propellerkurvan och det optimala P/D kan avläsas längs den horisontella axeln.

När denna punkt har hittats kan η_0 och δ interpoleras från diagrammets η_0 och δ kurvor. Med känt T , V_A och η_0 kan P_D beräknas. (Eliason, 1994, 2000, 171:173)

Egenskaperna för den optimala propellern är att generera den önskade tryckkraften med ett så litet energibehov (P_D) som möjligt. Beräkning med hjälp av interpolation i dessa diagram är väldigt tidskrävande och arbetsdrygt

så propellerpolynomberäkningar med hjälp av dator ger både noggrannare beräkningar och sparar tid.

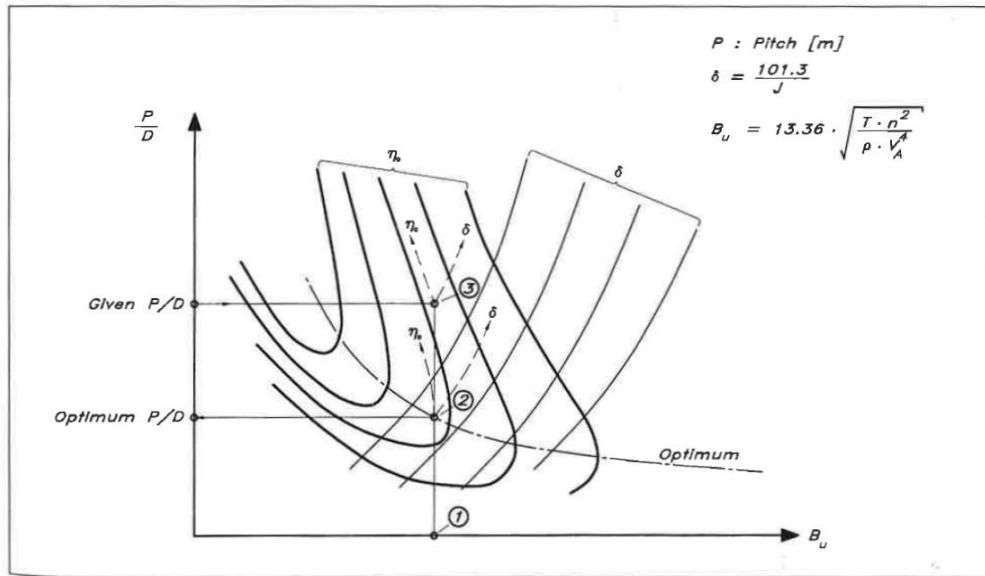


Bild 3 Princip bild av ett BU- δ diagram (Eliason, 1994, 2000)

2.4 Belastning av icke- optimal propeller

Genom att dividera K_T med J^2 på en propeller med ett känt P/D fås en dimensionslös variabel som är oberoende av varvtal. Denne används som definition av belastningen av propellern. Detta diagram används för att beräkna varvtal och effektbehov för olika båthastigheter och man får fram ett fartdiagram som funktion av varvtal och effekt. (Eliason, 1994, 2000, 174:178.)

En icke- optimal propeller används på grund av att den optimala propellern vanligen inte går att installera av utrymmesskäl likaså tillverkas de flesta segelbåtspropellrar med ett antal olika bladareor och både stigning och diameter går endast att få i ett antal bestämda dimensioner beroende på

tillverkare. I verkliga sammanhang ligger utmaningen i att hitta den icke-optimala propeller som ligger närmast den optimala propellerns karaktär.

2.5 Propellerns parametrar

2.5.1 Diameter

Vid beräkning av propellerdiametern bör motorns toppvarvtal användas och motoreffekten vid det samma. Detta för att propellerkurvan skall skära motorns effektkurva vid dess maximum.

Om ett lägre varvtal med en för hög effekt används orkar motorn inte nå fullt varvtal och effekt eftersom propellerkurvan skär motorns effektkurva redan vid lägre motorvarvtal. Effektbehovet måste således minskas för det valda varvtalet.

I de fall där motortillverkaren tillåter att man bromsar motorn på ett lägre varvtal kan detta varvtal och dess effekt användas.

Ifall man använder lägre varvtal och effekt vid beräkningar kommer tryckkraften att bli större vid de lägre varvtalen när diametern blir större. Detta sker på bekostnad av toppfarten eftersom toppvarvtalet blir lägre och förflyttad sträcka framåt blir kortare. Omvänt så ger ett högre varvtal en mindre diameter och en större stigning vilket ger grovt en högre toppfart. (Gerr, 1989, 51.)

På grund av utrymmesbrist, krav på propelleraxeldiameter och brist på stora reduktionsförhållanden måste man vanligtvis kompromissa vid valet av propellerdiametern vilket direkt inverkar negativt på effektiviteten eftersom en stor diameter med ett lågt varvtal ger den bästa effektiviteten.

Diametern påverkar vridmomentskoefficienten i femte potens och tryckkraftskoefficienten i fjärde potens så dess dimension är av yttersta vikt vid dimensionering. (Eliason, 1994, 2000,170.)

2.5.2 Stigning

Stigning är en benämning som används för den teoretiska sträckapropellern förflyttar sig framåt per rotationsvarv tack vare den anfallsvinkel som propellerbladen har i förhållande till propelleraxeln. Vanligen är stigningen baserad på en så kallad "Face pitch" vilket innebär att det är vinkeln mellan konturlinjen på propellerbladssektionens trycksida och propelleraxeln vid 70 % radie av propellerdiametern men kan även mätas på andra radier om man önskar få ett noggrannare resultat. På en konstant stignings propeller som behandlas i denna studie är det denna vinkel som ändras längs med propellerbladet så att alla sektioner på propellerbladet förflyttar sig lika långt framåt på ett rotationsvarv, med undantag av roten av propellerbladen där formförändringen från propellernavet påverkar propellerbladsprofilen och denna vinkelförändring ger propellerbladen dess karakteristiska vridna form. Stigningens funktion är att omvandla vridmomentet i propelleraxeln till tryckkraft enligt Newtons andra lag $F=MA$, detta innebär att propellerns tryckkraft är proportionell till densiteten på mediet som flyttas genom propellern och dess acceleration.

Vid dimensionering av propellerns diameter och stigning bör man söka den konfiguration som ger den största tryckkraften och använder motorns kraftresurser maximalt utan att den överbelastas, vid en hög stigning accelereras en stor mängd av mediet och en stor tryckkraft uppnås men samtidigt belastas motorn högre och en allt för stor stigning ger en lägre verkningsgrad på hela motorn och propulsionsenheten eftersom motorn hindras från att uppnå fullt varvtal och full effekt.

En för liten stigning accelererar inte tillräcklig mängd medium för att uppnå maximal tryckkraft och hastigheten på båten blir lägre. (Gerr, 1989, 22:26)

2.5.3 Bladarea (BAR/DAR/EAR)

Bladarean på ett propellerblad och på en hel propeller kan definieras på flera olika sätt: per blad eller den totala bladarean på samtliga propellerblad.

Den projicerade bladarean är arean av propellerbladets konturlinje sett rakt akterifrån och betecknas A_p (Projected blade area) och är alltid mindre än den verkliga bladarean på propellerbladet.

Den verkliga bladarean på ett propellerblad är den utbredda ytan A_D (Developed blade area) av propellerbladets trycksida och det är denna som skall användas vid beräkningar eftersom den beskriver ytan som kan överföra tryckkraften den senare nämnda kallas även för EAR (expanded blade area) eller BAR (Blade area ratio) . För att konvertera projicerad bladarea till utbredd bladarea kan följande formel användas:

Formel 13 Projicerad vs. utbredd bladarea

$$A_p/A_D = 1,0125 - (0,1 * P/D) - (0,0625 * P/D^2)$$

Den totala utbredda bladarean i förhållande till den cirkel som beskriver arean av propellerns diameter benämns ofta som DAR(Disc area ratio)

Formel 14 DAR

$$DAR = \frac{EAR * \text{Antal blad}}{\text{Arean av propeller diametern}}$$

Vanliga DAR-värden ligger vid 0,4-0,7 och generellt på mindre propellerdiametrar och ju högre propellervarvtal desto bredare propellerblad vilket ger ett högre DAR- och MWR-värde.

(Gerr, 1989,28:30)

2-bladiga foldingpropellrar har ett DAR på ungefär 0,2 men de är inte optimerade för en hög effektivitet utan har istället prioritet på minsta möjliga motstånd i hopfällt läge vid segling.

Formel 15 Bladarea (cm²)

$$Bladarea(cm^2) = \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2 * \pi * BAR$$

2.5.4 MWR

Mean-width ration är ett förhållande som beskriver propellerbladets längd- och bredd-förhållande baserat på längden mätt från propellerbladets rot vid propellernavet (inte vid axelns centrumpunkt). Bredden beräknas enligt en rektangels kortsida vilken har samma area och längd som propellerbladet.

Formel 16 MWR

$$MWR = \frac{(EAR/bladlängd)}{Propeller diameter}$$

Ett högre MWR ger ett kortare och bredare propellerblad vilket kan vara fördelaktigt vid högt belastade propellrar för att undvika kavitation och vid begränsad diameter, medan ett lågt MWR ger ett långt och smalt propellerblad vilket oftast används på 3- eller flerbladiga propellrar för att hålla ner den totala bladarean på propellern. Ett lågt MWR ger också en hög effektivitet men då krävs en stor propellerdiameter med lågt varvtal.

Vanliga MWR förhållanden är 0,2-0,5 (Gerr, 1989,29:30)

2.5.5 Bladantal

Bladantalet på en propeller påverkar dess prestanda vid olika situationer.

Enligt Dave Gerr är det optimala antalet blad på en propeller ett. Eftersom det får arbeta i orört vatten fås den bästa verkningsgraden. Detta är endast teoretiskt eftersom det är omöjligt utan kontravikter att få en propeller med ett blad i balans.

En tvåbladig propeller är på så vis den effektivaste men dess begränsning är att det behövs en stor diameter på propellern för att få tillräcklig bladarea till att överföra motorns kraft till tryckkraft utan att det uppstår kavitation.

Därför anses den 3-bladiga propellern vara den bästa kompromissen mellan balans, bladarea och effektivitet.

4 blad eller flera används för att generera mera bladarea utan att öka diametern eller minska diametern och behålla tillräcklig bladarea (det senare påverkar dock tryckkraften negativt enligt den tidigare beskrivna effekten av propellerns diameter). En annan fördel med flera propellerblad är att det kan minska vibrationer i en installation eftersom amplituden mellan propellerbladspetsarna och skrovet blir tätare och på så vis blir tryckskillnaden mindre när bladspetsarna passerar skrovet. (Gerr, 1989,27:28)

2.5.6 Skew

"Skew" betyder att propellerbladets framkant är svept bakåt. Denna bladgeometri ger en liten negativ inverkan på tryckkraften, men istället uppnås en tystare gång speciellt på högre varvtal eftersom bladprofilen skär vattnet i sekvenser.

Denna geometri är vanligast på medium- och höghastighets propellrar medan låghastighetspropellrar vanligen har en liten "skew" eller ingen alls. (Gerr, 1989,39)

En propeller med "Skew" har en sämre effektivitet vid backning.

2.5.7 Rake

Rake beskriver hur ett propellerblads centrumlinje (sidoprojektion) står i förhållande till en teoretisk linje vinkelrätt ut från propelleraxelns centrumlinje genom centrumlinjen vid roten av propellerbladet. Ifall propellerbladen är vinklade akterut så har propellern en positiv rake medan förut vinklade propellerblad har en negativ rake. Det optimala för normala propellerinstallationer är vinkelräta blad i förhållande till propelleraxelns centrumlinje.

Positiv rake kan användas för att få längre propellerblad på samma propellerdiameter samt öka frigången till skrovet genom att de flesta segelbåtsskrov stiger längre akterut. Därtill har en positiv rake en liten fördel mot sjögräs i propellern.

Negativ rake används främst på höghastighetspropellrar och på högt belastade propellrar eftersom en negativ rake kan hjälpa och förstärka propellerbladet. (Gerr, 1989,40:41)

2.5.8 Kavitation

Kavitation uppstår vid högt propellervarvtal eller på högt belastade propellrar, som har en för liten bladarea för att överföra motorns effekt till vattnet, på grund av att undertrycket på propellerbladets sug sida blir större än det tryck som det atmosfäriska trycket plus det hydrostatiska trycket ovanför propellern skapar.

Kavitation orsakar vibrationer och kan även göra stora gropar i propellerbladen så att propellern förstörs. Det finns ett antal sätt att undvika att det uppstår kavitation. Först bör propellerbladen ha en ogival bladsektion (propellerbladet har en plan trycksida och en jämn konvex kurvatur på sugsidan) speciellt ute mot bladspetsarna och rotationshastigheten hållas tillräckligt lågt på propellern (36 m/s). Bladarean bör vara tillräckligt stor och P/D hållas så lågt som möjligt. Man kan även avlasta propellerbladspetsarna

genom att minska stigningen en aning längst ute på spetsarna där trycket blir som störst. (Gerr, 1989,43)

För propellrar på nöjesbåtar kan en viss kavitation tillåtas vid högre varvtal som inte används kontinuerligt eftersom det är först när propellern mister tryckkraft som kavitationen är så stor att det blir störande.

Gerrs beräkningar på när kavitation mest sannolikt kommer att uppstå är baserade på empiriska mätningar i tanktester (Gerr, 1989, 57:58) konverteringsfaktorer för SI-enheter har adderats.

Formel 17 Tillåtet bladtryck (Gerr)

$$N/m^2 = 1,9 * V_a^{0,5} * \left(\frac{Ft}{0,3048} \right)^{0,08} * 6894,8$$

Formel 18 Verkligt bladtryck (Gerr)

$$N/m^2 = \left(\frac{326 * Shp * \eta_o}{V_a * \left(\frac{A_d}{6,4516} \right)} \right) * 6894,8$$

V_a: Vattnets fart genom propellern (knop)

F_t: mått från DwL till centrum av propellern i (m)

A_d: Propellerns totala bladarea (utbredd bladarea) (cm²)

Kavitationsberäkning enligt Burrills diagram ger den minsta tillåtna bladarean innan kavitation kan tänkas uppstå (Eliason, 1994, 2000,179:180)

Formel 19 Kavitations nummer (Burrill)

$$\sigma = \frac{P_P - P_V}{\frac{1}{2} \rho * V_A^2 * \left[1 + \left(\frac{0,7 * \pi}{J} \right)^2 \right]}$$

Formel 20 Minsta tillåtna bladarea (Burrill)

$$\frac{A_D}{A_o} = \frac{T}{\tau * \frac{1}{2} \rho * V_A^2 * \left[1 + \left(\frac{0,7 * \pi}{J} \right)^2 \right] * \left(1,067 - 0,229 \frac{P}{D} \right) * \frac{\pi}{4} * D^2}$$

σ = Kavitations nummer

$$P_P = P_{atm} + \rho * g * h_p$$

P_{atm} = Atmosfäriskt tryck (101300 Pa)

h_p = avstånd DwL-centrum av propellernav (m) (S53=0,68m)

P_V = Förlängningstryck (2300 Pa@20°C)

A_D = Total utbredd bladarea (m²)

A_o = Propeller diameter area (m²)

P/D = Stigning-Diameter förhållande

τ = Övre gränsvärde för kavitationsfri funktion enligt Burrill

T = Tryckkraft (N)

V_A = Vattnets strömningshastighet till propellern (m/s)

D = Diameter (m)

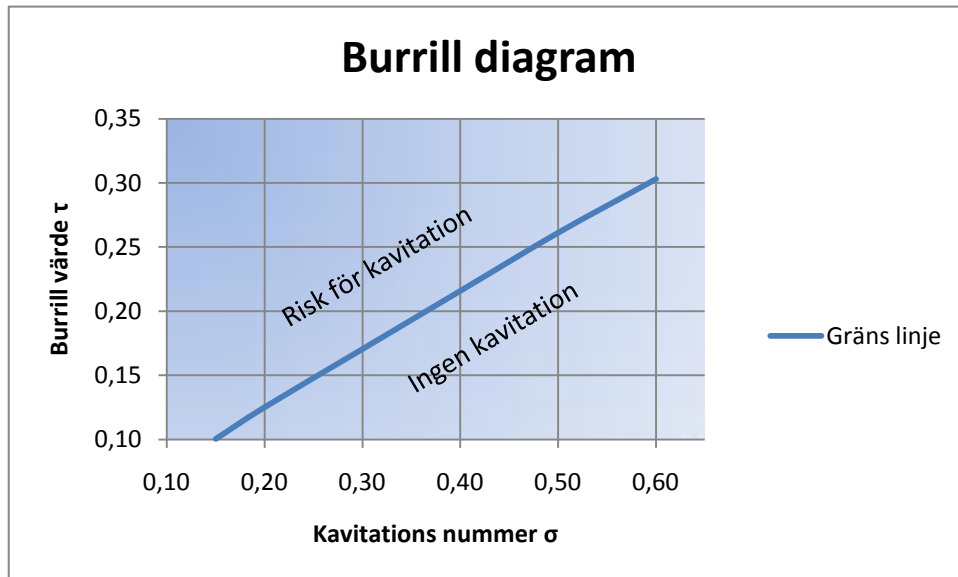
Formel 21 Bladspets hastighet

$$\text{Bladspets hastighet} = \emptyset * \pi * n$$

Bladspets hastighet = Bladspets hastighet på propellern (m/s)

\emptyset = Propeller diameter (m)

n = Propelleraxelvarvtal (Rps)



σ	τ
0,15	0,101
0,20	0,125
0,30	0,171
0,40	0,216
0,50	0,261
0,60	0,303

Bild 4 axelvärden och graf över kavitations område enligt Burrill

2.5.9 Wake factor for VA

Medströmsfaktorn är ett fenomen som beskriver vattnets strömning längsmed skrovet. När ett skrov rör sig genom vattnet bildas skikt av vatten med olika strömningshastigheter beroende på skrovets längd, form och hastighet.

Denna faktor är ett antaget medelvärde av dessa hastighetsvariationer antas generellt vara 0,8 för enkel propellerinstallation och 0,9 för dubbel propellerinstallation på segelbåtar. (Ström, 2007, 38)

Taylor's wake fraction formel använder skrovets block koefficient för att bestämma storleken av medströmsfaktorn. Baserat på denna formel blir S53:ans faktor: $Wf=0,88$

Formel 22 Speed of advance

$$V_a = V * W_f$$

Formel 23 Wake factor

$$W_f = 1,11 - (0,6 * C_b)$$

Formel 24 Block coefficient

$$C_b = \frac{Disp}{WL * BwL * Hd * 64 \text{ lb./cu. ft}}$$

S53 Beräkning av W_f enligt Formel 23, Formel 24

$$(C_b)_{0,375} = \frac{44818}{46,88 * 13,67 * 2,91 * 64 \text{ lb./cu. ft}}$$

$$(W_f)_{0,88} = 1,11 - (0,6 * 0,375)$$

- V: Båtens framfart genom vattnet (Knop)
 - V_a: Vattnets strömningshastighet till propellern (knop)
 - W_f: Taylor's wake factor
 - C_b: Block koefficient
 - Disp: Displacement (Lbs)
 - WL: vattenlinjelängd (fot)
 - BwL: vattenlinjebredd (fot)
 - Hd: Skrovets djupgång utan roder och köl "Tc" (fot)
- (Gerr, 1989,66:69)

2.5.10 Slip

Propellerns stigning beskriver den teoretiska sträcka som propellern färdas framåt på ett rotationsvarv, men eftersom propellern arbetar i ett flytande medium så kommer propellern att slira en aning för varje rotationsvarv. Hur mycket propellern slirar beror främst på rotationshastigheten och belastningen. Detta innebär att en propeller på ett displacementskrov kommer att slira ordentligt vid högre varvtal. Detta fenomen kallas "Slip" och kan delas upp i "Apparent slip" (SlipA) och "Real slip" (SlipR). Vanligen används värdet för SlipA när man beskriver propellerns slirning.

SlipA kan beskrivas som förhållandet mellan den teoretiska sträckan och den teoretiska sträckan subtraherat med den verkliga sträckan.

Formel 25 SlipA

$$\text{SlipA}\% = \frac{(P * n * 3600) - (V * 1852)}{P * n * 3600} * 100$$

SlipR är det verkliga värdet på propellerns slirning eftersom propellern arbetar i en våg (V_A) så har vattnets hastighet till propellern inte samma hastighet som skrovets framfart utan vågbildningen blir en faktor som inverkar negativt på propellerns slirning och dess värde stiger ytterligare.

Formel 26 SlipR

$$\text{SlipR}\% = \frac{(P * n * 3600) - (V_A * 1852)}{P * n * 3600} * 100$$

P: Stigning (m).

n: Propelleraxel varvtal (rps).

V: Båtens framfart enligt Formel 32 (Knop).

V_A : Vattnets strömnings hastighet till propellern enligt Formel 22 (Knop).

2.5.11 Lutande propelleraxel

En nedvinklad propelleraxel har en negativ effekt på tryckkraften framåt för att vattnet antas strömma längs med skrovet och därmed går inte vattnet vinkelrakt genom propellern. Vid vinklar över 15° minskar propellerns tryckkraft. Därtill ger en lutad axel en mindre vågrät tryckkraftsvektor rakt framåt och på högt belastade propellrar kan kavitation uppstå tidigare än vid vertikal ställd propeller. I normala fall kan tryckkraften multipliceras med 0,8 baserat på empiriska mätningar. Ett närmevärde för tryckkraftsminskningen kan fås genom Formel 27

Formel 27 inverkan av lutande propelleraxel (Ström)

$$T_{lutande\ propelleraxel} = T * \cos(lutningsvinkeln)^3$$

(S53 har en lutningsvinkel på 24°)

(Ström, 2007,43)



Bild 5 Vinkelbeskrivning av lutningsvinkelns inverkan på tryckkraften.

2.5.12 Propelleraxel

Som propelleraxelmateriell används i huvudsak materialet "Aquamet22" och "Aqualoy22" i Swan segelbåtar tack vare materialets höga

korrosionsbeständighet och styrka (Bilaga 10) .

Tillverkaren av "Aqualoy" Western Branch Metals presenterar beräkningar av axeldiameter, säkerhetsfaktor, och lagringsavstånd enligt ABYC standarden (American Boat and Yacht Council) och specificerar storleken av säkerhetsfaktorn för lätt belastade nöjes-/fritidsbåtar SF=2 och för högt belastade nöjes-/fritidsbåtar med dieselmotor borde ligga omkring SF=5. Utöver detta rekommenderas minst en propelleraxeldiameter på 1/15 av propellerdiametern. Minsta avstånd mellan lagringspunkterna är 20*axeldiametern.

Formel 28 Propelleraxel diameter (Aqualoy)

$$D = \sqrt[3]{\frac{321000 * P * SF}{S_t * N}}$$

Formel 29 Propelleraxelns säkerhetsfaktor (Aqualoy)

$$SF = \frac{D^3 * S_t * N}{321000 * P}$$

Formel 30 Maximal lagrings avstånd (Aqualoy)

$$L = \sqrt[2]{\frac{3,21 * D}{N}} * \sqrt[4]{\frac{E}{W_1}}$$

- D: Propellerdiameter (in)
P: Shp (hp)
SF: Säkerhetsfaktor
S_t: Sträckgräns (vrid) (lbs/in²)
N: Propelleraxelvarvtal (RPM)
L: Längd (Feet)
E: Elasticitetsmodul (lbs/in²)
W₁: Propelleraxel materialvikt (lbs/in³)

(WBM Western Branch Metals, LC, 2007)

2.6 Bollard pull

Bollard pull är en benämning som används för att mäta pålkraften eller den statiska tryckkraften på en propeller. Den görs genom att båten binds fast i kajen och den statiska tryckkraften mäts. När V_A blir lägre och shp stiger så blir även tryckkraften större. Eftersom toppvarvtalet blir lägre vid Bollard pull är diametern den viktigaste faktorn för en hög statisk tryckkraft. Detta kan beräknas genom att V_A sätts till t.ex. 0,001 i formlerna och på så sätt fås det varvtal och tryckkraft som uppnås när propellern tar upp all tillgänglig effekt som motorn kan leverera.

Dave Gerr har också en överslagsberäkning för en snabb analys av konfigurationens statiska tryckkraft, (koefficienter för användning av SI-enheter har satts in i formeln). (Gerr, 1989,60:61)

Formel 31 Statisk tryckkraft

$$T_s = 62,72 * \left(SHP * \frac{\left(\frac{D}{25,4} \right)}{12} \right)^{0,67} * 0,454 * 9,81$$

T_s = Statisk tryckkraft (N)

SHP= Propelleraxeleffekt (Hp)

D= Propellerdiameter (mm)

(Yanmar Marine International)

2.7 Skrovmotstånd

Skrovmotståndet beräknas enligt DSYHS (Delft systematic yacht hull series) i upprätt läge och inkluderar både skrov-, köl- och rodermotstånd i detta tillstånd. Detta motstånd definieras av skrovets friktions- och restmotstånd.

Kölens friktions- och restmotstånd och rodrets friktions- och restmotstånd. Denna beräkningsmodell används också av linjeritningsprogrammet "Maxsurf" för motståndskurvor på olika skrov samt ett antal VPP (Velocity Prediction Program).

År 1974 valdes modellen "Strandfast 43" (skrovmodell 1) designad av Frans Maas som referensmodell för DSYHS tanktester och mätningar. Utifrån denna gjordes 22 kopior med systematiska variationer från referensmodellen som testades och utvärderades i testbassänger under en tio års period och går under namnet DSYHS series 1.

Efter de tio åren ändrades utseendet på racingsegelbåtsskrov rätt drastiskt och år 1983 beslutades att en ny referensmodell skulle inkluderas i DSYHS enligt linjeritningar som presenterats vid Delft Shiphydromechanics Laboratory av Van der Stadt design från Wormerveer i Holland. Av den nya referensmodellen gjordes sex stycken kopior även de med systematiska variationer och kom att benämnas som DSYHS series 2 (skrovmodell 25) och senare tolv modeller till baserat på samma referensmodell dock med ett mycket lätt displacement och ett högre längd till bredd förhållande som benämns som DSYHS series 3.

År 1995 introducerades ännu en skrovmodell i DSYHS designad av Sparkman and Stephens under namnet "IMS 40" och speciellt framtagen för forskning av IMS (International Measurement System)skroven. Detta skrov var något av en "medel" design enligt IMS mätreglerna och blev i DSYHS benämnd som Skrov modell 44 ur vilken nio modeller med systematiska variationer har blivit framtagna (DSYHS series 4).

Eftersom DSYHS inkluderar så många skrovmodeller anses den som ett av de bättre system för att analysera olika typer skrovdesign.

(J A Keuning,99:103)

Formel 32 Skrovhastighet

$$\text{Skrovets hastighet} = (Fn\sqrt{g * LwL}) * 1,944$$

Fn: Frouds tal

g: Tyngdkraft (m/s²)

LwL: Vattenlinjelängd (m)

Skrovets hastighet: (Knop)

2.8 Wageningen B-Series

Wageningen B-Seriens propellerserie som även känd som "Throost B-Series" och är framtagen vid "Netherlands ship model basin i Wageningen". Dess propellerbladsektion är en vingprofil som ger den en högre verkningsgrad än t.ex. Gawn-Burrill som har en bladprofil som är plan på propellerbladets trycksidan och har en jämn radie på bladets sug sida. Samtidigt är den känsligare för kavitation vid hög belastning än vad Gawn-Burrill serien är. Genom att analysera 120 propellermodeller i testbassäng har dess karaktäristiska egenskaper kunnat analyseras i fritt vattenflöde. Detta görs i en testbassängstunnel där all data om tryck- och lyftkraft och vridmoment vid olika varvtal och framfart kan dokumenteras. Utifrån dessa mätdata framtog koefficienter för K_T , K_Q , J för denna propellertyp.

Mätdata och dess koefficienter beskriver B-seriens egenskaper bra men är rätt komplicerad att använda vid beräkningar eftersom det krävs många interpolationer för att komma fram till rätt slutresultat. Denna data har senare blivit analyserad vidare och man har beräknat fram polynomer som underlättar användningen av koefficienterna i dataprogram för beräkningar. Samtidigt har resultaten korregerats för Reynolds effekt för en ekvivalent bladprofil enligt en metod av Lerbs. Polynomer för Reynolds effekt samt tjockleken på bladprofilen och dess karaktär vid en viss radie har adderats i polynomerna. B-seriens propellerserier tas fram genom att man systematiskt kör en analys med ett antal propellermodeller där endast P/D har varierats och alla de andra parametrarna såsom Diameter, Antalet blad, BAR, bladkonturen,

bladsektionsformen, bladtjocklek och förhållandet mellan propellernavets diameter och propellerns totala diameter bibehålls. Propellerserier i B-serien finns från 2- till 7-bladiga med ett BAR från 0,30 till 1,05 samt ett P/D från 0,5 till 1,4. (Oossanen, I.S.P., Vol.22, No. 251, July 1975, 3)

För beräkning av Kq med hjälp av polynom är alla koefficienter uppställda i 47 rader i "Bilaga 8" och som värden för beräkningen används: J, P/D, EAR, Z.

För varje enskild rad beräknas "S" enligt:

Formel 33 "S" koefficient för Kq (Polynom)

$$S_i = CTI_i * (J^{S_i}) * (P/D^{t_i}) * (EAR^{u_i}) * (Z^{v_i})$$

och Kq erhålls genom att summera varje rads "S" värde enligt :

Formel 34 Kq (Polynom)

$$Kq = S_1 + S_2 + \dots S_{47}$$

För beräkning av Kt med hjälp av polynom så är alla koefficienter uppställda i 39 rader i "Bilaga 9 Wagingen B-seriens Kt polynom" och som in värden för beräkningen används: J, P/D, EAR, Z. För varje enskild rad beräknas "S" enligt:

Formel 35 "S" koefficient för Kt (Polynom)

$$S_i = CTI_i * (J^{S_i}) * (P/D^{t_i}) * (EAR^{u_i}) * (Z^{v_i})$$

och Kt erhålls genom att summera varje rads "S" värde enligt :

Formel 36 Kt (Polynom)

$$Kt = S_1 + S_2 + \dots S_{39}$$

2.9 Bränsleförbrukning

Bränsleförbrukningen för en marin dieselmotor kan vara olika vid samma varvtal beroende på belastningen. Motorerna har vanligtvis en varvtals reglering och på så sätt blir in värdet till motorn ett önskat varvtal. Bränsleinsprutning och turbostryck regleras på motorn så att varvtalet nås och använd bränslemängd blir beroende på belastningen. Bränsleförbrukningen kan ges baserat på belastningen av en teoretisk propellerkurva vanligen i 3:e potens men också 2,5 förekommer. Denna kurvas förbrukning baseras på specifika bränslemätningar vid olika varvtal och belastningar enligt t.ex. diagrammet nedan till vänster . Ett annat alternativ till bränsleförbrukningskurvor är de som ger en förbrukning på g/kWh vid respektive varvtal. Dessa är dock svårare att använda vid beräkningar eftersom denna kurva representerar förbrukningen vid fullt effektuttag. En dieselmotors effektivitet i form av vilken mängd bränsle som behövs för att generera 1 kW varierar stort beroende på vilken belastning motorn har, generellt är en dieselmotor mycket ineffektiv under 50 % belastning och förbrukningen per genererad kW är exponentiellt högre än vid fullt effektuttag. Fullt effektuttag på marina propulsionsinstallationer kan endast uppnås på andra varvtal än toppvarvtal genom att ha system där motorvarvtal eller belastning kan regleras oberoende av propellerenhetens varvtal som t.ex. CCP propulsion, dieselelektriska installationer eller dieselhydrauliska. Dessa kan även överbelasta motorn och en indikation av effektuttaget bör inkluderas i systemet och effektuttaget så vis begränsas. Dock har dessa enheter andra förluster som inte behandlas i denna studie. (Hawksley, 2007)

Formel 37 Bränsleförbrukning

$$\frac{\text{Ltr}}{h} = \frac{\left(\frac{\text{Ltr}}{h}\right)}{\text{hp}} * \left(\frac{P_D * 1,36}{\text{Gear \& shaft efficiency}}\right)$$

Formel 38 Motorbelastning

$$\text{Engine load \%} = \left(\frac{P_D}{\text{Engine power} * \text{gear \& shaft efficiency}}\right) * 100$$

Ltr/h/hp: Se Tabell 1.

P_D : Absorberad effekt av propeller (kw).

Engine power: Se Tabell 1 konverterat till (kw).

Gear & shaft efficiency: (96 %) .

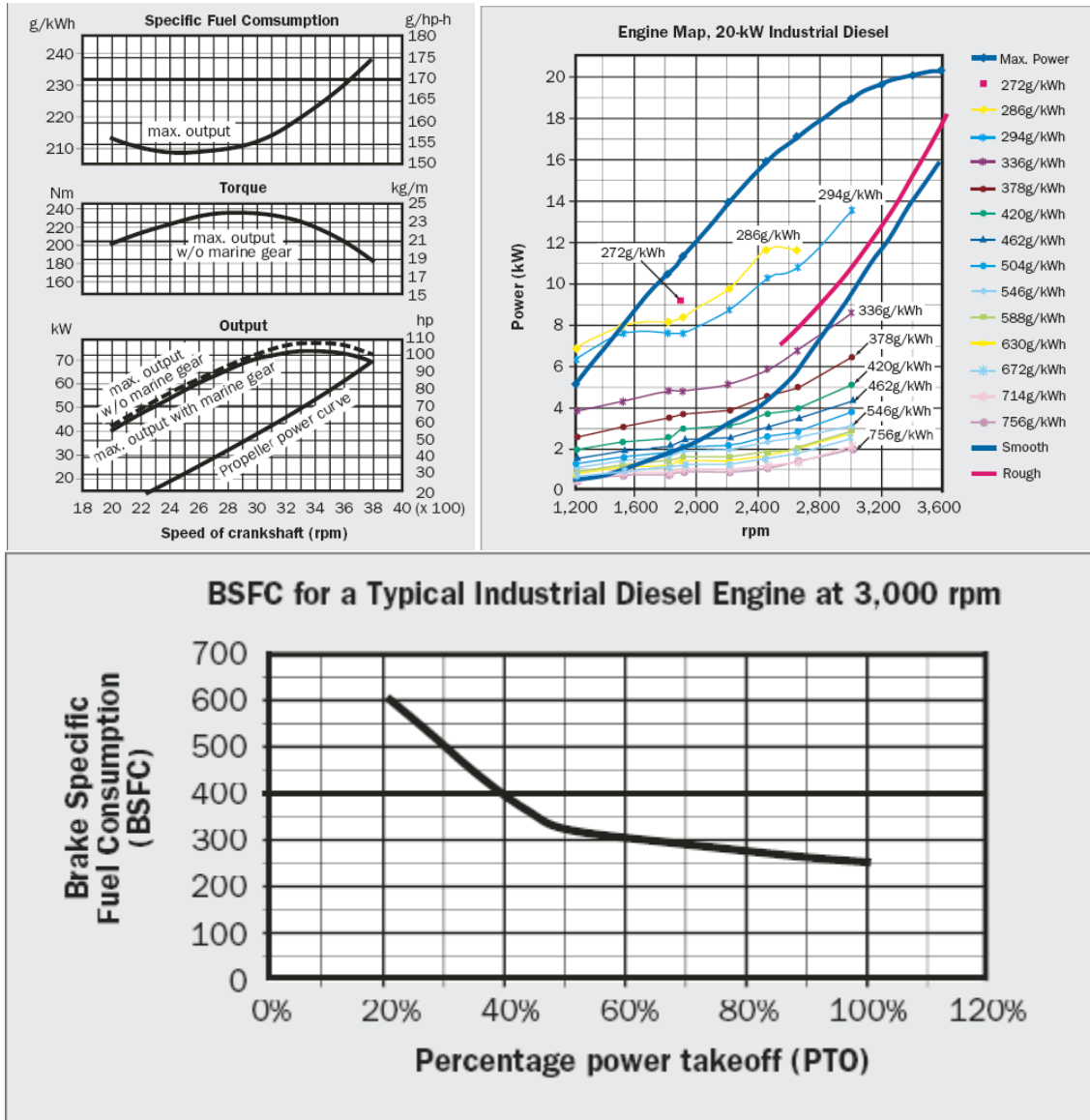


Bild 6 Exempelbild av bränsleförbruknings diagram och belastningsinverkan.

3 TESTOBJEKT

3.1 Allmänt

Objektet som används som referens för beräkningarna är en Swan 53 med "Centerbord" köl som blev levererad sommaren 2008. Denna båt var den första båten i serien som utrustats med en större motor och axelinstallation mot de tidigare S53:orna som hade haft en 75hp motor och segeldrev. Denna uppgradering var för att få en större tryckkraft och därmed klara av att hålla manöverfart i hårdare sjögång för motor än tidigare. Som referensdata från denna båt finns dokument för uppmätt bränsleförbrukning vid olika hastigheter samt en produktbulletin för installerad motor med effektkurvor.

Skrovmotstånd data enligt "Light displacement" med invärden enligt linjeritningar i programmet "Maxsurf" för DSYHS -93 & 98 samt mätdata av installerad propeller med Nautors Swans optiska mätutrustning (GOM) där mätdata har analyserats och bekräftar den verkliga stigningen av propellern.

3.2 Skrov

Testobjektets skrov är designad av Naval architect German Frers. Det är ett displacementskrov ämnat för cruising gjord i solitt E-glas och är utrustad med centerbord. Dess motstånddata med centerbordet i uppläge enligt DSHYS kan ses i Bilaga 5

3.3 Beskrivning av befintlig motorinstallation

Motorinstallation består av en fyrcylindrig Yanmar 4JH4-HTE dieselmotor monterade på flexibla dynor med ett ZF-24A backslag som har 8 graders inbyggd nedvinkling. Motorn är vinklad ner 2 grader akterut så att den totala axelvinkeln blir 10 grader. Propelleraxeln är tvåpunktstödd, vid backslaget med en flexibel koppling av typen "Centa-Flex AM-80" och vid stödlagret med ett gummilager strax förom propellern.

Motoreffekten är 110hp@3200rpm och backslagets reduktion är 2,741:1 vilket är lite större utväxling än den som nämns i produktbulletinen och har blivit bjuden av Yanmar och ZF för denna installation som den största möjliga utväxlingen tillgänglig. Det finns dock endast fås i "Left Hand" utförande. Propellern är en 24"x16" 3-bladig vänster roterande Flex-o-Fold folding propeller vilken har B-seriens propellerblads karakteristik.

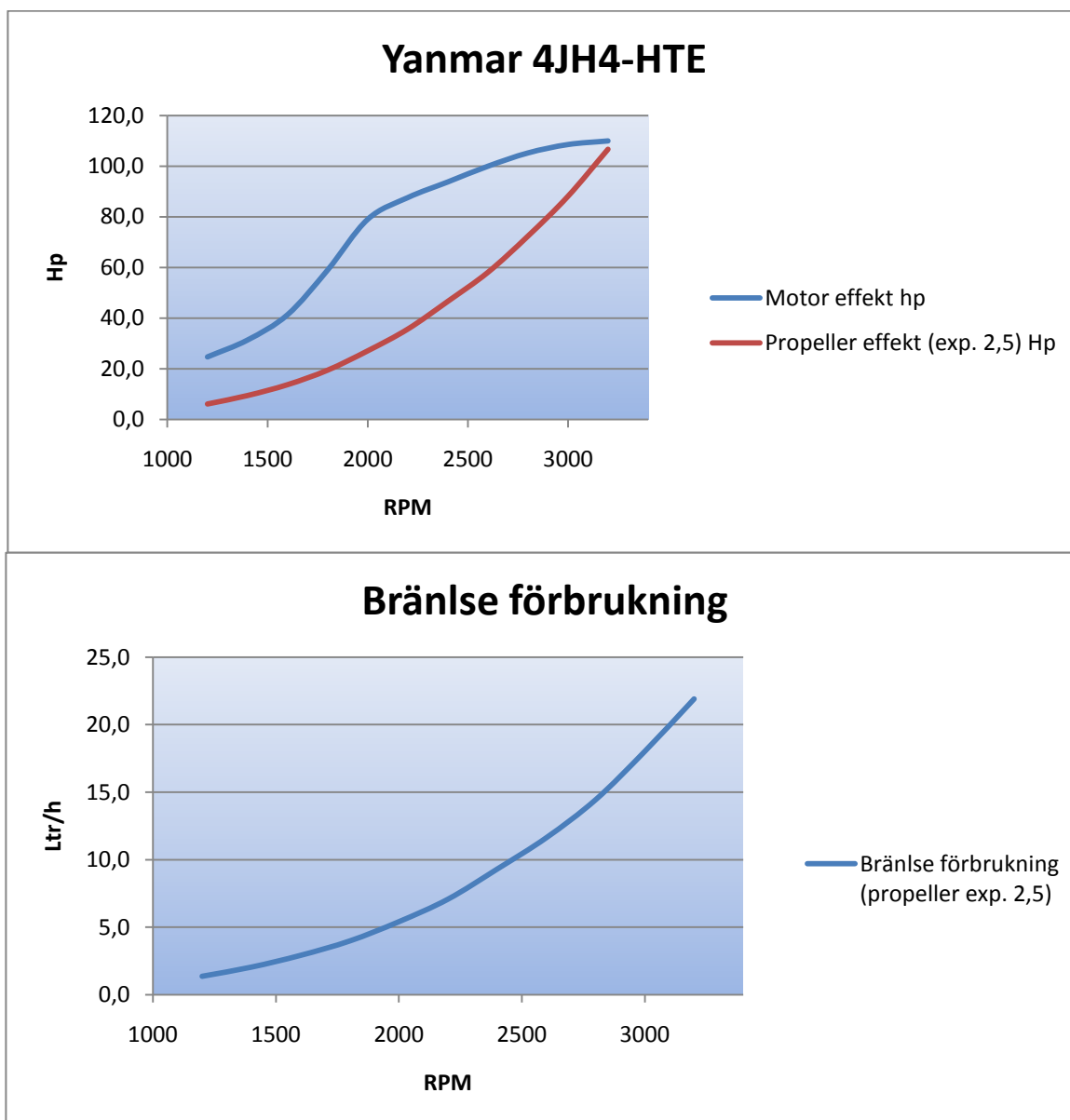


Bild 7 Grafisk presentation av motordata ur Tabell 1

Tabell 1 Motordata baserat på Bilaga 7 & Bilaga 8

<i>rpm</i>	Motor effekt		Propeller effekt (exp. 2,5)	Bränsle förbrukning (propeller exp. 2,5)	Bränsle förbrukning (propeller exp. 2,5)	Motor belastning (propeller exp. 2,5)
	<i>hp</i>	<i>Nm</i>	<i>Hp</i>	<i>Ltr/h</i>	<i>(Ltr/h)/hp</i>	<i>%</i>
1200	24,8	145	6,2	1,4	0,219	25%
1400	31,4	158	9,5	2,0	0,214	30%
1600	41,4	182	13,8	2,9	0,211	33%
1800	59,0	231	19,5	4,0	0,203	33%
2000	79,0	278	27,1	5,4	0,200	34%
2200	87,6	280	35,7	7,1	0,198	41%
2400	93,8	275	46,7	9,3	0,199	50%
2600	100,0	270	58,1	11,6	0,200	58%
2800	105,2	264	72,4	14,4	0,199	69%
3000	108,6	254	88,1	18,0	0,205	81%
3200	110,0	242	106,7	21,9	0,205	97%

4 REFERENS BERÄKNING

Vid referensberäkning används Microsofts beräkningsprogram (MS Excel) där Bilaga 8 & Bilaga 9 används för ekvationer som innehåller K_Q och K_T . Alla ekvationer som presenteras i detta examensarbete sätts in i Excel-dokumentet och linkas samman.

För att underlätta beräkningarna körs ett "Macro" som baserar sig på en matematisk spline som fästs vid referenspunkter i Tabell 1 via MS VisualBasic där motorns effekt och förbrukning fås ut som funktion av motorvarvtal.

Baserat på samma grundkod görs även macron som ger skrovmotstånd som funktion av Frouds tal (F_n) enligt Bilaga 5. Kavitationstabellen enligt Burrill använder också på samma grundkod med eget macro där maximala tauvärde fås som funktion av beräknat kavitationsnummer enligt Bild 4.

Tabell 2 Grunddata för referensberäkning.

Motor	Yanmar 4JH4-HTE	110hp@3200rpm
Reduktionsväxel	ZF-25A (8° nedvinklat)	
Reduktionsförhållande	2,714:1	
Propelleraxelvinkel	10°	
Propeller	Flex-o.Fold (F-o-F)	24"x16"x3

4.1 Förklaring av referensberäkningsblad

1. Gear & shaft efficiency: Tillgänglig motoreffekt efter förluster från reduktionsväxel (96%).
2. Reduction: Reduktionsförhållande (2,714:1).
3. Propeller diameter: Propellerns diameter (0,610m).
4. Propeller pitch: Propellerns stigning (0,406m).
5. P/D: Propellerns stigningsförhållande (0,67).

6. BAR: Propellerns bladarea (0,50).
7. Number of propeller blades: Propellerns bladantal (3 st.).
8. V_A : Vattnets hastighet till propellern erhålls genom Formel 22 (m/s).
9. Engine speed: Motorvarvtal (Rpm).
10. n: Propelleraxelvarvtal erhålls genom att dividera motorvarvtal med reduktionsförhållandet (Rps).
11. Engine power: Tillgänglig motoreffekt efter förluster från Tabell 1 (Shp).
12. Engine power: punkt 11 i (kW).
13. P_D : Absorberad effekt erhålls genom Formel 8(kW).
14. Engine power reserve: Beskriver differansen mellan tillgänglig motoreffekt och absorberad effekt av propellern (kW).
15. Engine torque available: Tillgängligt vridmoment i motorn erhålls genom formeln:

$$Nm = \frac{(60000/(2*\pi))*(0,736*Shp)}{n}$$
16. Q Absorbed torque: Absorberat vridmoment av propellern härleds ur Formel 2 (Nm).
17. Available shaft torque: erhålls genom att multiplicera "Engine torque available" med reduktionsförhållandet (Nm).
18. Engine load: Motorns belastning erhålls genom Formel 38(%).
19. Fuel consumption: Motorns bränsleförbrukning baserad på Tabell 1 genom Formel 37 (Ltr/h).
20. Thrust (T): Genererad tryckkraft av propellern linjärt med propelleraxeln härleds ur Formel 3 (N).
21. Thrust*0,8 (T): Effektiv tryckkraft för framfart reducerad av lutande propelleraxel (N).
22. Thrust cos 10° (T): Vektorkraften parallellt med DwL från den genererade tryckkraften i punkt 20 (N).
23. Thrust cos 24° (T): Effektiv tryckkraft för framfart från punkt 20 reducerad med inverkan av lutande propelleraxel enligt vinkeln mellan skrovets tangentlinje vid propellern och propelleraxelns centrumlinje (N).

24. Hull, Keel & rudder resistance: Skrovets totala upprättmotstånd vid beräknad framfart (N).
25. Speed: Båtens framfart erhålls genom Formel 32 (Knop).
26. K_T : Propellerns tryckkraftskoefficient erhålls genom Formel 35 & Formel 36 i Bilaga 9 Wageningen B-seriens K_t polynom.
27. K_Q : Propellerns vridmoments koefficient erhålls genom Formel 33 & Formel 34 i Bilaga 8 Wageningen B-seriens K_q polynom.
28. B_U : Tryckkrafts koefficient erhålls genom Formel 6.
- J Advance ratio: Framdriftstal erhålls genom
29. *Formel 1.*
30. δ : Inverterat framdriftstal erhålls genom Formel 5.
31. η_O Efficiency: Propellerns effektivitet erhålls genom Formel 4.
32. Developed area of disc: Propellerns totala utbredda bladarea erhålls genom Formel 15 (cm^2).
33. Allowable blade loading: Tillåtet tryck på propellerbladen erhålls genom Formel 17.
34. Actual blade loading: Verkligt bladtryck erhålls genom Formel 18.
35. P_p : Totalt tryck för cavitationsberäkning $P_{\text{atm}} + \rho * g * h_p$ (Pa)
36. P_{atm} : Atmosfärsikt tryck (101300 Pa)
37. $P_v@20^\circ\text{C}$: Ångtryck vid 20 grader celcius (2300 Pa)
38. σ Cavitation number: Kavitationsnummer erhålls genom Formel 19.
39. τ maximum tau before cavitation: Största tau-värde innan kavitation troligen uppstår erhålls genom σ ur tau splinen baserad på Bild 4.
40. Minimum required BAR: Minsta tillåtna bladarea innan kavitation troligen uppstår erhålls genom Formel 20.
41. Actual blade tip speed: Verklig bladspets hastighet erhålls genom Formel 21(m/s).
42. Allowable blade tip speed: Tillåten bladspets hastighet erhålls genom Formel 21 (m/s).
43. Apparent slip: Propellerns skenbara slirning erhålls genom Formel 25 (%).
44. Real slip: Propellerns verkliga slirning erhålls genom Formel 26 (%).

Referensberäkningen baseras på motorns tekniska data från "Tabell 1", Skrovets motstånddata från "Bilaga 5" och med Flex-o-folds propeller 24"x16"x3. Dessa beräkningar presenteras mot de empiriska mätdata som finns i Tabell 4. Beräkningsresultaten används samt som referensdata för alla andra optimeringsberäkningsalternativ med olika reduktioner.

Beräkningarna görs genom att hitta jämviktsläget där skrovmotståndet enligt DSYHS-93 och propellerns tryckkraft $0,8 \cdot T$ (lutande axel) är lika vid motorvarvtalen 1200, 1400...3200 och på så vis få fram beräkningsdata som presenteras i Tabell 4.

Tabell 3 Referenspropellerns propeller egenskaper.

Teoretical performance calculations of Flex-o-fold 24"x16"x3 on S53 with DSYHS-93 & Va const. 0,88												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714
Propeller diameter	m	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610
Propeller pitch	m	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406
P/D		0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
EAR		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Number of blades (N)	pcs	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
VA	m/s	2,16	2,48	2,78	3,06	3,33	3,57	3,76	3,91	4,04	4,16	4,27
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	7,37	8,60	9,83	11,05	12,28	13,51	14,74	15,97	17,19	18,42	19,65
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	2,93	4,76	7,26	10,60	14,83	20,28	27,19	35,78	46,17	58,45	72,72
Engine power reserve	kW	14,56	17,44	22,01	31,12	41,02	41,63	39,09	34,88	28,18	18,26	5,01
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	63,31	88,20	117,61	152,59	192,22	238,85	293,64	356,61	427,39	504,99	588,93
Available shaft torque	Nm	378,05	411,29	474,38	601,01	724,12	729,67	716,12	704,66	688,60	663,05	629,79
Engine load	%	17	22	26	26	28	34	43	53	65	79	91
Fuel consumption	Ltr/h	0,91	1,44	2,17	3,06	4,20	5,69	7,68	10,14	13,05	16,94	21,15
Thrust (T)	N	817	1150	1545	2024	2569	3223	4008	4923	5963	7109	8353
Thrust*0,8 (T)	N	654	920	1236	1619	2055	2578	3206	3938	4770	5687	6683
Thrust (T) cos10°	N	805	1132	1522	1993	2530	3174	3947	4848	5873	7001	8226
Thrust (T) cos24°*3	N	623	876	1178	1543	1959	2457	3055	3753	4546	5420	6369
Hull, keel & rudder Resistance	N	654	920	1236	1619	2055	2578	3206	3938	4770	5687	6683
Speed	Knots	4,78	5,47	6,14	6,75	7,36	7,88	8,30	8,64	8,92	9,19	9,44
Propeller Characteristics												
Kt		0,106337	0,109868	0,113092	0,117034	0,120311	0,124747	0,130338	0,136428	0,142487	0,147981	0,15282
Kq		0,01351	0,013828	0,014119	0,014473	0,014767	0,015165	0,015666	0,016211	0,016753	0,017243	0,017674
BU		18,79	19,85	20,87	22,21	23,41	25,14	27,57	30,56	33,96	37,49	41,02
J		0,482	0,472	0,464	0,454	0,445	0,433	0,418	0,402	0,385	0,370	0,357
δ°		210	214	218	223	228	234	242	252	263	274	284
η		0,60	0,60	0,59	0,58	0,58	0,57	0,55	0,54	0,52	0,51	0,49
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm2	1459	1459	1459	1459	1459	1459	1459	1459	1459	1459	1459
Allowable blade loading	N/m2	27762	29699	31465	33000	34452	35652	36590	37329	37935	38489	39024
Actual blade loading	N/m2	33884	37210	43270	55341	67178	68346	67843	67527	66692	64797	62008
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20° C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		1,98	1,46	1,12	0,88	0,72	0,59	0,50	0,43	0,37	0,32	0,28
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	3,27	1,23	0,64	0,44	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16
Minimum required EAR		0,02	0,05	0,10	0,15	0,19	0,23	0,28	0,33	0,39	0,46	0,52
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	14	16	19	21	24	26	28	31	33	35	38
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		18%	19%	21%	23%	24%	26%	29%	31%	34%	37%	39%
Real slip		28%	29%	30%	32%	33%	35%	37%	40%	42%	44%	46%
Propeller shaft												
Shaft material		Aqualoy 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	27,6	28,4	29,8	32,2	34,3	34,4	34,2	34,0	33,7	33,3	32,7

Tabell 4 Jämförelse av empirisk mätdata och referensberäkning (Fart och bränsleförbrukning).

	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Empirisk mätdata	Bränsle förbrukning Ltr/h	1,7	2,0	2,7	3,5	5,0	6,3	8,4	10,5	13,4	16,6	21,4
	Fart Knop	4,38	5,00	5,83	6,60	7,40	7,83	8,53	8,85	9,03	9,40	9,60
Teoretisk data	Teoretisk bränsleförbrukning Ltr/h	0,91	1,44	2,16	3,05	4,19	5,68	7,67	10,13	13,03	16,91	21,12
	Teoretisk fart Knop	4,78	5,47	6,14	6,75	7,36	7,88	8,30	8,64	8,92	9,19	9,44
Analys av empirisk- och teoretiskmätdata	Differans i bränsleförbrukning Ltr/h	0,79	0,56	0,54	0,45	0,81	0,62	0,73	0,37	0,37	-0,31	0,28
	felmarginal bränsleförbrukning %	47%	28%	20%	13%	16%	10%	9%	4%	3%	-2%	1%
	Differans i fart knop	-0,40	-0,47	-0,31	-0,15	0,04	-0,05	0,23	0,21	0,11	0,21	0,16
	felmarginal fart %	-9%	-9%	-5%	-2%	1%	-1%	3%	2%	1%	2%	2%

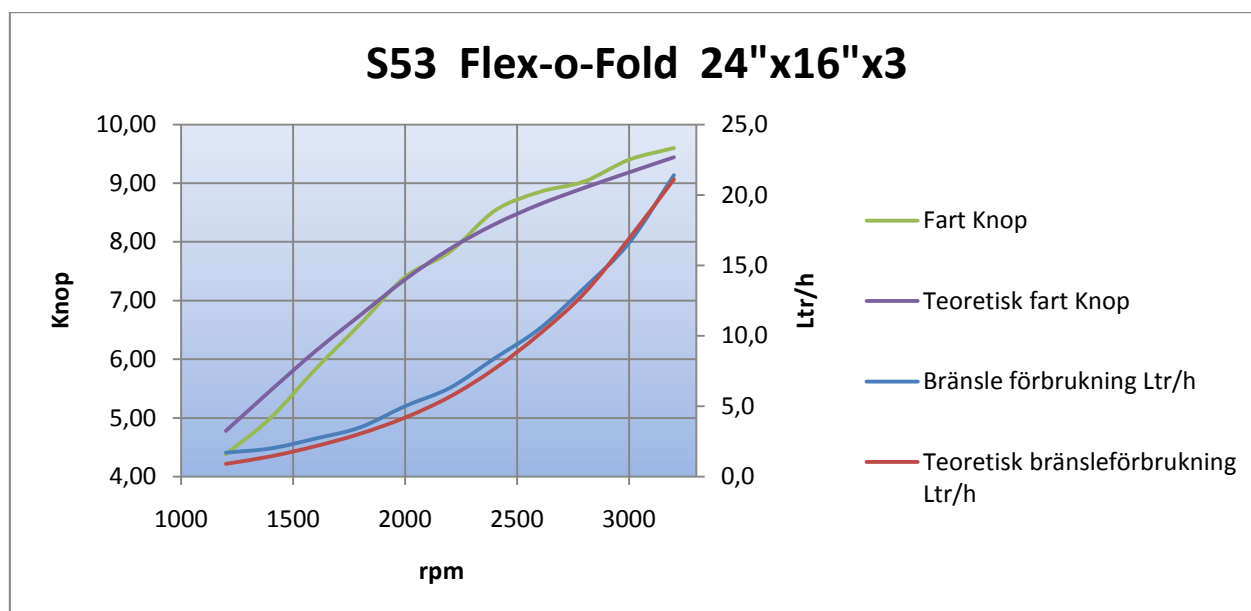


Bild 8 Grafisk presentation av fart och bränsleförbrukning av tabell 4.

4.2 Skanning och utvärdering av testpropellergeometri

Genom att scanna propellern som används på referensobjektet med GOM's optiska mätutrustning erhöles en 3D-fil av propellern som sedan analyserats med ett tillhörande program (ATOS viewer) för mätutrustningen.

Ur detta program fås information i form av höjdskillnad mellan leading edge och trailing edge på propellerbladen vid varje definierad radie på propellerbladen. Baserat på dessa mått kan propellerns stigning beräknas vid varje enskild radie och på så sätt få fram en medelstigning på varje propellerblad individuellt. Dessa resultat kan ses i Bilaga 12 vilka visar att hela propellern har en medelstigning på 15,9" och att medelstigningen på 70% radie är 16,1". Detta resultat är mycket bra eftersom resultaten får en lite större differens av att propellerbladen har en liten reducering av stigningen ute vid bladspetsarna för att minska risken för kavitation. Därtill ligger den minsta radien mycket nära navet där propellerns bladprofil börjar formförändringen för fastsättning i navet.

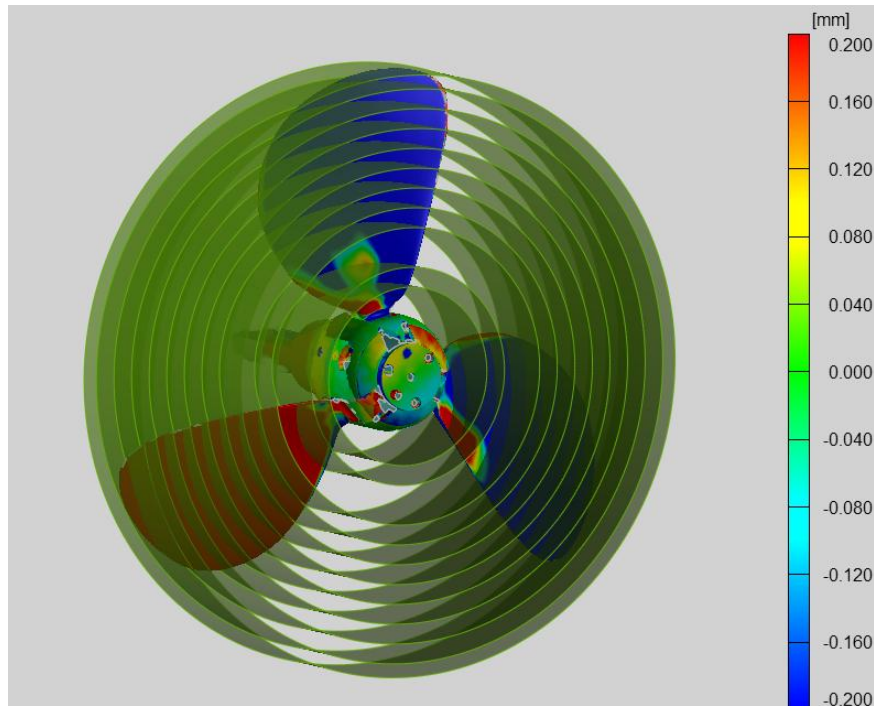


Bild 9 Flex-o-Fold scanning och stignings mätning

4.3 Teoretisk propelleroptimering med reduktionsförhållande 2,714:1

Teoretiska beräkningar för att hitta propellern med den högsta effektiviteten vid 100 % varvtal görs genom att anta en framfart på 9,6 knop vid 3200 motorvarvtal och med ett VA på $0,88 \cdot V$. Därefter ges begränsningar i MS Excel:s "Solver" tillägg enligt B-seriens propeller karaktäristik, BAR begränsas så att den minsta tillåtna bladarean enligt Burrill inte underskrids för att undvika kavitation. Bladspets hastigheten begränsas till 36 m/s och propellerns tryckkraft $\cdot 0,8$ matchas mot skrovets motstånd vid 9,6 knops framfart.

MS Excel:s "Solver" används för att söka den högsta effektiviteten genom att variera BAR, Diameter, Bladantal och P/D.

När propellerns parametrar är beräknade beräknas dess egenskaper vid samma motorvarvtal som referensberäkningen och med samma metoder för

att hitta jämn viktsförhållande mellan propellernstryckkraft*0,8 och skrovets motstånd vid respektive varvtal.

Framfarten för optimeringen av propellern vid de olika motorvarvtalen har interpolerats från den empiriska fartdata i Tabell 4 och ger 9,18 knop vid 90 %, 8,57 knop vid 80 %, 7,96 knop vid 70 % som används i beräkningarna.

Resultaten från beräkningarna presenteras både i tabellform samt viss data även i grafisk form där parametrar från 100 %, 90 %, 80 %, 70 % samt referensdata från den teoretiska beräkningen av F-o-F 24"x16"x3:s prestanda ur referensberäkningen.

4.4 Teoretisk propelleroptimering med reduktionsförhållande 1,47:1

Teoretiska beräkningar för att hitta propellern med den högsta effektiviteten vid 100 % varvtal görs genom att anta en framfart på 9,6 knop vid 3200 motorvarvtal och med ett VA på $0,88 \cdot V$. Därefter ges begränsningar i MS Excel:s "Solver" tillägg enligt B-seriens propeller karaktäristik, BAR begränsas så att den minsta tillåtna bladarean enligt Burrill inte underskrids för att undvika kavitation. Bladspets hastigheten begränsas till 36 m/s och propellerns tryckkraft*0,8 matchas mot skrovets motstånd vid 9,6 knops framfart.

Ms Excel:s "Solver" används för att söka den högsta effektiviteten genom att variera BAR, Diameter, Bladantal och P/D.

När propellerns parametrar är beräknade så beräknas dess egenskaper vid samma motorvarvtal som referensberäkningen och med samma metoder för att hitta jämn viktsförhållande mellan propellernstryckkraft*0,8 och skrovets motstånd vid respektive varvtal.

Framfarten för optimeringen av propellern vid de olika motorvarvtalen har interpolerats från den empiriska fartdata i Tabell 4 och ger 9,18 knop vid 90 %, 8,57 knop vid 80 %, 7,96 knop vid 70 % vilka används i beräkningarna.

Denna konfiguration visade sig inte kunna uppnå de ovannämnda kraven på framfart vid 100 %. Framfarten måste reduceras till 9,34 knop för att få

skrovmotståndet och tryckkraften i jämn viktsläge. Därtill måste kravet på bladarean upphävas både vid 100 % och 90 %.

Resultaten från beräkningarna presenteras både i tabellform samt viss data även i grafisk form där parametrar från 100 %, 90 %, 80 %, 70 % samt referensdata från den teoretiska beräkningen av F-o-F 24"x16"x3:s prestanda ur referensberäkningen.

4.5 Teoretisk propelleroptimering med reduktionsförhållande 3,00:1

Teoretiska beräkningar för att hitta propellern med den högsta effektiviteten vid 100 % varvtal görs genom att anta en framfart på 9,6 knop vid 3200 motorvarvtal och med ett VA på $0,88 \cdot V$. Därefter ges begränsningar i MS Excel:s "Solver" tillägg enligt B-seriens propeller karaktäristik, BAR begränsas så att den minsta tillåtna bladarean enligt Burrill inte underskrids för att undvika kavitation. Bladspets hastigheten begränsas till 36 m/s och propellerns tryckkraft*0,8 matchas mot skrovets motstånd vid 9,6 knops framfart.

Ms Excel:s "Solver" används för att söka den högsta effektiviteten genom att variera BAR, Diameter, Bladantal och P/D.

När propellerns parametrar är beräknade så beräknas dess egenskaper vid samma motorvarvtal som referensberäkningen och med samma metoder för att hitta jämn viktsförhållande mellan propellernstryckkraft*0,8 och skrovets motstånd vid respektive varvtal.

Framfarten för optimeringen av propellern vid de olika motorvarvtalen har interpolerats från den empiriska fartdata i Tabell 4 och ger 9,18 knop vid 90 %, 8,57 knop vid 80 %, 7,96 knop vid 70 % vilka används i beräkningarna.

Resultaten från beräkningarna presenteras både i tabellform samt viss data även i grafiskform där parametrar från 100 %, 90 %, 80 %, 70 % samt

referensdata från den teoretiska beräkningen av F-o-F 24"x16"x3's prestanda ur referensberäkningen.

4.6 Analys av optimeringsberäkningarna

Bränsleförbrukning

Den bästa bränsleförbrukning uppnås med konfigurationen med det största reduktionsförhållandet 3,00:1 och propellern optimerad för 70 % och det minsta reduktionsförhållandet 1,47:1 med propellern optimerad för 100 % och 90 % ger den sämsta bränsleförbrukningen.

Detta visar att för att uppnå den bästa bränsleförbrukningen skall reduktionsförhållandet vara tillräckligt stort för att få en tillräckligt stor diameter och minst antal blad. Den stora diametern gör att ett mindre krav på BAR och P/D som ger långa smala blad vilket ger fördel mot de övriga konfigurationerna ur bränsleförbruknings synvinkel.

Fart

Den högsta framfarten uppnås med konfigurationen som har det minsta reduktionsförhållandet 1,47:1 och propellern optimerad för 90 % upp till 2600 rpm, vid 2800 rpm har konfigurationen 2,47:1 100 % samma framfart. Vid 3000 rpm ger 2,714:1 100 % och 3,00:1 90 % den högsta framfarten och vid 3200 rpm är konfigurationen 3,00:1 90 % den snabbaste.

Detta visar att hög fart vid lägre motorvarv erhålls med ett lågt reduktionsförhållande och en flerbladig propeller med ett högre P/D-förhållande. När varvtalen ökar får propellern ett stort slip av den höga belastningen därtill blir vridmomentet för högt för motorn som överbelastas. Även här visar beräkningar att det högre reduktionsförhållandet som ger en större diameter även blir effektivare vid högre hasigheter.

Tryckkraft

Den högsta tryckkraften uppnås med konfigurationen som har det minsta reduktionsförhållandet 1,47:1 och propellern optimerad för 90 % upp till 2600 rpm, vid 2800 rpm har konfigurationen 2,47:1 100 % den största tryckkraften. Vid 3000 respektive 3200 rpm ger 3,00:1 90 % konfigurationen den högsta tryckkraften.

Detta visar att en stor tryckkraft vid lägre motorvarv erhålls med ett lågt reduktionsförhållande och en flerbladig propeller med ett högre P/D som accelererar mera vatten. När varvtalen ökar blir propellern högre belastad och ett större reduktionsförhållande behövs för att få en större diameter vilken levererar den effektivaste tryckkraften.

Verkningsgrad

Den bästa verkningsgraden uppnås i alla situationer med konfigurationen som har det största reduktionsförhållandet 3,00:1 och propellern optimerad för 70 % eftersom den har det lägsta axelvarvtalet.

När den optimeras för det lägsta varvtalet nämligen 70 % blir även kravet på BAR mindre och P/D förhållandet hålls i den lägre ändan av det tillåtna området.

5 BOLLARD PULL

5.1 Beräkning

Genom att använda propellerparametrarna (Diameter, P/D, BAR, och bladantal) som erhållits genom optimeringsberäkningarna med de olika reduktionerna och optimeringsvarvtalen beräknas den statiska tryckkraften enligt det som nämns i stycke 2.6 Bollard pull. Samma MS Excel-dokument används för beräkningarna, som invärden blir de ovannämnda parametrarna samt sätts V_A till 0,001 och "Solver" används för att hitta det motorvarvtal när propellern absorberar all tillgänglig effekt ($Shp = P_D$).

Som referens beräknas också den statiska tryckkraften med respektive propellern enligt Formel 31 Statisk tryckkraft.

5.2 Resultat

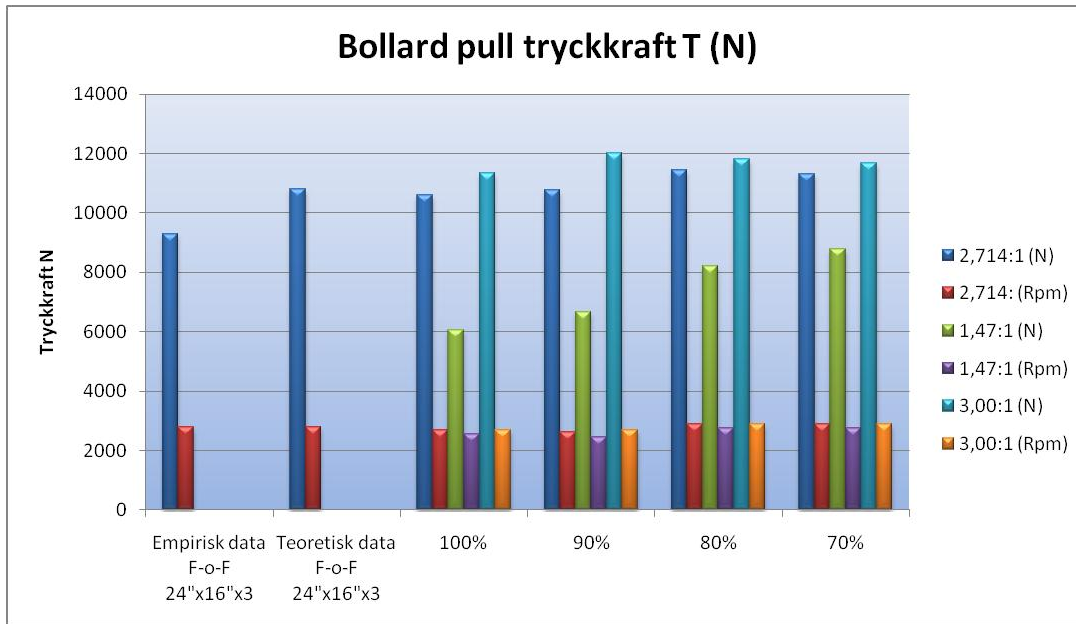


Bild 10 Stapeldiagram över samtliga propellers statistiska tryckkraft.

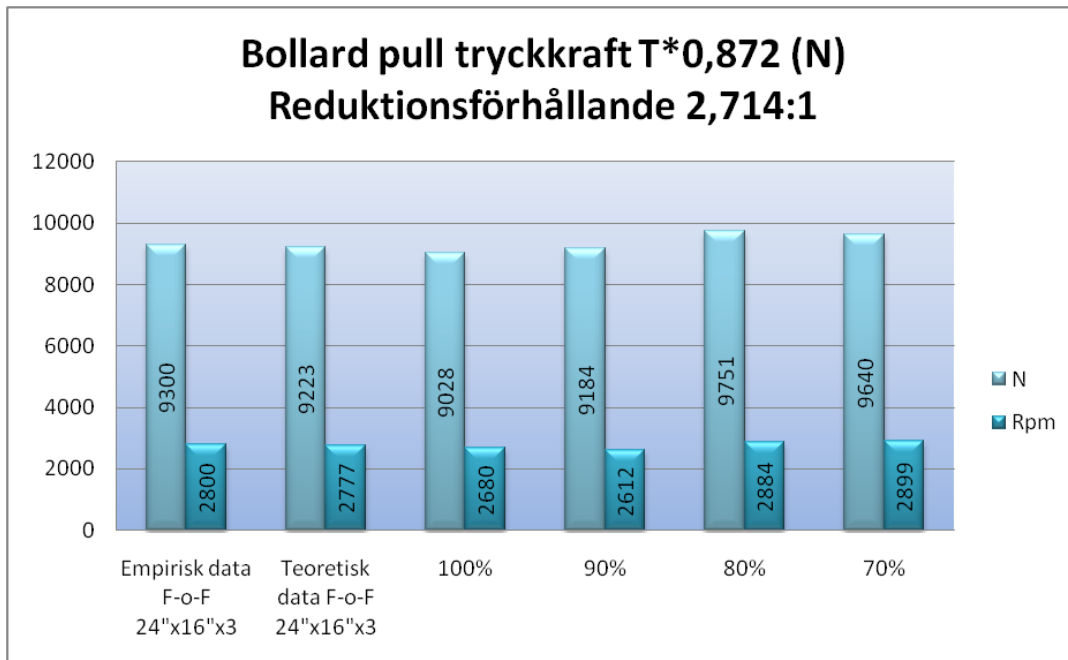


Bild 11 Stapeldiagram över statistisk tryckkraft för reduktionsförhållande 2,714:1

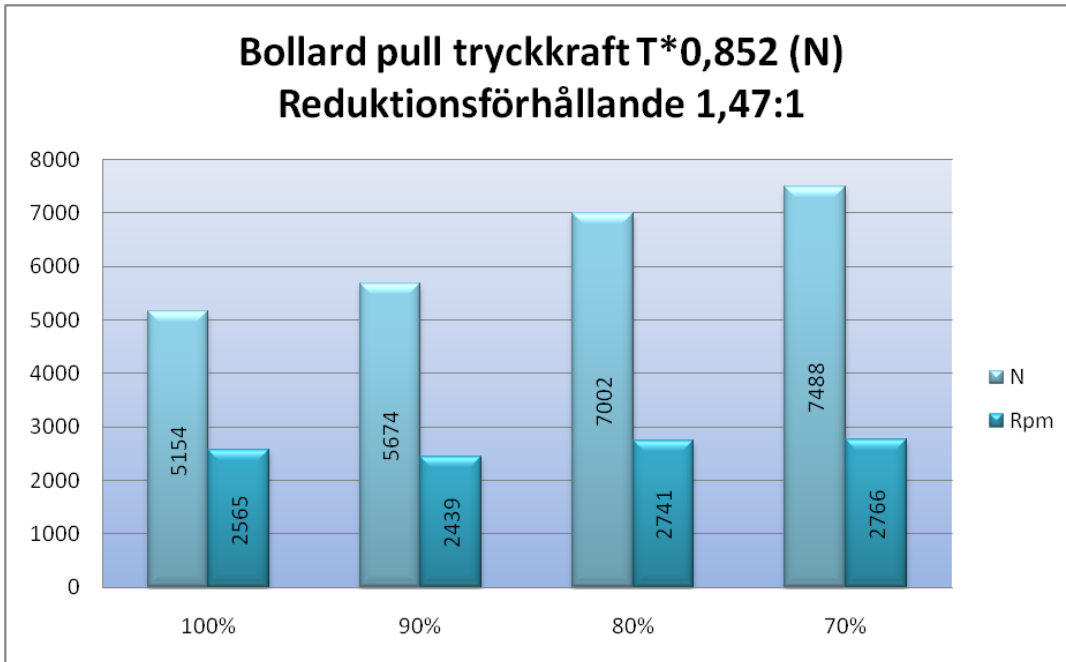


Bild 12 Stapeldiagram över statisk tryckkraft för reduktionsförhållande 1,47:1

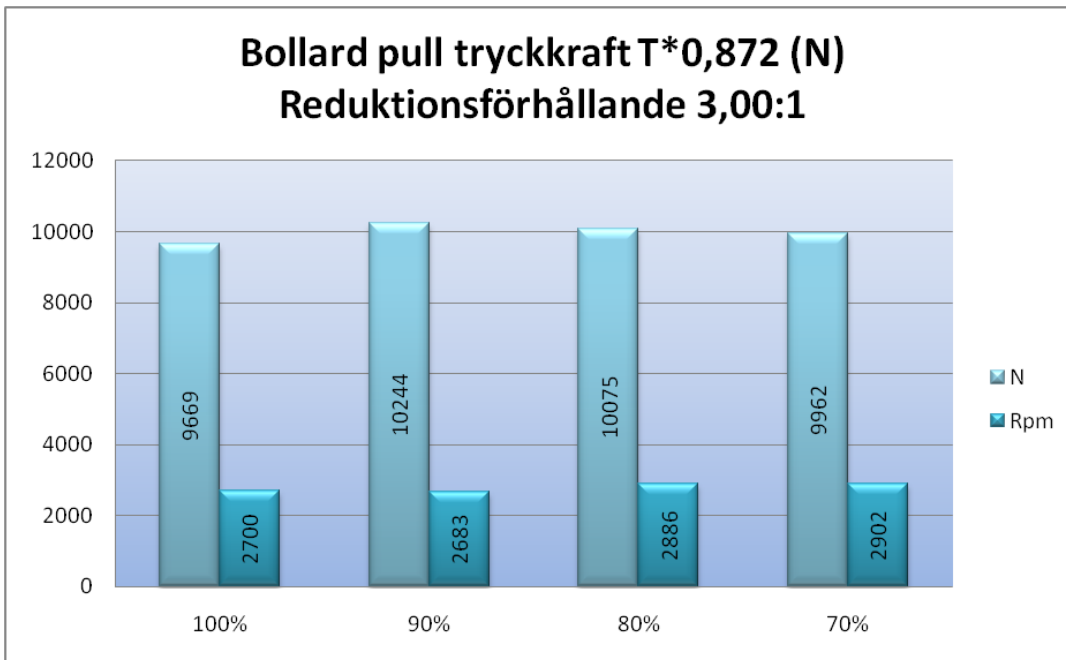


Bild 13 Stapeldiagram över statisk tryckkraft för reduktionsförhållande 3,00:1

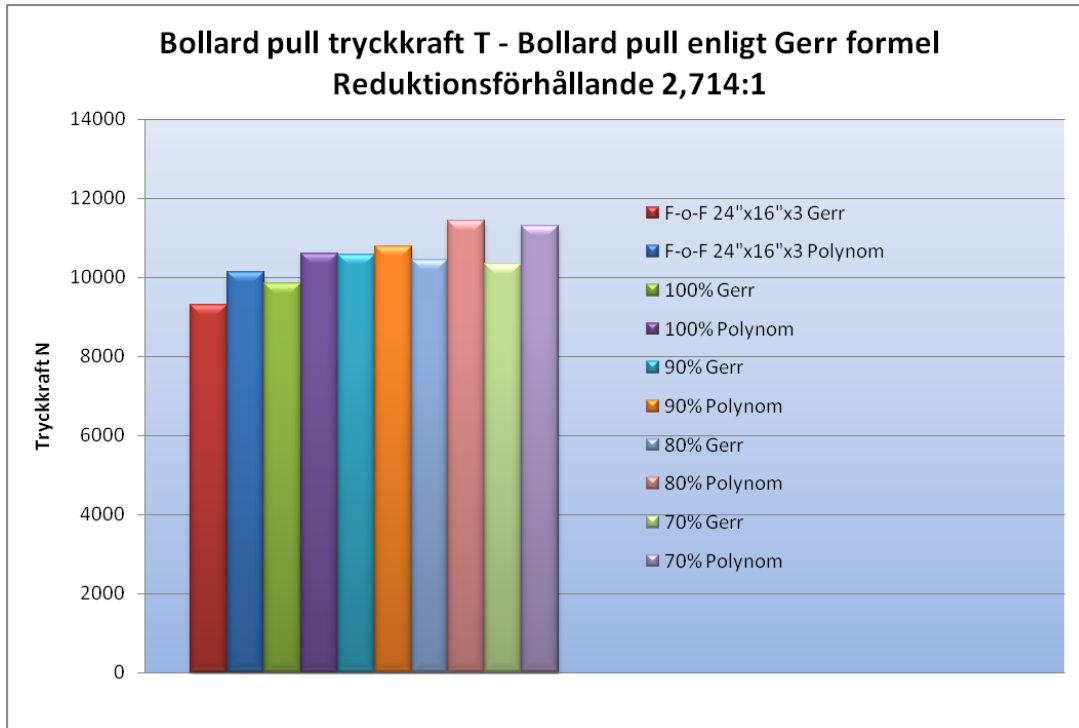


Bild 14 Stapeldiagram över statisk tryckkraft utan koefficient, för reduktionsförhållande 2,714:1

5.3 Analys

Beräkningarna visar att den största tryckkraften uppnås med den konfiguration som har det högsta reduktionsförhållandet nämligen 3,00:1 och den propeller som optimerats för 90 procents varvtal detta eftersom den har störst diameter. Minsta möjliga bladantal och den det minsta P/D förhållandet. Tryckkraften fördelas i ordningen 90 %, 80 %, 70 %, 100 %. Ordningen bekräftar att teorierna stämmer, diameter och antalet blad ger den största inverkan på tryckkraften, även ett lägre P/D har en positiv inverkan. Eftersom 90 % propellern har en stor diameter och ett lågt BAR-värde bekräftas teorierna om att långa smala propellerblad ger den största möjliga tryckkraften som kan ses i bild 11-13.

Orsaken till varför 100% propellern har en mindre tryckkraft än de övriga är att diametern är mindre, eftersom den begränsas av bladspets hastigheten i optimeringsberäkningarna.

Variationerna mellan de teoretiska och empiriska tryckkraftvärdena ger en indikation av kavitationens inverkan när propellern blir för högt belastad.

Jämförelsen mellan polynomberäkningarna och Gerrrs överslagsberäkning för statisk tryckkraft visar att överslagsberäkningen mycket väl kan användas för en snabb kontroll av en motorkonfigurationsprestanda vid Bollard pull.

6 SLUTDISKUSSION

Denna studie har påvisat att en segelbåtspropeller med fast stigning och fast reduktionsförhållande inte kan optimeras till mer än ett förhållande därför måste man prioritera vad som önskas: maximal fartresurs, maximal tryckkraft eller maximal effektivitet.

Vid en analys av beräkningsresultaten för ett cruisingvarvtal på 2200rpm kan man se att med reduktionsförhållandet 3,00:1 ger propellern som är optimerad för 100 % motorvarvtal den största framfarten i form av 8,05 knop. Den belastar även motorn mest och har därmed en bränsleförbrukning på 6,25 liter per timme. Om man jämför de andra propelleralternativen mot denna har propellern som är optimerad för 90 % i procentuellt heltal inte förlorat någon framfart men belastningen minskar på motorn så att bränsleförbrukningen blir 11 % mindre. Propellern optimerad för 80 % har en 2 % mindre framfart men hela 21 % mindre bränsleförbrukning. Propellern optimerad för 70 % har också en 2 % fartminskning och en minskning av bränsleförbrukningen på hela 22 %.

Vid samma cruisingvarvtal och med reduktionsförhållandet 1,47:1 ger propellern optimerad för 90 % den största framfarten i form av 8,23 knop och har då en bränsleförbrukning på 10,13 liter per timme. Propellern som är optimerad för 100 % motorvarvtal har en 2 % lägre toppfart och 3 % lägre bränsleförbrukning. Här är ordningen omkastad mot reduktionsförhållandet 3,00:1 eftersom det låga reduktionsförhållandet kraftigt begränsar diametern

av kravet på bladspets hastigheten vid optimeringsvarvtalet. Detta resulterar i ett stort slip och propellern blir ineffektiv.

Propellern optimerad för 80 % motorvarvtal har 4 % mindre hastighet och 28 % mindre bränsleförbrukning, T.o.m. propellern optimerad för 70 % motorvarvtal har en fartminskning på 4 % och en 37 % lägre bränsleförbrukning än propellern optimerad för 100 % motorvarvtal.

Reduktionsförhållandet 2,714:1 och propellern optimerad för 100 % ger den största framfarten på 8,08 knop och ger då en bränsleförbrukning på 6,65 liter per timme. Propellern optimerad för 90 % motorvarvtal har i procentuellt heltal ingen fartminskning men en 10 % mindre bränsleförbrukning. Propellern optimerad för 80 % motorvarvtal ger en 3 % fartminskning och en minskad bränsleförbrukning på 24 %. T.o.m. propellern optimerad för 70 % ger en fartminskning på 3 % och en bränsleförbrukning som är 24 % lägre än den propeller som är optimerad för 100 % motorvarvtal.

Med en propeller med en hög effektivitet blir bränsleekonomin den bästa eftersom den överför motorns effekt effektivast till vattnet. Detta uppnås med att ha låga propelleraxelvarvtal. Toppfarten blir dock marginellt mindre än med ett högre axelvarvtal tack vare diameterns och bladantalets inverkan. Beräkningarna visar även att skillnaderna i farten inte är så stora beroende på optimeringsförhållandet utan de största skillnaderna är i effektiviteten i form av belastningen som ger bränsleförbrukningen på konfigurationen.

Om reduktionen är för liten kommer propellern att ha ett väldigt stort slip av den höga belastningen och dålig effektivitet. Propellerns absorberade vridmoment överskrider snabbare det tillgängliga vridmomentet vid högre varvtal än alla andra optimeringsförhållanden med större reduktionsförhållanden vilket gör att motorns toppvarvtal inte uppnås.

Beräkningarnas tillförlitlighet kan anses som goda baserat på de små variationerna i fart och belastning mot den empiriska mätningen samt

eftersom referenspropellern och dess geometri har verifierats på ett mycket tillförlitligt sätt med den optiska mätutrustningen.

En noggrannare bränsleförbrukningsberäkning hade varit möjlig ifall information om motorns specifika bränsleförbrukning vid varierande belastning hade funnits att tillgå.

Dock så visar denna studie på riktigheten i att bränsleförbrukningen per levererad kW av motorn påverkas stort vid effektuttag mindre än 50 % och att cruisingvarvtal med ett effektuttag under detta därför inte bör användas ur bränsleekonomisynpunkt.

Denna studie har varit mycket lärorik och intressant men eftersom omfattningen blev ganska stor blev vissa saker rätt ytligt behandlade. Rum för fördjupning i ämnet finns ännu.

Målsättningen med studien var att få en bättre förståelse om vilka egenskaper som uppnås med vilka konfigurationer och dess för- och nackdelar. Det målet har helt klart blivit uppfyllt eftersom jag under detta projekts gång har gjort upp en egen propellerberäkningsmodul där alla olika konfigurationer har beräknats.

Vart efter problem har uppstått så har de blivit utredd genom vidare forskning samt genom provberäkningar och misslyckanden tills resultaten ur beräkningsmodulen har blivit tillförlitliga .

7 KÄLLOR

Brunton Propellers. (u.d.). Hämtat från <http://www.bruntons-propellers.com/Varifold/Varifoldhome.htm> den 14 December 2008

Delft university of technology. (u.d.). Hämtat från TU Delft: <http://discover.tudelft.nl/en/page/search?query=Delft+systematic+yacht+hull+series> den 10 Mars 2010

Donald M. Macpherson, V. P. *Reliable Propeller Selection for Work Boats and Pleasure Craft: Techniques Using a Personal Computer.*

Eliason, L. L. (1994, 2000). *Principles of Yacht design second edition.* London: Adlard Coles Nautical.

Flex o Fold Propellers. (u.d.). Hämtat från <http://www.flexofold.com/3-blade/> den 14 December 2009

Gerr, D. (1989). *Propeller Handbook: The complete reference for choosing, installing, and understanding boat propellers.* Camden, ME 04843: International Marine.

Hawksley, N. C. (2007, June/July). Hybrid Marine Power. *Professional BoatBuilder* , pp. 82-93.

J A Keuning, U. B. *The international HISWA symposium on yacht design and yach construcion, Approximation of the Hydrodynamic forces on a sailing*

yacht based on the "Delft Systematic Yacht Hull Series". Shiphydromechanics Laboratory Delft University of Technology.

Numerical recipes the art of scientific computing third edition. (u.d.). Hämtat från <http://www.nrbook.com/nr3/>: <http://www.nrbook.com/nr3/> den 17 December 2008

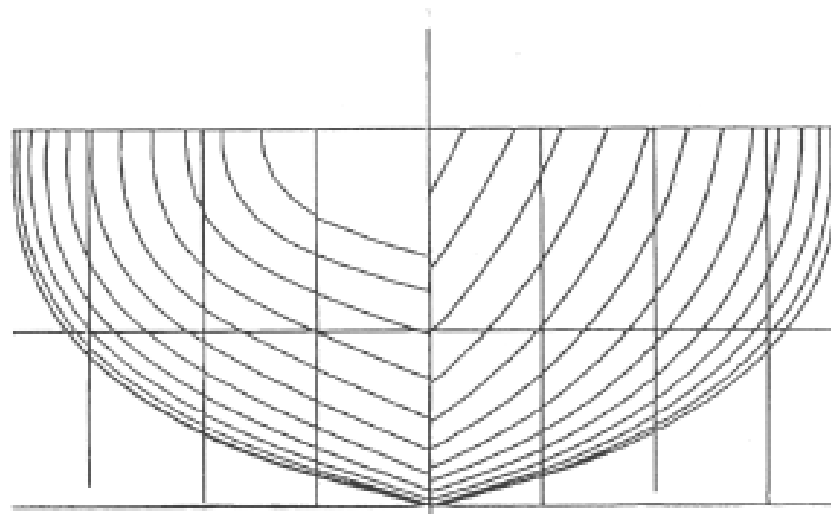
Oossanen, M. O. (I.S.P., Vol.22, No. 251, July 1975). *Further computer-analyzed data of the Wageningen B-screw series.* N.M.S.B., Report No. 479.

Stöm, L. (2007). *Motorer och propellrar.* Jakobstad: Oy Nautor Ab.

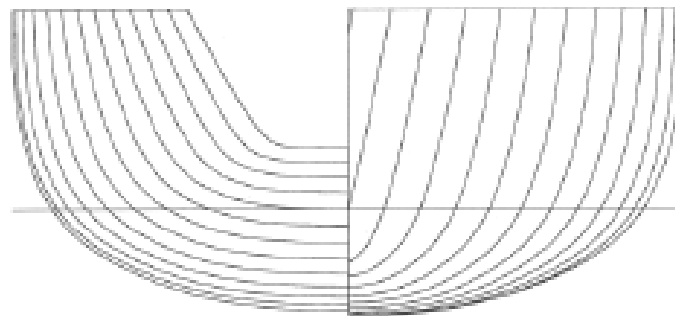
WBM Western Branch Metals, LC. (2007, 10 04). *Western Branch Metals, LC.* Retrieved 03 17, 2010, from Western Branch Metals, LC/eBrochure/Aqualoy08.pdf: <http://www.wbmetals.com/shafting.asp#22>

Yanmar Marine International. (u.d.). Hämtat från <http://www.yanmarmarine.com/index.cfm/go/Sailboat-engines/> den 2 Januari 2010

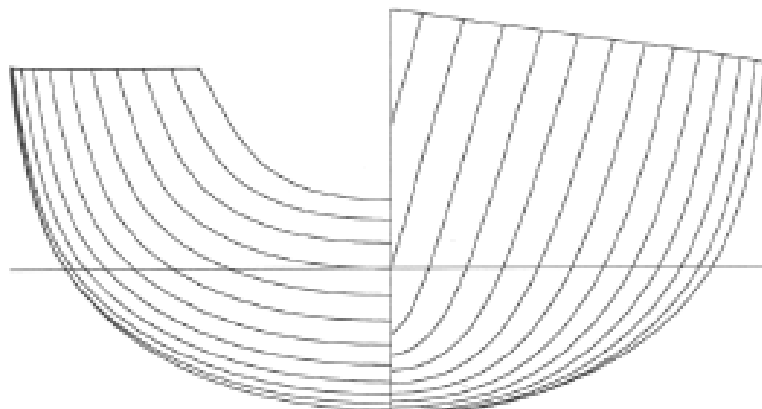
The International HISWA Symposium
on Yacht Design and Yacht Construction



Sysser 1



Sysser 25



Sysser 44

Sysser	Lw/Bwl	Bwl/Tc	Lwl / VOLc ^{1/3}	LCB	LCF	Cb	Cp	Cw	Cm	Aw / VOLc ^{2/3}
				%	%					
1	3.155	3.992	4.775	-2.29	-3.33	0.365	0.564	0.688	0.646	4.976
2	3.623	3.043	4.776	-2.30	-3.34	0.367	0.567	0.691	0.646	4.349
3	2.747	5.345	4.779	-2.30	-3.32	0.370	0.572	0.695	0.647	5.776
4	3.509	3.947	5.097	-2.29	-3.33	0.367	0.568	0.691	0.646	5.119
5	2.747	3.957	4.356	-2.41	-3.43	0.361	0.559	0.683	0.647	4.719
6	3.155	2.979	4.339	-2.40	-3.42	0.363	0.561	0.685	0.646	4.091
7	3.155	4.953	5.143	-2.29	-3.35	0.362	0.561	0.685	0.646	5.743
8	3.279	3.841	4.775	-2.40	-3.32	0.379	0.586	0.707	0.647	4.921
9	3.049	4.131	4.776	-2.20	-3.34	0.353	0.546	0.672	0.646	5.026
10	3.155	3.992	4.775	0.00	-1.91	0.365	0.564	0.694	0.646	5.017
11	3.155	3.992	4.775	-4.98	-4.97	0.365	0.565	0.682	0.646	4.928
12	3.509	3.936	5.104	-0.01	-1.93	0.364	0.564	0.693	0.647	5.149
13	3.509	3.936	5.104	-5.01	-5.01	0.364	0.564	0.681	0.646	5.057
14	3.509	3.692	5.104	-2.30	-3.47	0.342	0.529	0.657	0.646	4.879
15	3.165	3.663	4.757	-2.29	-3.45	0.343	0.530	0.658	0.646	4.706
16	3.155	2.810	4.340	-2.30	-3.46	0.342	0.529	0.657	0.646	3.926
17	3.155	4.244	4.776	-0.01	-1.79	0.367	0.598	0.724	0.647	5.241
18	3.155	4.244	4.776	-5.00	-4.89	0.367	0.599	0.712	0.647	5.152
19	3.155	3.751	4.777	0.01	-2.06	0.342	0.530	0.664	0.646	4.802
20	3.155	3.751	4.778	-4.99	-5.09	0.342	0.530	0.651	0.646	4.712
21	3.509	4.167	5.099	-2.29	-3.22	0.367	0.598	0.718	0.647	5.322
22	2.732	4.231	4.337	-2.29	-3.22	0.367	0.599	0.719	0.647	4.947
23	3.472	4.091	5.001	-1.85	-5.29	0.394	0.547	0.673	0.721	4.850
24	3.497	10.958	6.935	-2.09	-5.84	0.402	0.543	0.670	0.739	9.215
25	4.000	5.388	6.003	-1.99	-5.54	0.399	0.548	0.671	0.727	6.048
26	3.994	12.907	7.970	-2.05	-6.33	0.407	0.543	0.678	0.749	10.791
27	4.496	2.460	5.011	-1.86	-6.24	0.395	0.546	0.677	0.724	3.780
28	4.500	6.754	6.992	-2.05	-5.95	0.400	0.544	0.672	0.736	7.305
29	4.000	10.870	7.498	-4.59	-7.63	0.413	0.549	0.671	0.751	9.437
30	4.000	7.062	6.500	-4.56	-7.66	0.413	0.549	0.672	0.751	7.096
31	4.000	15.823	8.499	-4.53	-7.81	0.412	0.548	0.674	0.752	12.172
32	4.000	10.870	7.498	-2.14	-6.22	0.413	0.549	0.687	0.751	9.651
33	4.000	10.870	7.498	-6.55	-6.73	0.413	0.549	0.659	0.751	9.266
34	4.000	10.373	7.491	-4.37	-7.55	0.395	0.522	0.649	0.757	8.196
35	4.000	11.468	7.472	-4.49	-7.58	0.440	0.580	0.694	0.756	9.686
36	4.000	10.163	7.470	-4.36	-7.29	0.390	0.551	0.663	0.707	9.249
37	4.000	9.434	7.469	-4.42	-6.93	0.362	0.552	0.654	0.657	9.117
38	3.000	19.378	7.503	-4.53	-7.86	0.413	0.547	0.675	0.755	12.686
39	5.000	6.969	7.499	-4.55	-7.54	0.413	0.549	0.670	0.753	7.534
40										
41	4.000	5.208	5.927	-8.16	-9.51	0.400	0.540	0.652	0.741	5.722
42	3.319	3.711	4.699	-3.28	-6.41	0.394	0.554	0.670	0.711	4.460
43	2.784	6.291	4.983	-3.28	-6.49	0.394	0.553	0.672	0.712	5.991
44	3.319	4.424	4.982	-3.29	-6.25	0.394	0.554	0.668	0.712	4.996
45	4.175	2.795	4.982	-3.28	-6.24	0.394	0.554	0.668	0.711	3.969
46	3.319	5.569	5.379	-3.29	-6.26	0.394	0.553	0.668	0.712	5.825
47	3.337	6.042	5.474	-6.02	-8.40	0.410	0.546	0.690	0.749	6.278
48	3.337	5.797	5.426	-0.65	-5.03	0.404	0.557	0.690	0.725	6.084
49	3.352	6.307	5.523	-6.34	-8.43	0.421	0.566	0.690	0.743	6.359
50	3.333	6.342	5.521	-7.90	-9.14	0.419	0.539	0.688	0.777	6.291

Bilaga 2 Skrov parametar i DSYHS

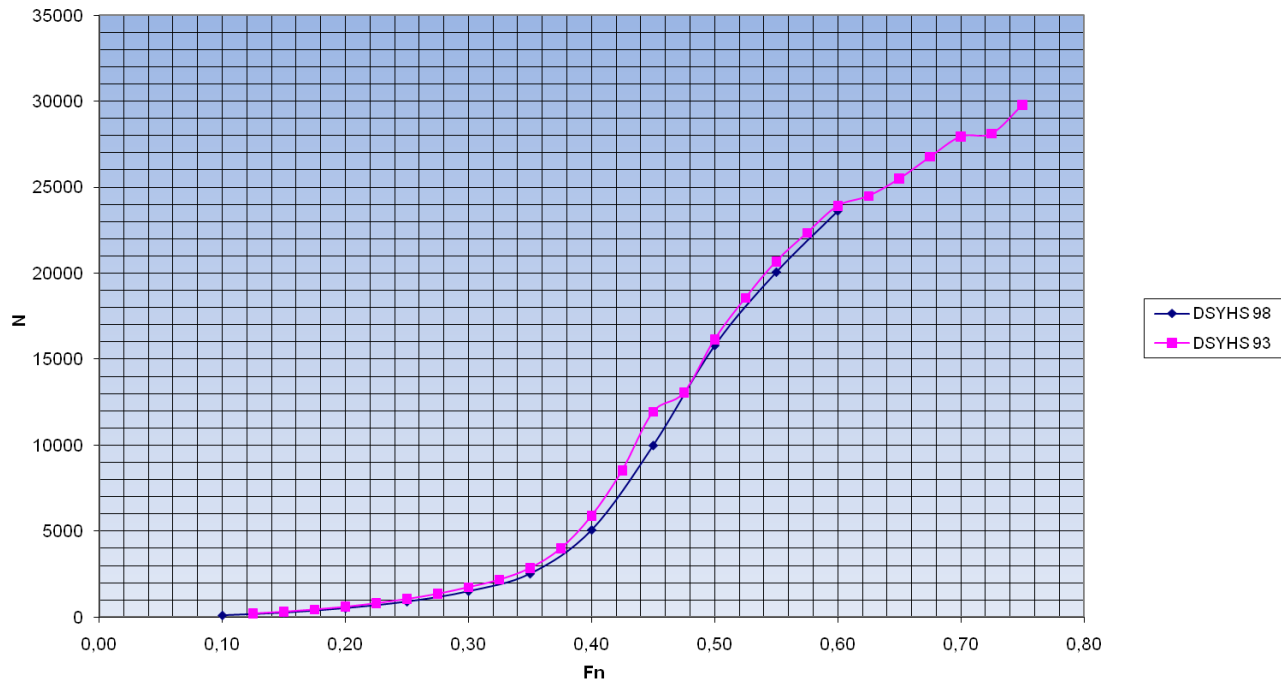
Båt: 53		Prop.: 3-bladig 24"x16" LH				Datum:16.06.2008 Asn			
Väderleksförh:		sol		vind, sydväst 5m/s		13 °C		vatten temp °C	
Körrikt Ut =>	Varvtal rpm	Körtid i min. För bränsle Δt	Impulser sug-retur 5cl/impul s	$\Delta f =$ sug-retur		Förbruk- ning l/h	Tid på knop- sträckan i min,sek	Farten i knop, uträknad	Farten i knop enl. GPS- Logg
=>	1000	2	10	402	-	392	1,5		3,6
=>	1200	2	13	393	-	380	2,0		4,4
=>	1400	2	15	408	-	393	2,3		5,1
=>	1600	2	20	430	-	410	3,0		5,95
=>	1800	2	27	452	-	425	4,1		6,7
=>	2000	2	35	470	-	435	5,3		7,3
=>	2200	2	48	494	-	446	7,2		7,95
=>	2400	2	60	517	-	457	9,0		8,6
=>	2600	2	72	539	-	467	10,8		8,8
=>	2800	2	91	565	-	474	13,7		8,95
=>	3000	2	112	592	-	480	16,8		9,2
=>	3200	2	143	626	-	483	21,5		9,5
in <=									
<=	3200	2	142	627	-	485	21,3		9,7
<=	3000	2	109	588	-	479	16,4		9,6
<=	2800	2	87	562	-	475	13,1		9,1
<=	2600	2	68	534	-	466	10,2		8,9
<=	2400	2	52	505	-	453	7,8		8,45
<=	2200	2	36	478	-	442	5,4		7,7
<=	2000	2	32	466	-	434	4,8		7,5
<=	1800	2	20	440	-	420	3,0		6,5
<=	1600	2	16	422	-	406	2,4		5,7
<=	1400	2	12	399	-	387	1,8		4,9
<=	1200	2	10	383	-	373	1,5		4,35
<=	1000	2	8	366	-	358	1,2		3,7
					-				
					-				
					-				
					-				
					-				
					-				
					-				
					-				
					-				
					-				
					-				

Bilaga 3 Fart och bränsleförbruknings mätdokument av S53

Hull			Keel data		
LWL	m	14,288	Vol	m ³	0,598
BWL	m	4,168	Root chord	m	4,513
Tc	m	0,887	Tip chord	m	3,26
Vol	m ³	19,833	Span	m	0,474
Cp	-	0,554	Sweepback	°	62
LCB	%	5,331	t/c	%	13%
WSA	m ²	46,516	Aver.	m	3,8865
LCF	%	7,387	WSA	m ²	3,68440
T	m	1,335			
WA	m ²	40,512	1+ k	-	1,277137
density water		1025	VCBkeel	m	0,215
visco water		1,19E-			
hull form factor		1			
Rudder data 1			Bulb		
Vol	m ³	0,0365	Vol	m ³	0,001
Root chord	m	0,586	WSA	m ²	0,001
Tip chord	m	0,26	Length	m	0,001
Span	m	1,482			
Sweepback	°	17	Profile	°	22,5%
t/c	%	14%	Plan t/c	%	24,0%
Aver. Chord	m	0,423			
WSA	m ²	1,25377	Aver. t/c	m	23,3%
1+ k	-	1,293	1+ k	-	1,360

Bilaga 4 S53 "Light displacement 35mm sink from DwL" Skrov parametrar för DSYHS -93 och -98 skrovmotståndsberäkning.

S53 Hull, Keel and Rudder resistance



DSYHS -98	
Rtotal	
Fn	N
0,10	112,74
0,15	265,94
0,20	532,48
0,25	910,77
0,30	1513,74
0,35	2532,51
0,40	5074,64
0,45	9979,87
0,50	15786,00
0,55	20045,26
0,60	23600,93

DSYHS -93			
Rtotal			
Fn	N	Fn	N
0,125	211,26	0,450	11923,13
0,150	315,34	0,475	13050,18
0,175	447,60	0,500	16144,51
0,200	603,02	0,525	18555,85
0,225	806,20	0,550	20682,63
0,250	1056,75	0,575	22339,22
0,275	1355,96	0,600	23912,49
0,300	1741,94	0,625	24490,78
0,325	2179,48	0,650	25491,46
0,350	2851,75	0,675	26759,13
0,375	3992,05	0,700	27946,39
0,400	5882,47	0,725	28110,19
0,425	8535,37	0,750	29774,00

Bilaga 5 skrovmotstånddata för S53



Yanmar type 4JH4-HTE

The Powerful Gem

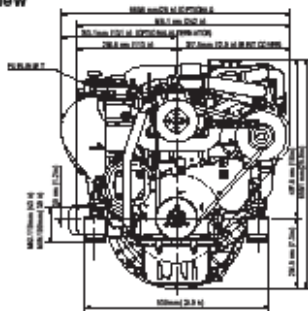


Configuration	4-stroke, vertical, water cooled diesel engine
Maximum output at crankshaft	* 80.9 kW (110 mhp) / 3200 rpm
Continuous rating output at crankshaft	73.6 kW (99 mhp) / 3101 rpm
Displacement	1.995 L (121.7 cu in)
Bore x stroke	84 mm x 90 mm (3.31 in x 3.54 in)
Cylinders	4 cylinders, 4-valves per cylinder
Combustion system	Direct Injection
Aspiration	Turbocharged
Starting system	Electric starting 12 V - 1.4 kW
Alternator	12 V - 80 A (80A optional)
Cooling system	Fresh water cooling by centrifugal water pump and rubber impeller sea water pump
Lubrication system	Enclosed, forced lubricating system
Direction of rotation (crankshaft)	Counter clockwise viewed from stern
Dry weight without gear	217 kg (476 lbs)
Environmental	Meets EPA Tier2, BSO Tier2 and RCD comprehensive emissions regulations introduced in EU and US in 2006
Engine mounting	Rubber type flexible mounts

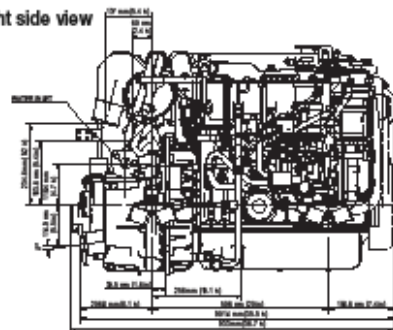
NOTE: Fuel condition: Density at 15°C = 0.84 g/cm³; 1kW = 1.3596 mhp = 1.3410 HP
 * Fuel temperature 40°C at the inlet of the fuel injection pump (ISO 8665)
 Technical data is according to ISO 8665 / 3045

Dimensions (For detailed line-drawings, please refer to our web-site: www.yanmar-marine.com or contact your supplier)

Rear view



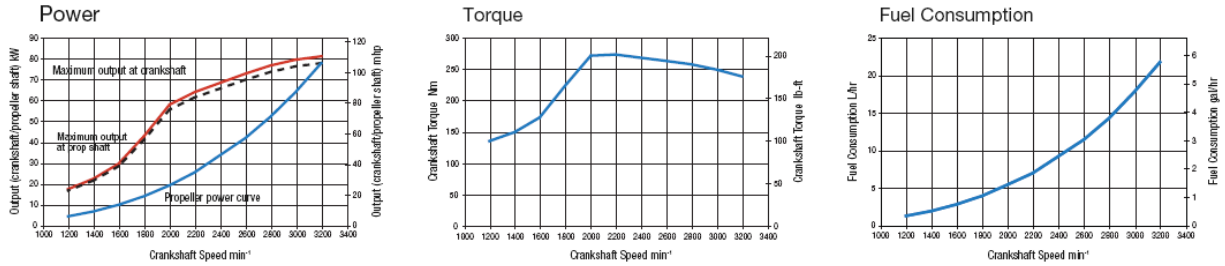
Right side view



4JH4-HTE w/ KM4A2 marine gear



Performance Curves (Output is according ISO 8665)



Marine Gears/Drive

Model	ZF30M		KM4A2 down angle:7			KM4A down angle: 8		ZF25A down angle: 8	
Type	Mechanical multi disc		Mechanical wet cone clutch			Hydraulic, wet multi-disc		Hydraulic, wet multi-disc	
Dry weight	28 kg (61 lbs)		30 kg (66 lbs)			31 kg (68 lbs)		30 kg (66 lbs)	
Reduction ratio (fwd/asn)	2.15/2.64	2.70/2.64	1.47/1.47	2.14/2.14	2.63/2.63	2.04/2.04	2.45/2.45	1.93/1.93	2.48/2.48
Propeller speed(fwd/asn)	1488/1212	1185/1212	2177/2177	1495/1495	1217/1217	1569/1569	1306/1306	1658/1658	1290/1290
Direction of rotation (propeller shaft - fwd)	Clockwise viewed from stern		Clockwise or counterclockwise viewed from stern			Clockwise or counterclockwise viewed from stern		Clockwise & counter clockwise viewed from stern	
Dry weight engine and gear/drive	245 kg (540 lbs)		247 kg (545 lbs)			248 kg (547 lbs)		247 kg (545 lbs)	
Length engine and gear/drive	923 mm (36.3 in)		903 mm (35.6 in)			933 mm (36.7 in)		1017 mm (40 in)	

Bilaga 7 Teknisk bulletin för Yanmar 4JH4-HTE 2/2

DATA FOR Kq		J = 0,043624	P/D = 0,702	EAR = 0,6962	Z = 4	Kq = 0,0324
TERM	CTi	s	t	u	v	S
1	0,0038	0	0	0	0	0,0038
2	0,0089	2	0	0	0	0,0000
3	-0,0322	1	1	0	0	-0,0010
4	0,0034	0	2	0	0	0,0017
5	-0,0409	0	1	1	0	-0,0200
6	-0,1080	1	1	1	0	-0,0023
7	-0,0885	2	1	1	0	-0,0001
8	0,1886	0	2	1	0	0,0646
9	-0,0037	1	0	0	1	-0,0006
10	0,0051	0	1	0	1	0,0144
11	0,0209	1	1	0	1	0,0026
12	0,0047	2	1	0	1	0,0000
13	-0,0072	2	0	1	1	0,0000
14	0,0044	1	1	1	1	0,0004
15	-0,0269	0	2	1	1	-0,0369
16	0,0558	3	0	1	0	0,0000
17	0,0162	0	3	1	0	0,0039
18	0,0032	1	3	1	0	0,0000
19	0,0159	0	0	2	0	0,0077
20	0,0472	1	0	2	0	0,0010
21	0,0196	3	0	2	0	0,0000
22	-0,0503	0	1	2	0	-0,0171
23	-0,0301	3	1	2	0	0,0000
24	0,0417	2	2	2	0	0,0000
25	-0,0398	0	3	2	0	-0,0067
26	-0,0035	0	6	2	0	-0,0002
27	-0,0107	3	0	0	1	0,0000
28	0,0011	3	3	0	1	0,0000
29	-0,0003	0	6	0	1	-0,0002
30	0,0036	3	0	1	1	0,0000
31	-0,0014	0	6	1	1	-0,0005
32	-0,0038	1	0	2	1	-0,0003
33	0,0127	0	2	2	1	0,0121
34	-0,0032	2	3	2	1	0,0000
35	0,0033	0	6	2	1	0,0008
36	-0,0018	1	1	0	2	-0,0009
37	0,0001	3	2	0	2	0,0000
38	0,0000	3	6	0	2	0,0000
39	0,0003	1	0	1	2	0,0001
40	0,0008	2	0	1	2	0,0000
41	0,0016	0	2	1	2	0,0085
42	0,0003	0	6	1	2	0,0004
43	-0,0002	0	0	2	2	-0,0014
44	-0,0004	0	3	2	2	-0,0011
45	0,0001	3	3	2	2	0,0000
46	-0,0005	0	6	2	2	-0,0004
47	0,0001	1	6	2	2	0,0000

Bilaga 8 Wagingen B-seriens Kq polynom

DATA FOR Kt		J = 0,044	P/D = 0,70	EAR = 0,696	Z = 4	Kt = 0,2905
TERM	CTi	s	t	u	v	S
1	8,80496E-03	0	0	0	0	0,00880496
2	-2,04554E-01	1	0	0	0	-0,00892356
3	1,66351E-01	0	1	0	0	0,11674276
4	1,58114E-01	0	2	0	0	0,07787165
5	-1,47581E-01	2	0	1	0	-0,00019552
6	-4,81497E-01	1	1	1	0	-0,01026198
7	4,15437E-01	0	2	1	0	0,14243511
8	1,44043E-02	0	0	0	1	0,05761720
9	-5,30054E-02	2	0	0	1	-0,00040350
10	1,43481E-02	0	1	0	1	0,04027717
11	6,06826E-02	1	1	0	1	0,00743120
12	-1,25894E-02	0	0	1	1	-0,03505644
13	1,09689E-02	1	0	1	1	0,00133247
14	-1,33698E-01	0	3	0	0	-0,04621027
15	6,38407E-03	0	6	0	0	0,00076265
16	-1,32718E-03	2	6	0	0	-0,00000030
17	1,68496E-01	3	0	1	0	0,00000974
18	-5,07214E-02	0	0	2	0	-0,02458085
19	8,54559E-02	2	0	2	0	0,00007881
20	-5,04475E-02	3	0	2	0	-0,00000203
21	1,04650E-02	1	6	2	0	0,00002643
22	-6,48272E-03	2	6	2	0	-0,00000071
23	-8,41728E-03	0	3	0	1	-0,01163712
24	1,68424E-02	1	3	0	1	0,00101580
25	-1,02296E-03	3	3	0	1	-0,00000012
26	-3,17791E-02	0	3	1	1	-0,03058567
27	1,86040E-02	1	0	2	1	0,00157327
28	-4,10798E-03	0	2	2	1	-0,00392196
29	-6,06848E-04	0	0	0	2	-0,00970957
30	-4,98190E-03	1	0	0	2	-0,00347732
31	2,59830E-03	2	0	0	2	0,00007912
32	-5,60528E-04	3	0	0	2	-0,00000074
33	-1,63652E-03	1	2	0	2	-0,00056257
34	-3,28787E-04	1	6	0	2	-0,00002742
35	1,16502E-04	2	6	0	2	0,00000042
36	6,90904E-04	0	0	1	2	0,00769557
37	4,21749E-03	0	3	1	2	0,01623643
38	5,65229E-05	3	6	1	2	0,00000001
39	-1,46564E-03	0	3	2	2	-0,00392796

Bilaga 9 Wageningen B-seriens Kt polynom

Aqualoy 22 and Aqualoy 22 High Strength

Aqualoy 22 and Aqualoy 22 High Strength offer the best combination of corrosion resistance and strength for any marine shaft application and are superior to type 316 and Monel 400 in both corrosion resistance and strength. Although highly corrosion resistant, cathodic protection is recommended to avoid galvanic corrosion in salt and brackish water environments. Aqualoy 22 is an ideal choice for pleasure craft due to its

ability to resist corrosion when sitting idle in sea water for long periods of time. Aqualoy 22 High Strength provides the same corrosion resistance as the Aqualoy 22 but also offers the strength of Aqualoy 17 in 2-1/4 inches through 6 inches in diameter. It is ideal for those vessels requiring higher strength shafts while maintaining the highest corrosion resistance available.

Chemical Composition

Carbon, Max.	0.06
Manganese, Max.	4.00 - 6.00
Phosphorus, Max.	0.04
Sulfur, Max.	0.03
Silicon, Max.	1.00
Molybdenum	1.50 - 3.00
Chromium	20.50 - 23.50
Nickel	11.50 - 13.50
Nitrogen	0.20 - 0.40
Columbium	0.10 - 0.30
Vanadium	0.10 - 0.30
Iron	Balance

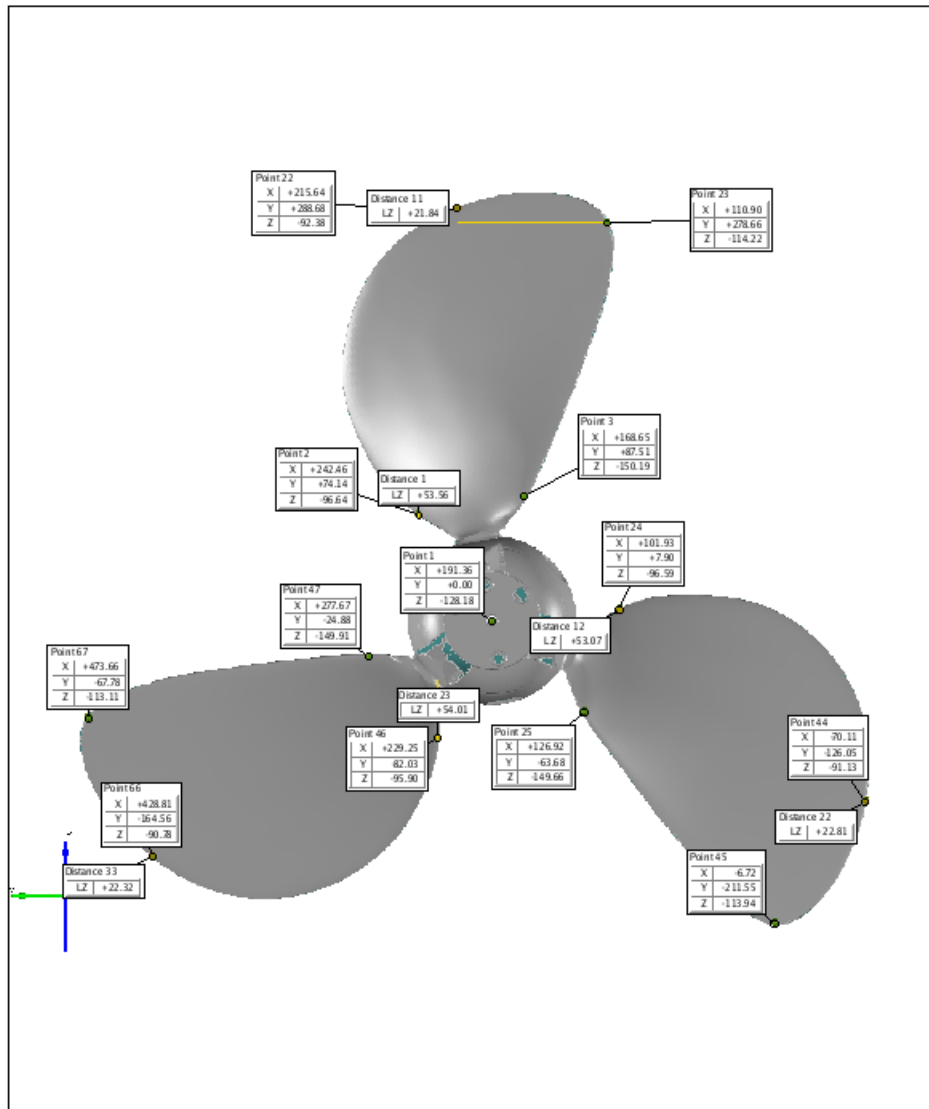
Physical Properties (Aqualoy 22 is non-magnetic)


Density at 75F (24C)	0.285 lbs/in ³ (7.88 gm/cm ³)
Modulus of Elasticity	
<i>Tension</i>	28,900,000 psi (199,000 Mpa)
<i>Torsion (Rigidity)</i>	10,800,000 psi (72,900 Mpa)
Poisson's Ratio	0.312

Minimum Mechanical Properties	3/4" TO 1-1/4"	OVER 1-1/4" TO 2"	OVER 2" TO 2-1/2"	OVER 2-1/2" TO 3"	OVER 3" TO 12"	HIGH STRENGTH 2-1/4" TO 6"
Ultimate Tensile Strength, psi (Mpa)	145,000 (1000)	135,000 (931)	120,000 (827)	115,000 (793)	100,000 (689)	130,000 (896)
0.2% Yield Strength, psi (Mpa)						
<i>Tension</i>	130,000 (896)	105,000 (724)	95,000 (655)	75,000 (517)	55,000 (379)	105,000 (724)
<i>Torsion</i>	86,600 (597)	70,000 (483)	63,300 (434)	50,000 (345)	36,600 (252)	70,000 (483)
Elongation, % in 2" (50.88mm)	18	20	20	25	30	15
Reduction of Area, %	45	50	50	50	50	45
Impact Charpy V-Notch (Typical) ft-lbs (J)	80 (108)	100 (136)	100 (136)	100+ (136+)	100+ (136+)	100 (136)

Aqualoy 22 meets the following specifications (Analysis Only): ASTM A-276, ASTM A-479 and AMS 5764.

Bilaga 10 Material egenskaper Aqualoy22



Inspector: MJO	Project: Flexofold 2416L
Company: OY Nautor AB	Part:
Department: QC	Part-Nr.:
Location: Hall 3	Version:
Date: 06/04/2008	Charge-Nr.:
System: ATOS II	
Alignment: MV 500	

Bilaga 11 GOM Scannings dokument av referenspropeller 24"x16"x3

		Dimensions - Distances											
Dimensions - Angles		Name	Startpoint			Endpoint			Length [mm]	Single Length			Stigning "
Name	Angle [deg]		X	Y	Z [mm]	X	Y	Z [mm]		X	Y	Z [mm]	
Angle 1	49,09	Distance 1	+230.07	-81.30	-96.62	+278.46	-24.11	-150.32	53.69	+0.00	+0.00	53,69	15,5
Angle 2	54,12	Distance 2	+234.52	-101.82	-87.52	+298.24	-24.55	-148.49	60.97	+0.00	+0.00	60,97	16,0
Angle 3	55,24	Distance 3	+242.04	-119.83	-82.18	+319.24	-26.86	-145.11	62.93	+0.00	+0.00	62,93	16,1
Angle 4	54,4	Distance 4	+252.93	-136.29	-79.39	+337.64	-29.25	-141.72	62.33	+0.00	+0.00	62,33	16,2
Angle 5	53,72	Distance 5	+264.22	-153.89	-76.06	+358.23	-32.33	-137.86	61.81	+0.00	+0.00	61,81	16,3
Angle 6	51,87	Distance 6	+278.78	-168.55	-74.91	+378.02	-35.37	-134.43	59.52	+0.00	+0.00	59,52	16,3
Angle 7	48,9	Distance 7	+297.57	-180.78	-75.21	+397.59	-38.88	-131.42	56.21	+0.00	+0.00	56,21	16,3
Angle 8	44,97	Distance 8	+321.15	-190.12	-76.80	+417.67	-42.84	-128.68	51.87	+0.00	+0.00	51,87	16,3
Angle 9	40,18	Distance 9	+347.98	-194.42	-79.50	+437.04	-47.66	-125.35	45.85	+0.00	+0.00	45,85	16,2
Angle 10	33,26	Distance 10	+381.50	-190.75	-84.20	+456.10	-55.51	-120.74	36.55	+0.00	+0.00	36,55	15,6
Angle 11	20,91	Distance 11	+429.28	-165.33	-92.63	+472.94	-69.64	-114.63	22.01	+0.00	+0.00	22,01	14,9
												Medelstigning blad	16,0
Angle 12	49,72	Distance 12	+242.97	+73.52	-96.75	+168.39	+87.62	-149.70	52.96	+0.00	+0.00	52,96	15,1
Angle 13	54,22	Distance 13	+258.69	+86.49	-86.75	+160.21	+106.13	-146.98	60.23	+0.00	+0.00	60,23	15,7
Angle 14	54,77	Distance 14	+270.70	+104.15	-81.47	+152.35	+123.77	-143.89	62.42	+0.00	+0.00	62,42	16,2
Angle 15	54,94	Distance 15	+281.39	+120.79	-77.22	+144.41	+142.22	-140.30	63.09	+0.00	+0.00	63,09	16,3
Angle 16	54,13	Distance 16	+289.22	+140.40	-75.32	+135.03	+161.10	-136.89	61.57	+0.00	+0.00	61,57	16,1
Angle 17	52,5	Distance 17	+295.01	+159.54	-74.14	+127.75	+179.55	-133.61	59.47	+0.00	+0.00	59,47	16,1
Angle 18	49,27	Distance 18	+295.92	+181.79	-74.74	+122.01	+197.15	-130.64	55.90	+0.00	+0.00	55,9	16,1
Angle 19	45,54	Distance 19	+291.95	+206.19	-76.42	+114.53	+216.46	-127.97	51.55	+0.00	+0.00	51,55	16,0
Angle 20	40,43	Distance 20	+281.17	+233.31	-79.14	+108.38	+235.82	-124.55	45.42	+0.00	+0.00	45,42	15,9
Angle 21	33,09	Distance 21	+258.48	+260.90	-83.96	+105.08	+255.34	-120.03	36.07	+0.00	+0.00	36,07	15,4
Angle 22	20,11	Distance 22	+212.99	+289.50	-91.45	+107.21	+277.33	-114.07	22.62	+0.00	+0.00	22,62	15,9
												Medelstigning blad	15,9
Angle 23	49,15	Distance 23	+101.43	+8.23	-95.76	+126.62	-62.33	-149.74	53.99	+0.00	+0.00	53,99	15,6
Angle 24	54,64	Distance 24	+82.32	+15.58	-86.08	+115.46	-79.97	-147.53	61.46	+0.00	+0.00	61,46	15,9
Angle 25	56,53	Distance 25	+62.78	+19.15	-80.05	+104.43	-96.73	-143.99	63.94	+0.00	+0.00	63,94	16,0
Angle 26	56,21	Distance 26	+42.70	+19.54	-76.31	+92.53	-112.57	-140.39	64.08	+0.00	+0.00	64,08	16,2
Angle 27	54,84	Distance 27	+22.43	+16.53	-74.28	+80.29	-128.89	-136.51	62.23	+0.00	+0.00	62,23	16,1
Angle 28	52,01	Distance 28	+1.39	+9.26	-73.58	+67.41	-143.70	-132.71	59.13	+0.00	+0.00	59,13	16,1
Angle 29	49,44	Distance 29	-18.34	-0.68	-73.60	+55.39	-159.90	-129.48	55.88	+0.00	+0.00	55,88	16,0
Angle 30	45,39	Distance 30	-37.90	-16.55	-75.10	+42.02	-174.98	-126.29	51.18	+0.00	+0.00	51,18	16,0
Angle 31	40,73	Distance 31	-55.12	-37.52	-77.58	+28.88	-189.49	-122.93	45.36	+0.00	+0.00	45,36	15,8
Angle 32	33,29	Distance 32	-68.15	-71.07	-82.09	+12.78	-202.56	-118.52	36.43	+0.00	+0.00	36,43	15,5
Angle 33	21,22	Distance 33	-69.81	-123.32	-90.22	-8.47	-210.58	-112.56	22.34	+0.00	+0.00	22,34	14,9
												Medelstigning blad	15,8

Bilaga 12 GOM Scannings data av referenspropeller 24"x16"x3

Theoretical performance calculations of 100% rpm on S53, DSYHS-93, Va const. 0,88 Reduction ratio 2,714:1												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714
Propeller diameter	m	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583
Propeller pitch	m	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431
P/D		0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
BAR		0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Number of blades (N)	pcs	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04
VA	m/s	2,24	2,56	2,87	3,16	3,44	3,66	3,84	3,98	4,11	4,23	4,35
Engine speed												
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	7,37	8,60	9,83	11,05	12,28	13,51	14,74	15,97	17,19	18,42	19,65
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	3,41	5,54	8,45	12,33	17,27	23,69	31,81	41,84	53,87	67,99	84,40
Engine power reserve	kW	14,09	16,67	20,82	29,39	38,58	38,21	34,47	28,82	20,49	8,72	-6,68
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	73,57	102,54	136,83	177,51	223,81	279,13	343,56	417,06	498,63	587,37	683,55
Available shaft torque	Nm	378,05	411,29	474,38	601,01	724,12	729,67	716,12	704,66	688,60	663,05	629,79
Engine load	%	20	26	30	31	32	40	50	62	75	92	113
Fuel consumption	Ltr/h	1,06	1,68	2,52	3,55	4,89	6,65	8,98	11,86	15,22	19,71	24,55
Thrust (T)												
Thrust (T)	N	892	1257	1693	2219	2822	3563	4445	5466	6611	7862	9226
Thrust*0,8 (T)	N	714	1005	1354	1775	2258	2851	3556	4373	5289	6290	7380
Thrust (T) cos10°	N	879	1238	1667	2185	2779	3509	4377	5383	6511	7743	9085
Thrust (T) cos24°^3	N	680	958	1290	1692	2152	2717	3389	4168	5040	5994	7034
Hull, keel & rudder Resistance	N	714	1005	1354	1775	2258	2851	3556	4373	5289	6290	7380
Speed	Knots	4,95	5,66	6,35	6,98	7,59	8,08	8,48	8,80	9,08	9,35	9,60
Propeller Characteristics												
Kt		0,138629	0,143455	0,147922	0,153219	0,157851	0,164719	0,172645	0,180924	0,188671	0,19546	0,201576
Kq		0,019602	0,020073	0,020508	0,021021	0,021468	0,022128	0,022885	0,023672	0,024403	0,025041	0,025613
Bu		18,28	19,36	20,43	21,79	23,07	25,14	27,84	31,07	34,57	38,09	41,71
J		0,522	0,511	0,502	0,490	0,480	0,464	0,447	0,428	0,410	0,394	0,379
δ		194	198	202	207	211	218	227	237	247	257	267
η _o		0,59	0,58	0,58	0,57	0,56	0,55	0,54	0,52	0,50	0,49	0,48
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm ²	1755	1755	1755	1755	1755	1755	1755	1755	1755	1755	1755
Allowable blade loading	N/m ²	28261	30218	31996	33543	34986	36104	36978	37664	38257	38822	39348
Actual blade loading	N/m ²	26460	29089	33863	43354	52692	53754	53465	53301	52689	51221	49053
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20°C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		2,14	1,58	1,21	0,96	0,78	0,65	0,54	0,46	0,40	0,35	0,31
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	4,32	1,57	0,76	0,49	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22	0,19	0,17
Minimum required EAR		0,02	0,05	0,11	0,17	0,23	0,29	0,35	0,42	0,49	0,57	0,66
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	14	16	18	20	23	25	27	29	32	34	36
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		20%	21%	23%	25%	26%	29%	31%	34%	37%	39%	42%
Real slip		29%	31%	32%	34%	35%	37%	40%	42%	45%	47%	49%
Propeller shaft												
Shaft material		Aquamet 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	27,6	28,4	29,8	32,2	34,3	34,4	34,2	34,0	33,7	33,3	32,7

Bilaga 13 Teoretisk prestanda av 100 % propeller, reduktionsförhållande 2,714:1

Theoretical performance calculations of 90% rpm on S53, DSYHS-93, Va const. 0,88 Reduction ratio 2,714:1												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714
Propeller diameter	m	0,648	0,648	0,648	0,648	0,648	0,648	0,648	0,648	0,648	0,648	0,648
Propeller pitch	m	0,416	0,416	0,416	0,416	0,416	0,416	0,416	0,416	0,416	0,416	0,416
P/D		0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
BAR		0,398996	0,398996	0,398996	0,398996	0,398996	0,398996	0,398996	0,398996	0,398996	0,398996	0,398996
Number of blades (N)	pcs	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
VA	m/s	2,23	2,55	2,86	3,15	3,43	3,65	3,83	3,98	4,11	4,23	4,35
Engine performance												
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	7,37	8,60	9,83	11,05	12,28	13,51	14,74	15,97	17,19	18,42	19,65
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	3,03	4,94	7,55	11,06	15,54	21,42	28,92	38,26	49,56	62,89	78,45
Engine power reserve	kW	14,47	17,27	21,72	30,66	40,31	40,49	37,36	32,39	24,79	13,82	-0,73
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	65,41	91,45	122,36	159,31	201,43	252,32	312,28	381,42	458,76	543,30	635,38
Available shaft torque	Nm	378,05	411,29	474,38	601,01	724,12	729,67	716,12	704,66	688,60	663,05	629,79
Engine load	%	18	23	27	28	29	36	45	56	69	85	105
Fuel consumption	Ltr/h	0,94	1,50	2,25	3,19	4,40	6,01	8,17	10,85	14,01	18,23	22,82
Thrust and Resistance												
Thrust (T)	N	883	1244	1676	2199	2798	3535	4414	5439	6591	7853	9231
Thrust*0,8 (T)	N	707	995	1341	1759	2238	2828	3532	4351	5273	6283	7385
Thrust (T) cos10°	N	870	1225	1651	2166	2755	3481	4347	5356	6491	7734	9091
Thrust (T) cos24°^3	N	673	949	1278	1677	2133	2695	3366	4147	5025	5988	7038
Hull, keel & rudder Resistance	N	707	995	1341	1759	2238	2828	3532	4351	5273	6283	7385
Speed	Knots	4,93	5,64	6,33	6,95	7,57	8,07	8,47	8,79	9,07	9,34	9,60
Propeller Characteristics												
Kt		0,090029	0,093197	0,096117	0,099635	0,102666	0,107201	0,112505	0,118113	0,123416	0,128095	0,132336
Kq		0,010292	0,010571	0,010829	0,011114	0,011409	0,011811	0,012283	0,012783	0,013258	0,013677	0,014058
BU		18,34	19,41	20,47	21,83	23,09	25,14	27,82	31,05	34,55	38,09	41,71
J		0,468	0,458	0,450	0,440	0,431	0,417	0,401	0,385	0,369	0,354	0,341
δ		217	221	225	230	235	243	252	263	275	286	297
η _o		0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm ²	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316
Allowable blade loading	N/m ²	28203	30160	31941	33488	34939	36069	36953	37649	38248	38818	39350
Actual blade loading	N/m ²	39304	43094	50041	63882	77442	78706	77953	77378	76183	73803	70458
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20°C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		1,76	1,29	0,99	0,78	0,64	0,53	0,44	0,38	0,33	0,29	0,25
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	2,19	0,89	0,52	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,18	0,16	0,15
Minimum required EAR		0,02	0,06	0,10	0,14	0,18	0,22	0,26	0,32	0,38	0,43	0,50
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	15	18	20	23	25	28	30	33	35	38	40
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		17%	19%	20%	22%	24%	26%	29%	32%	35%	37%	40%
Real slip		27%	29%	30%	31%	33%	35%	37%	40%	43%	45%	47%
Propeller shaft												
Shaft material		Aquamet 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	27,6	28,4	29,8	32,2	34,3	34,4	34,2	34,0	33,7	33,3	32,7

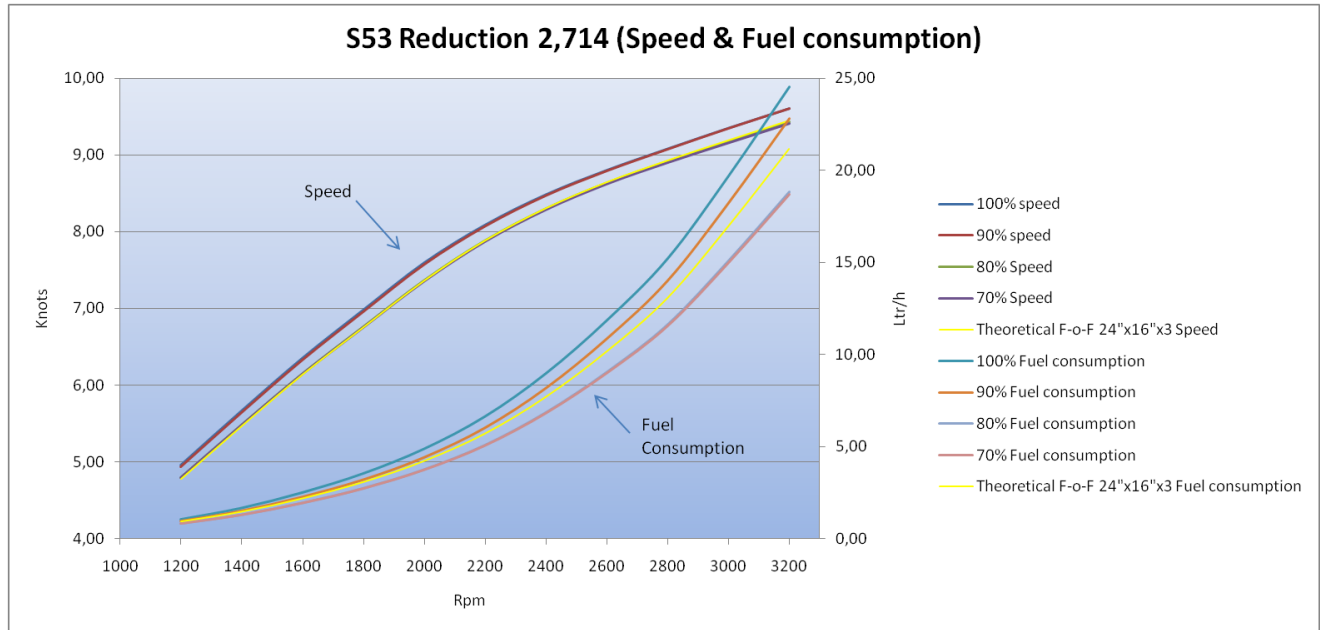
Bilaga 14 Teoretisk prestanda av 90 % propeller, reduktionsförhållande 2,714:1

Theoretical performance calculations of 80% rpm on S53, DSYHS-93, Va const. 0,88 Reduction ratio 2,714:1												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714
Propeller diameter	m	0,636	0,636	0,636	0,636	0,636	0,636	0,636	0,636	0,636	0,636	0,636
Propeller pitch	m	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
P/D		0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
BAR		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Number of blades (N)	pcs	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
VA	m/s	2,17	2,48	2,78	3,06	3,33	3,57	3,76	3,91	4,03	4,15	4,27
Engine performance												
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	7,37	8,60	9,83	11,05	12,28	13,51	14,74	15,97	17,19	18,42	19,65
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	2,62	4,26	6,49	9,46	13,24	18,09	24,26	31,89	41,14	52,07	64,77
Engine power reserve	kW	14,88	17,95	22,79	32,26	42,61	43,81	42,03	38,76	33,21	24,64	12,96
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	56,56	78,78	105,05	136,26	171,61	213,16	261,92	317,90	380,82	449,84	524,53
Available shaft torque	Nm	378,05	411,29	474,38	601,01	724,12	729,67	716,12	704,66	688,60	663,05	629,79
Engine load	%	16	20	23	24	25	30	38	47	58	71	87
Fuel consumption	Ltr/h	0,81	1,29	1,93	2,73	3,75	5,08	6,85	9,04	11,63	15,09	18,84
Thrust and Resistance												
Thrust (T)	N	822	1154	1550	2027	2570	3219	3994	4895	5917	7043	8265
Thrust*0,8 (T)	N	657	923	1240	1622	2056	2575	3195	3916	4734	5635	6612
Thrust (T) cos10°	N	809	1137	1527	1997	2531	3170	3933	4821	5828	6936	8139
Thrust (T) cos24°^3	N	627	880	1182	1546	1959	2454	3045	3732	4512	5370	6301
Hull, keel & rudder Resistance	N	657	923	1240	1622	2056	2575	3195	3916	4734	5635	6612
Speed	Knots	4,79	5,48	6,15	6,76	7,36	7,88	8,30	8,63	8,91	9,17	9,43
Propeller Characteristics												
Kt		0,090284	0,09317	0,095793	0,098995	0,101647	0,105223	0,109705	0,11457	0,11941	0,12381	0,127685
Kq		0,009771	0,01	0,010209	0,010463	0,010673	0,010957	0,011313	0,0117	0,012085	0,012435	0,012744
BU		18,75	19,82	20,86	22,21	23,40	25,15	27,56	30,54	33,92	37,43	40,95
J		0,463	0,454	0,445	0,435	0,427	0,415	0,401	0,385	0,369	0,354	0,341
δ		219	223	228	233	237	244	253	263	275	286	297
η _o		0,68	0,67	0,66	0,66	0,65	0,63	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm ²	953	953	953	953	953	953	953	953	953	953	953
Allowable blade loading	N/m ²	27793	29723	31483	33009	34454	35647	36577	37310	37911	38459	38989
Actual blade loading	N/m ²	58403	64065	74424	95074	115298	117154	116105	115370	113761	110376	105499
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20°C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		1,82	1,34	1,03	0,81	0,66	0,55	0,46	0,39	0,34	0,30	0,26
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	2,49	0,98	0,55	0,40	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15
Minimum required EAR		0,02	0,05	0,10	0,14	0,17	0,21	0,25	0,30	0,35	0,41	0,46
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	15	17	20	22	25	27	29	32	34	37	39
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		16%	18%	20%	21%	23%	25%	28%	31%	33%	36%	38%
Real slip		26%	28%	29%	31%	32%	34%	36%	39%	41%	44%	46%
Propeller shaft												
Shaft material		Aquamet 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	27,6	28,4	29,8	32,2	34,3	34,4	34,2	34,0	33,7	33,3	32,7

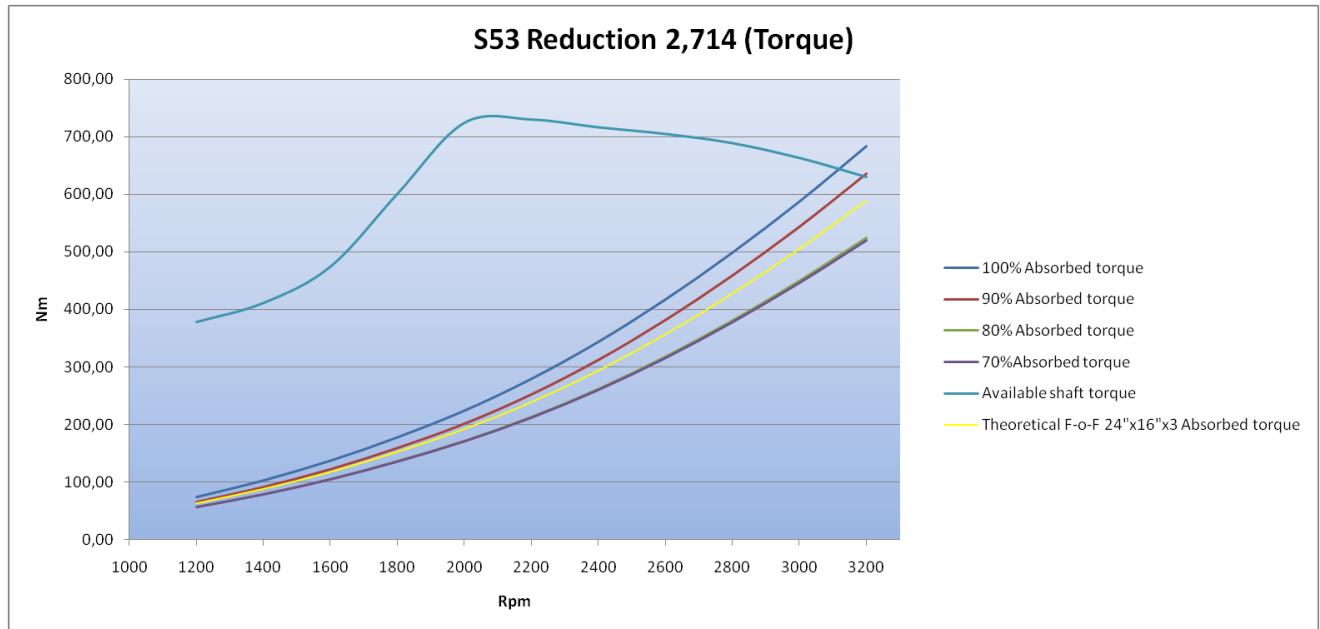
Bilaga 15 Teoretisk prestanda av 80 % propeller, reduktionsförhållande 2,714:1

Theoretical performance calculations of 70% rpm on S53, DSYHS-93, Va const. 0,88 Reduction ratio 2,714:1												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714	2,714
Propeller diameter	m	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627
Propeller pitch	m	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408	0,408
P/D		0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
BAR		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Number of blades (N)	pcs	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
VA	m/s	2,17	2,48	2,78	3,06	3,33	3,56	3,75	3,90	4,03	4,14	4,26
Engine performance												
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	7,37	8,60	9,83	11,05	12,28	13,51	14,74	15,97	17,19	18,42	19,65
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	2,60	4,23	6,45	9,41	13,16	17,98	24,08	31,65	40,81	51,63	64,20
Engine power reserve	kW	14,89	17,97	22,82	32,31	42,69	43,93	42,20	39,01	33,55	25,08	13,53
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	56,24	78,34	104,44	135,45	170,56	211,78	260,08	315,48	377,73	446,03	519,92
Available shaft torque	Nm	378,05	411,29	474,38	601,01	724,12	729,67	716,12	704,66	688,60	663,05	629,79
Engine load	%	16	20	23	23	25	30	38	47	57	70	86
Fuel consumption	Ltr/h	0,81	1,28	1,92	2,71	3,73	5,04	6,80	8,97	11,53	14,96	18,67
Thrust and Resistance												
Thrust (T)	N	822	1153	1548	2023	2562	3205	3972	4861	5868	6977	8180
Thrust*0,8 (T)	N	657	923	1238	1618	2050	2564	3177	3888	4694	5582	6544
Thrust (T) cos10°	N	809	1136	1524	1992	2523	3157	3911	4787	5779	6871	8055
Thrust (T) cos24°^3	N	627	879	1180	1542	1953	2444	3028	3706	4474	5319	6236
Hull, keel & rudder Resistance	N	657	923	1238	1618	2050	2564	3177	3888	4694	5582	6544
Speed	Knots	4,79	5,48	6,14	6,75	7,35	7,87	8,29	8,62	8,90	9,16	9,41
Propeller Characteristics												
Kt		0,095625	0,098605	0,101309	0,104601	0,107329	0,110969	0,115534	0,120479	0,125406	0,129895	0,133847
Kq		0,01044	0,010684	0,010905	0,011175	0,011398	0,011696	0,01207	0,012475	0,012879	0,013247	0,013572
BU		18,75	19,83	20,86	22,22	23,42	25,15	27,55	30,50	33,87	37,38	40,88
J		0,469	0,460	0,451	0,441	0,432	0,421	0,406	0,390	0,374	0,359	0,346
δ		216	220	224	230	234	241	250	260	271	282	293
η _o		0,68	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm ²	926	926	926	926	926	926	926	926	926	926	926
Allowable blade loading	N/m ²	27793	29719	31474	32995	34436	35627	36554	37287	37885	38428	38954
Actual blade loading	N/m ²	60446	66260	76926	98199	119020	120841	119652	118789	117039	113484	108413
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20°C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		1,87	1,38	1,06	0,84	0,68	0,56	0,47	0,40	0,35	0,31	0,27
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	2,73	1,06	0,58	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16
Minimum required EAR		0,02	0,05	0,10	0,14	0,18	0,21	0,26	0,31	0,36	0,42	0,48
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	15	17	19	22	24	27	29	31	34	36	39
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		18%	20%	21%	23%	24%	26%	29%	32%	35%	37%	40%
Real slip		28%	29%	31%	32%	33%	35%	38%	40%	43%	45%	47%
Propeller shaft												
Shaft material		Aquamet 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	27,6	28,4	29,8	32,2	34,3	34,4	34,2	34,0	33,7	33,3	32,7

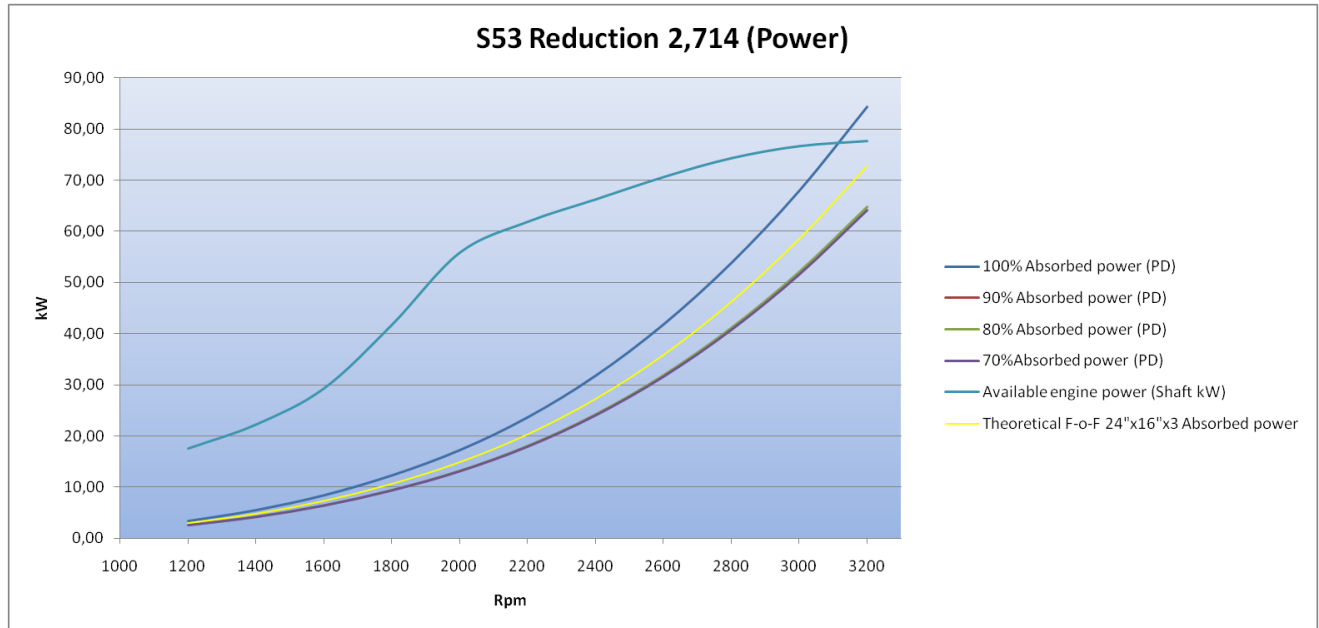
Bilaga 16 Teoretisk prestanda av 70 % propeller, reduktionsförhållande 2,714:1



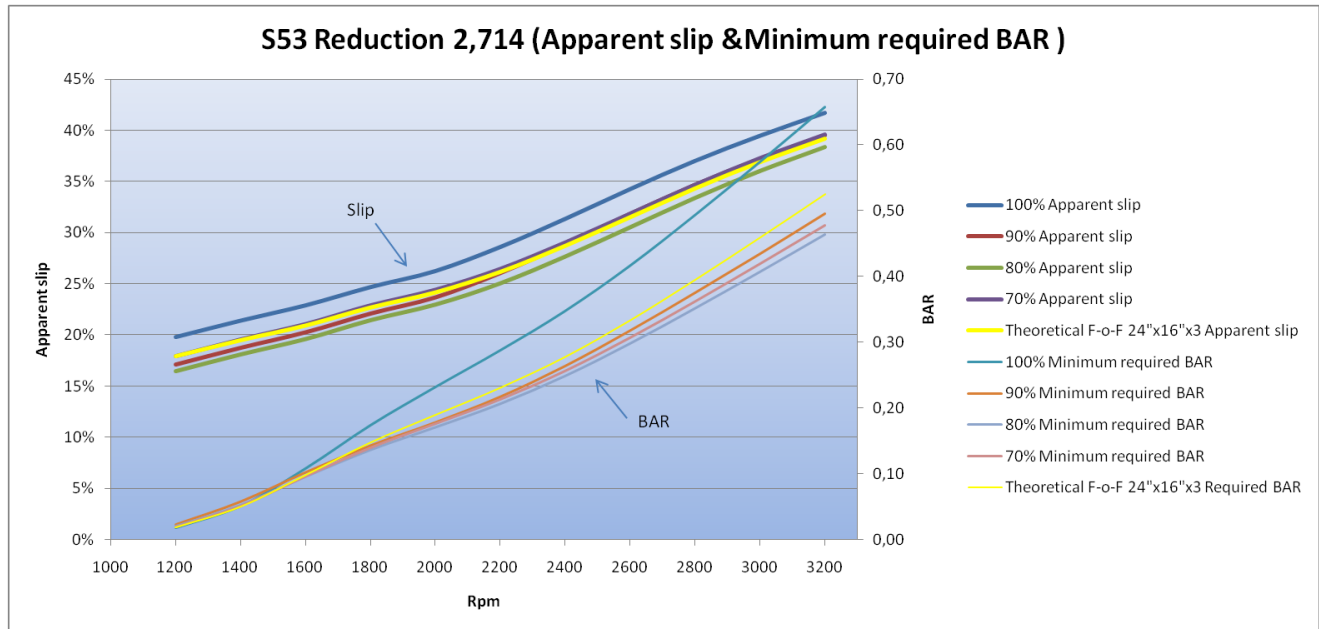
Bilaga 17 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (1/7)



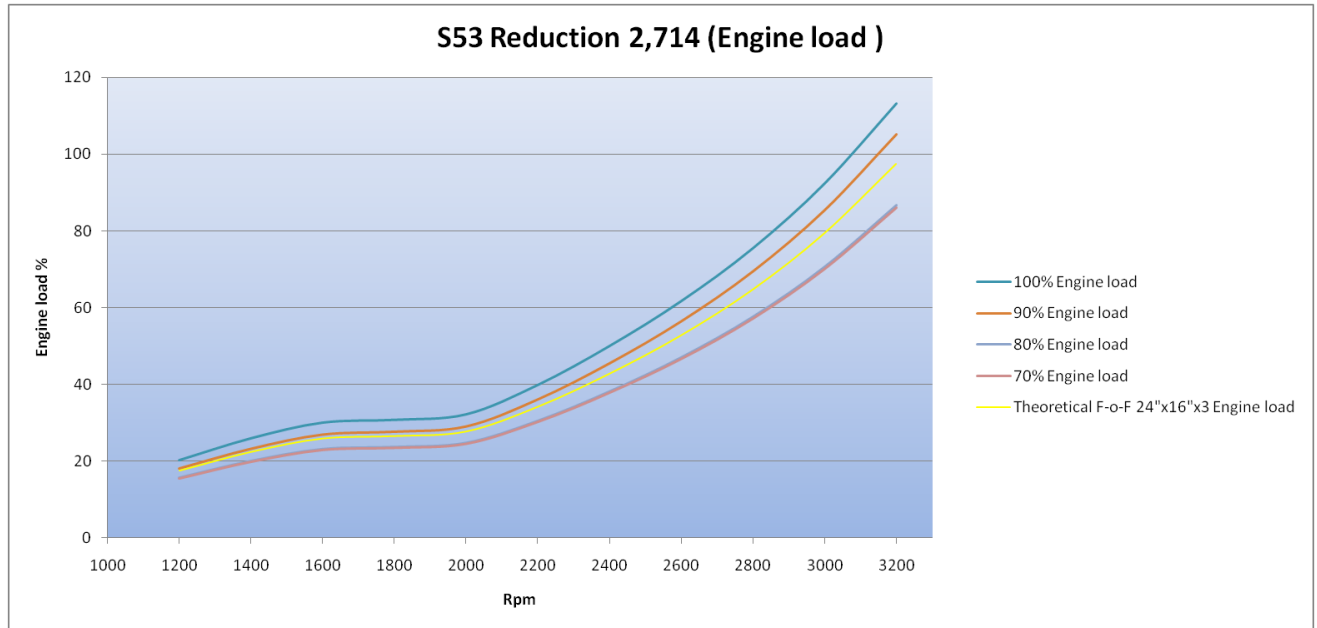
Bilaga 18 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (2/7)



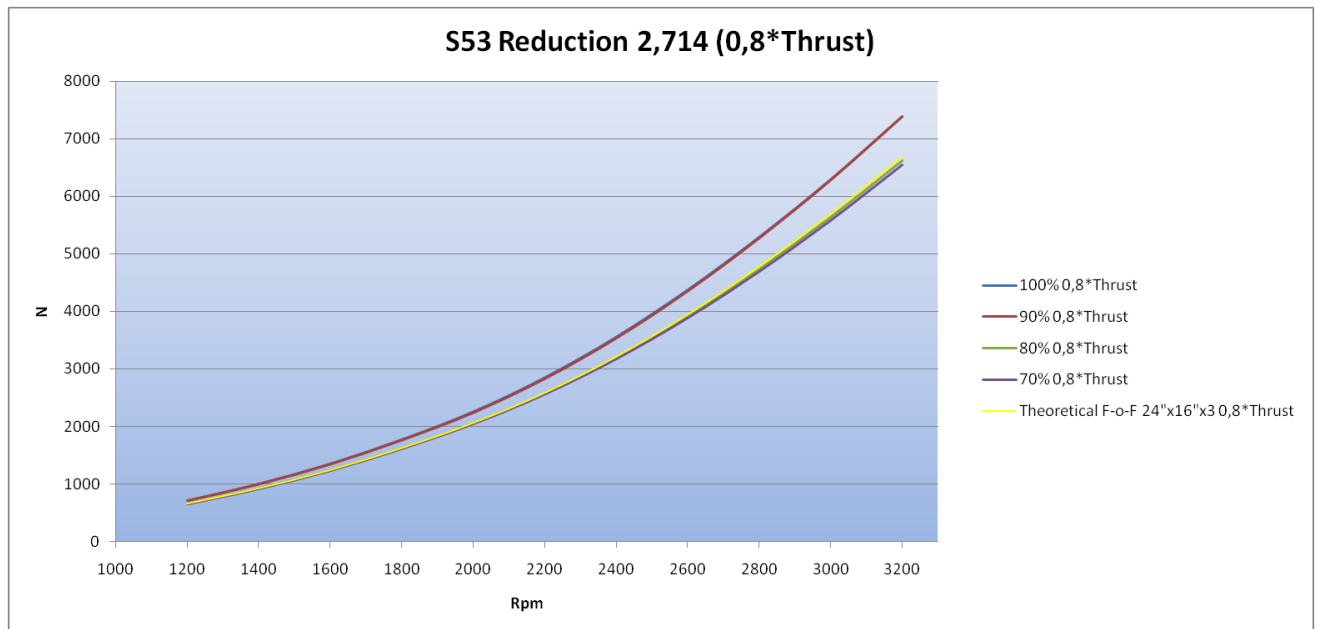
Bilaga 19 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (3/7)



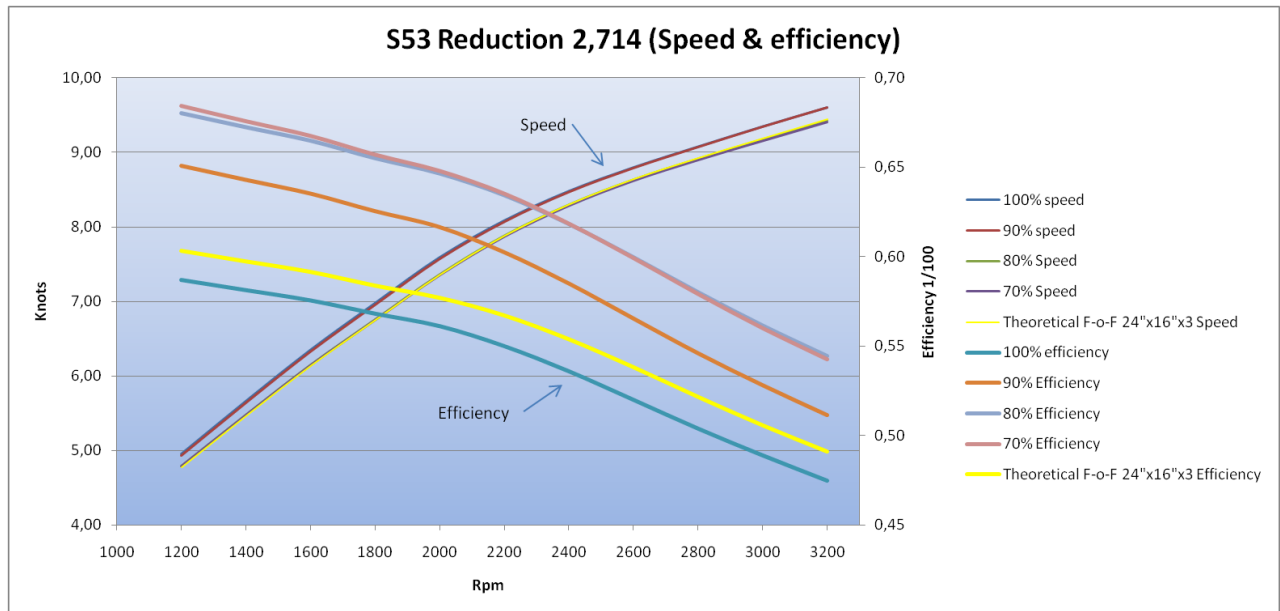
Bilaga 20 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (4/7)



Bilaga 21 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (5/7)



Bilaga 22 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (6/7)



Bilaga 23 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 2,714:1 (7/7)

Theoretical performance calculations of 100% rpm on S53, DSYHS-93, Va const. 0,88 Reduction ratio 1,47:1												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
Propeller diameter	m	0,316	0,316	0,316	0,316	0,316	0,316	0,316	0,316	0,316	0,316	0,316
Propeller pitch	m	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442
P/D		1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
BAR		1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Number of blades (N)	pcs	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
VA	m/s	2,31	2,62	2,91	3,18	3,43	3,63	3,79	3,92	4,03	4,13	4,23
Engine performance												
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	13,61	15,87	18,14	20,41	22,68	24,94	27,21	29,48	31,75	34,01	36,28
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	5,35	8,61	13,00	18,74	25,97	35,05	46,16	59,53	75,34	93,73	114,89
Engine power reserve	kW	12,14	13,60	16,27	22,98	29,88	26,86	20,12	11,12	-0,98	-17,02	-37,17
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	62,64	86,33	114,06	146,12	182,28	223,61	270,00	321,41	377,69	438,59	503,97
Available shaft torque	Nm	204,77	222,77	256,94	325,53	392,21	395,22	387,88	381,67	372,97	359,13	341,11
Engine load	%	32	40	46	47	48	59	73	88	106	127	154
Fuel consumption	Ltr/h	1,66	2,61	3,88	5,40	7,36	9,83	13,04	16,88	21,29	27,17	33,41
Thrust and Resistance												
Thrust (T)	N	963	1330	1759	2256	2817	3461	4185	4989	5870	6824	7849
Thrust*0,8 (T)	N	771	1064	1407	1805	2254	2769	3348	3991	4696	5460	6279
Thrust (T) cos10°	N	949	1309	1732	2222	2775	3409	4122	4913	5781	6721	7730
Thrust (T) cos24°^3	N	734	1014	1341	1720	2148	2639	3191	3804	4476	5203	5984
Hull, keel & rudder Resistance	N	771	1064	1407	1805	2254	2769	3348	3991	4696	5460	6279
Speed	Knots	5,11	5,79	6,43	7,02	7,59	8,03	8,38	8,66	8,90	9,12	9,34
Propeller Characteristics												
Kt		0,510219	0,517332	0,523982	0,531054	0,537173	0,545377	0,554146	0,562874	0,571051	0,578302	0,584596
Kq		0,105035	0,106354	0,107588	0,1089	0,110036	0,111559	0,113187	0,114807	0,116326	0,117672	0,118841
BU		32,99	35,18	37,42	40,07	42,59	46,40	51,08	56,53	62,53	68,75	75,00
J		0,538	0,523	0,508	0,493	0,479	0,461	0,441	0,421	0,402	0,384	0,369
δ		188	194	199	205	211	220	230	241	252	264	274
η _o		0,42	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,29
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm ²	823	823	823	823	823	823	823	823	823	823	823
Allowable blade loading	N/m ²	28695	30554	32213	33646	34977	35977	36757	37373	37886	38358	38816
Actual blade loading	N/m ²	38779	42246	48787	61889	74647	75326	74035	72953	71382	68810	65420
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20°C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		2,14	1,58	1,21	0,96	0,78	0,65	0,54	0,47	0,40	0,35	0,31
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	4,27	1,55	0,76	0,49	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22	0,19	0,17
Minimum required EAR		0,08	0,22	0,46	0,72	0,95	1,15	1,34	1,56	1,80	2,04	2,29
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	14	16	18	20	23	25	27	29	32	34	36
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		56%	58%	59%	60%	61%	63%	64%	66%	67%	69%	70%
Real slip		62%	63%	64%	65%	66%	67%	68%	70%	71%	73%	74%
Propeller shaft												
Shaft material		Aquamet 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	22,5	23,1	24,3	26,3	27,9	28,0	27,8	27,7	27,5	27,1	26,7

Bilaga 24 Teoretisk prestanda av 100 % propeller, reduktionsförhållande 1,47:1

Theoretical performance calculations of 90% rpm on S53, DSYHS-93, Va const. 0,88 Reduction ratio 1,47:1												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
Propeller diameter	m	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351
Propeller pitch	m	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380
P/D		1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
BAR		1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Number of blades (N)	pcs	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
VA	m/s	2,38	2,71	3,00	3,29	3,53	3,73	3,88	4,00	4,11	4,22	4,32
Engine performance												
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	13,61	15,87	18,14	20,41	22,68	24,94	27,21	29,48	31,75	34,01	36,28
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	5,40	8,71	13,22	19,09	26,61	36,11	47,83	61,97	78,72	98,23	120,72
Engine power reserve	kW	12,09	13,49	16,05	22,63	29,24	25,80	18,46	8,68	-4,36	-21,51	-43,00
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	63,22	87,36	115,97	148,86	186,75	230,42	279,74	334,60	394,65	459,61	529,58
Available shaft torque	Nm	204,77	222,77	256,94	325,53	392,21	395,22	387,88	381,67	372,97	359,13	341,11
Engine load	%	32	41	47	48	50	61	75	91	110	133	162
Fuel consumption	Ltr/h	1,68	2,64	3,94	5,50	7,54	10,13	13,51	17,57	22,24	28,47	35,11
Thrust and Resistance												
Thrust (T)	N	1041	1443	1922	2473	3111	3850	4689	5624	6650	7759	8956
Thrust*0,8 (T)	N	833	1155	1537	1978	2488	3080	3751	4499	5320	6208	7165
Thrust (T) cos10°	N	1026	1422	1892	2435	3063	3792	4618	5539	6549	7642	8820
Thrust (T) cos24°^3	N	794	1101	1465	1885	2372	2935	3575	4288	5070	5916	6828
Hull, keel & rudder Resistance	N	833	1155	1537	1978	2488	3080	3751	4499	5320	6208	7165
Speed	Knots	5,26	5,98	6,63	7,26	7,81	8,23	8,56	8,84	9,08	9,32	9,55
Propeller Characteristics												
Kt		0,361903	0,368511	0,375613	0,381887	0,389121	0,39805	0,407325	0,416317	0,424403	0,431409	0,437618
Kq		0,062593	0,063555	0,064591	0,065508	0,066568	0,067879	0,069246	0,070575	0,071773	0,072815	0,073739
BU		32,27	34,35	36,81	39,20	42,26	46,55	51,73	57,64	63,89	70,19	76,61
J		0,499	0,486	0,472	0,459	0,444	0,426	0,406	0,387	0,369	0,354	0,340
δ		203	208	215	221	228	238	250	262	274	286	298
η _o		0,46	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,38	0,36	0,35	0,33	0,32
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm ²	1016	1016	1016	1016	1016	1016	1016	1016	1016	1016	1016
Allowable blade loading	N/m ²	29136	31053	32707	34219	35483	36430	37165	37753	38275	38778	39253
Actual blade loading	N/m ²	33649	36711	42467	53935	65160	65868	64846	63989	62681	60474	57536
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20°C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		1,75	1,29	0,99	0,78	0,63	0,53	0,44	0,38	0,33	0,29	0,25
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	2,15	0,88	0,51	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,18	0,16	0,15
Minimum required EAR		0,10	0,26	0,45	0,61	0,76	0,91	1,07	1,26	1,45	1,64	1,84
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	15	18	20	23	25	28	30	33	35	38	40
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		48%	49%	50%	52%	53%	55%	57%	59%	61%	63%	64%
Real slip		54%	55%	56%	58%	59%	61%	62%	64%	66%	67%	69%
Propeller shaft												
Shaft material		Aquamet 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	22,5	23,1	24,3	26,3	27,9	28,0	27,8	27,7	27,5	27,1	26,7

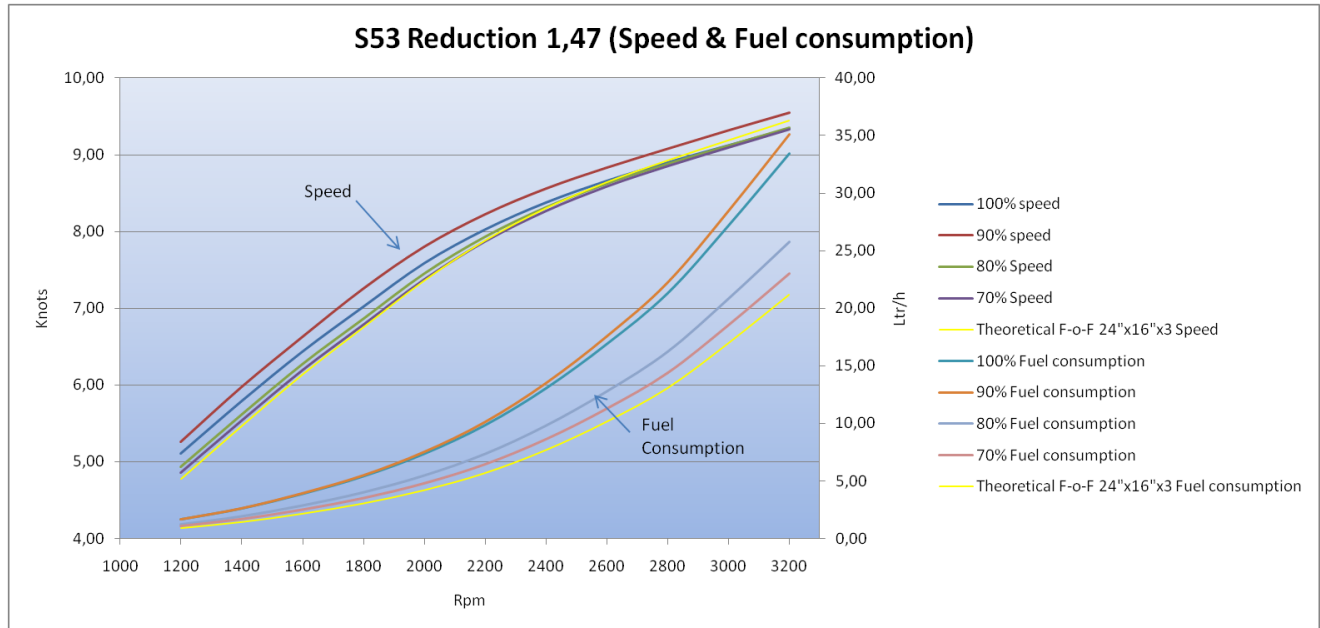
Bilaga 25 Teoretisk prestanda av 90 % propeller, reduktionsförhållande 1,47:1

Theoretical performance calculations of 80% rpm on S53, DSYHS-93, Va const. 0,88 Reduction ratio 1,47:1												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
Propeller diameter	m	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395	0,395
Propeller pitch	m	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297
P/D		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
BAR		0,73449	0,73449	0,73449	0,73449	0,73449	0,73449	0,73449	0,73449	0,73449	0,73449	0,73449
Number of blades (N)	pcs	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
VA	m/s	2,23	2,54	2,84	3,11	3,37	3,59	3,77	3,91	4,02	4,13	4,24
Engine performance												
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	13,61	15,87	18,14	20,41	22,68	24,94	27,21	29,48	31,75	34,01	36,28
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	3,91	6,31	9,56	13,86	19,27	26,14	34,66	45,02	57,38	71,85	88,55
Engine power reserve	kW	13,59	15,89	19,71	27,86	36,58	35,77	31,62	25,64	16,98	4,86	-10,82
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	45,71	63,29	83,91	108,07	135,28	166,78	202,72	243,06	287,67	336,19	388,43
Available shaft torque	Nm	204,77	222,77	256,94	325,53	392,21	395,22	387,88	381,67	372,97	359,13	341,11
Engine load	%	23	30	34	35	36	44	54	66	80	98	119
Fuel consumption	Ltr/h	1,21	1,91	2,85	3,99	5,46	7,33	9,79	12,77	16,21	20,82	25,75
Thrust and Resistance												
Thrust (T)	N	882	1228	1637	2120	2665	3305	4044	4880	5811	6826	7922
Thrust*0,8 (T)	N	706	983	1309	1696	2132	2644	3235	3904	4649	5461	6338
Thrust (T) cos10°	N	869	1210	1612	2088	2625	3255	3982	4806	5722	6723	7802
Thrust (T) cos24°A3	N	673	937	1248	1616	2032	2520	3083	3721	4430	5205	6040
Hull, keel & rudder Resistance	N	706	983	1309	1696	2132	2644	3235	3904	4649	5461	6338
Speed	Knots	4,93	5,61	6,27	6,86	7,45	7,93	8,32	8,63	8,89	9,12	9,36
Propeller Characteristics												
Kt		0,191373	0,19579	0,199711	0,2044	0,208151	0,213324	0,219306	0,225515	0,231525	0,236943	0,241682
Kq		0,025115	0,025549	0,025933	0,026393	0,026759	0,027264	0,027847	0,02845	0,029032	0,029556	0,030014
BU		33,86	35,97	38,00	40,63	42,93	46,40	50,94	56,35	62,42	68,76	75,11
J		0,415	0,405	0,396	0,386	0,377	0,365	0,350	0,336	0,321	0,308	0,296
δ		244	250	256	263	269	278	289	302	316	329	343
η _o		0,50	0,49	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,42	0,41	0,39	0,38
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm ²	899	899	899	899	899	899	899	899	899	899	899
Allowable blade loading	N/m ²	28197	30085	31803	33268	34668	35769	36625	37300	37854	38359	38847
Actual blade loading	N/m ²	44525	48715	56464	71941	87058	88241	87168	86331	84875	82156	78383
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20°C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		1,40	1,03	0,79	0,63	0,51	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	1,10	0,55	0,39	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13
Minimum required EAR		0,10	0,20	0,29	0,37	0,45	0,54	0,65	0,76	0,87	0,99	1,11
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	17	20	23	25	28	31	34	37	39	42	45
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		37%	39%	40%	42%	43%	45%	47%	49%	51%	54%	55%
Real slip		45%	46%	47%	49%	50%	51%	53%	55%	57%	59%	61%
Propeller shaft												
Shaft material		Aquamet 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	22,5	23,1	24,3	26,3	27,9	28,0	27,8	27,7	27,5	27,1	26,7

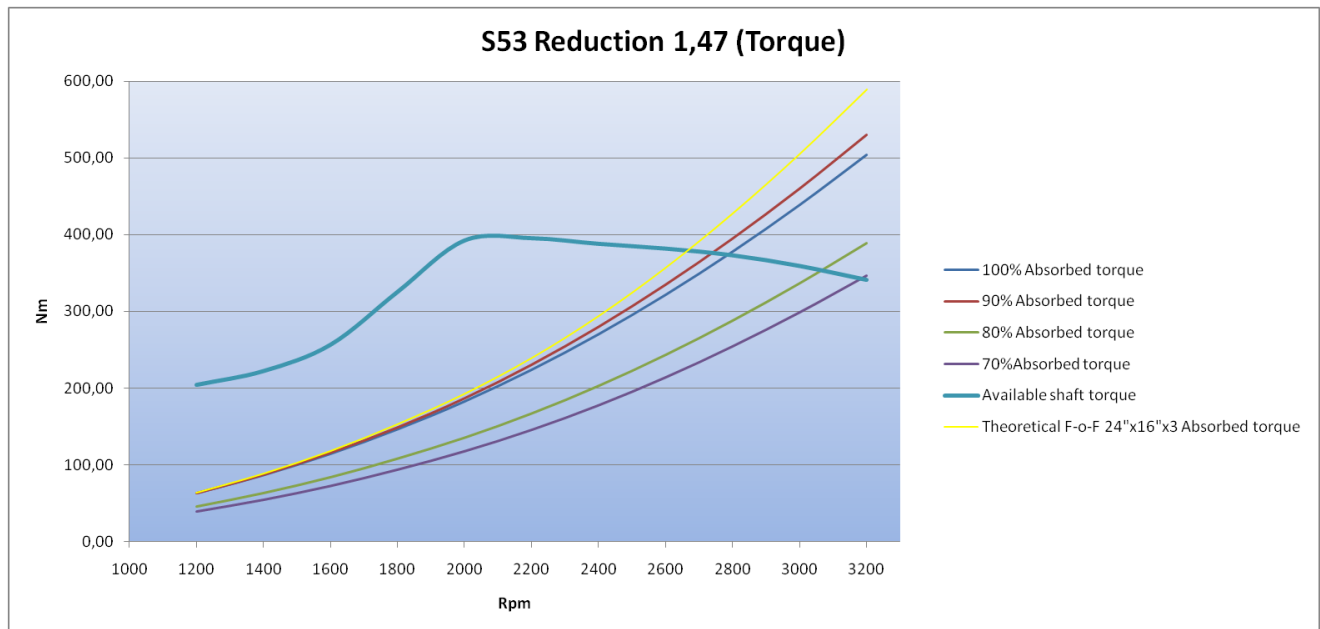
Bilaga 26 Teoretisk prestanda av 80 % propeller, reduktionsförhållande 1,47:1

Theoretical performance calculations of 70% rpm on S53, DSYHS-93, Va const. 0,88 Reduction ratio 1,47:1												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
Propeller diameter	m	0,451	0,451	0,451	0,451	0,451	0,451	0,451	0,451	0,451	0,451	0,451
Propeller pitch	m	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267
P/D		0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
BAR		0,384862	0,384862	0,384862	0,384862	0,384862	0,384862	0,384862	0,384862	0,384862	0,384862	0,384862
Number of blades (N)	pcs	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
VA	m/s	2,20	2,51	2,80	3,07	3,34	3,56	3,74	3,89	4,01	4,12	4,23
Engine performance												
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	13,61	15,87	18,14	20,41	22,68	24,94	27,21	29,48	31,75	34,01	36,28
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	3,38	5,47	8,31	12,08	16,83	22,88	30,45	39,72	50,85	63,95	79,11
Engine power reserve	kW	14,11	16,73	20,96	29,64	39,02	39,03	35,84	30,94	23,51	12,77	-1,39
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	39,55	54,89	72,92	94,17	118,14	145,98	178,08	214,43	254,92	299,21	347,04
Available shaft torque	Nm	204,77	222,77	256,94	325,53	392,21	395,22	387,88	381,67	372,97	359,13	341,11
Engine load	%	20	26	30	30	31	38	48	59	71	87	106
Fuel consumption	Ltr/h	1,05	1,66	2,48	3,48	4,77	6,42	8,60	11,26	14,37	18,53	23,01
Thrust and Resistance												
Thrust (T)	N	851	1187	1583	2055	2587	3212	3939	4767	5695	6712	7812
Thrust*0,8 (T)	N	681	950	1267	1644	2070	2569	3151	3814	4556	5370	6250
Thrust (T) cos10°	N	838	1169	1559	2023	2548	3163	3879	4695	5609	6610	7693
Thrust (T) cos24°^3	N	649	905	1207	1567	1972	2449	3003	3635	4342	5117	5956
Hull, keel & rudder Resistance	N	681	950	1267	1644	2070	2569	3151	3814	4556	5370	6250
Speed	Knots	4,86	5,54	6,20	6,79	7,38	7,87	8,27	8,59	8,86	9,10	9,33
Propeller Characteristics												
Kt		0,108228	0,110894	0,113261	0,116123	0,118433	0,121506	0,125214	0,12914	0,133018	0,136566	0,139694
Kq		0,011147	0,011366	0,01156	0,011796	0,011986	0,01224	0,012547	0,012873	0,013196	0,013492	0,013754
BU		34,24	36,32	38,30	40,89	43,15	46,43	50,84	56,17	62,21	68,56	74,94
J		0,358	0,350	0,343	0,334	0,326	0,317	0,305	0,292	0,280	0,268	0,258
δ		283	289	296	304	310	320	332	346	362	377	392
η _o		0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,42
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm ²	615	615	615	615	615	615	615	615	615	615	615
Allowable blade loading	N/m ²	27993	29885	31610	33086	34494	35636	36521	37222	37792	38305	38800
Actual blade loading	N/m ²	72533	79297	91842	116915	141383	143132	141220	139687	137163	132620	126400
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20°C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		1,08	0,80	0,61	0,48	0,39	0,32	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	0,60	0,39	0,31	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10
Minimum required EAR		0,10	0,16	0,20	0,25	0,31	0,37	0,44	0,51	0,59	0,67	0,76
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	19	23	26	29	32	35	39	42	45	48	51
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		31%	33%	34%	36%	37%	39%	42%	44%	46%	49%	51%
Real slip		40%	41%	42%	44%	45%	47%	49%	51%	53%	55%	56%
Propeller shaft												
Shaft material		Aquamet 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	22,5	23,1	24,3	26,3	27,9	28,0	27,8	27,7	27,5	27,1	26,7

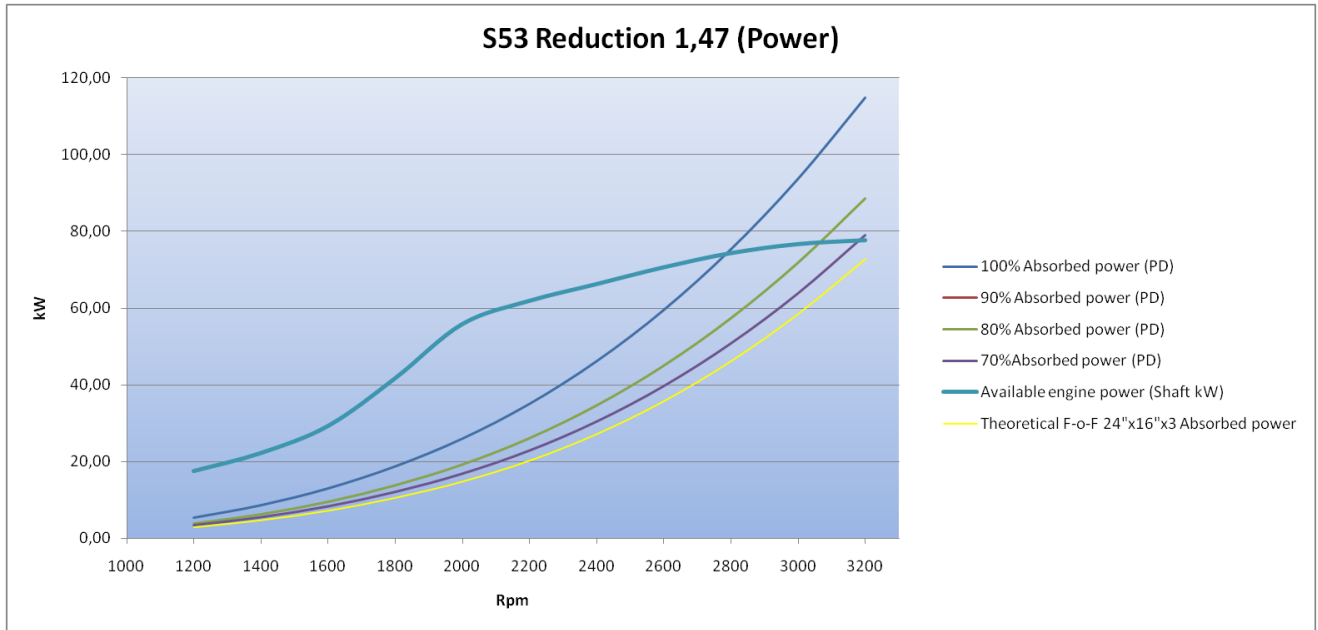
Bilaga 27 Teoretisk prestanda av 70 % propeller, reduktionsförhållande 1,47:1



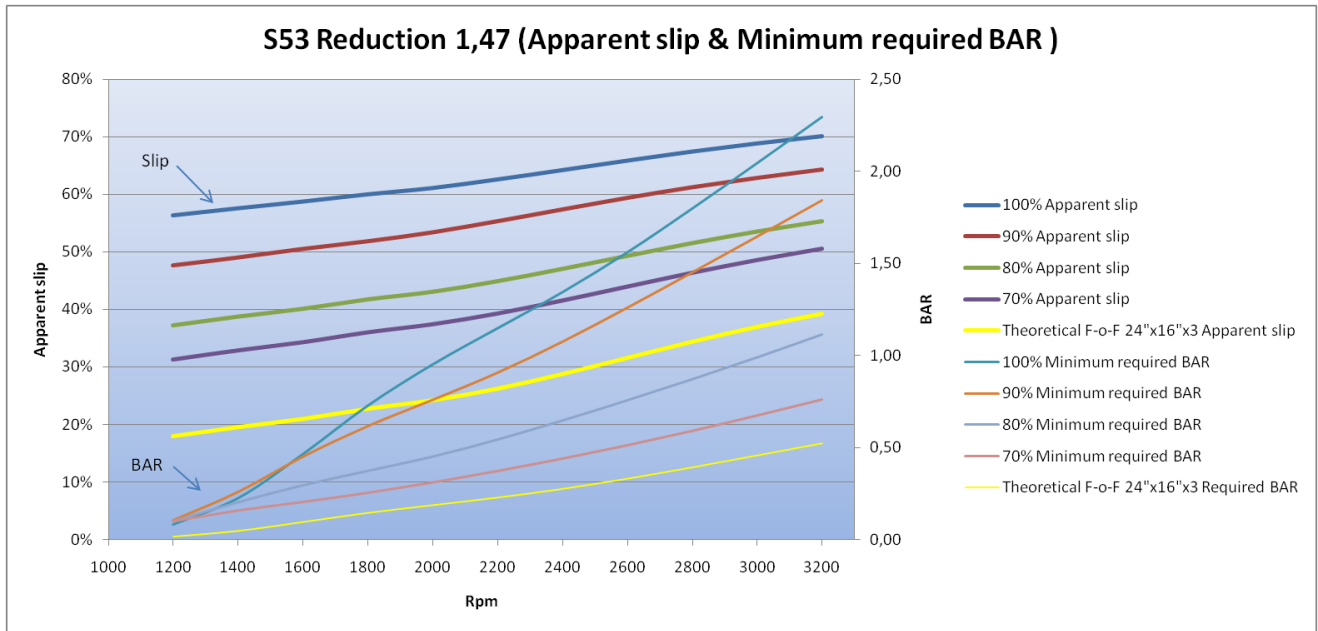
Bilaga 28 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (1/7)



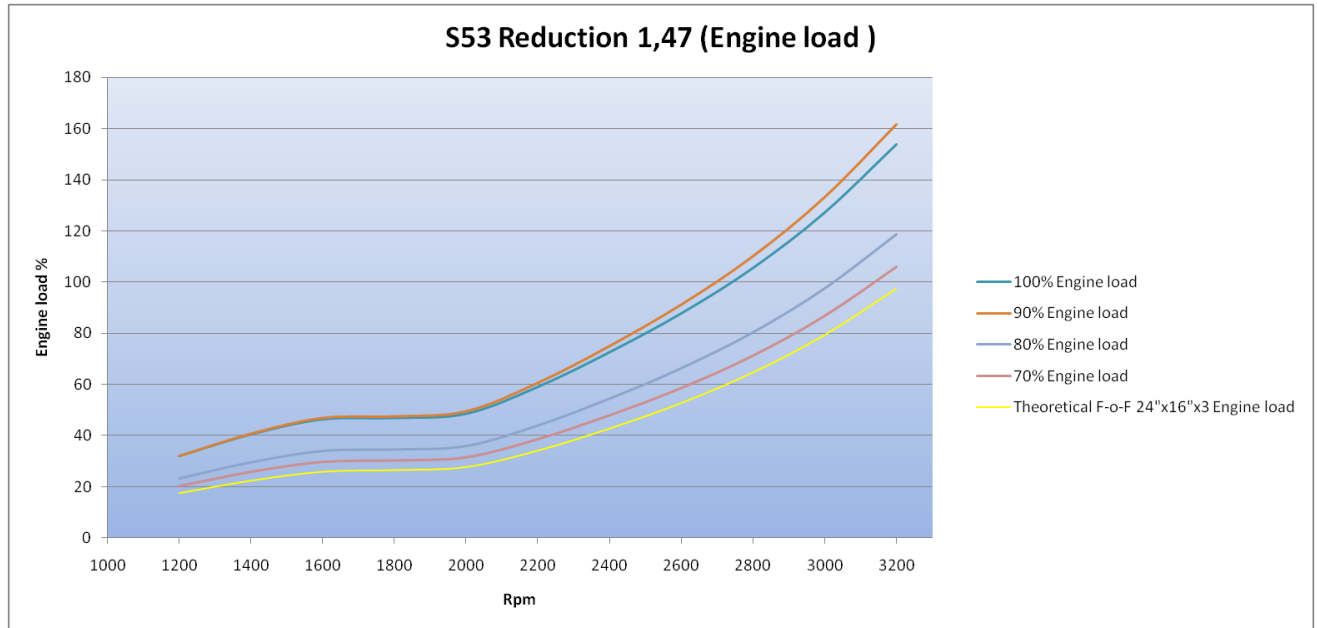
Bilaga 29 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (2/7)



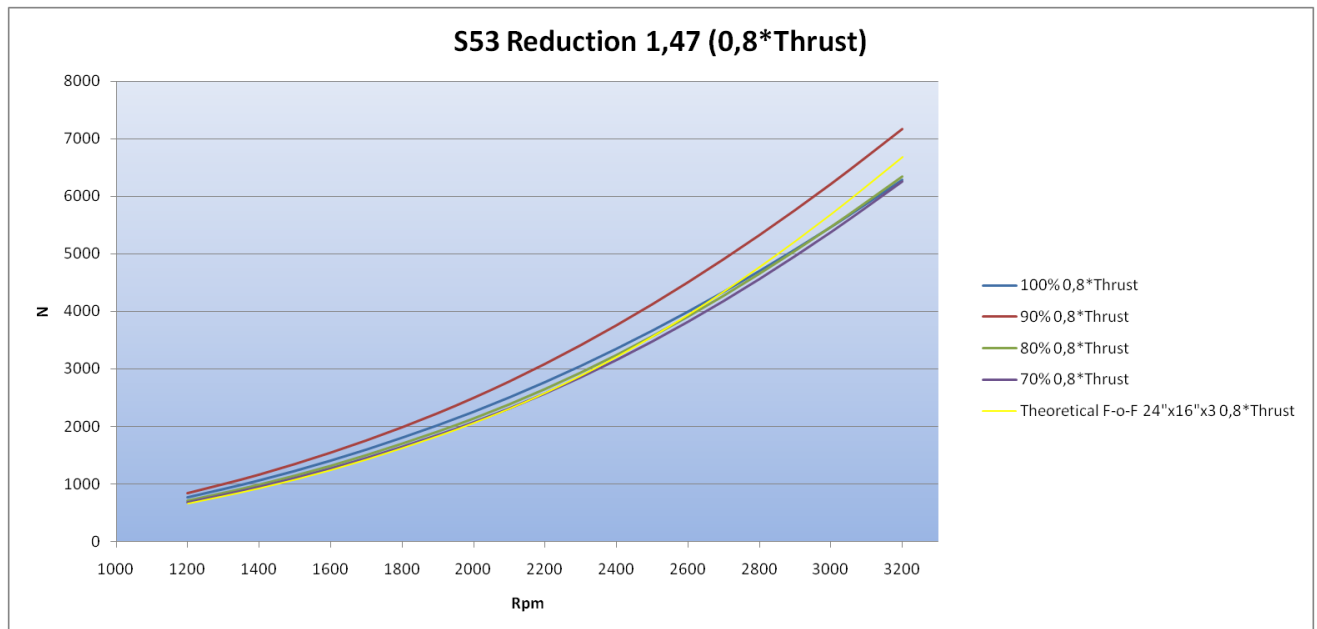
Bilaga 30 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (3/7)



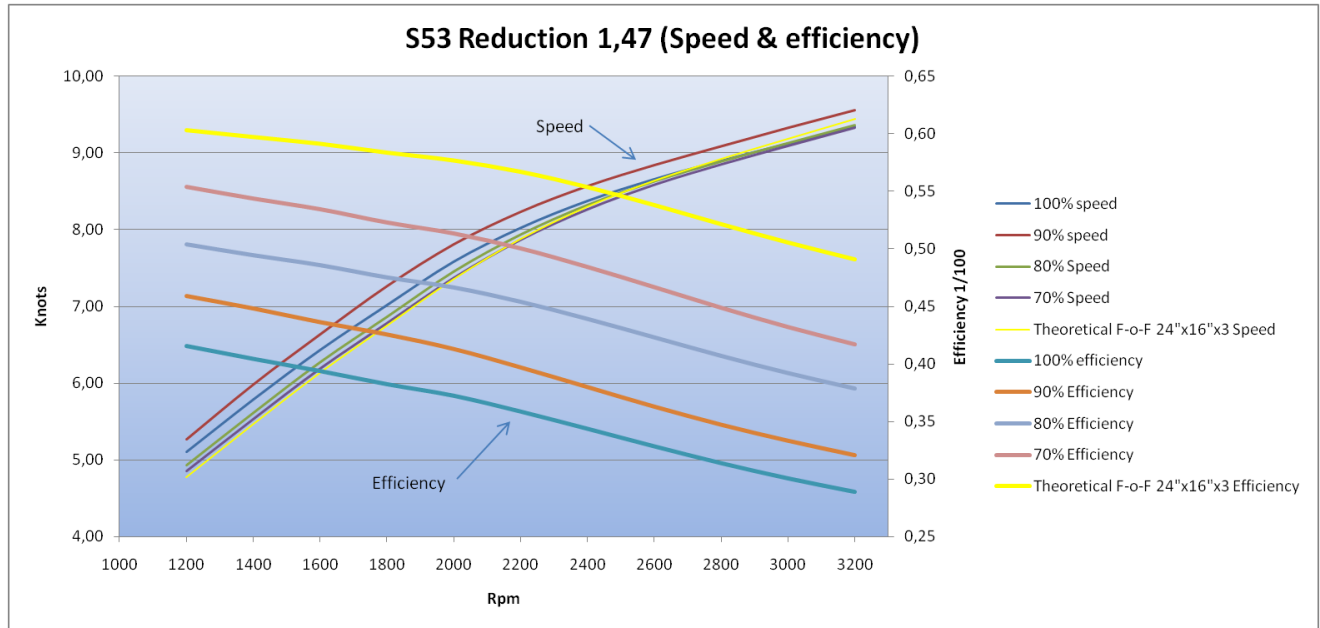
Bilaga 31 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (4/7)



Bilaga 32 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (5/7)



Bilaga 33 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (6/7)



Bilaga 34 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 1,47:1 (7/7)

Theoretical performance calculations of 100% rpm on S53, DSYHS-93, Va const. 0,88 Reduction ratio 3,00:1												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Propeller diameter	m	0,645	0,645	0,645	0,645	0,645	0,645	0,645	0,645	0,645	0,645	0,645
Propeller pitch	m	0,441	0,441	0,441	0,441	0,441	0,441	0,441	0,441	0,441	0,441	0,441
P/D		0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
BAR		0,530485	0,530485	0,530485	0,530485	0,530485	0,530485	0,530485	0,530485	0,530485	0,530485	0,530485
Number of blades (N)	pcs	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
VA	m/s	2,22	2,54	2,85	3,13	3,41	3,64	3,83	3,97	4,10	4,23	4,35
Engine performance												
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	6,67	7,78	8,89	10,00	11,11	12,22	13,33	14,44	15,56	16,67	17,78
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	3,20	5,20	7,93	11,59	16,24	22,29	29,98	39,50	50,97	64,45	80,13
Engine power reserve	kW	14,30	17,00	21,34	30,13	39,61	39,62	36,31	31,16	23,39	12,26	-2,41
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	76,34	106,45	142,07	184,49	232,62	290,28	357,81	435,23	521,48	615,43	717,39
Available shaft torque	Nm	417,89	454,63	524,37	664,34	800,43	806,56	791,59	778,91	761,16	732,92	696,15
Engine load	%	19	24	28	29	30	38	47	58	71	88	107
Fuel consumption	Ltr/h	0,99	1,57	2,37	3,34	4,60	6,25	8,46	11,20	14,40	18,68	23,31
Thrust & Resistance												
Thrust (T)	N	867	1223	1650	2169	2762	3495	4376	5406	6566	7838	9226
Thrust*0,8 (T)	N	693	979	1320	1735	2210	2796	3501	4325	5253	6270	7380
Thrust (T) cos10°	N	854	1205	1625	2136	2720	3442	4310	5324	6467	7719	9085
Thrust (T) cos24°^3	N	661	933	1258	1654	2106	2665	3336	4122	5006	5976	7034
Hull, keel & rudder Resistance	N	693	979	1320	1735	2210	2796	3501	4325	5253	6270	7380
Speed	Knots	4,89	5,60	6,29	6,92	7,54	8,05	8,45	8,78	9,07	9,34	9,60
Propeller Characteristics												
Kt		0,110214	0,114282	0,118008	0,122577	0,126437	0,132241	0,13912	0,146435	0,153367	0,159467	0,164974
Kq		0,01506	0,015429	0,015765	0,016176	0,016521	0,017038	0,017647	0,01829	0,018896	0,019426	0,019902
BU		16,68	17,65	18,58	19,81	20,92	22,74	25,14	28,06	31,24	34,44	37,73
J		0,516	0,506	0,497	0,486	0,476	0,462	0,445	0,427	0,409	0,394	0,379
δ		196	200	204	208	213	219	228	237	248	257	267
η _o		0,60	0,60	0,59	0,59	0,58	0,57	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm ²	1731	1731	1731	1731	1731	1731	1731	1731	1731	1731	1731
Allowable blade loading	N/m ²	28096	30060	31850	33404	34869	36020	36922	37629	38236	38811	39348
Actual blade loading	N/m ²	27764	30572	35635	45705	55613	56834	56655	56615	56087	54622	52389
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20°C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		2,15	1,58	1,21	0,96	0,78	0,65	0,54	0,47	0,40	0,35	0,31
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	4,34	1,57	0,76	0,49	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22	0,19	0,17
Minimum required EAR		0,01	0,04	0,08	0,14	0,18	0,23	0,28	0,33	0,40	0,46	0,53
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	14	16	18	20	23	25	27	29	32	34	36
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		14%	16%	17%	19%	21%	23%	26%	29%	32%	35%	37%
Real slip		25%	26%	27%	29%	30%	32%	35%	38%	40%	43%	45%
Propeller shaft												
Shaft material		Aquamet 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	28,5	29,4	30,8	33,3	35,5	35,5	35,3	35,1	34,9	34,4	33,8

Bilaga 35 Teoretisk prestanda av 100 % propeller, reduktionsförhållande 3,00:1

Theoretical performance calculations of 90% rpm on S53, DSYHS-93, Va const. 0,88 Reduction ratio 3,00:1												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Propeller diameter	m	0,716	0,716	0,716	0,716	0,716	0,716	0,716	0,716	0,716	0,716	0,716
Propeller pitch	m	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414
P/D		0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
BAR		0,321515	0,321515	0,321515	0,321515	0,321515	0,321515	0,321515	0,321515	0,321515	0,321515	0,321515
Number of blades (N)	pcs	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
VA	m/s	2,20	2,52	2,84	3,12	3,40	3,64	3,82	3,97	4,10	4,23	4,35
Engine performance												
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	6,67	7,78	8,89	10,00	11,11	12,22	13,33	14,44	15,56	16,67	17,78
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	2,83	4,61	7,04	10,30	14,45	19,89	26,84	35,52	46,03	58,43	72,93
Engine power reserve	kW	14,67	17,60	22,23	31,42	41,40	42,02	39,44	35,14	28,33	18,28	4,79
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	67,55	94,31	126,02	163,95	207,03	258,98	320,36	391,35	470,95	558,00	652,89
Available shaft torque	Nm	417,89	454,63	524,37	664,34	800,43	806,56	791,59	778,91	761,16	732,92	696,15
Engine load	%	17	22	25	26	27	33	42	52	64	79	98
Fuel consumption	Ltr/h	0,88	1,40	2,10	2,97	4,09	5,58	7,58	10,07	13,01	16,94	21,21
Thrust and Resistance												
Thrust (T)	N	855	1209	1632	2148	2738	3471	4357	5399	6579	7874	9291
Thrust*0,8 (T)	N	684	967	1305	1719	2191	2777	3486	4319	5263	6299	7433
Thrust (T) cos10°	N	842	1190	1607	2116	2697	3418	4291	5317	6479	7754	9150
Thrust (T) cos24°^3	N	652	921	1244	1638	2088	2646	3322	4117	5016	6003	7084
Hull, keel & rudder Resistance	N	684	967	1305	1719	2191	2777	3486	4319	5263	6299	7433
Speed	Knots	4,87	5,58	6,26	6,90	7,52	8,03	8,45	8,78	9,07	9,35	9,61
Propeller Characteristics												
Kt		0,071372	0,074086	0,076572	0,079657	0,082246	0,086162	0,09088	0,095959	0,100814	0,105106	0,10901
Kq		0,007869	0,008072	0,008258	0,008489	0,008682	0,008976	0,00933	0,009711	0,010077	0,0104	0,010695
BU		16,75	17,71	18,63	19,85	20,95	22,73	25,13	28,05	31,25	34,47	37,78
J		0,462	0,453	0,445	0,436	0,428	0,415	0,400	0,384	0,368	0,354	0,342
δ		219	224	227	232	237	244	253	264	275	286	296
η _o		0,67	0,66	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm2	1295	1295	1295	1295	1295	1295	1295	1295	1295	1295	1295
Allowable blade loading	N/m2	28022	29990	31785	33347	34821	35990	36906	37625	38242	38827	39370
Actual blade loading	N/m2	41391	45567	53098	68078	82797	84548	84201	84046	83157	80882	77481
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20°C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		1,76	1,29	0,99	0,78	0,64	0,53	0,44	0,38	0,33	0,29	0,25
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	2,20	0,89	0,52	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,18	0,16	0,15
Minimum required EAR		0,02	0,04	0,08	0,11	0,14	0,17	0,21	0,25	0,30	0,35	0,40
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	15	18	20	23	25	28	30	33	35	38	40
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		9%	11%	12%	14%	16%	18%	21%	25%	28%	30%	33%
Real slip		20%	22%	23%	25%	26%	28%	31%	34%	36%	39%	41%
Propeller shaft												
Shaft material		Aquamet 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	28,5	29,4	30,8	33,3	35,5	35,5	35,3	35,1	34,9	34,4	33,8

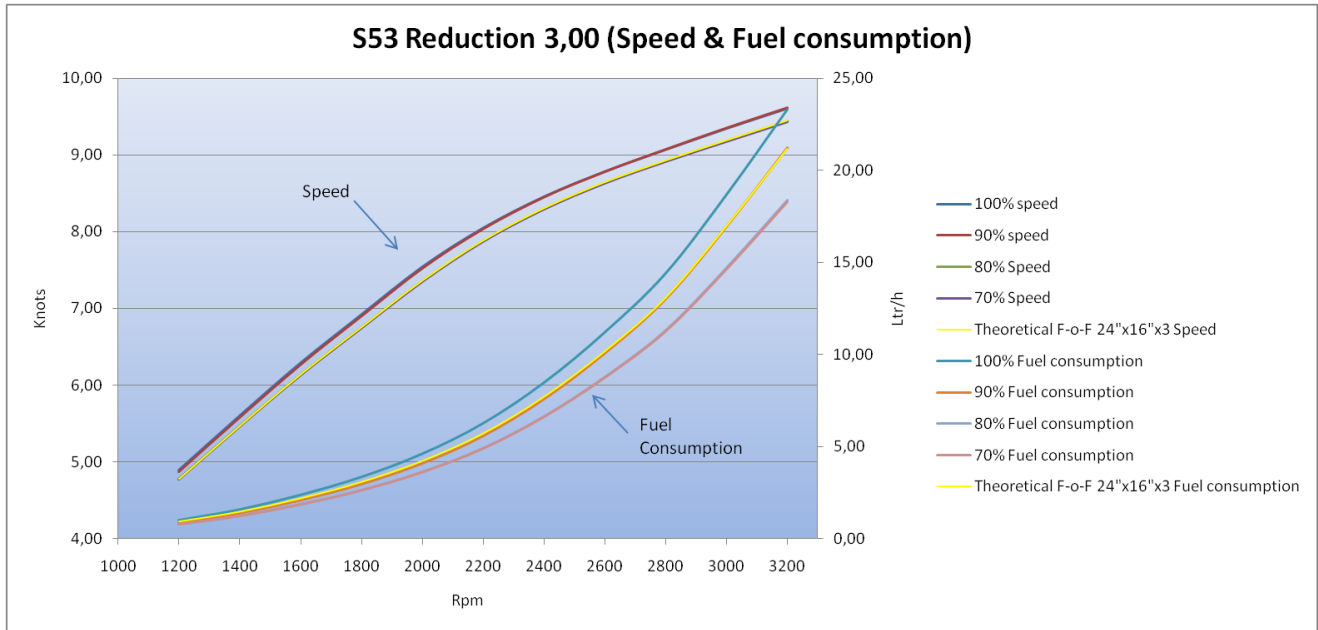
Bilaga 36 Teoretisk prestanda av 90 % propeller, reduktionsförhållande 3,00:1

Theoretical performance calculations of 80% rpm on S53, DSYHS-93, Va const. 0,88 Reduction ratio 3,00:1												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Propeller diameter	m	0,670	0,670	0,670	0,670	0,670	0,670	0,670	0,670	0,670	0,670	0,670
Propeller pitch	m	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431
P/D		0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
BAR		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Number of blades (N)	pcs	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
VA	m/s	2,16	2,47	2,77	3,05	3,33	3,56	3,75	3,91	4,04	4,15	4,27
Engine performance												
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	6,67	7,78	8,89	10,00	11,11	12,22	13,33	14,44	15,56	16,67	17,78
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	2,52	4,10	6,25	9,14	12,80	17,51	23,50	30,96	40,02	50,74	63,19
Engine power reserve	kW	14,97	18,11	23,02	32,58	43,05	44,40	42,78	39,69	34,33	25,97	14,53
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	60,19	83,91	111,98	145,41	183,31	227,95	280,56	341,18	409,49	484,51	565,74
Available shaft torque	Nm	417,89	454,63	524,37	664,34	800,43	806,56	791,59	778,91	761,16	732,92	696,15
Engine load	%	15	19	22	23	24	29	37	46	56	69	85
Fuel consumption	Ltr/h	0,78	1,24	1,87	2,63	3,62	4,91	6,64	8,78	11,31	14,71	18,38
Thrust and Resistance												
Thrust (T)	N	813	1144	1538	2014	2556	3206	3986	4898	5935	7078	8320
Thrust*0,8 (T)	N	651	915	1230	1611	2045	2565	3189	3918	4748	5663	6656
Thrust (T) cos10°	N	801	1126	1514	1983	2517	3157	3926	4824	5844	6971	8193
Thrust (T) cos24°^3	N	620	872	1172	1535	1949	2444	3039	3734	4525	5397	6343
Hull, keel & rudder Resistance	N	651	915	1230	1611	2045	2565	3189	3918	4748	5663	6656
Speed	Knots	4,77	5,46	6,13	6,74	7,35	7,87	8,29	8,63	8,92	9,18	9,44
Propeller Characteristics												
Kt		0,088475	0,091409	0,094095	0,097369	0,100108	0,103773	0,108427	0,113513	0,118592	0,123214	0,127287
Kq		0,00977	0,010008	0,010226	0,010491	0,010713	0,011009	0,011386	0,011798	0,012209	0,012584	0,012915
BU		17,02	17,98	18,91	20,12	21,20	22,75	24,93	27,63	30,70	33,89	37,09
J		0,483	0,474	0,466	0,455	0,447	0,435	0,420	0,404	0,387	0,372	0,359
δ		210	214	218	223	227	233	241	251	262	272	283
η _o		0,70	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm2	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1058
Allowable blade loading	N/m2	27733	29669	31435	32970	34421	35627	36569	37312	37920	38475	39011
Actual blade loading	N/m2	54045	59302	68911	88059	106823	108575	107653	107028	105586	102485	97987
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20°C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		2,00	1,47	1,13	0,89	0,72	0,60	0,51	0,43	0,37	0,33	0,29
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	3,39	1,27	0,65	0,45	0,36	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16
Minimum required EAR		0,01	0,04	0,08	0,12	0,15	0,19	0,23	0,27	0,32	0,38	0,43
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	14	16	19	21	23	26	28	30	33	35	37
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		15%	16%	18%	19%	21%	23%	26%	29%	32%	34%	37%
Real slip		25%	26%	28%	29%	30%	32%	35%	37%	40%	42%	44%
Propeller shaft												
Shaft material		Aquamet 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	28,5	29,4	30,8	33,3	35,5	35,5	35,3	35,1	34,9	34,4	33,8

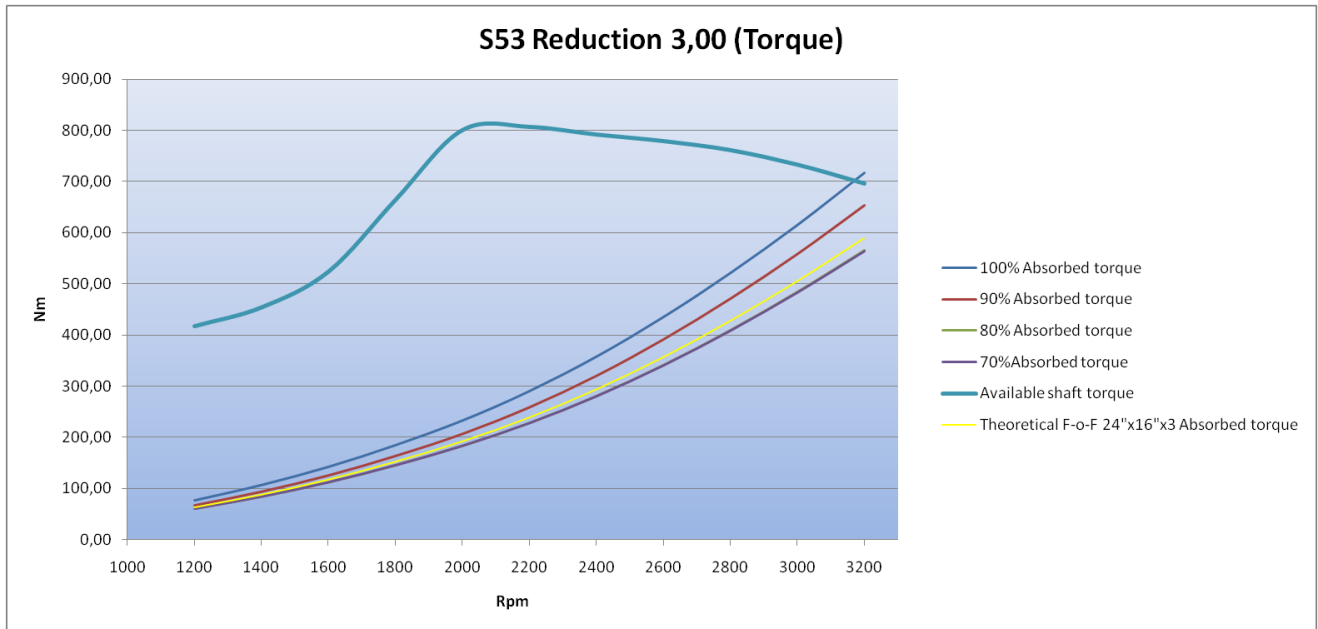
Bilaga 37 Teoretisk prestanda av 80 % propeller, reduktionsförhållande 3,00:1

Theoretical performance calculations of 70% rpm on S53, DSYHS-93, Va const. 0,88 Reduction ratio 3,00:1												
Gearbox & Propeller data												
Gear & shaft efficiency	%	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Reduction	:1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Propeller diameter	m	0,661	0,661	0,661	0,661	0,661	0,661	0,661	0,661	0,661	0,661	0,661
Propeller pitch	m	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439
P/D		0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
BAR		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Number of blades (N)	pcs	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
VA	m/s	2,16	2,47	2,78	3,05	3,33	3,56	3,75	3,91	4,03	4,15	4,27
Engine performance												
Engine speed	Rpm	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Propeller shaft speed (n)	rps	6,67	7,78	8,89	10,00	11,11	12,22	13,33	14,44	15,56	16,67	17,78
Available engine power (Shp)	shp	23,77	30,17	39,77	56,69	75,89	84,11	90,06	96,00	101,03	104,23	105,60
Available engine power (Shaft kW)	kW	17,50	22,21	29,27	41,72	55,85	61,91	66,28	70,66	74,36	76,71	77,72
Absorbed power (PD)	kW	2,52	4,09	6,24	9,12	12,77	17,47	23,45	30,87	39,88	50,54	62,92
Engine power reserve	kW	14,98	18,11	23,03	32,60	43,08	44,44	42,83	39,78	34,47	26,18	14,80
Engine torque available	Nm	139,30	151,54	174,79	221,45	266,81	268,85	263,86	259,64	253,72	244,31	232,05
Absorbed torque (Q)	Nm	60,09	83,79	111,81	145,17	182,99	227,49	279,88	340,17	408,05	482,59	563,29
Available shaft torque	Nm	417,89	454,63	524,37	664,34	800,43	806,56	791,59	778,91	761,16	732,92	696,15
Engine load	%	15	19	22	23	24	29	37	46	56	69	84
Fuel consumption	Ltr/h	0,78	1,24	1,86	2,63	3,62	4,90	6,62	8,75	11,27	14,65	18,30
Resistance and Thrust												
Thrust (T)	N	816	1147	1541	2016	2557	3204	3979	4881	5906	7036	8262
Thrust*0,8 (T)	N	653	917	1233	1613	2046	2563	3183	3905	4725	5629	6610
Thrust (T) cos10°	N	804	1129	1517	1985	2518	3155	3918	4807	5816	6929	8137
Thrust (T) cos24°^3	N	622	874	1175	1537	1950	2443	3033	3721	4503	5364	6299
Hull, keel & rudder Resistance	N	653	917	1233	1613	2046	2563	3183	3905	4725	5629	6610
Speed	Knots	4,78	5,46	6,13	6,74	7,35	7,87	8,29	8,63	8,91	9,17	9,43
Propeller Characteristics												
Kt		0,093929	0,096973	0,099752	0,103136	0,105958	0,109727	0,114492	0,119683	0,124865	0,129583	0,133738
Kq		0,010467	0,010722	0,010955	0,011238	0,011474	0,011789	0,012188	0,012621	0,013055	0,013449	0,013797
BU		17,00	17,97	18,90	20,11	21,19	22,75	24,93	27,61	30,67	33,86	37,04
J		0,491	0,481	0,473	0,462	0,453	0,441	0,426	0,409	0,392	0,377	0,363
δ		206	211	214	219	224	230	238	248	258	269	279
η _o		0,70	0,69	0,68	0,67	0,67	0,65	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56
Cavitation criteria acc. To Dave Gerr												
Developed area of disk	cm ²	1029	1029	1029	1029	1029	1029	1029	1029	1029	1029	1029
Allowable blade loading	N/m ²	27752	29685	31447	32977	34424	35625	36562	37301	37905	38456	38988
Actual blade loading	N/m ²	55866	61255	71133	90830	110118	111838	110785	110037	108461	105202	100528
Cavitation criteria acc. To Burrill												
PP	Pa	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976	105976
Patm	Pa	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300	101300
PV @20°C	Pa	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
σ (cavitation number)		2,05	1,51	1,16	0,92	0,74	0,62	0,52	0,44	0,38	0,33	0,30
τ (maximum tau before cavitation)	(Spline)	3,72	1,37	0,69	0,46	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17
Minimum required EAR		0,01	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,33	0,39	0,45
Blade tip speed												
Actual blade tip speed	m/s	14	16	18	21	23	25	28	30	32	35	37
Allowable blade tip speed	m/s	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Propeller Slip												
Apparent Slip		16%	18%	19%	21%	23%	25%	27%	30%	33%	36%	38%
Real slip		26%	28%	29%	30%	32%	34%	36%	38%	41%	43%	45%
Propeller shaft												
Shaft material		Aquamet 22										
Safety faktor	sf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Torsional shear strenght	psi	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Required shaft diameter	mm	28,5	29,4	30,8	33,3	35,5	35,5	35,3	35,1	34,9	34,4	33,8

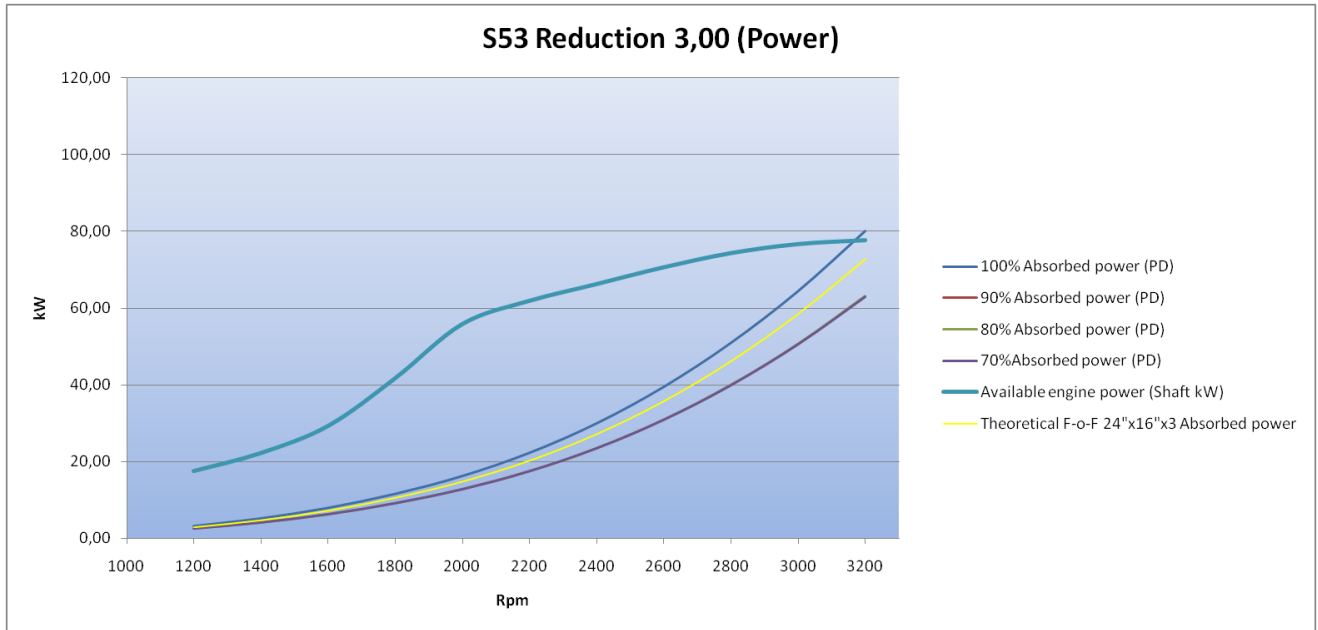
Bilaga 38 Teoretisk prestanda av 70 % propeller, reduktionsförhållande 3,00:1



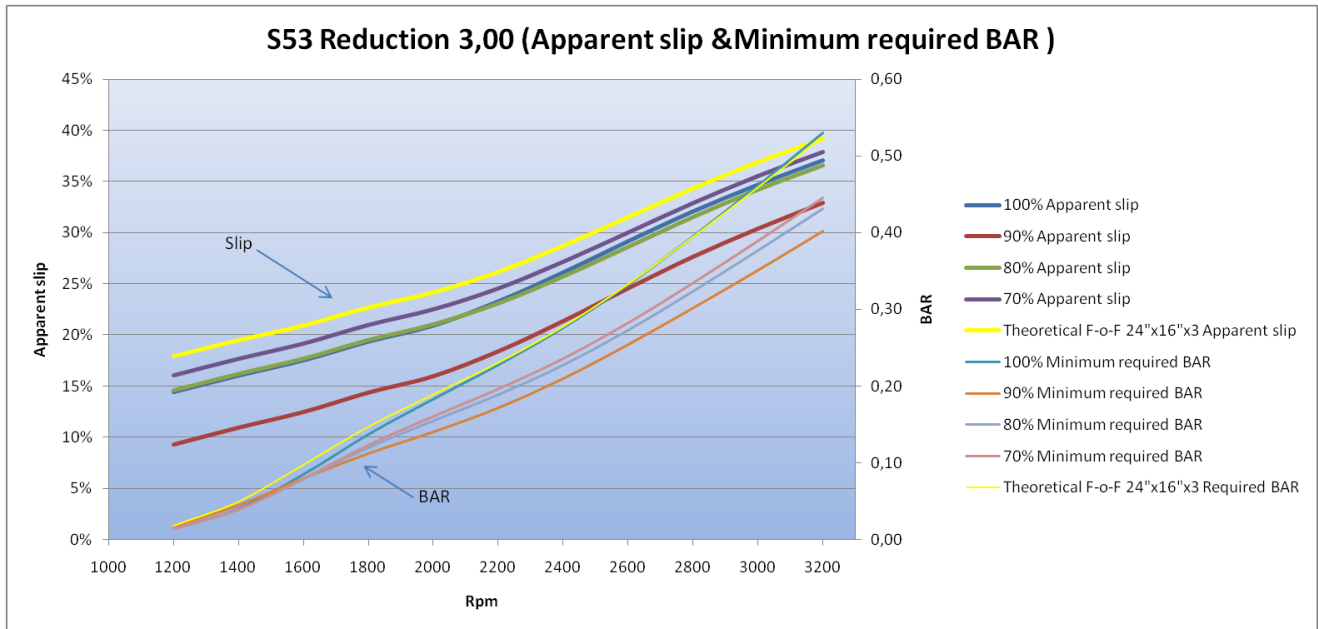
Bilaga 39 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (1/7)



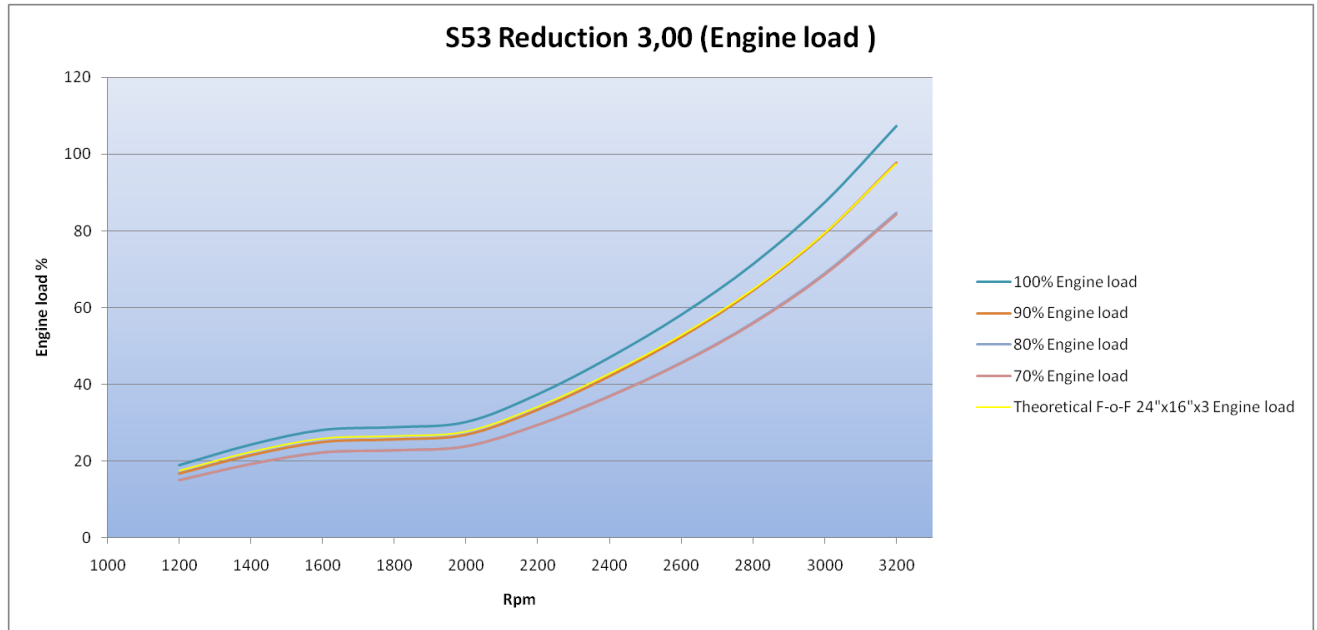
Bilaga 40 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (2/7)



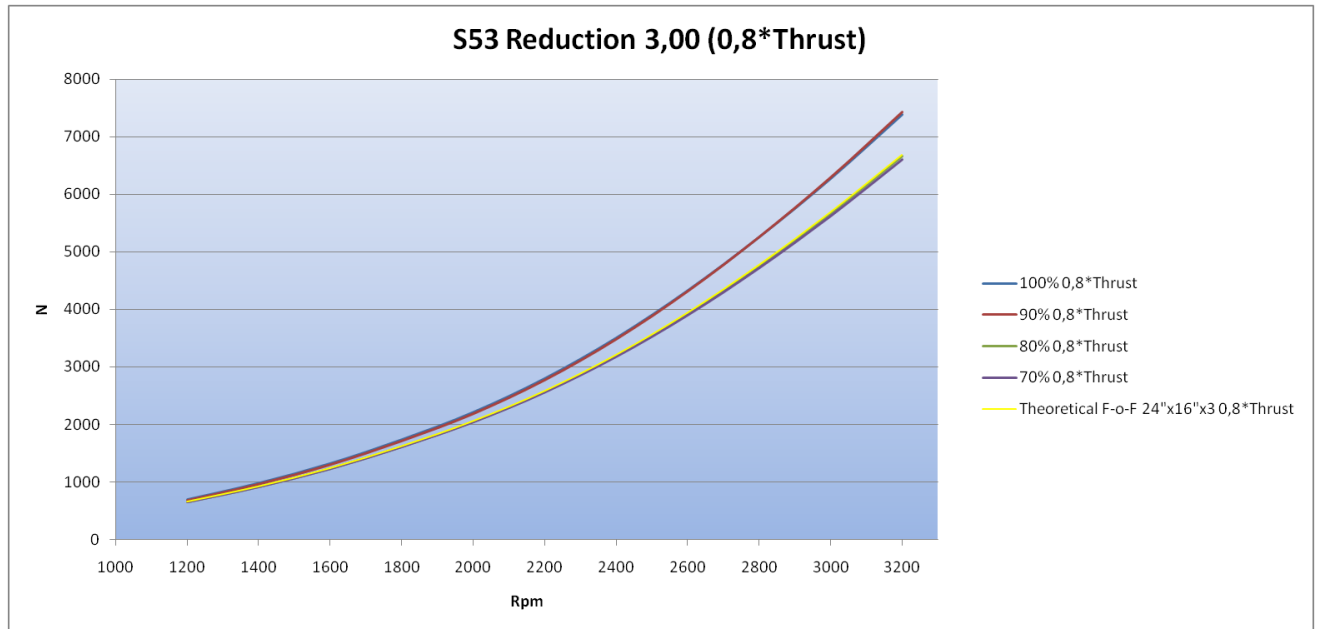
Bilaga 41 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (3/7)



Bilaga 42 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (4/7)



Bilaga 43 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (5/7)



Bilaga 44 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (6/7)



Bilaga 45 Grafisk presentation av propelleregenskaper för reduktionsförhållande 3,00 (7/7)

Bollard pull tryckkraft T (N)						
Reduktions förhållande	2,714:1		1,47:1		3,00:1	
	N	Rpm	N	Rpm	N	Rpm
Empirisk data F-o-F 24"x16"x3	9300	2800	-	-	-	-
Teoretisk data F-o-F 24"x16"x3	10820	2777	-	-	-	-
100%	10591	2680	6046	2565	11343	2700
90%	10774	2612	6657	2439	12018	2683
80%	11440	2884	8214	2741	11819	2886
70%	11309	2899	8785	2766	11687	2902
Bollard pull tryckkraft T*0,852 (N)						
Reduktions förhållande	2,714:1		1,47:1		3,00:1	
	N	Rpm	N	Rpm	N	Rpm
Empirisk data F-o-F 24"x16"x3	9300	2800	-	-	-	-
Teoretisk data F-o-F 24"x16"x3	9223	2777	-	-	-	-
100%	9028	2680	5154	2565	9669	2700
90%	9184	2612	5674	2439	10244	2683
80%	9751	2884	7002	2741	10075	2886
70%	9640	2899	7488	2766	9962	2902
Bollard pull tryckkraft Gerr formel (N)						
Reduktions förhållande	2,714:1	1,47:1	3,00:1			
	N	N	N			
Empirisk data F-o-F 24"x16"x3	9300	-	-			
Teoretisk data F-o-F 24"x16"x3	10143	-	-			
100%	9844	6531	10533			
90%	10566	7007	11297			
80%	10435	7584	10805			
70%	10336	8288	10708			

Bilaga 46 Resultat av samtliga propellerars statistiska tryckkraft