

Modstandsforsøg

Formål.

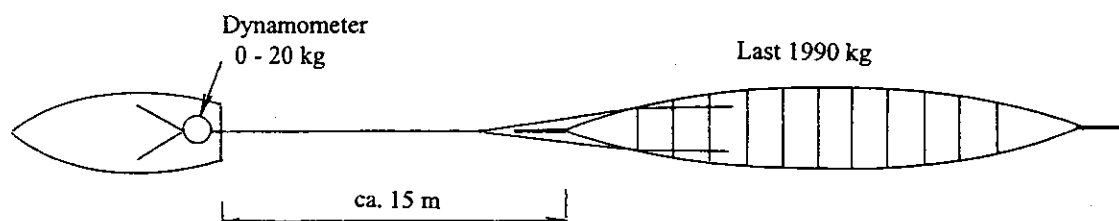
Formålet med dette forsøg var en bestemmelse af den kraft, som er nødvendig til at drive Hjortspringbåden frem med en given hastighed. Denne kraft er tidligere blevet beregnet under idealiserede forhold således som det er beskrevet i medlemsmappen afsnit 2.5.1 side 22. Der skal foretages en sammenligning mellem de beregnede og målte værdier.

Konklusion.

Den anvendte fremgangsmåde viste sig at være minder velegnet til formålet, idet resultaterne viste en stor spredning. Gennemsnittet af målingerne var ca. dobbelt så stort som de beregnede værdier. Der beskrives nogle mulige årsager til denne afvigelse. Forsøget blev foretaget med en modvind, som kom skråt ind forfra, og der beskrives beregninger, som viser, at dette forhold kan forklare størstedelen af afvigelserne. Der foreslås en forbedret forsøgsteknik til fremtidige forsøg.

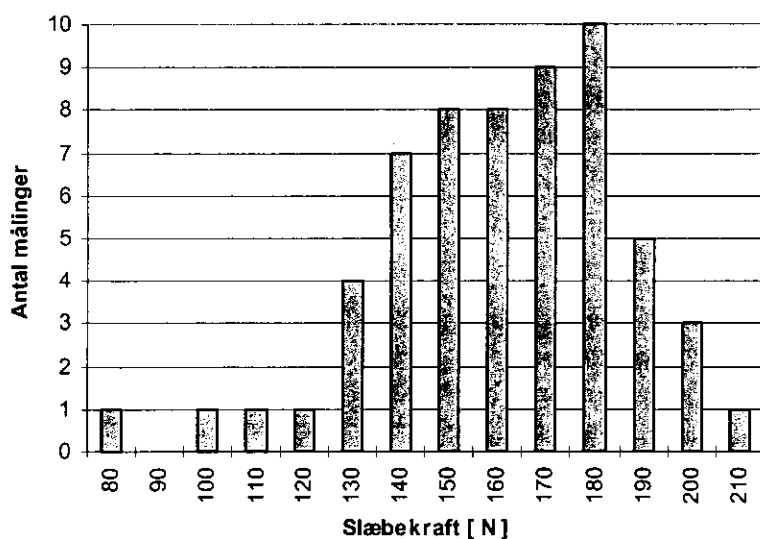
Beskrivelse af forsøget

Forsøget blev udført lørdag den 19 september om formiddagen. Slæbefartøjet var havnejollen fra Dyvig Bådelaug, som er en let jolle forsynet med en påhængsmotor på 15 HK. Slæbelinens længde var ca. 15 m. Ved Hjortspringbåden delte linen sig i en hanefod, således at de forreste besætningsmedlemmer i hver side kunne fastholde den og derved fordele belastningen til båden. Trækraften blev målt med en fjedervægt (dynamometer) med en skala fra nul til 20 kg. Fjedervægten var anbragt i slæbefartøjet, idet det var for vanskeligt at komme til at aflæse den hvis den havde befundet sig i Hjortspringbåden. Arrangementet er vist i figur 1.



Figur 1

Ved forsøget blev en bane gennemsejlet i begge retninger. Dens længde var 840 m i tilnærmelsesvis øst-vestlig retning. Under forsøget blæste det 5 - 6 m/s fra sydøst. Besætningen blev vejret forinden, og bådens last på 1990 kg er derved kendt. Forsøget skulle gennemføres på den måde, at slæbefartøjets hastighed blev justeret således at slæbekraften skulle holdes så konstant som muligt. Dette viste sig dog at være meget vanskeligt. Det var også problematisk at holde en konstant kurs, således at de to fartøjer lå på en ret linie.



Figur 2. Histogram for målinger.

Dette var især tilfældet for sejlads med vinden ind agter fra. Her var udskæringerne så voldsomme, at der ikke kunne foretages nogen målinger. Ved sejladsen den anden vej, hvor vinden kom ind skråt forfra blev der foretaget målinger hver gang hanefoden ikke berørte bådens kølhorn. Disse målinger er sammenfattet i histogrammet figur 2, som omfatter 59 observationer. Man ser, at der er en meget stor spredning på de udførte målinger. Ved udregning af middelværdien finder man, at slæbekraften i gennemsnit var 161 N. Tiden for gennemsejling af de 840 m var 7,9 minutter, hvilket giver en gennemsnitsfart på 3,44 knob.

Sammenligning med beregninger.

I kapitlet 2.5.1 i medlemsmappen viser figur 1 en graf der fremstiller fremdrivningsmodstand og effektbehov som funktion af hastigheden. Sætter man hastigheden til 3,44 knob viser denne graf en kraft på ca. 75 N, hvilket er under det halve af det som er målt under de her beskrevne forsøg.

Vi skal i det følgende diskutere nogle mulige årsager til denne afvigelse. Den benyttede slæbeline var ca. 15 meter lang. Dette er ifølge Leif Vagner Smitt alt for kort, idet Hjortspringbåden ikke er tilstrækkeligt klar af slæbefartøjets hækbølge og skruevand. Ved slæbeforsøg med vikingeskibene benytter man en slæbeline, der er ca. 100 m lang. Ved de beregninger, som er omtalt i medlemsmappen, er det forudsat, at bunden er hydraulisk glat. En del af syningerne befinder sig imidlertid under vandet og giver derfor en ekstra modstand lidt i stil med en begroet bund. Det kan desværre ikke beregnes hvor meget dette betyder. Endelig er der ved beregningerne set bort fra luftmodstanden. Betragter man kun selve båden sejlede i stille vejr er luftmodstanden formodentlig forholdsvis ringe, da båden er ret lav og spids og derfor nogenlunde strømliniet. Men besætningen sidder højt og er langt fra strømliniet, hvilket bevirker en væsentlig forøgelse af luftmodstanden. Er der modvind skal man regne med den relative hastighed, som er den vektorielle sum af bådens og vindens hastigheder. Da modstanden vokser med kvadratet på denne hastighed kan det bevirke en væsentlig forøgelse af modstanden. Såfremt vinden er direkte imod vil besætningsmedlemmerne på nær de to forreste sidde i læ af hinanden, og man skal ikke regne med modstanden af hele besætningen. Hvis vinden imidlertid kommer skråt ind forfra, vil dette ikke være tilfældet. For at få en ide om, hvor meget dette betyder, vil vi gøre et overslag ved hjælp af en forenklet regnemodel. Til dette formål tænker vi os besætningsmedlemmerne erstattet med lodrette cylindre. Diameteren sættes til 0,4 m og højden til 0,7 m. Beregningernes enkeltheder er gennemgået i bilag 1. Sætter man bådens hastighed til 1,77 m/s og en vindhastighed på 5 m/s kommende ind 45 grader forfra i forhold til sejlretningen finder man en

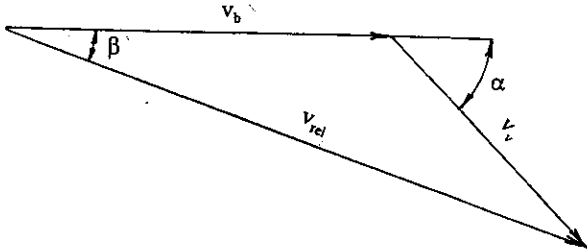
vindmodstand, som er 3,86 N per cylinder. Regnes der med, at alle 20 besætningsmedlemmer påvirkes af denne kraft, fås en samlet kraft på 77,2 N. Der kan dog være en vis lævirkning, som bevirker, at de 10 mand af besætningen, som sidder i den læ side ikke bidrager med samme kraft. Til gengæld er der set bort fra vindens kraft på bådens skrog, hvilket næppe er helt uden betydning. Som omtalt er der tidligere beregnet en fremdrivningskraft på 75 N. Vindmodstanden er således en væsentlig del af forklaringen på, hvorfor den målte kraft er omtrent dobbelt så stor som denne værdi.

Forslag til fremtidige slæbeforsøg.

Som omtalt var det vanskeligt at opretholde en konstant hastighed, idet både dens størrelse og retning varierede meget. For at undgå dette bør der ved et senere forsøg benyttes et slæbefartøj, som er væsentligt tungere. Slæbelinen skal være så lang som praktisk muligt. Samtidig bør den være tynd og let, således at den ikke når ned og slæber gennem vandet. En 3 mm snoet polyesterline har en brudstyrke på 3000 N og er derfor fuldt tilstrækkelig til formålet. Der skal så vidt muligt udføres målinger både ved sejlads med såvel som mod vinden. Derudover kan det være interessant at bestemme afdriften ved sejlads i stærk vind vinkelret på sejlretningen.

Bilag 1Beregning af vindmodstand.

Med det formål at beregne vindmodstanden vil vi betragte hvert besætningsmedlem som en cylinder med lodret akse. Vindens relative hastighed findes ved vektoriel addition af bådens hastighed og vindens absolutte hastighed, se figur A1.



Figur A1. Vektoriel addition af hastigheder.

Den relative hastigheds numeriske størrelse bliver

$$v_{rel} = \sqrt{v_v^2 \cdot \sin^2 \alpha + (v_v \cdot \cos \alpha + v_b)^2} \quad \text{A1}$$

og vinklen med sejlretningen bliver

$$\cos \beta = \frac{v_b + v_v \cdot \cos \alpha}{\sqrt{v_v^2 \cdot \sin^2 \alpha + (v_v \cdot \cos \alpha + v_b)^2}} \quad \text{A2}$$

hvor symbolerne har følgende betydning:

v_{rel}	Relativ hastighed	m/s
v_b	Bådens hastighed	m/s
v_v	Vindens absolutte hastighed	m/s
α	Vindens absolutte vinkel i forhold til sejlretningen	radianer eller grader
β	Vindens relative vinkel i forhold til sejlretningen	radianer eller grader

Den kraft hvormed vinden påvirker en cylinder kan beregnes ved hjælp af følgende udtryk:

$$F = c \cdot A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{rel}^2 \quad \text{A3}$$

F	Kraft	N
c	Koefficient	Dimensionsløs
A	Tværsnitsareal af cylinderen	m ²
ρ	Massefylde for luft $\approx 1,2$	kg/m ³

Projicerer man denne kraft på sejlretningen får man, idet der ses bort fra afdrift:

$$F_x = c \cdot A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_b + v_v \cdot \cos \alpha) \cdot \sqrt{v_v^2 \cdot \sin^2 \alpha + (v_v \cdot \cos \alpha + v_b)^2} \quad \text{A4}$$

Cylinderens areal er

$$A = d \cdot h$$

A5

d Cylinderens diameter m

h Cylinderens højde m

For $h / d = 2$ finder man $c = 0,68$ ifølge Bruno Eck: Strömungslehre, p. 285, figur 295

Den 18 november 1999

N. P. Fenger