

Denne fil er downloadet fra
Danmarks Tekniske Kulturarv
www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på
www.tekniskkulturarv.dk/about

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*

TEKNISK BIBLIOTEK

57

Om

Skibes Stabilitet, Bevægelser i stille
Vand og i Søgang

med

~~134~~

Theorien om Bølgebevægelse.

699.120.7
Q.L.
#81.

TEKNISK BIBLIOTEK



Om
Skibes Stabilitet, Bevægelser i stille
Vand og i Søgang

med
Theorien om Bølgebevægelse.

Fire Foredrag,
holdte i Sølieutenantselskabet i Februar og Marts 1879,
af

C. J.

~~~~~  
Trykte efter Sølieutenantselskabets Beslutning.  
~~~~~

Kjøbenhavn.

Thieles Bogtrykkeri.

1879.

TEKNISK BIBLIOTEK
Danmarks tekniske Højskole

821
(1011)

Hand no. 1. 1894

Handwritten text, possibly a title or chapter heading.

Handwritten text, possibly a date or page number.

Handwritten text, possibly a section heading.

Handwritten text, possibly a page number.

Handwritten text, possibly a section heading.

Handwritten text, possibly a date or page number.

Handwritten text, possibly a section heading.

Handwritten text, possibly a page number.

Handwritten text, possibly a section heading.

Handwritten text, possibly a page number.

De Phænomener, der ledsage Søens Bevægelser, og Virkningerne deraf paa det Skib, man har under Fødder, maae naturligt have den største Interesse for Sømanden. Videnskaben har i den sidste Snees Aar taget alvorligt fat paa disse Spørgsmaals Løsning, og, uagtet den endnu ikke har formaaet at hæve alle Tvivl, saa er den dog naaet et godt Stykke frem paa den rette Vei. Disse Foredrag skulle have det Formaal at gjøre Sølieutenantselskabets Medlemmer bekendte med Hovedtrækkene af de Love, som Theorien opstiller, og som fordetmeste bekræftes af praktiske Erfaringer.

Det første Foredrag, der omhandler den statiske Stabilitet, indeholder ikke noget Nyt; men nogen Kundskab derom er nødvendig til Forstaaelse af det Efterfølgende. Idet jeg beder om Overbærelse med de Ufuldkommenheder, som dette Arbeide næppe er frit for, skal jeg ikke undlade at bemærke, at det er paa Opfordring, Foredragene ere fremkomne i Selskabet.

De Kilder, der ere blevne benyttede til Udarbeidelsen, ere: »Manual of naval architecture» by W. H. White, forskjellige Artikler i Tidsskriftet »Naval science», »Report of the committee on designs of ships of war» og flere andre tekniske Skrifter; Stoffet gaaer i det Væsentlige ikke udenfor, hvad den ovennævnte Forfatter W. H. White har anseet nyttigt for Officerer af Krigs- og Koffardimarinen.

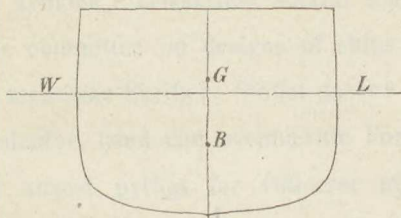
I.

Læren om Legemers Ligevægt og Stabilitet, naar de flyde paa Vandet, er af indgribende Betydning for Skibsconstructionen, og den er uidentvivl først behandlet videnskabeligt af den franske Forfatter Bouguer, der henimod Midten af forrige Aarhundrede udgav sin «*Traité du navire*», et Værk, der fik stor praktisk Nytte for Constructeuren. Ved Slutningen af Aarhundredet har Dupin i sin *memoire*, betitlet «*Stabilité des corps flottants*» behandlet Læren om flydende Legemers Ligevægt mere i Almindelighed og med stor Grundighed. Hans Værk eller Uddrag deraf bruges endnu den Dag idag som Lærebog i Constructionsvidenskaben. Andre Forfattere saasom Atwood, Canon Moseley o. Fl. have ved samme Tid og senere behandlet særlige Afsnit af Videnskaben og udvidet Lærens praktiske Anvendelighed for Skibsconstructionen.

Et Legeme, som flyder paa Vandet, maa, for at være i Ligevægt, opfylde to Hovedbetingelser: 1) Vægten af den Vandmasse, som *deplaceres*, maa være lig det flydende Legemes Vægt, og 2) Opdriftens Tryk (resultant vertical pressure), hvis Resultant virker i en Retning verticalt opefter gennem den *deplacerede* Masses Tyngdepunct, maa ogsaa passere igjennem Legemets Tyngdepunct. Den *deplacerede* Vandmasse kaldes

»Deplacementet»; dets Tyngdepunct B »Deplacementets Tyngdepunct» (centre of buoyancy)

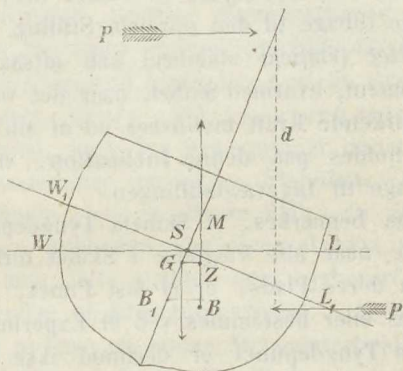
Fig. 1.



maa altsaa ligge i samme verticale Linie som G , der er Legemets Tyngdepunct eller Gravitetceter (centre of gravity). Skibets Vægt kan betragtes som concentreret i G og virkende med et Tryk vertikalt nedefter. Den omgivende Vandmasse udøver et ligesaa stort Tryk, hvis Resultant gaaer vertikalt opfeft igjennem B . Disse to Kræfter balancere hinanden; de ere ligestore og modsatte Kræfter. Naar dette Forhold finder Sted, er Legemet i Ligevægt og i Hvile. Det horizontale Snit, hvormed Vandets Overflade kan tænkes at gjennemskære Legemet, kaldes »Vandlinieplanet» (plane of flotation). Siden Legemets Vægt er constant, maa Deplacementet ogsaa altid være constant for alle Stillinger, hvori Legemet kan antages at flyde. Vandlinieplanet kan altsaa defineres som et Plan, der afskærer et constant Rumfang af Deplacement fra Legemet, og denne Betingelse kan aabenbart opfyldes af et uendeligt Antal Planer, uagtet de dermed corresponderende Stillinger af Legemet ikke behøve at være og factisk langt fra alle ere Ligevægtstillinger, saalænge Gravitetcetret forbliver et fast Punct i Legemet. For at faae Legemet til at indtage en Stilling, hvori det ikke mere er i Ligevægt, maa det paavirkes af en Kraft udefra; det maa med andre Ord betragtes som ikke længere frit flydende.

Lad os betragte denne ydre Kraft som virkende horisontalt og krængende Legemet over. Hvis Legemet er et Skib, og Kraften f. Ex. er Vindens Tryk i Seilene, i hvilket Tilfælde den betragtes som concentreret i Seilcentret, og kalder man Trykket P , da vil et ligesaa stort,

Fig. 2.



men modsat Tryk udvikles og blive udøvet af Vandmassen igjennem et Punct paa den læ Side af Skibet (centre of lateral resistance); kald den verticale Afstand mellem de to Linier, hvorigjennem disse Tryk virke, d , saa er Momentet af de horizontale Kræfter, der frembringe Inclinationen, udtrykt ved

$$P \cdot d$$

Denne Inclinations Størrelse maales ved Vinklen mellem Vandoverfladerne WL og W_1L_1 , hvilken Sidste var Skibets Vandlinieplan i dets oprindelige Stilling. Opdriftens Tryk, der er lig med Skibets Vægt, udøves langs med den verticale Linie BM igjennem det nye Deplacements Tyngdepunct B , og Skibets Vægt virker vertikalt igjennem Gravitetcentret G . Dette Punct ligger imidlertid ikke mere vertikalt over B , men i en Afstand GZ fra Linien BM . De lige og modsatte Kræfter, Vægten og Opdriften, ville ikke mere balancere hin-

anden, men danne en mechanisk Kraft $W \times GZ$ Fodtons (hvis W er udtrykt i Tons og GZ i Fod), hvor W er Skibets Vægt. Dette Moment (righting moment) kaldes den »statistiske Stabilitet« for $\wedge W_1 S W$, og siden Skibet er i Hvile, maa man have

$$P.d = W.GZ.$$

Naar Trykket $P.d$ borttages, vil Skibet med Momentet $W.GZ$ søge tilbage til den opreiste Stilling. Den statiske Stabilitet (statical stability) kan altsaa defineres som det Moment, hvormed Skibet, naar det ved en ydre horizontal virkende Kraft inclineres ud af sin Ligevægtstilling og holdes paa denne Inclination, vil søge at komme tilbage til Ligevægtstillingen.

Det maa bemærkes, at Skibets Tyngdepunct (Gravitetcentret), naar alle Vægtene i Skibet forblive uforandrede paa deres Plads, er et fast Punct, hvis Plads kan beregnes eller bestemmes ved et Experiment. Deplacementets Tyngdepunct er derimod ikke noget fast Punct; det forandrer Plads, naar Legemet eller Skibet bringes ud af sin Stilling, og dets Plads er for enhver Stilling afhængig af Deplacementets varierende Form, uagtet selve Deplacementets Volumen forbliver uforandret. Dette Tyngdepunct kan for en bestemt Vandlinie nøiagtigt beregnes efter Skibets Tegninger, og dets Bestemmelse er en reen geometrisk Proces, aldeles uafhængig af Vægtenes Fordeling i Skibet.

Af Figur 2 sees, at, naar Skibet krænger over, vil Linien BM , hvorigjennem Opdriften virker, skære Skibets Midteraxe (den Linie, hvorigjennem Opdriften virker, naar Skibet er opreist). Naar Krængningsvinklen er meget lille, kaldes dette Skæringspunct Metacentret. Punctet er ikke fast, men flytter sig efter Skibets forskellige Heldningsvinkler. For Skibe af almindelig Form kan man imidlertid uden stor Feil antage, at Retningen af Opdriftens Tryk igjennem Deplacementets Tyngdepunct for alle Heldningsvinkler indtil 10 à 15° passerer

igjennem det samme Punct, og at altsaa Metacentret for disse Vinkler er et fast Punct. Kaldes Heldningsvinklen indenfor disse Grændser α , bliver $GZ = GM \cdot \sin \alpha$, og det statiske Stabilitetsmoment for Vinklen α altsaa $W \cdot GM \cdot \sin \alpha$. Denne Methode at udtrykke Skibets Stabilitet kaldes den metacentriske, og for de fleste Skibe ligger Størrelsen af de under Seil forekommende stadige Krængningsvinkler indenfor Grændserne af denne Methode; men Methoden er kun approximativ rigtig. Det er altsaa Størrelsen af Afstanden GM fra Gravitetcentret til Metacentret, kaldet »Metacenterhøiden« (metacentric height), som for Krængninger indenfor en vis Grændse bestemmer et Skibs Stabilitet. En større Metacenterhøide giver et stivere Skib, en mindre giver et rankere. Stivheden kan siges at være proportional med GM ; men dette gjælder, som nysberørt, kun indtil en vis Grændse af Krængningsvinkel. Af to Skibe, A og B, kan A have en større Metacenterhøide og altsaa større Stivhed end B for Krængninger indtil c. 20° , hvilket kan være en Følge af lavere Gravitetcenter eller bredere Vandlinieareal, medens B, naar begge Skibe krænges over til 40° , kan have betydeligt større Stabilitet end A, hvilket kan afhænge af Formerne over Vandet, navnlig Dækkets Høide. Skibet kan, under Betragtningen af den statiske Stabilitet, og saalænge den metacentriske Methode gjælder, sammenlignes med et Pendel, hvis Ophængningspunct er i Metacentret, og dets Vægt concentreret i en Kugle i Gravitetcentret, idet Pendelets Moment da ogsaa vil være $W \cdot GM \cdot \sin \alpha$. Men denne Sammenligning holder kun, saalænge saavel Skibet som Pendelet ere i Hvile; saasnart derimod Bevægelse begynder, ophører Sammenligningen at være correct, og Undladelsen af at skjelne mellem disse to Tilfælde har ofte ledet til alvorlige Vildfarelser.

I Udtrykket $P \cdot d = W \cdot GZ$ kan der gives $P \cdot d$ en hvilkensomhelst Værdi og Retning, hvorefter følger, at et

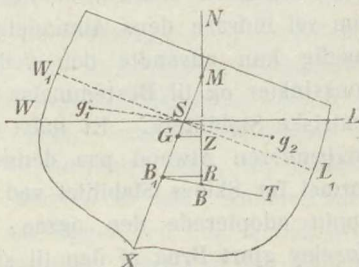
Legeme kan bringes i Hvilestilling, skjøndt ikke frit-flydende, i en uendelig Mængde Stillinger ved et Vandlinieplan, som opfylder den Betingelse, at det afskærer et constant *Deplacements Volumen*. For hver af disse Stillinger kan Vandliniearealet og *Deplacementets Tyngdepunct* findes. *Deplacementets Tyngdepunct* skifter Plads i Legemet for hver ny *Inclinations Retning* og *Størrelse*; denne Plads er afhængig af *Deplacementets Form*, hvilken ogsaa forandrer sig med de forskellige Stillinger, uagtet dets *Volumen* er constant. *Opdriftens Retningslinie BM* gaaer for hver ny Stilling, man giver Legemet, altid verticalt op igjennem det nye *Deplacements Tyngdepunct* og er altid lodret paa Vandlinieplanet.

Den Overflade, som indeholder *Tyngdepuncterne* for alle mulige *Deplacementer*, svarende til alle Stillinger, som kan gives Legemet, kaldes *Deplacements Tyngdepuncts Fladen* (*surface of centres of buoyancy* eller *surface of buoyancy*). Den kan defineres som *locus* af *Gravitetcentrene* for alle *Segmenter*, der afskæres af Legemet ved forskellige Planer, og hvilke *Segmenter* alle have det samme *Volumen*, nemlig *Deplacementets*. Da vi imidlertid her nærmest ville betragte Legemet som et Skib, skulle vi kun omtale de Curver paa den nævnte Overflade, som have Interesse under denne Betragtning, nemlig de, der have Hensyn til *Inclinationer* i tværskibs og langskibs Retning.

$W_1 L_1$ er en Vandlinie, der afskærer et *Deplacement* $W_1 X L_1$, for hvilket B_1 er *Tyngdepunctet*, og $B_1 M$ er *Opdriftslinien*. Inclineer nu Skibet til Vandlinien WL , der danner en $\angle a$ med den forrige. Det nye *Deplacement* er WXL , og dets *Tyngdepunct* er B , igjennem hvilket en ny *Opdriftslinie* BN er *perpendiculair* paa den nye Vandlinie WL . *Deplacementet* WXL er lig det oprindelige $W_1 X L_1$. *Volumnet* $W X L_1$ er fælleds for begge, hvorfor det kiledannede Stykke $W_1 S W$, som er løftet ud af Vandet, maa være lig det kiledannede

Stykke $L S L_1$, som er nedsænket i Vandet. Forandringen i Deplacementets Form, som er en Følge af Inclinationen, er æquivalent med Udelukkel-
sen af den opløftede Kile og Substitutionen for den af den nedsænkede, idet Kilerne, skjøndt de have samme Volumen, kunne være og ved Skibsformer i Reglen altid ville være af forskjellig Form.

Fig. 3.



Da Deplacementerne ere ligestore, kan Tyngdepunctet for det nye Deplacement WXL findes ved simple statiske Principer. Lad g_1 og g_2 være Tyngdepuncterne henholdsvis af den udløftede og af den nedsænkede Kile. (Det bedes udtrykkeligt bemærket, at disse Tyngdepuncter ere reent geometriske; deres Bestemmelse har Intet med Vægtene i Skibet at gøre. De vilde falde sammen med Vægt Gravitetscentrene, hvis Kilerne vare heelt fyldte med et eensartet Stof, f. Ex. Vand). Træk Linien $g_1 g_2$, og igjennem B_1 , det oprindelige Deplacementscenter, Linien $B_1 T \neq g_1 g_2$, saa ligger det nye Deplacementscenter B et Sted i denne Linie. Det Moment, som er en Følge af den udløftede Kiles Overførelse i den nedsænkedes Form og Stilling, udtrykkes ved $v \times g_1 g_2$, hvor v er Volumnet af en af de ligestore Kiler; og den Afstand, Deplacementscentret har flyttet sig langs Linien $B_1 T$, er $\frac{v \times g_1 g_2}{V}$, hvor V er hele Deplacementets Volumen.

Vi have altsaa $B_1 B = \frac{v \times g_1 g_2}{V}$, og $B_1 B$ er $\neq g_1 g_2$.

Denne Æquation er meget vigtig, da den sætter os istand til at bestemme Deplacementscentrenes Plads for alle Inclinationer fra den verticale, og den er Udgangspunct for alle Bestemmelser af den statiske og dynamiske Stabilitet. Dens første Forekomst er hos Bouguer, som vel indsaae dens Almindelighed, men dog hovedsagelig kun anvendte den ved meget smaa Inclinationsvinkler og til Bestemmelse af den saakaldte »metacentriske Stabilitet«. Et halvt Aarhundrede senere har Englænderen Atwood paa denne Æquation baseret sin Formel for Skibes Stabilitet ved alle Krængningsvinkler. Dupin adopterede den ogsaa, og endelig har Canon Moseley gjort Brug af den til sin Formel for den dynamiske Stabilitet. Vanskeligheden ved Æquationens praktiske Anvendelse bestaaer i, at Momentet af Kilerne $v \times g_1 g_2$ skal findes ved Beregning. I Praxis bruger man, istedenfor at bestemme Beliggenheden af B paa Linien BT , at finde Punctet B 's Bevægelse i Retningen $B_1 R$ perpendicular paa BM og $\neq$ med det nye Vandlinieplan, samt i Retningen BR . For den statiske Stabilitet er det Størrelsen GZ , som har Interesse, og for dennes Bestemmelse er det kun nødvendigt at finde $B_1 R \cdot BR$ behøves alene til Beregningen af den dynamiske Stabilitet.

Den ovennævnte Æquation holder for alle Værdier af Inclinationsvinklen α ; men, naar man imidlertid betragter denne Vinkel som meget lille, saa ville de to Vandlinieplaner ligge meget nær ved hinanden, og, da Linien $g_1 g_2$ ligger imellem dem, kommer den kun til at differere uendelig lidt fra Planet $W_1 L_1$; følgelig kan Linien $B_1 B$, der forener 2 Deplacementscentre, som ligge hinanden meget nær (consecutive), betragtes $\neq$ med det initiale Vandlinieplan $W_1 L_1$. Man kan fra denne Stilling tænke sig Skibet dreiet videre igjennem en meget lille Vinkel α , og for en saadan Forandring i Inclination fremkommer en ny Retning af $B_1 B$; saaledes kan skrides videre frem, idet α hvergang forøges.

meget lidt, og for hver saadan Retning vil den fremkomne $B_1 B$ være $\neq$ med det tilsvarende initiale Vandlinieplan, og, da saadanne Linier som $B_1 B$ tillige bestemme Tangentplanet til Deplacement Tyngdepuncts Fladen (surface of buoyancy) i Punctet B , følger deraf som almindelig Regel, at Tangentplanet til ethvert Punct i denne Flade er $\neq$ med det tilsvarende Vandlinieplan, og at den fælleds Normal paa Tyngdepuncts Fladen og Tangentplanet i ethvert Punct angiver Retningen af Opdriftens Tryk. Det vil endvidere sees, at, skjøndt Linien $g_1 g_2$ er meget nærvæd at falde sammen med Vandlinieplanet $W_1 L_1$, saa ligger den dog factisk over Planet*), om end kun meget lidet. Derfor vil det uendelig lille Buestykke af Deplacements Tyngdepuncts Fladen, som ligger imellem B og B_1 ligeledes afvige uendelig lidt fra at falde sammen med Tangentplanet i $B_1 \neq$ med Vandlinieplanet, men dog falde over det, og dette vil finde Sted paa ethvert Sted af Fladen og for alle Inclinationer, og følgelig maa denne Bue for alle normale Sectioner af Tyngdepuncts Fladen betragtes som convex mod Tangentplanet, eller med andre Ord: Deplacement Tyngdepuncts Fladen er en lukket Curveoverflade, heelt concav imod et indre Punct, og endvidere ligger den altid heelt indenfor Ydergrændserne af Skibet. De to Curver, der kunne trækkes paa den, ved to paa hinanden perpendiculaire Snit igjennem Overfladen, og hvoraf den ene indeholder alle Deplacementscentre for tværskibs Inclinationer heelt rundt, og den anden alle Deplacementscentre for Dreininger i den langskibs Retning heelt rundt, ere lukkede Curver, concave mod et indre Punct.

Vi ville nu skride til Bestemmelsen af Størrelsen $B_1 M$, som er Afstanden fra Deplacementets Tyngdepunct B_1 , naar Skibet ligger opreist, til det Punct M , hvor den nye Opdriftslinie BN skærer Skibets Midteraxe,

*) Paa den nedsænkede Side.

forudsat at Skibet kun inclineres en meget lille Vinkel, hvilket Punct M da ifølge Bouguers Definition kaldes »Metacentret«. Vi skulle nu forudskikke en Forklaring af Begrebet »Inertie Momentet af et Areal«. Dette defineres som Summen af Producterne af hvert enkelt Element i Arealet multipliceret med Quadraten af Elementets Afstand fra den Axis, om hvilken Inertie Momentet skal beregnes. Naar man betegner Vandlinie Arealets Inertie Moment for Dreiningen i tværskibs Retning, altsaa om den langskibs Axe igjennem Arealets Gravitetcenter, ved J , saa er Momentet af Kilerne, hvoraf den ene blev løftet, og den anden ned-sænket, udtrykt ved $J \cdot a$, hvor a er Incl. Vinklen, men dette Moment er ogsaa $v \times g_1 g_2$.

Af Æquationen $B_1 B = \frac{v \times g_1 g_2}{V}$ sees,

$$\text{at } v \times g_1 g_2 = V \times B_1 B.$$

$$\text{men } V \times B_1 B = V \times B_1 M \operatorname{tg} a \text{ (Fig 3).}$$

$$\text{og altsaa } J \cdot a = V \times B_1 M \operatorname{tg} a,$$

$$\text{hvoraf } B_1 M = \frac{J}{V} \cdot \frac{a}{\operatorname{tg} a}.$$

men, da Vinklen a er meget lille, vil $\frac{a}{\operatorname{tg} a}$ falde overmaade nær ved Eenheden, hvorfor Æquationen kan skrives $B_1 M =$

$$\frac{J}{V}; \text{ eller Metacentrets Høide over Deplacementets Tyngde-}$$

punct er udtrykt ved Inertie Momentet af Vandliniearealet divideret med hele Deplacementets Volumen. Dette Inertie Moment afhænger af Vandliniearealets Form, og kan nøiagtigt beregnes. For tværskibs Inclinationer, der have størst Interesse, beregnes det om den langskibs Axe. En approximativ Formel er $J = L \times B^3 \times K$, hvor L betegner Vandliniearealets Længde, B dets største Brede, og K en Coefficient, der varierer efter Forholdet mellem L og B samt efter den større eller mindre Skarphed af Vandlinien for og agter. Denne

Formel er kun empirisk og bruges ikke af Constructeuren; men den aabner Øiet for, hvilke Størrelser, der have Betydning for Momentets Værdi. Da Kubus forekommer af Bredden, medens Længden kun er i første Potents, sees, at Vandliniearealets Brede altsaa har en overveiende Indflydelse paa Inertie Momentet, og, da dette staaer i Udtrykkets Tæller, følgerig ogsaa paa Metacentrels Høide over Deplacementets Tyngdepunct. Følgende Værdier gjælde tilnærmelsesviis for Coefficienten K :

Naar $L = 4$ Gange B , er $K = \frac{3}{50}$.

— $L = 5$ — B , er $K = \frac{11}{200}$.

— $L = 6$ — B , er $K = \frac{1}{20}$.

Længde og Brede maalte i Vandlinien.

Disse Værdier for K kunne ikke altid slaae nøiagtigt til, da Fiinheden af Vandlinien for og agter ogsaa har Indflydelse paa Bestemmelsen af K .

Beliggenheden af Deplacementets Tyngdepunct beregnes af Constructeuren. Som en ganske approximativ Bestemmelse af dets Plads kan tages fra $\frac{2}{5}$ til $\frac{9}{20}$ af Middeldybgaaendet regnet fra Vandlinien. Den større Coefficient skal bruges for fyldige Skibe.

Et Exempel skal anføres:

I det engelske Pandsterskib »Iron Duke« er $L = 280$ feet; $B = 54$ f. Middeldybgaaende 22 f. Deplacementet 6000 tons.

Da L omtrent $= 5 B$, tages $K = \frac{11}{200}$.

J bliver altsaa $280 \times 54^3 \times \frac{11}{200}$.

V er $= 6000 \times 35$ Kubik feet. Det er nemlig Deplacementets Volumen, der forlanges, ikke dets Vægt.

$$B_1 M = \frac{J}{V} = \frac{11 \times 280 \times 54^3}{200 \times 6000 \times 35} = 11.5 \text{ ft.}$$

Deplacementscentrets Afstand un-

der WL approximativt $\frac{2}{5} \times 22 \text{ ft.} = 8.8$ »

Metacentret over WL . . . 2.7 ft.

Den nøiagtige Beregning har givet Metacentrets

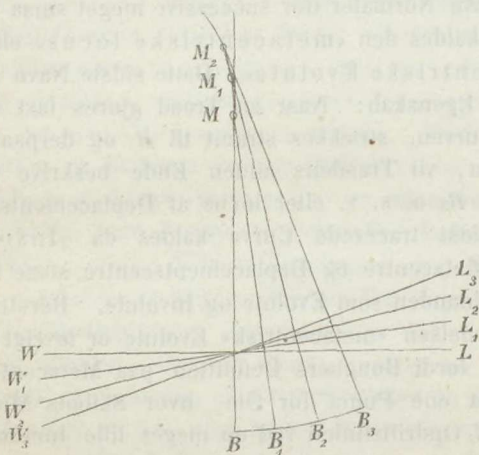
Plads 2.4 ft. over Vandlinien, saa at Approximationen altsaa er nogenlunde.

Det sees, at Metacentrets Beliggenhed har Intet med Vægtenes Fordeling i Skibet at gjøre. Canon Moseley siger: Metacentrets Beliggenhed svarende til en Ligevægtsstilling kan bestemmes ved bekendte geometriske Regler, og det fremgaaer mærkværdig nok, at den er aldeles uafhængig af Deplacementets Form (of the form of the part of the body immersed), hvorimod den udelukkende afhænger af Formen og Dimensionerne af Vandliniearealet og af Deplacementets Volumen. « I Almindelighed gjælder, at med samme Areal af WL . men med Forandringer i Undervands Former, der involvere forskjelligt Deplacement, vil $B_1 M$ være mindre i fyldige Skibe end i skarpe Skibe. Skibe, som have stor Brede i Forhold til Længden og Dybden, have stor metacentrisk Høide $B_1 M$ og omvendt. Naar et Skib trykkes dybere tilvands, forandres Forholdet mellem Vandliniearealets Inertie Moment og Deplacementet; dette Sidste bliver større, og Metacentret gaaer ned. Skjøndt Metacentrets højere eller lavere Beliggenhed har en indgribende Betydning for Stabiliteten, have vi dog endnu ikke behandlet Spørgsmaalet om denne tilende, da vi endnu ikke have betragtet Gravitetcentrets Plads, hvortil vi senere skulle komme.

Vi vende nu tilbage til Linien $B_1 M$, hvis Størrelse er bestemt ved Udtrykket $\frac{J}{V}$. Det Punct M , hvori Linien $B_1 M$ skæres af Opdriftslinien $B N$, som er Normalen paa Deplacement Tyngdepuncts Fladen (surface of buoyancy) i Punctet B , kaldes, som før omtalt, Metacentret, naar Inclinationsvinklen er meget lille. Under denne Forudsætning kan $B M$ betragtes lig med $B_1 M$ — med andre Ord, Metacentret M er Center til den meget lille Bue af Deplacement Tyngdepuncts

Fladen mellem B_1 og B . Dreies Skibet videre igjennem en lille Vinkel, saa vil sees, at Vandlinieplanets Areal er tiltaget, medens Deplacementets Volumen er uforandret, hvorfor Normalen eller Afstanden mellem Depl. Tyngdep. Fladen og Metacentret, (ifølge Formlen $B_1 M = \frac{J}{V}$) bliver større.

Fig. 4.



I Fig. 4 er $B B_1 B_2 B_3$ et Stykke af Curven paa Depl. Tyngdep. Fladen for Inclinationer i tværskibs Retning, og de consecutive Normaler skære hinanden i Puncterne $M M_1 M_2$, o. s. v. Skæringen af Normalerne $B M$ og $B_1 M$ er i M . Af Normalerne $B_1 M$ og $B_2 M_1$ i M_1 . Af Normalerne $B_2 M_1$ og $B_3 M_2$ i M_2 o. s. v. Hvert af disse Puncter $M M_1 M_2$ o. s. v. er Center til et tilsvarende lille Buestykke af Depl. Tyngdep. Fladen. $B M, B_1 M_1, B_2 M_2$ ere Krumningsradierne til de smaa Buestykker, hvilke Radier, ved et Skib af almindelig Form, tiltage i Størrelse indtil en vis Grændse, fordi Vandlinieplanets Areal ved Krængning i tværskibs Retning tiltager til et vist Maximum (omtrent til den Kræng-

ning, hvor Vandet spiller ind paa Dækket), hvorefter det atter aftager. Størrelsen af hver af disse Normaler kan bestemmes efter Formlen $\frac{J}{V}$. Det her Sagte er med andre

Ord: Metacentret flytter sig opefter, naar Skibet krænges over fra den opreiste Stilling, indtil en vis Høide, hvorefter det ved fortsat Krængning gaaer ned igjen. Curven $M M_1 M_2$ o. s. v., som fremkommer ved Skæringen af consecutive Normaler (for successive meget smaa Kræng. Vinkler) kaldes den »metacentriske locus« eller den »metacentriske Evolute«. Dette sidste Navn skyldes følgende Egenskab: Naar en Traad gjøres fast i Toppen af Curven, strækkes stramt til B og derpaa vikles af Curven, vil Traadens anden Ende beskrive Curven $B B_1 B_2 B_3$ o. s. v. eller locus af Deplacementscentre. Denne sidst tracerede Curve kaldes da »Involute«. Loci af Metacentre og Deplacementscentre staae i Relation til hinanden som Evolute og Involute. Berettigelsen til Benævnelsen »metacentrisk« Evolute er iøvrigt bleven bestridt, fordi Bouguers Definition paa Metacenter kun havde det ene Punct for Øie, hvor Skibets Midteraxe skæres af Opdriftslinien ved en meget lille Inclinationsvinkel. Nogle foretrække derfor at kalde Curven »locus of centres of curvature of surface of buoyancy«. Bouguer, som iøvrigt kun betragtede smaa Inclinationer, manglede dog ingenlunde Øie for Metacentrets Stedforandring og har selv kaldt Curven »métacentrique«. Hos endeel nyere Forfattere træffes Benævnelsen »shifting metacentre«.

Det bemærkes udtrykkelig, at Evoluten kun fremkommer ved successiv Krængning, hvergang gennem en lille Vinkel. Dreies Skibet paa eengang gennem en betydelig Vinkel, f. Ex. fra 5° til 20° , saa kommer Skæringspunctet af Opdriftslinierne for disse to Stillinger ikke til at ligge i Evoluten. Naar det ønskes at bestemme den metacentriske Evolute, kan Skibet krænges

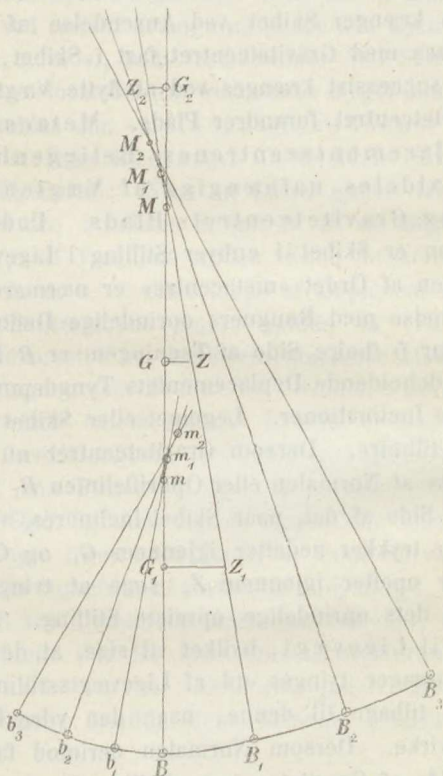
successivt f. Ex. til 5° , 10° , 15° , 20° o. s. v. og Krumningsradien findes for hver af disse Stillinger ved Skæring af en Normal for en Inclinationsvinkel liggende meget nær ved hver af disse. Curven trækkes dernæst igjennem de saaledes fremkomne Skæringspuncter.

Den metacentriske locus vil fremkomme, saavel naar man krænger Skibet ved Anvendelse af en ydre Kraft, altsaa med Gravitetcentret fast i Skibet, som og naar det successivt krænges ved at flytte Vægte, hvorved Gravitetcentret forandrer Plads. Metacentrenes og Deplacementscentrenes Beliggenhed ere nemlig aldeles uafhængige af Vægtenes Fordeling og Gravitetcentrets Plads. Under denne Supposition er Skibet i enhver Stilling i Ligevægt, og Anvendelsen af Ordet »metacentre« er nærmere i Overeensstemmelse med Bouguers oprindelige Definition.

I Figur 5 (høire Side af Tegningen) er B B_1 B_2 B_3 Curven indeholdende Deplacementets Tyngdepuncter ved forskellige Inclinationer. Legemet eller Skibet er altsaa inclineret tilhøire. Dersom Gravitetcentret nu ligger i G , saaledes at Normalen eller Opdriftslinien $B_1 M_1$ falder paa høire Side af det, naar Skibet inclineres, vil Skibets Vægt, der trykker nedefter igjennem G , og Opdriften, der virker opefter igjennem Z , søge at tvinge Skibet tilbage til dets oprindelige opreiste Stilling. Skibet er da i stabil Ligevægt, hvilket vil sige, at, dersom det af ydre Aarsager tvinges ud af Ligevægtsstillingen, vil det vende tilbage til denne, naar den ydre Kraft ophører at virke. Dersom Normalen derimod falder paa venstre Side af Gravitetcentret, hvilket da maatte ligge f. Ex. i G_2 , vil Skibets Vægt virkende nedefter igjennem G_2 og Opdriften opefter igjennem Z_2 tvinge Skibet længere over tilhøire, altsaa bort fra Ligevægtsstillingen. Skibet er da i ustabil Ligevægt, hvilket vil sige, at det, naar det bringes ud af Ligevægtsstillingen, søger længere bort fra denne. Dersom Gravitet-

centret falder sammen med M , da siges Legemet eller Skibet at være i indifferent Ligevægt, og, forsaavidt Metacentret er et fast Punkt, vil Legemet blive liggende i en hvilken som helst inclineret Stilling, man giver det.

Fig. 5.



Dette er med andre Ord: Naar Gravitetcentret falder under Metacentret, er Skibet i stabil Ligevægt; naar det falder over Metacentret, er Skibet i ustabil Ligevægt, og, naar Gravitetcentret falder sammen med Metacentret, er Skibet i indifferent Ligevægt. Da Metacentret i Legemer af Skibsform vandrer opefter ved Inclination, vil

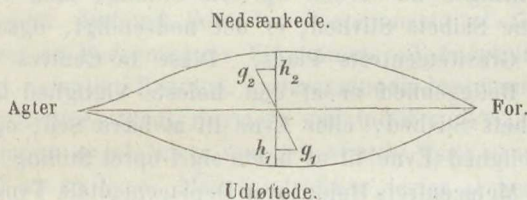
et Skib, som i opreist Stilling er i indifferent Ligevægt, blive stabilt, naar det krænges over. Gives der et saadant Skib et svagt Stød, saa at det krænger over, f. Ex. til Styrbord, saa gaaer, som anført, Metacentret op; Stabilitetsmomentet, som derved udvikles, modsætter sig Krængningen og tiltager i Styrke, som denne bliver større. Forudsat, at Stødet ikke var saa stærkt, at Skibet drives over sit Maximum, vil Udsvinget til Styrbord efterhaanden standse, og Skibet tvinges nu af Stabilitetsmomentet tilbage mod Ligevægtsstillingen; paa Grund af Inertie Momentet kan Bevægelsen imidlertid ikke standse, naar denne Stilling er naaet; men Skibet vil drives over til Bagbord, hvor det samme vil finde Sted, som under Svinget til Styrbord. Et Skib i indifferent Ligevægt vil saaledes ligge og oscillere meget langsomt om den opreiste Stilling. Da man rolig kan gaae ud fra, at et Krigsskib, udrustet paa et Orlogsværft, aldrig vil blive afleveret i indifferent Ligevægt, kan Betragtningen af dette Forhold muligen forekomme os som en Curiositet; men for et Koffardiskib, der skal indtage en ofte forskjelligartet Ladning i det skaaltomme Skrog, har Sagen Betydning, og der eksisterer Exempler paa, at Skibe ere kæntrade i Dokken under Indtagelse af deres Ladning. Navnet Metacenter er givet af Bouguer og er udledet af Ordet «meta», som betyder Grændse, hvorved han sandsynligt vilde antyde, at Punctet dannede den Grændse, under hvilken Gravitetscentret maatte falde for stabil Ligevægt.

Betragt nu i Figur 5 Curven $B B_1 B_2 B_3$ som Curven paa Deplacement Tyngdepunct Fladen; indeholdende Deplacementscentre for Inclinationer i langskibs Retning, kaldet «Retningen for mindste Krumning» (line of least curvature) og $B b_1 b_2 b_3$ som Curven paa samme Flade for tværskibs Inclinationer, kaldet «Retningen for største Krumning» (line of greatest curvature). Disse to Curver ligge i de to

Hovedsectioner af Depl. Tyngdep. Fladen og maae danne en ret Vinkel med hinanden. M og m ere henholdsvis det langskibs og det tværskibs Metacentrer. M M_1 M_2 og m m_1 m_2 ere de respective metacentriske Evoluter. Naar Gravitetcentret falder under m , som er Centret for den største Krumning, er Skibet i stabil Ligevægt i alle Retninger. Dersom Gravitetcentret falder over M , som er Centret for den mindste Krumning (hvilket kun kan finde Sted i Legemer af heelt anden Form end et Skib), er Legemet i ustabil Ligevægt i alle Retninger. Naar endelig Gravitetcentret falder imellem M og m , er Skibet stabilt i de Retninger, som komme nærmest det langskibs Plan, og ustabilt i de tværskibs Retninger. Det ligger i Sagens Natur, at et Skib maa være stabilt i alle Retninger, hvorfor Gravitetcentrets Plads altid maa være under m . Stabiliteten i den tværskibs Retning, hvor m er Metacentret, er en minimum Stabilitet, ligesom Stabiliteten i den langskibs Retning, hvor M er Metacentret, er et maximum. Ved Inclinationer i alle skjøns Retninger (som falde mellem tværskibs og langskibs, hvad Englænderne kalde »skew«) ligge Metacentrene mellem m og M . Naar man altsaa har givet Skibet tilbørlig minimum Stabilitet ved at lægge G passende dybt under m , saa har Skibet ogsaa tilstrækkelig Stabilitet i alle andre Retninger, hvilket bemærkes, fordi den feilagtige Paastand oftere er bleven fremsat, at der kan være særlig Fare for et Skib i Tilfælde, hvor Inclinationsretningen falder imellem det tværskibs og det langskibs Plan.

Det skal ikke forbigaaes, at de paa Depl. Tyngdep. Fladen beskrevne Curver, som indeholde Deplacementscentrene for Heldninger i de forskjellige Retninger, ikke nødvendigviis blive plane Curver. Dette vilde ved Heldninger i tværskibs Retning finde Sted, naar Skibet havde Form som en Cylinder eller et Parallelepipedum; men ved almindelige Skibsformer ere de udløftede og ned-

sænkede Kiler ved tværskibs Heldning ikke af saa eensartet Form i Enderne, at disse Kilers geometriske Tyngdecentre komme til at ligge i samme tværskibs Plan. Disse Centre ville i Reglen aldrig ligge nøiagtigt i samme Plan, hvoraaf en ringe Forrykkelse for eller agterefter af det hele nye Deplacements Tyngdepunct bliver en nødvendig Følge, og den Curve paa Depl. Tyngdep. Fladen, som trækkes igjennem alle disse Centre, bliver en dobbeltkrum Linie. I Fig. 6, hvor g_1



og g_2 ere Tyngdecentrene henholdsvis af den udløftede og den nedsænkede Kile, vil det hele Deplacements Tyngdepunct rykke agterefter ved Krængning til Bagbord. En anden Følge heraf bliver, at der samtidig med den tværskibs Krængning vil finde en Forandring Sted i Styrlastigheden. I nærværende Tilfælde kommer Skibet lidt mere paa Næsen, fordi den udløftede Kiles Tyngdepunct ligger foranfor den nedsænkede, hvorved der berøves Skibet en Bæring for, og gives det en større Bæring agter. Det langskibs Moment, som involveres i den supponerede Krængning, udtrykkes ved $v (g_1 h_1 + g_2 h_2)$, hvor v er Volumnet af en af de ligestore Kiler.

Naar et Skib krænges over, vil der saaledes finde Bevægelse Sted i 3 Retninger, nemlig en i tværskibs, en i langskibs og en i vertical Retning op eller ned, fordi Kilerne ikke have nøiagtigt samme Volumen omkring Omdreiningssaxen, hvilken Feil Skibet maa rette ved at løfte eller sænke sig, for at Deplacementerne kunne blive ligestore.

En yderligere Følge af, at Kilernes Tyngdecentre ikke ligge i samme verticale Plan, bliver, at de consecutive Normaler paa Depl. Tyngdep. Fladen heller ikke komme i samme Plan, og altsaa ikke ville skære hinanden. Metacentret er da Projectionen af den korteste Distance imellem Normalerne paa et Plan parallelt med dem begge.

Vi have nu seet, hvad Metacentret er, og hvilke Forandringer dets Beliggenhed er underkastet, naar Skibet bringes ud af den opreiste Stilling; men for at bedømme Skibets Stivhed, er det nødvendigt, ogsaa at kjende Gravitetscentrets Plads. Disse to Centres indbyrdes Beliggenhed er af den høieste Vigtighed baade for Skibets Stivhed, eller Evne til at bære Seil, og for dets Rolighed (Evne til at holde sig i opret Stilling i Søgang). Metacentrets Høide over Deplacementets Tyngdep. afhænger kun af Skibets Form og den Vandlinie, hvortil det er trykket, og 2 Skibe kunne være aldeles identiske, hvad Form, Deplacement og Vandlinieareal angaaer; men de kunne føre deres indehavende ligestore Vægte aldeles forskjelligt, saa at Gravitetscentret i det ene ligger betydeligt høiere end i det andet, og saa at der altsaa bliver stor Forskjel paa deres Stivhed, medens Metacentret dog ligger i samme Høide i dem begge. Uagtet Constructeuren vel i Reglen har nogen Control over Gravitetscentrets verticale Beliggenhed, saa er han dog for en stor Deel bunden ved opgivne Data, som have Hensyn til Skibets Bestemmelse, saasom Vægten og Fordelingen af Pandser, Armering, Maskine, Størrelsen af Reisning o. s. v. Ved Bestemmelsen af Metacentrets Plads har han derimod friere Hænder, da denne kun afhænger af Skrogets Former og Dybden, hvortil det er trykket; imidlertid kan han i denne Henseende ogsaa være til en vis Grad bunden ved indskrænkende Bestemmelser af Dimensionerne i den ene eller den anden Retning. Ved Forandringer i Formen af Vand-

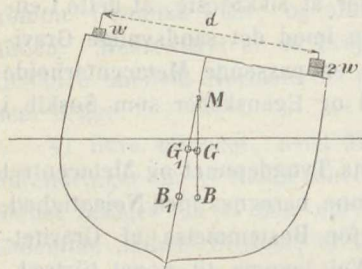
liniearealet, i Forholdene mellem Længde og Brede eller Dybgaende kan Constructeuren imidlertid med et bestemt Deplacement forbinde forskellige Beliggenheder af Metacenter, og han søger at sikre sig, at dette Centers Plads bliver en saadan imod det sandsynlige Gravitetscenter, at Skibet faaer en passende Metacenterhøide *GM*, hvorpaa dets Stivhed og Egenskaber som Søskib i høi Grad beroer.

Medens Deplacementets Tyngdepunct og Metacentret for en given Vandlinie kunne beregnes med Nøiagtighed, kan man derimod ikke for Bestemmelse af Gravitetscentret ad Beregningens Vei komme til noget tilstrækkeligt nøiagtigt Resultat. Beregningen bestemmer ikke dette Centers Plads nærmere end indtil c. 6^{te}, og Beregningen er ydermere meget besværlig, især naar Skibet er af en ny Type. Man foretrækker derfor at bestemme Gravitetscentret ved et Experiment, som bestaaer i at krænge Skibet over.

Experimentet foretages, naar Skibet er fuldt rustet, indehavende saa vidt muligt alle sine Vægte, Reisningen omboug, Lasten læns og tør, Kjelder og Condensator tomme, alle Vægte saaledes fastgjorte, at Intet kan rippe sig, og Skibet beliggende paa et Sted, hvor der ingen Bevægelse er i Vandet. Der vælges helst en stille Dag; men, hvis der er Vind, lægges Skibet saaledes, at den kommer for eller agter ind, og Fortøiningerne maae vise saaledes, at de ikke stride imod Krængningen. Stabler af Ballastjern lægges paa Dækket, ligestor Vægt paa hver Side og i ligestor Afstand fra Diametralplanet. 2 à 3 lange Lodliner hænges i Lugerne. Naar Alt er klart, Skibet paa ret Kjøl og i Hvile, mærkes Lodlinernes Stilling, og Amningen tages. For denne Vandlinie kan Metacentrets Plads beregnes efter Tegningen. En bekjendt Vægt af Ballastjern flyttes nu tværs over Dækket gennem en bekjendt Afstand, Skibet krænger over og kommer i den nye Stilling igjen i Ligevægt, idet Meta-

centret maa være verticalt over det nye Gravitetscenter G . Overførelsen af Ballastjernene har nemlig havt til Følge,

Fig. 7.



at det oprindelige Gravitetscenter G_1 har flyttet sig ud til Siden i en Linie, parallel med den Retning, Ballastjernene bleve flyttede, altsaa parallel med Dækket, og det er denne Flytning af Gravitetscentret, som forårsager

Krængningen. Krængningsvinklens Størrelse tages med største Nøjagtighed af Lodlinernes Stilling mod Mærkerne. Kaldes denne Vinkel α , den overførte Vægt w og Distancen, hvorigennem den er flyttet, d , da haves, siden G_1G er perpendicular paa G_1M :

$$G_1G = G_1M \cdot \operatorname{tg} \alpha \text{ eller } G_1M = G_1G \cdot \cot \alpha.$$

Ifølge et simpelt mekanisk Princip er den Afstand G_1G , som Gravitetscentret har flyttet sig, lig $\frac{w \cdot d}{W}$, hvor

W er Placementets Vægt. Indsættes denne Værdi for

$$G_1G \text{ i Ligningen ovenfor, faaes } G_1M = \frac{w}{W} d \cdot \cot \alpha.$$

G_1M er Metacentershøiden, og, da Metacenters Plads er bestemt ved Beregninger af Skibstegningen, bliver Gravitetscentrets verticale Beliggenhed altsaa ogsaa bestemt. Correctioner gjøres derefter for de manglende Vægte, saasom Krudt, skarpladte Granater, Vand i Kjelder og Condensator o. s. v. samt for Borttagelsen af de til Krængningen benyttede Jern.

Exempel. Skibets Placement $W = 4000$ tons. Der antages at være lagt 30 tons Ballast paa hver Side af Dækket, altsaa $w = 30$ tons, som flyttes fra den ene Side til den anden i en Distance $d = 40$ Fod. Vinklen α antages 7° .

$$G_1 M = \frac{w}{W} d \cot a = \frac{30}{4000} 40 \cdot \cot 7^\circ = \frac{3}{10} \cot 7^\circ \\ = 2,43 \text{ Fod.}$$

Afstanden $G_1 G$, som Gravitetcentret har flyttet sig ved Overførelsen af Jernene, er $\frac{w \cdot d}{W} = \frac{1200}{4000} = 0,3 \text{ Fod.}$

I Praxis pleier man at dele hver Stabel Jern i 2 ligestore Dele og at tage 4 Observationer:

1. Stabel 1 flyttes fra Bagbord til Styrbord.

2. " 2 " " " " "

Naar disse to Stabler ere flyttede tilbage til Bagbord, skulle Lodlinerne indtage deres oprindelige Stilling, medmindre andre Vægte have forskudt sig ved Krængningen. Dernæst tages 2 nye Observationer:

3. Stabel 3 flyttes fra Styrbord til Bagbord.

4. " 4 " " " " "

Lodlinernes Stilling observeres, hvergang en Stabel er flyttet. Dersom Stablerne ere af ligestor Vægt, og Distancen d er eens for alle, skulle Observationerne 1 og 3 samstemme; ligeledes 2 og 4. Krængningsvinklerne for 2 og 4 skulle paa det Nærmeste blive dobbelt saa store som de for 1 og 3. $G_1 M$ udregnes af hver af de 4 Observationer, og Mediet af de erholdte Værdier antages som Metacenterhøiden for den Vandlinie og øvrige Tilstand, Skibet var i ved Experimentet. Fra denne er det let at udregne $G_1 M$ for den complet rustede Tilstand samt for andre Vandlinier.

Det er af største Vigtighed, at ingen andre Vægte kunne flytte sig under Experimentet. Hvis der f.Ex. er 5 tons Vand i Lasten, som kan flytte sig 30 Fod i tværskibs Retning, vil dette influere med et Moment af 5×30 Fodtons eller $\frac{1}{3}$ af Ballastens Moment. Dersom dette Vand ikke var bemærket, vilde Overflyttelsen af Jernene faae Skyld for en Krængningsvinkel omtrent $\frac{1}{3}$ større, end den i sig selv kunde give Skibet. Hvis man i ovenstaaende Exempel havde gjort en saadan Feil,

skulde der have staaet $1200 + 150 \text{ Fodt.} = 1350 \text{ Fodt.}$
 saa at $G_1 M$ var bleven $\frac{1350}{4000} \cot 7^\circ = 2,75 \text{ Fod.}$ Var
 Vandet derimod i Forveien udpompet, vilde man komme
 til de samme $2,75 \text{ Fod}$ igjennem en mindre Krængnings-
 vinkel end 7° .

Det fremgaaer ogsaa heraf, hvorledes et Skibs sta-
 tiske Stabilitet aftager, naar det har fritløbende Vand i
 Lasten eller paa Dækket. Saadant Vand søger ned i den
 læ Side, hvorved Gravitetscentret flyttes fra Midteraxen
 mere eller mindre ned ad Læ til. Dette kommer derved
 nærmere hen til Opdriftslinien igjennem Deplacements-
 centret, og dets Afstand GZ hen til denne Linie bliver
 mindre. I Sø vil dette fritløbende Vands Skiften fra den
 ene Side til den anden føre til større Rullingsbevægelser.

I de moderne engelske Panderskibe, som Bellerophon, Hercules, Monarch, Alexandra, er Metacentrerhøiden $2,4$ à $3,3$ feet. I de nyere franske Pandserfregatter af Marengo Klassen c. 2 feet. I de tidligere engelske Pandserfregatter af Warrior Klassen 4 à 5 feet. I de converterede af Prince Consort Klassen og af den franske Gloire Klasse 6 à 7 feet. I lowfreeboard Skibene af Glatton Typen c. 7 feet og i de amerikanske Monitorer (Miantonomoh) 14 feet. I de sidste Skruelinieskibe var Metacentrerhøiden $4\frac{1}{2}$ à $6\frac{1}{2}$ feet. I de moderne engelske upandsrede Fregatter af Inconstant Klassen er den $2\frac{1}{2}$ à 3 feet.

Naar Vægte, som befinde sig i Skibet, flyttes i vertical Retning, gaaer Gravitetscentret op eller ned, og Stabiliteten forandres. Deplacementet forbliver uforandret, ligeledes Metacentrets Beliggenhed. Kaldes den Vægt, der flyttes, w , den verticale Distance, hvori den flyttes, h , og det Stykke, Gravitetscentret derved hæves eller sænkes, $G_1 G$, saa bliver $G_1 G = \frac{w \cdot h}{W}$, hvor W er Deplacementets Vægt. Antag t.Ex., at en Vægt af 24 tons

flyttes $5\frac{1}{2}$ Fod verticalt ned. Lad Skibets Deplacement være 930 tons. G_1G er da $\frac{24 \times 5,5}{930} = 0,14$ Fod, som Gravitetcentret kommer dybere.

Naar G_1M var den oprindelige Metacenterhøide, saa har man, for en Krængningsvinkel α , der falder indenfor Grændserne af den metacentriske Methode, det oprindelige Stabilitets-Moment $W \cdot G_1M \sin \alpha$.

» forandrede » » $W(G_1M \pm G_1G) \sin \alpha$,
hvor Tegnet $+$ skal bruges, hvis Vægten er sænket, og $-$ hvis den er hævet.

Naar Vægte indgaae i eller udtages af Skibet, er den nye Metacenterhøides Bestemmelse noget mere compliceret, fordi Deplacementet forandres, og dermed Beliggenheden af dettes Tyngdepunct og af Metacentret.

Kaldes den oprindelige Metacenterhøide G_1M ,
den nye » G_2M_2 ,
det oprindelige Deplacements Vægt . . . W ,
den indgaaede eller udtagne Vægt . . . w
det nye Deplacement $W \pm w$,
den verticale Afstand fra Vægtens Tyngdepunct til Tyngdepunctet af den Deplacementszone, som ligger imellem den oprindelige og den nye Vandlinie $\pm h$,
saa er for en indgaaende Vægt w ,

$$G_2M_2 = \frac{G_1M \cdot W \div wh}{W + w}.$$

h er positiv, hvis Vægten indføres over Tyngde-Centret af den omtalte Deplacementszone, negativ, hvis den indføres under dette Center.

Naar en Vægt udtages af Skibet, faaes

$$G_2M_2 = \frac{G_1M \cdot W + wh}{W - w}$$

h er positiv, hvis den udtagne Vægts Tyngdecenter laa over Deplacementszonens Tyngdecenter, i modsat Fald negativ.

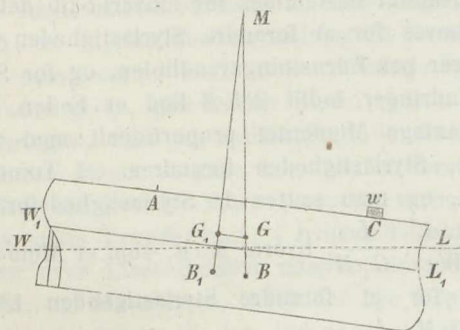
Det oprindelige statiske Stabilitetsmoment for en Krængningsvinkel a var $W \cdot G_1 M \sin a$.

Det forandrede Stabilitetsmoment for samme Vinkel er da $(W \cdot G_1 M \pm wh) \sin a$. For en indgaaet Vægt skal $\div$ bruges, hvis h falder over Middelvandliniens Tyngdecenter, $+$, hvis den falder under samme. For en udtaget Vægt skal $+$ bruges, hvis h falder over dette Center, og $\div$, hvis h falder under.

For at bestemme Forandringer i Styrlastigheden ved langskibs Inclinationer som Følge af Flytning af Vægte i Skibet, skal der gøres Brug af et langskibs Metacenter. For dette gjælder den samme Definition som for det tværskibs, hvilket overhovedet er Tilfældet for alle Metacentre svarende til alle mulige Inclinationer i skjøns (skew) Retninger; men, da den tværskibs Stabilitet er minimum og den langskibs maximum, og da Metacentrene for alle mellemliggende Stillinger ligge imellem det tværskibs og det langskibs, behøver man kun at betragte disse to. Medens den tværskibs Metacenterhøide for de forskellige Skibe varierer fra 2 til 14 Fod, er den langskibs derimod som oftest omtrent lig Skibets Længde, varierende derfra mellem 20—25 % over Længden til 10—15 % under Længden, alt efter Fiinheden af Vandlinierne. Det engelske Panderskib Warrior har med en Længde af 380 feet en langskibs Metacenterhøide af 475 f. imod en tværskibs af 4,7 f. Skrueskonnerten Ingolf har med en Længde af 180 Fod en langskibs Metacenterhøide for det virkelige Udrustningsdeplacement omtrent lig 238 Fod imod en tværskibs 2,54 Fod. For at inclinere disse Skibe en vis Vinkel langskibs, vil altsaa behøves et omtrent hundrede Gange saa stort Moment, som der behøves for at frembringe den samme Inclinationsvinkel i tværskibs Retning, eller det Moment, som vil inclinere dem 10° tværskibs, vil kun inclinere dem omtrent $\frac{1}{10}$ ° langskibs.

Styrlastighedsforandringen, som er Summen af Amningsforandringerne agter og for, udtrykkes med $L \cdot \operatorname{tg} a$, hvor L er Skibets Længde, og a er Inclinationsvinklen.

Fig. 8.



I Fig. 8 er G_1 Skibets Gravitetcenter og M det langskibs Metacenter. En Vægt w flyttes langskibs fra A til C langs Dækket gennem en Distance d . Følgen heraf er, at Gravitetcentret flytter sig parallel med den Retning, Vægten er flyttet, altsaa parallel med Dækket. Den Afstand G_1G , dette Center saaledes flytter sig, udtrykkes ved $\frac{w \cdot d}{W}$, hvor W er Deplacemets Vægt.

Men G_1G er ogsaa $= G_1M \cdot \operatorname{tg} a$.

$$\text{hvorfor } G_1M \cdot \operatorname{tg} a = \frac{w \cdot d}{W}$$

$$\text{og } \operatorname{tg} a = \frac{w \cdot d}{W \cdot G_1M}; \text{ multipliceres med}$$

$$L \text{ paa begge Sider: } L \cdot \operatorname{tg} a = \frac{w \cdot d}{W} \times \frac{L}{G_1M},$$

men $L \cdot \operatorname{tg} a$ er Styrlastighedsforandringen, som altsaa er lig $\frac{w \cdot d}{W} \times \frac{L}{G_1M}$.

Exempel. I Skonnerten Ingolf, hvis $L = 180'$ $W = 930$ tons, $G_1M = 238'$, flyttes en Vægt af 6 tons igjen-

nem en Distance af 150' i langskibs Retning. Styrlastighedsforandringen $= \frac{6 \times 150 \times 180}{930 \times 238} = 0,73 = 8\frac{3}{4}$ Tomme.

Sådanligt bestemmes for ethvert Skib det Moment, som behøves for at forandre Styrlastigheden 1^{to}, naar man ligger paa Udrustningsvandlinien, og for Styrlastighedsforandringer indtil 2 à 3 Fod er Feilen ikke stor ved at antage Momentet proportionalt med det Antal Tommer, Styrlastigheden forandres. 1 Tomme er lig $\frac{1}{12}$ Fod, og man sætter da Styrlastighedsforandringen $\frac{1}{12} = \frac{w \cdot d}{W} \cdot \frac{L}{G_1 M}$, hvoraf $w \cdot d$, som er Momentet, der behøves for at forandre Styrlastigheden 1^{to}, bliver

$$= \frac{W \cdot G_1 M}{12 L}.$$

Da $G_1 M$ i de fleste Skibe, med moderate Forhold imellem Dimensionerne og Middel-Flinhed af Linier, omtrent er lig L , kan man som approximativ Regel bruge, at Momentet, som behøves for at forandre Styrlastigheden 1^{to}, nærligen bliver (udtrykt i Fodtons) Skibets Deplacement i tons divideret med 12. Denne Regel slaaer, som det sees, ikke til for de to nævnte Skibe Warrior og Ingolf, i hvilke Forskjellen mellem $G_1 M$ og L er temmelig betydelig.

Exempel. Hvilket Moment behøves for at forandre Styrlastigheden 1^{to} i Skonnerten Ingolf.

$$\frac{W \cdot G_1 M}{12 L} = \frac{930 \cdot 238}{12 \cdot 180} = 102,5 \text{ Fodtons} = 208 \cdot 280 \text{ Fodpund.}$$

Dette vil sige, naar 1 ton flyttes langskibs 102,5 Fod, eller 102,5 tons flyttes 1 Fod, forandres Styrlastigheden 1^{to}, og det er aldeles ligegyldigt, paa hvilket Sted i Skibet, agter, midtskibs eller for, den flyttede Vægt ligger. Momentet kan naturligt sammensættes, af hvilke Factorer man vil af Vægt

og Distance, naar deres Product kun bliver 102,5. Saaledes vil 6 tons flyttede 17 Fod forandre Styrlast. 1^{to}.

og 6 " " 150 " " " 8,8^{to}.
(See forrige Exempel).

Naar Vægte udefra indtages i, eller Vægte udtages af et Skib, er Styrlastighedsforandringen's Bestemmelse lidt mere compliceret, fordi Deplacementet forandres. Det maa være givet, paa hvilket Sted i Skibet Vægtene skulle anbringes, eller fra hvilket Sted de skulle tages. Den nemmeste Maade at gaae frem paa er først at supponere den indgaaende Vægt placeret verticalt over Vandliniearealets Tyngdepunct, i hvilket Tilfælde Skibet vil trykkes over Livet (bodily) uden at forandre Styrlastigheden, og det trykkes, indtil det nye Deplacement er lig det oprindelige + den indgaaende Vægt. Hvor meget dette udgjør i Amning over Livet, kan skjønnes efter en Methode, som kaldes »Tons pr. Tomme». Fra det ovennævnte Punct tænkes Vægten derpaa flyttet langskibs hen til det Sted, man ønsker, og Styrlastighedsforandringen kan da beregnes efter Formlen $\frac{w \cdot d}{W} \cdot \frac{L}{G \cdot M}$,

men det maa erindres, at, naar Nøiagtighed fordres, maa der regnes med det nye Deplacement og med den nye langskibs Metacenterhøide, som er en Følge af det forandrede Deplacement. Naar Vægte skulle udtages af Skibet, tænker man sig dem først flyttede langskibs hen til Vandliniearealets Tyngdepunct, beregner den deraf flydende Styrlastighedsforandring og udtager derpaa Vægtene, hvorved Skibet hæver sig over hele Livet. Hvor meget dette udgjør i Amning, skjønnes efter Methoden »Tons pr. Tomme».

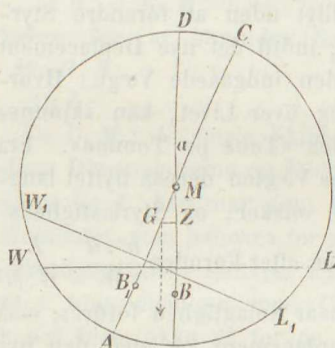
Den hele Fremgangsmaade forudsætter, at Vægten er lille i Forhold til Skibets Vægt.

I det Foregaaende er sagt, at den metacentriske Methode til Stabilitetens Bestemmelse kun kan anvendes indenfor en vis Grændse af Krængningsvinkel, som

almindeligt ikke overstiger 10 à 15° . Grunden hertil er, at Vandliniearealet ved større Krængninger forandres saameget i Størrelse og Form, at Metacentrets Plads forrykkes i væsentlig Grad. Dersom Legemet, istedenfor at være af almindelig Skibsform, var en Kugle, en Cylinder eller af Form som det saakaldte Cigarskib, hvis Tværnit ere Cirkler, vilde den metacentriske Methode gjælde for alle Krængninger.

Figur 9 forestiller Tværnittet af en Cylinder eller af et Cigarskib. G er Gravitetcentret, $W_1 L_1$ er den op-

Fig. 9.



rindelige Vandlinie og WL den nye. Alle Vandliniearealer, hvormeget Legemet end krænges i tværskibs Retning, faae samme Form. Metacentret M falder sammen med Cirkelsnittets geometriske Center og er et Fixpunct. Deplacementernes Tyngdepuncter ligge for alle Krængninger i samme Afstand fra Metacentret, og den

Curve paa Deplacement Tyngdepunct Fladen, som er loci for Deplacementscentre ved Inclinationer i tværskibs Retning, er en Cirkel, hvis Centrum er i M . Legemets statiske Stabilitet er $W \cdot GM \cdot \sin \alpha$, og dette vedbliver at gjælde for alle Inclinationer, lige til 180° , hvor Stabiliteten forsvinder. Cigarskibet kan, hvad den statiske Stabilitet angaaer, sammenlignes med et Pendel, hvis Ophængningspunct er i M , hvis Længde er MG , og hvis Vægt er concentreret i G .

Den metacentriske Methode kan derimod ikke anvendes paa almindelige Skibsformer, naar Talen er om større Krængningsvinkler. Imidlertid er det dog nød-

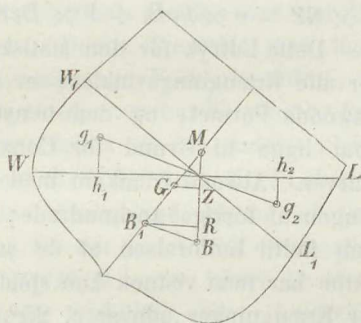
vendigt ogsaa for disse at komme til Kundskab om et Skibs Stabilitet samt at bestemme det Punct, hvor det mister sin Stabilitet. De almindelige Principer for Momentet af Vægtens og Opdriftens mekaniske Kraft gjælde for alle Inclinationsvinkler, og det er derfor kun nødvendigt at bestemme den verticale Linie igjennem Deplacementets Tyngdepunct for enhver Inclination. Man kommer derigjennem til Vægtstangsarmen GZ (arm of safety), den samme, som, for smaa Vinkler, er udtrykt ved $GM \cdot \sin a$; men dette Udtryk ophører at være correct, naar Vinklen bliver stor, fordi Størrelsen GM da, paa Grund af Metacentrets Forrykning, har forandret sig. Denne Metacentrets Forrykning er, som før forklaret, en Følge af Forandringer i Vandlinieplanets Areal og Form.

Figur 10 er tværskibs Section af et Skib, som i opreist Stilling flød paa Vandlinien $W_1 L_1$, og nu har en Heldning, i hvilken det flyder paa Vandlinien WL . G er Tyngdepunctet og B_1 det oprindelige Deplacements Tyngdepunct.

Vi have seet, at Deplacementerne skulle være eens i Volumen, skjøndt de ere af forskjellig Form, at denne Forskjellighed i Form er begrundet i at Ki-

lerne ere af forskjellig Form, skjøndt ogsaa de maae være eens i Volumen. Lad g_1 og g_2 være Tyngdepuncterne af Kilerne, hvis Volumen v er eens, saa er Momentet, som er en Følge af den nedsænkede Kiles Substitution for den opløftede, udtrykt ved $v \times g_1 g_2$, og dens Følge er en Flytning af hele Deplacementet V 's Tyngdepunct

Fig. 10.



fra den oprindelige Plads B_1 til en ny Plads B , saaledes at $B_1 B$ er $\neq$ med $g_1 g_2$ og $B_1 B = \frac{v \times g_1 g_2}{V}$.

Naar nu Kilernes Volumen for de forskellige Krængninger udregnes, og deres Tyngdecentre $g_1 g_2$ bestemmes, kan det nye Deplacementscenter B bestemmes i Forhold til det oprindelige, og Linien GZ findes. Træk $B_1 R$ perpendicular paa Opdriftslinien BM og træk $g_1 h_1$ og $g_2 h_2$ perpendiculaires paa Vandlinien, saa er $B_1 R = \frac{v \times h_1 h_2}{V}$.

Kaldes Heldningsvinklen a , saa er

$GZ = GM \sin a$; men $GM = B_1 M - B_1 G$,
og $GZ = B_1 M \sin a - B_1 G \sin a$; men $B_1 M \sin a = B_1 R$,
og $GZ = B_1 R \div B_1 G \sin a$,
og statisk Stabilitet

$V \times GZ = V (B_1 R - B_1 G \sin a)$;
men $V \times B_1 R = v \times h_1 h_2$. See Udtrykket for $B_1 R$ ovenfor, og

$V \times GZ = v \times h_1 h_2 \div V \times B_1 G \sin a$.

Dette Udtryk for den statiske Stabilitet, der gjælder for alle Krængningsvinkler, er bekjendt under Navnet Atwoods Formel, og den benyttes nu til Beregninger, som ligge til Grund for Constructionen af Stabilitets Curver. Atwood fremkom med denne Formel ved Slutningen af forrige Aarhundrede; men i det lange Tidsrum indtil Indførelsen af de saakaldte »low freeboard« Skibe har man vistnok kun sjældent beregnet Stabiliteten for Krængninger udover c. 20° .

Ved Betragtning af de Størrelser, der indgaae i Atwoods Formel, faaer man Øie for, hvilke Data der influere paa Stabiliteten. Formlen bestaaer, som det sees, af 2 Led, hvoraf det første, som er positivt, indeholder Kilernes Volumen v . Denne er naturligt en variabel Størrelse, som tiltager med Krængningsvinklen, og Stabiliteten har derfor Tendents at tiltage paa Grund af

v med denne Vinkels Størrelse. Den anden Factor $h_1 h_2$ er afhængig af Skibets Brede, hvorfor en større Brede giver større initial Stivhed. $h_1 h_2$ er ogsaa variabel, da den tiltager med Krængningen, saalænge Vandliniearealet tiltager, og dette vil ved voxende Krængning tiltage, til Vandet kommer ind paa Dækket. Naar dette skeer, begynder den nedsænkede Kiles Tyngdepunct g_2 at rykke ind imod Skibets Midteraxe; $g_1 g_2$ aftager da, og dermed ogsaa $h_1 h_2$. Denne Betragtning involverer Dækkets Høide over Vandlinien; et lavt Dæk kommer ned i Vandet paa et tidligere Krængningsstadium end et høit, og et høitliggende Dæk bliver saaledes en Fordeel for Stabilitetens Bevarelse ved store Krængninger. v og $h_1 h_2$ voxe saaledes altid begge ved begyndende Krængning, og hele Leddet voxer i Begyndelsen rask. Det første Led kaldes Formstabiliteten, i Modsætning til det andet, der kaldes Vægtstabilitet. Det andet Led, som er negativt, indeholder V , der er constant for det samme Middeldybgaende, dernæst Factoren $B_1 G$, som udtrykker Gravitetscentrets verticale Høide over det initiale Deplacementscenter. Denne Størrelse maa ligledes betragtes constant, saalænge V er uforandret, da Vægtene jo ikke i nogen Grad, som har Betydning, forandre Plads fra det ene Øieblik til det andet. (Selvfølgelig kan saavel V som $B_1 G$ forandre sig i Løbet af nogen Tid, i Krigsskibe navnlig ved Afgang af Kul, Proviant, Skarp m. m.). Da det andet Led er negativt, vil en ringere Størrelse af $B_1 G$: et lavere Gravitetscenter altsaa give en større Stabilitet end et høiereliggende. Den tredje Factor $\sin a$ er Leddets egentlige variable Factor, som altid tiltager med Krængningsvinklen, hvorfor hele Leddet maa voxe, til Krængningen er 90° , og Stabiliteten har altsaa, indtil denne Grændse, Tendents at aftage, paa Grund af a , med denne Vinkels Størrelse. Ethvert Skib har tiltagende Stabilitetsmoment ved begyndende Krængning. Det første Led maa altsaa

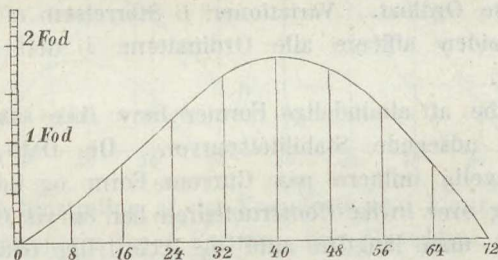
begynde med at voxer raskere end det andet, og Stabilitetscurven vil i Begyndelsen gaae opad. Naar h_1 h_2 ved større Krængning overgaaer til at aftage, voxer første Led mindre rask, Curven bliver fladere, og, naar det Punct efterhaanden naaes, hvor begge Led voxer lige rask, tager Curven en Retning parallel med Abscisse-axen. Naar derefter andet Led voxer raskere end første, gaaer Curven nedefter; naar tilsidst første Led aftager og andet tiltager, vil den gaae steilt ned mod Axen.

Atwoods Forgængere, deriblandt Bouguer, beskæftigede sig kun med Stabiliteten for smaa Krængningsvinkler og benyttede kun den metacentriske Methode. Naar Bouguer raisonnerede: vi behøve kun at forsikke os om et tilstrækkeligt Stabilitetsmoment ved de smaa Krængningsvinkler, fordi Stabiliteten tiltager, som Krængningen bliver større, saa havde han naturligt ret, da han kun kunde have sin Tids Skibe for Øie; men Berettigelsen af denne Betragtning kræver dog som Forudsætning, at disse Skibe skulle have deres Porte lukkede, under saadanne Omstændigheder, hvor større Krængningsvinkler kunne naaes. Naar et højsidet Skibs Batteriporte ere aabne, vil Vandet ved Krængning trænge ind paa Dækket, og, selv om det ikke naaer ned ad Lugerne, aftager Stabiliteten, fordi Vandliniearealet aftager; Skibet bliver stillet som et Lævdæksskib og faaer ingen Nytte af sin høie Side. Det er oplyst, at den engelske Seilfregat «Eurydice», som forrige Aar kæntrade i Canalen, havde sine Porte aabne, hvilken Omstændighed uden Tvivl var Skyld i Katastrophen. Havde Batteriportene været lukkede, er det næppe rimeligt, at Fregatten var kæntræt. En Fregat har i sit tiltagende store Stabilitetsmoment, som paa Grund af dens høie Side udvikles, en saa uhyre Modstandskraft at stille imod det Arbeide, et Vindstød eller en Byge udretter paa den, at et større Havari paa Reisingen bliver meget mere sandsynligt end en Kæntring. «Eurydice» havde

alle Seil til, inclusive Læseil, da den ramtes af Bygen, af hvilke kun de lettere Seil fløi fra den, forinden den kæntrade.

Stabilitetscurver have ikke været brugte før i de sidste 10 à 15 Aar og indførtes specielt i Anledning af de i forrige Decennium opstaaede Lavdæksskibe (low freeboard ships), Monitører, Pandserbatterier, Kystforsvarsskibe, og hvad disse Fartøier iøvrigt hedde. Disse Fartøiers Stabilitet maa aftage tidligere end de hidtil udelukkende brugte højsidede Skibes, fordi Dækket allerede ved moderate Inclinationer kommer ned i Vandet. Stabilitetscurver construeres paa den Maade, at man paa en Basis (Abscisseaxen) afsætter Inclinationsvinkler med ligestore Mellemrum for hver 8 eller 10°. I alle disse Puncter opreises Ordinater, paa hvilke, fra Basis, de ved Atwoods Formel fundne Værdier af GZ for 8, 16, 24° o. s. v. sættes op, tagne paa en ligedeelt Scala. Igjennem Nulpunctet, som repræsenterer Ligevægtstillingen, hvor Stabilitetsmomentet er Nul, og igjennem Toppen af alle Ordinater trækkes dernæst en Curve.

Fig. 11.



Figur 11 forestiller et Exempel paa en saadan Curve. GZ er beregnet for hver 8°; de fundne Værdier, udtrykte i Fod og Decimaler, og tagne paa den i Nulpunctet opreiste ligedeelte Scala, sættes op fra Basen paa de respective Ordinater. Det Punct, hvor Enden

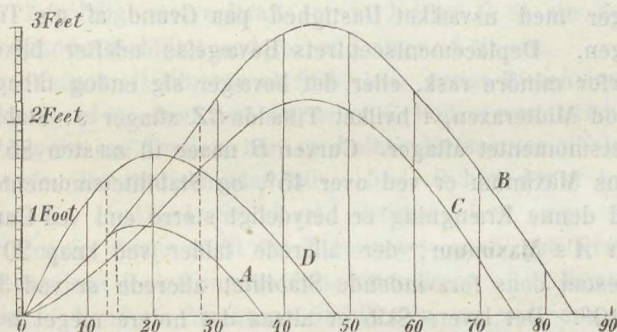
af Curven skærer Basen, kaldes den »forsvindende Stabilitet» (vanishing stability) α : den Krængning ved hvilken Skibet, igjennem en momentan indifferent Ligevægtstilling, gaaer over til at blive ustabil. I nærværende Curve indtræder dette ved 72° . Hele Længden af Basis, udtrykt i Grader, bliver Stabilitetens Udstrækning (range of stability), hvilket er et vigtigt Moment for et Skibs Sikkerhed. Vægstangsarmen GZ (arm of safety) er let at finde for mellemliggende Krængningsvinkler, da Basens Inddelinger ere ligestore. Det Punkt i Curven, hvor den lodrette Afstand fra Basen er størst, angiver den Krængning, ved hvilken Skibet har sit største Stabilitetsmoment eller sin maximum Stabilitet i tværskibs Retning.

Curven for det ved Figur 9 omtalte Cigarskib vil have Udstrækning til 180° . GZ kan for alle Krængningsvinkler beregnes efter den metacentriske Methode ved Formlen $W \cdot GM \cdot \sin \alpha$. Maximum Stabiliteten vil falde ved 90° , fordi denne Vinkels Sinus er den største. Alle Ordinaterne ere proportionale med Sinusserne af de tilsvarende Krængningsvinkler. Curven kaldes derfor en Sinus Curve, og den maa være symmetrisk om sin midterste Ordinat. Variationer i Størrelsen af Metacenterhøiden afficere alle Ordinaterne i det samme Forhold.

Skibe af almindelige Former have ikke saa symmetrisk udseende Stabilitetscurver. De Data, som hovedsagelig influere paa Curvens Form og Udstrækning, og over hvilke Constructeuren har en vis Grad af Control, men langt fra altid og ikke i lige Grad over dem alle, ere 1) Breden, 2) Høiden af Siden og 3) Gravitetcentrets verticale Beliggenhed. Baade Breden og Høiden af Siden (freeboard) ere selvfølgelig relative Størrelser, som maae betragtes i Sammenligning med Dybgaaendet. En Forøgelse af Breden har stor Indflydelse paa Stabiliteten for de mindre In-

clinationsvinkler; den forøger ogsaa saavel Curvens Udstrækning til Maximum Stabiliteten som Stabilitetsmomentet ved denne Krængning og hele Curvens Udstrækning til den forsvindende Stabilitet. En Forøgelse af Dækkets eller Sidens Høide har ingen Indflydelse paa Stabiliteten ved de mindre Inclinationsvinkler, men derimod en betydelig Indflydelse (i langt højere Grad end Bredden) paa Maximum Stabiliteten og Curvens Udstrækning. Gravitetcentrets højere eller lavere Beliggenhed influerer paa Curven heelt igjennem fra Ligevægtstillingen til den forsvindende Stabilitet og flytter det Punkt, hvor denne indtræder. Rykkes Gravitetcentret ned, bliver Stabilitetsmomentet for alle Krængningsvinkler forøget med $G_1 G \cdot \sin a$. Det Modsatte finder Sted, naar Centret flyttes op.

Fig. 12.



Til Illustration af det Foranførte er i Figur 12 viist Stabilitetscurver for 4 Fartøier, hvis Hoveddata ere følgende:

Dimensioner.	A.	B.	C.	D.
	Feet.	Feet.	Feet.	Feet.
Brede	$50\frac{1}{2}$	$50\frac{1}{2}$	$50\frac{1}{2}$	$57\frac{1}{2}$
Dybgaende	21	21	21	21
Dækkets Høide o. V. L.	$6\frac{1}{2}$	$13\frac{1}{2}$	$13\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$
Metacenterhøide	2.6	2.6	1.6	5

For A og B ere alle Data ligestore undtagen Dækkets Høide. Deres Curver ere identiske indtil $14\frac{1}{2}^{\circ}$, ved hvilken Krængning det lavere Skibs Dæk begynder at tage Vandet, medens dette for det høiere Skib B først finder Sted ved $27\frac{1}{2}^{\circ}$. Saalænge Dækket endnu er over Vandet, bevæger Deplacementets Tyngdepunct sig, ved fortsat Krængning, udefter fra Skibets Midteraxe paa Grund af, at Kilernes Volumen og Afstanden mellem deres Tyngdecentre g_1 g_2 tiltager (Figur 10). Vægtstangsarmen GZ tiltager derfor. Efter at Dækkanten har begyndt at tage Vandet, formindskes den nedsænkede Kiles Volumen, og dens Tyngdepunct g_2 rykker ind imod Skibets Midte; Skibet maa synke lige ned for at oprette Ligevægten imellem Kilerne $\therefore$ Kilernes Volumen tiltager mindre rask, og Afstanden g_1 g_2 aftager. Det 1ste Led af Atwoods Formel $v \propto h_1 h_2$ tiltager mindre rask, eller aftager, medens det andet Led $\div V \cdot B_1 G \sin a$ tiltager med usvækket Hastighed paa Grund af a 's Tiltagen. Deplacementscentrets Bevægelse udefter bliver derfor mindre rask, eller det bevæger sig endog tilbage imod Midteraxen, i hvilket Tilfælde GZ aftager $\therefore$ Stabilitetsmomentet aftager. Curven B naaer til næsten 85° ; dens Maximum er ved over 45° , og Stabilitetsmomentet ved denne Krængning er betydeligt større end ved Curven A 's Maximum, der allerede falder ved knap 20° , ligesom dens forsvindende Stabilitet allerede er ved 35 à 40° . Det lavere Skib er altsaa det høiere meget betydeligt underlegent, alene paa Grund af Forskjellen i Dækkenes Høide, da de øvrige Data ere eens for begge. Naar det imellem Basis og Curven indeholdte Fladerum betragtes som et Udtryk for det Arbeide, der skal udrettes paa Skibet, for at bringe det fra den opreiste Stilling til det Punct, hvor Stabiliteten forsvinder, (hvilket hører under Betragtningen af den dynamiske Stabilitet), saa falder det klart i Øinene, at B besidder en betyde-

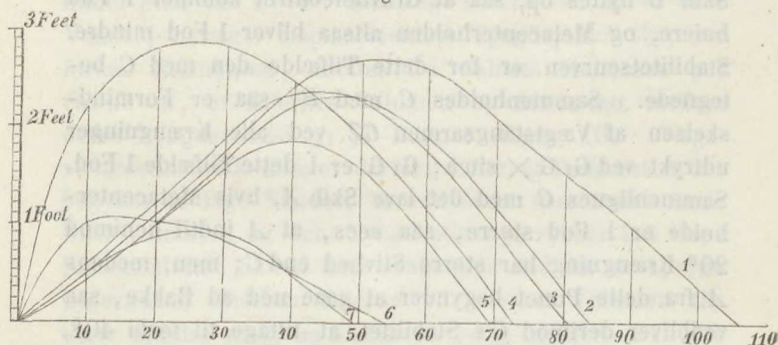
lig større Modstandskraft end *A* imod en saadan Katastrophe som Kæntring.

For at oplyse Indflydelsen af Gravitetcentrets Beliggenhed, antages det, at Vægtene i det høisidede Skib *B* flyttes op, saa at Gravitetcentret kommer 1 Fod høiere, og Metacenterhøiden altsaa bliver 1 Fod mindre. Stabilitetscurven er for dette Tilfælde den med *C* betegnede. Sammenholdes *C* med *B*, saa er Formindskelsen af Vægtstangsarmen *GZ* ved alle Krængninger udtrykt ved $G_1 G \times \sin a$; $G_1 G$ er i dette Tilfælde 1 Fod. Sammenlignes *C* med det lave Skib *A*, hvis Metacenterhøide er 1 Fod større, saa sees, at *A* indtil henimod 20° Krængning har større Stivhed end *C*; men, medens *A* fra dette Punct begynder at gaae ned ad Bakke, saa vedbliver derimod *C*'s Stabilitet at tiltage til forbi 40° , og den forsvinder først ved c. 75° . Betragtes Arealerne af de 2 Curver, saa bliver det klart, at der skal anvendes en betydelig større Kraft for at bringe *C* til sin forsvindende Stabilitet end for at bringe *A* til sin.

Curven *D* tilhører et Skib, hvis øvrige Dimensioner ere lig *A*'s, men hvis Brede er 7 Fod større. Denne Forøgelse af Bredden har et høiere Metacenter tilfølgende, hvorfor Metacenterhøiden bliver 5'. *D* har derfor betydelig initial Stivhed, hvilket viser sig ved, at Curven reiser steilt fra Nulpunctet; men paa Grund af det lave Dæk kommer dette allerede ved 13° Krængning i Vandet. Maximum Stabiliteten er ved omtrent 20° , og Stabiliteten forsvinder allerede ved 45° á 50° . At *D* er *A* overlegent i Stabilitet, er en Selvfølge; men med *B* kan det ikke maale sig, end ikke med *C*, og en Sammenligning af disse Curver aabner Øiet for, hvor meget større Indflydelse et høiere Dæk har paa Stabiliteten end en Forøgelse af Bredden, saavel hvad dens Moment som dens Udstrækning angaaer.

I Figur 13 skal endnu fremstilles Stabilitetscurver for forskjellige Skibe af den engelske og nordamerikanske Flaade med Opgivelse af deres Hoveddimensioner.

Fig. 13.



Navn	Art af Skib	Længde	Største Brede		Middel Dyb- gaaende		Oversie Dæks Hvide o. Vandet midtskips		Metacenter- Høide	Displacement
			Feet.	Ft. inch.	Ft. inch.	Ft. inch.	Ft. inch.			
1. Inconstant.	Hurtig, upands- ret Fregat	337	50	3½	23	10½	15	3½	2.80	5782
2. Invincible.	Pandserfregat (Iron Duke Cl.)	280	54	0	22	6	16	0	3.01	6060
3. Achilles.	Pandserfregat (ældre Type)	380	58	3½	26	5	15	0	3.09	9484
4. Miantonomoh.	Amerik. Monit.	250	52	10	14	0	3	0	14.0	3842
5. Monarch.	Taarnskib med Reisninger	330	57	6	24	1½	14	0	2.37	8215
6. Captain (sunket).	Do. do. do.	320	53	3	25	0½	6	6	2.60	7790
7. Glatton	Taarnskib uden Reisninger m. Brystværn	245	54	0	18	9	3	0	6.83	4912

Ved de store Vinkler af forsvindende Stabilitet, f. Ex. 105° for Inconstant, er naturligt forudsat, at alle Vægte ville blive paa deres Pladser, hvilket i Praxis, ved saa store Krængninger eller Overhalinger, vel næppe vil finde

Sted. Den mærkelige Curve for Glatton skyldes Brystværnet og fremkommer ved, at dettes læ Side ved en vis Krængning kommer under Vand. »Monarch« og »Captain« byggedes omtrent samtidigt; de vare meget nær ligestore Totaarnskibe med fuld Fregat-Reisning. Hovedforskjellen imellem dem var Høiden af deres Dæk. »Monarch« fører sit 14' over Vandlinien; »Captains« var derimod kun $6\frac{1}{2}$ o. V. L. »Captain« havde paa Grund af større Metacenterhøide lidt større initial Stivhed end »Monarch« (indtil omtr. 16° Krængning); men dens maximum faldt allerede ved 21° og forsvindende Stabilitet ved $54\frac{1}{2}^{\circ}$, medens »Monarchs« maximum falder ved 40° og dens forsvindende ved $69\frac{1}{2}^{\circ}$. »Captains« Dæk begyndte at tage Vandet ved omtrent 14° Krængning. Naar »Captain«, under Seil, rullede f. Ex. 10° til hver Side i Søen, havde den altsaa kun 11° Krængning for Seilene i Reserve for at komme til maximum Stabiliteten. Rammes den af et Vindstød i det ubeligste Øieblik, nemlig ved Enden af en luv Overhaling, saa ville Vind og Sø i Forening udrette et vist Arbeide i samme Retning, og det vil indsees, at en Krængning af 21° og derover let vil kunne naaes, saameget mere som et pludseligt Vindstød momentant fører Skibet til en omtrent dobbelt saa stor Krængning, som den samme Kraft vilde føre det, hvis den kom successivt. Nu er det ingenlunde givet, at et Skib skal kæntré, fordi det naaer maximum Stabiliteten; det kan meget godt reise sig igjen, selv om det er forbi dette Punct, naar den Kraft, der har kastet det over, bringes til at ophøre eller aftage; men, skeer dette ikke, eller tiltager Kraften, saa bliver Kæntring temmelig sikker og finder sandsynlig Sted paa luv Skraaning af Søen med Masterne heldende mod Toppen. »Captain«, der var i Flaade med endeel andre Skibe (hvoriblandt »Monarch«) kæntréde, som bekjendt, i en Stormbyge Vest for Kysten af Portugal, hvor Flaaden holdt under Seil. Det er oplyst, at Fore-Mær-

seil, der var torebet, ikke vilde komme ned, og man kunde ikke hurtigt nok faae Skjoderne kappede. Havde Skibet været under Damp, var det ikke kærtret; men som Seilskib havde det paa Grund af den lave Side ikke tilstrækkelig Stabilitet. Efter den Tid bygges der i England ikke flere lowfreeboard Skibe med Reisninger. Saadanne Skibe uden Reisninger skulle have forsvindende Stabilitet ikke under 50° , hvilket ansees tilstrækkeligt for Sikkerhed under Rullingsbevægelser i Søen, og ved at give dem større Udstrækning af Stabilitet frygter man for at gjøre dem for hurtige i Bevægelserne. For højsidede Skibe med Reisninger er det i England bestemt, at den forsvindende Stabilitet skal falde ikke under 70 à 80° .

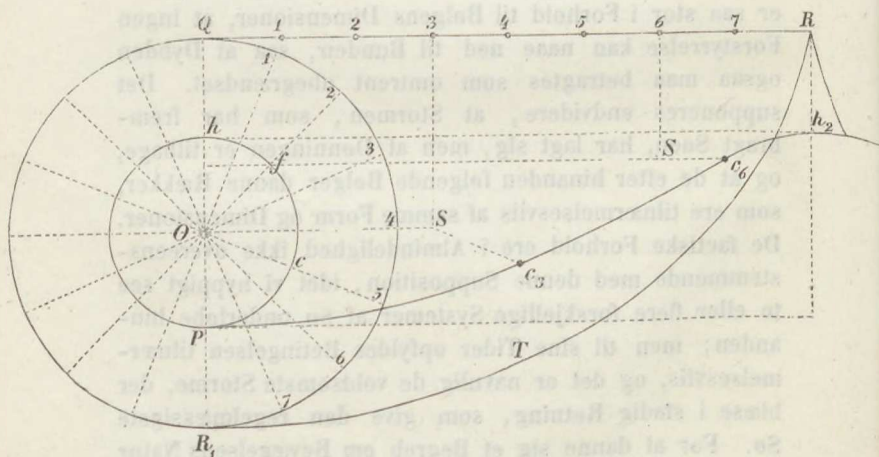
II.

Der har i Tidernes Løb været gjort forskjellige Forsøg paa at opstille en mathematisk Theori om Bølgebevægelse for deraf at uddrage Lovene for Skibes Bevægelser i Søgang. De tidligere opstillede Theorier have ikke tilfredsstillet; det er først i den senere Tid, at den saakaldte »Trochoidale« Lov er foreslaaet, og den er nu almindelig antaget som den, der bedst løser Problemet. Det er dens Hovedtræk, som her skulle fremsættes. Theorien gaaer strengt talt ud fra, at Oceanet er af ubegrændset Udstrækning, og at Dybden er saa stor i Forhold til Bølgens Dimensioner, at ingen Forstyrrelse kan naae ned til Bunden, saa at Dybden ogsaa maa betragtes som omtrent ubegrændset. Det supponeres endvidere, at Stormen, som har frembragt Søen, har lagt sig, men at Dønningen er tilbage, og at de efter hinanden følgende Bølger danne Rækker, som ere tilnærmelsesviis af samme Form og Dimensioner. De factiske Forhold ere i Almindelighed ikke overensstemmende med denne Supposition, idet vi hyppigt see to eller flere forskjellige Systemer af Sø underløbe hinanden; men til sine Tider opfyldes Betingelsen tilnærmelsesviis, og det er navnlig de voldsomste Storme, der blæse i stadig Retning, som give den regelmæssigste Sø. For at danne sig et Begreb om Bevægelsens Natur

og Principer, er det ogsaa nødvendigt at begynde med at antage en saadan Regelmæssighed. Ved at betragte Søen i Oceanet falder det strax i Øinene, at den synes at bevæge sig frem paa Overfladen med stor Hastighed, og vi skulle senere faae at see, at denne Hastighed er proportional med Søens Udstrækning i Længden fra Top til Top. En Bølge af 250 Fods Længde har en Hastighed af 21 Knob, og en Bølge af 500 Fods Længde en Hastighed af 30 Knob. Det er imidlertid af Vigtighed at lægge Mærke til, at det ved al Bølgebevægelse kun er Formen, der avancerer frem i Rummet, men derimod ikke Vandpartiklerne. Naar man, liggende tilankers i høi Sø, kaster et Stykke Træ overbord, bliver det ikke revet bort af Bølgerne, saaledes som det i Strøm vilde finde Sted; men det bevæger sig kun frem og tilbage indenfor visse Grændser.

Figur 14 viser, hvorledes Bølgeprofilen fremkommer efter den trochoidale Theori. QR er en lige Linie, under hvilken den større Cirkel, hvis Radius er OQ , ruller. Længden af Linien QR er lig Halvcirkelns Peripheri, saa

Fig. 14.



at, naar Cirklen har gjort den halve Omdreining, er Punctet R_1 ankommen til R , og, dersom saavel Linien som Halvcirklen ere inddeelte i ligestore Dele, saa ville, efterhaanden som Cirklen ruller, Puncterne 1, 2, 3 osv. paa dens Peripheri successive komme i Contact med de tilsvarende numererede Puncter paa Linien. Punctet R_1 paa Enden af Diametren QR beskriver derved en Curve $R_1 TR$, som er en Cykloid. Selve Cirklen benævnes Søens rullende Cirkel (rolling circle), og dens Radius hedder paa Engelsk rolling radius. Suppioneer dernæst et Punct P , beliggende paa den rullende Cirkels Radius indenfor Cirkelns Periferi, og naar Cirklen ruller, vil dette Punkt tracere en Curve $Pc_3 h_2$, hvilken Curve er en Trochoid og er Profilen af en halv Bølge. Punctet P kaldes det beskrivende Punct (tracing point), Radien OP er Søens beskrivende Cirkels Radie (tracing radius eller tracing arm). Cirklen, hvortil OP er Radius, kaldes Søens beskrivende Cirkel (tracing circle). Afstanden mellem to efter hinanden følgende Bølgetoppe kaldes Søens Længde; den er lig den rullende Cirkels Peripheri. Den verticale Afstand mellem et horizontalt Plan tangerende Toppen og et andet tangerende Dalen kaldes Søens Høide; den er lig den beskrivende Cirkels Diameter eller 2 Gange dennes Radie*). Rolling Radiens Længde er den yderste Grændse for tracing Radien; denne sidste kan opnaae alle Værdier der indenfor, men kan ikke blive større, da Søen i saa Fald vil brække. I det Efterfølgende vil r altid betyde tracing Radie; R rolling Radie; h Søens Høide og L dens Længde. Grænsen for Søens Høide i Forhold til Længden (naar $r = R$) er altsaa $1/\pi$ eller $1/22$, fordi h , der er lig $2r$, i saa Tilfælde ogsaa bliver lig $2R$, og L er altid lig $2\pi R$. Factisk opnaaer Søen imidlertid

*) De engelske Benævnelser "rolling" Radie og "tracing" Radie ville hovedsagelig blive brugte, da de ere kortere end de danske "rullende Cirkels Radie" og "beskrivende Cirkels Radie".

langt fra denne Høide, idetmindste ikke i det aabne Hav. En Sø, hvor Forholdet $L : h$ var som $\pi : 1$, og hvis Profil altsaa var en Cycloid, vilde være paa Grændsen at brække. Søens Periode er den Tid (sædvanligt angivet i Secunder), som Toppen eller Dalen bruger til at gennemløbe Søens Længde. Naar man tænker sig et fastliggende Punct som et tilankers liggende Skib, er Perioden altsaa den Tid, der medgaaer mellem to paa hinanden følgende Bølgetoppes Passage af det samme Punct paa Skibet. Søens Hastighed (i Fod pr. Secund) er Qvotienten af Længden, divideret med Perioden; den vil bekvemlest bestemmes ved at observere Bølgetoppens Hastighed fremad i Rummet.

Naar rolling og tracing Radierne kjendes, kan Trochoiden construeres. Man deler den rullende Cirkel og den rette Linie i et ligestort Antal Dele (see Fig. 14). Bestem f. Ex. Punctet paa Trochoiden, naar Punct 3 paa Halveirkelperipherien kommer i Contact med Linien QR . Cirkelns Center maa i dette Øieblik være vertical under Punctet 3 i Punctet S , og den Vinkel, Cirklen og tracing Radien have dreiet sig, er givet ved Vinklen $QO3$, der er lig med POc i Cirkelns oprindelige Position. Træk gennem S en Linie parallel med Oc , og sæt Afstanden Oc ud derpaa. Punctet C_3 ligger da i Trochoiden. Det Samme kan gøres paa en anden Maade. Skal f. Ex. det Punct i Trochoiden bestemmes, som svarer til, at Punct 6 paa Halvperipherien kommer i Contact med Linien, kan en Linie trækkes igjennem $f \neq QR$, som skærer den lodrette Linie fra 6 i Punctet S . Gjør $Sc_6 =$ Afstanden fra f til QR_1 . c_6 er da det søgte Punct. Normalen paa Bølgeoverfladen gaaer altid gennem det Punct, hvor den rullende Cirkel tangerer QR . Saaledes gaaer Normalen i c_3 igjennem Punct 3 paa QR ; Normalen i c_6 gennem Punkt 6 paa QR .

Naar man accepterer Betingelsen, at Profilen af en Oceanbølge er en Trochoid, faaer Bevægelsen af Vand-

partiklerne Interesse, og Bølgeformens store Hastighed frem i Rummet forklares derved. Theorien lærer, at Partiklerne beskrive circulaire Kredse, der ligge i et verticalt Plan, som er perpendiculairt paa Bølgekammen, og at de fuldende et Kredsløb Cirklen rundt, netop i den Tid, Bølgen bruger til at gennemløbe sin egen Længde, altsaa i et Tidsrum lig Søens Periode. I Figur 15 betyde Puncterne P, P, P o. s. v. Partikler paa Overfladen. De viste Cirkler ere de Kredse, hvori Overfladepartiklerne bevæge sig, som Bølgeformen skrider frem. Radiierne OP ere lig Søens tracing Radie eller Bølgens halve Høide. Bølgen tænkes at avancere fra højre til venstre.

Pilens Retning angive Retningen af Partiklerne for ethvert af Puncterne P . I Bølgens Dal bevæge Partiklerne sig horizontalt, den modsatte Vei, som Bølgen avancerer. Paa Forskraaning overgaaer Bevægelsen til en Retning mere og mere opefter, indtil et Punct, hvor den er verticalt opefter. Derfra tager Bevægelsen en Retning mere og mere skjøn fremefter og opefter, indtil den i Bølgens Top atter er horizontal, men samme Vei, som Bølgen avancerer. Paa Bagskraaning er Bevægelsen nedefter; i den

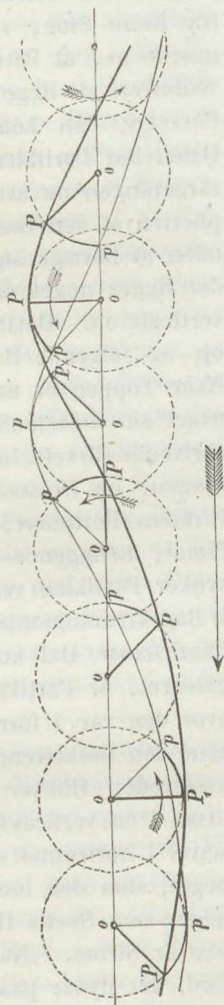


Fig. 15.

øverste Deel tillige skjøns fremefter, indtil et Punct, hvor den er verticalt nedefter, og derfra i den nederste Deel tillige skjøns i modsat Retning af Bølgens Avancement. Lad os betragte Bevægelsen af Partiklen P_1 i Bølgedalen, efterhaanden som Bølgeformen, kommende fra høire Side, skrider henover dette Punct. Vi bemærke os, at Partiklen P_1 , beliggende paa Overfladen, vedbliver at ligge paa Overfladen under hele Bølgens Passage; den kommer aldrig ned under Overfladen. I Dalen har Partiklen P_1 sin laveste Stilling. Som Forskraaningen nu avancerer, løftes P_1 op, følgende Peripherien af den beskrivende Cirkel; saa at den altsaa foruden at bevæge sig op, ogsaa gaaer tilbage. I et Punct, der ligger noget nærmere Toppen end Dalen, løftes P_1 verticalt op. Derfra skrider Partiklen frem, stadig løftet op og følgende Bagsiden af tracing Cirkelns Peripheri. Naar Toppen er naaet derhen, hvor Dalen var, har P_1 naaet sin høieste Stilling og har gennemløbet den beskrivende Cirkels halve Peripheri. Nu kommer Bagskraaningen, og P_1 sees da at synke ned langs Forsiden af Cirkelns Peripheri, først i en Retning fremefter. I et Punct, beliggende noget nærmere Toppen end Dalen, synker Partiklen verticalt ned, og i den underste Deel af Bagskraaningen gaaer P_1 tilbage igjen, stadig synkende. Naar næste Dal kommer, altsaa naar hele Bølgen er passeret, er Partiklen paa det samme Sted i Rummet, hvor den var i forrige Dal, og den har gennemløbet hele den beskrivende Cirkels Peripheri, medens Bølgen passerede. Enhver Partikel paa Overfladen bevæger sig altsaa i en vertical Cirkel og forandrer Plads i Rummet, saavel i horizontal som i vertical Retning, accurat saameget, som den beskrivende Cirkels Diameter, eller saameget som Søens Høide. Alt naturligt forudsat, at der ikke er Strøm. Naar vi kaste et Stykke Brænde overbord, der flyder paa Overfladen, ville vi see det vandre frem og tilbage, til hver Side af en Middelposition.

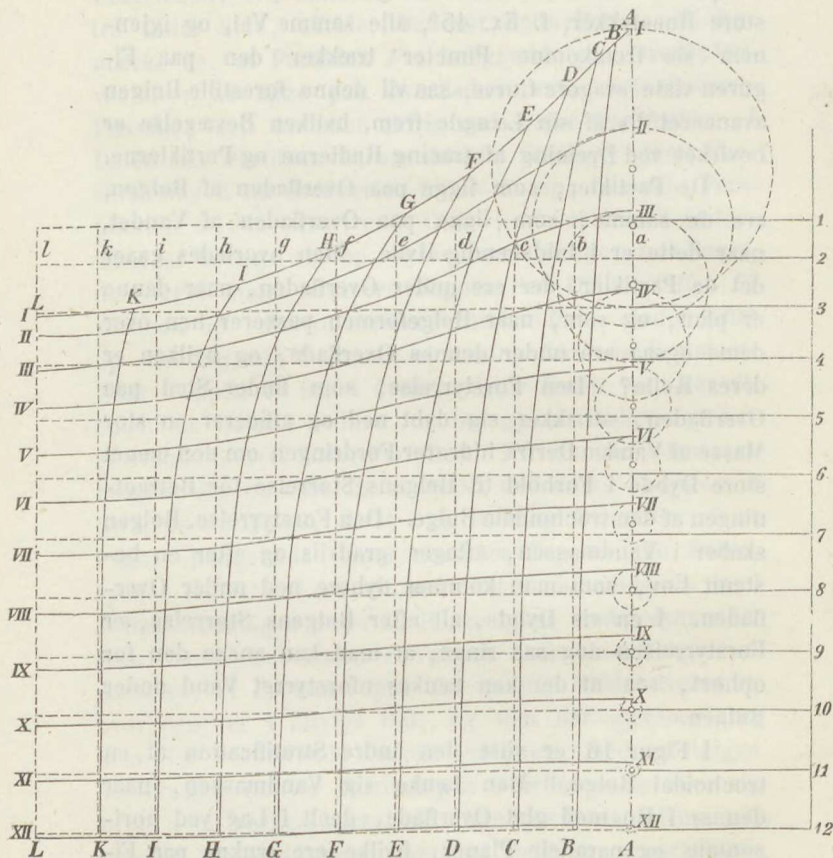
Naar en Baad ligger ved Falderebet af et i Sø tilankersliggende Skib, kører den frem og tilbage, samtidigt med at den løftes op og synker ned. Naar man fra alle de Puncter, hvor den stærkere trukne Bølgeprofil skærer Peripherierne af de viste tracing Cirkler, udsætter lige store Buestykker, f. Ex. 45° , alle samme Vei, og igjennem de fremkomne Puncter trækker den paa Figuren viste svagere Curve, saa vil denne forestille Bølgen avanceret $\frac{1}{8}$ af sin Længde frem, hvilken Bevægelse er bevirket ved Dreining af tracing Radierne og Partiklerne.

De Partikler, som ligge paa Overfladen af Bølgen, ere de samme, som ligge paa Overfladen af Vandet, naar dette er i fuldstændig Hvile. Men hvorledes gaar det de Partikler, der ere under Overfladen, naar denne er plan, og som, naar Bølgeformen passerer hen over dem, ogsaa ere under dennes Overflade, og hvilken er deres Rolle? Den Forstyrrelse, som finder Sted paa Overfladen, strækker sig dybt ned og afficerer en stor Masse af Vand. Derfra hidrører Fordringen om den meget store Dybde i Forhold til Bølgens Størrelse for Betragtningen af den trochoidale Bølge. Den Forstyrrelse, Bølgen skaber i Vandmassen, aftager gradviis og efter en bestemt Lov, som man kommer dybere ned under Overfladen. I en vis Dybde, alt efter Bølgens Størrelse, er Forstyrrelsen dog saa ringe, at man kan ansee den for ophørt, saa at der kan tænkes uforstyrret Vand under Bølgen.

I Figur 16 er viist den indre Stratification af en trochoidal Bølge. Man tænke sig Vandmassen, naar den er i Ro med glat Overflade, deelt i Lag ved horizontale og parallelle Planer, hvilke ere trukne paa Figurens høire Side og pucterede paa dens venstre og ere betegnede med Tallene 1, 2, 3 o. s. v. Alle disse horizontale Lag kaldes Lag af lige Tryk. Naar Bølgebevægelsen nu begynder, overgaae disse Linier heelt ned i Dybet til at blive Trochoider, og ere de paa Figurens

venstre Side viste, i horizontal Retning, gaaende Curver
mærkede med Romer Tallene *I, II, III* o. s. v. De

Fig. 16.



imellem 2 Trochoider indesluttede Vandlag vedblive at
være Lag af ligestort Tryk. Naar en plan Flaade af
smaa Dimensioner svømmer paa Bølgen, enten paa
Overfladen eller under denne, vil den bestandigt følge

det trochoidale Lag af lige Tryk, hvori den hviler. Man tænke sig dernæst den rolige Vandmasse ved verticale Planer, paa Figuren puncterede og mærkede *a, b, c, d* o. s. v. deelt i verticale Lag, saa ville disse verticale Planer, naar Bølgebevægelsen kommer i Gang, overgaae til at blive Curver, benævnedes *A, B, C, D* o. s. v. hvilke altid helde ind imod Bølgetoppen. Naar man kaster en Kjep ud i Vandet saaledes ballastet, at den i stille Vand vilde staae lodret, saa vil den i Bølgebevægelse altid helde ind imod den nærmeste Bølgetop. Naar Toppen passerer den, staaer den lodret; derefter holder den til modsat Side fra før o: imod den vigende Bølgetop. I Dalen staaer den atter lodret. Den følger Bølgens verticale Lag. Den anden ikke fremstillede Halvdeel af Bølgen, som ligger paa høire Side af det lodrette Plan *AA* igjennem Toppen, maa naturligt tænkes symmetrisk med den fremstillede venstre Halvdeel. De retvinklede parallelepipediske Vandmasser i det stille Vand overgaae, naar Bølgebevægelsen kommer i Gang, til disse mellem de horizontale og verticale Curver, indesluttende skjæve Legemer, hvilke i kubisk Indhold ere lig de forrige, og de forskjellige Lag blande sig ikke mellem hverandre. De Partikler, der ligge i Vandlaget mellem to horizontale Planer f. Ex. mellem *6* og *7*, hvilket er et Lag af lige Tryk, komme, naar Bølgen passerer, til at ligge mellem Trochoiderne *VI* og *VII* og ere der ligeledes et Lag af lige Tryk. De Partikler, der ligge i det skjæve Legeme mellem Trochoiderne *I* og *II* og de verticale Curver *B* og *C* ere de samme, som, naar Vandet er stille, indesluttet af Planerne *1—2* og *b—c*. Enhver af disse curvede Fiirkanter vedligeholder altsaa et bestemt Areal og forandrer kun Form, naar Bølgen passerer. Figuren mellem *I—II* og *A—B* har samme Areal som den mellem *I—II* og *K—L*. Ved og under Toppen ere de høie og smalle, medens de i Dalen ere tyndere i vertical Retning og bredere i horizontal. Hvor-

4*

ledes Lagene kunne blive af lige Tryk, saaledes at Trykket igjennem $I-II$ ved L kan blive det samme som Trykket igjennem $I-II$ ved A , uagtet Vandhøiden paa sidstnævnte Sted er meget større end paa førstnævnte, skal senere blive forklaret. Det vil af Figuren sees, at Overfladerne eller Lagene af lige Tryk blive fladere, efterhaanden som de ere længere nede α : deres beskrivende Cirkler og disses Radier, tracing Radierne, som maale den halve Høide fra Top til Dal, aftage hurtigt, som Dybden tiltager. Disse Cirkler ere for samtlige Lag viste paa Figuren. Alle Lagene (subsurfaces) have deres Top og Dal verticalt under Overflade-Trochoidens Top og Dal. Deraf sees, at samtlige Lag have fælleds rullende Cirkel α : deres Længde fra Top til Top er den samme og lig med Overflade-Trochoidens, hvoraf følger, at Perioden, der er en Function af Længden, ligeledes er den samme for alle Lagene heelt ned igjennem Bølgen. Alle Vandpartikler, der ligge lodret under Dalen have samme Bevægelse, nemlig i horizontal Retning modsat Vei, som Bølgen avancerer. Partiklerne ville samtidigt overgaae til en Bevægelse verticalt op-efter, naar et Punct omtrent midtveis paa Forskraaningens naaer dem, og samtidigt bliver deres Bevægelse atter horizontal, men samme Vei, som Bølgen avancerer, naar det verticale Plan igjennem Toppen naaer dem. Hele Forskjellen, hvad Partiklernes Bevægelse angaaer, bestaaer altsaa i dens Omfang, da de dybere liggende kredse i smaa Cirkler, medens de øvre kredse i større Cirkler, og som Følge deraf ogsaa i dens Hastighed (Rotationshastigheden), da de nedre Partikler ikke maae blive færdige med deres Rotation i den mindre Cirkel, før de øvre have fuldendt deres i den større Cirkel. Bevægelsen foregaaer igjennem hele Bølgen i Perioden. Tiden er altsaa eens.

Rotationshastighederne maae i ethvert Lag forholde sig til Bølgens fremadskridende Hastighed som $r:R$. Dersom R

blev $\angle r$, fik man en saakaldet »looped curve« hvor Vandet vilde mangle Understøttelse, og Bølgen maatte brække. Da R altid $> r$, maa Bølgens fremadskridende Hastighed altid være større end Partiklernes Rotationshastighed.

Den i Figur 16 tegnede øverste Trochoide har meget større Steilhed, end en Oceanbølge nogensinde vil naae. Trochoiden VI svarer i saa Henseende nærmest til en almindelig Stormbølges Overflade i det aabne Hav. Selve Cyloiden er udeladt paa Figuren. Det er indres, at denne fremstaaer, naar $r = R$, i hvilket Tilfælde vi vilde faae $\frac{h}{L} = \frac{1}{\pi} = \frac{7}{22}$.

Der existerer ingen Lov for Høiden som Function af Længden, undtagen at det ovennævnte Forhold giver den yderste Grændse for en Bølges Høide, men dette Forhold naaes dog aldrig i det aabne Hav, ikke engang tilnærmelsesviis. Den allerlængste Bølges Høide kan have alle Værdier, fra den næppe synlige til den største, Erfaringen kjender. Derimod er der en bestemt Lov for tracing Radiernes Aftagen, eftersom man kommer dybere ned under Overfladen. Disse Radier aftage i en geometrisk Progression, imedens Dybden tiltager i en aritmetisk. Tracing Radiens Størrelse kan nøiagtigt beregnes for enhver Dybde, naar Søens Længde og Høide kjendes; men følgende er en approximativ Regel, der er meget nær correct:

Dybde i Fraction af Bølgens Længde } 0. $\frac{1}{9}$. $\frac{2}{9}$. $\frac{3}{9}$. $\frac{4}{9}$ etc.
under Middelniveau af Overflade.

Tracing Diametre og Rotations- }
hastigheder i Dele af Overflade Bøl- }
gens tracing Diameter og Rotations- } 1. $\frac{1}{2}$. $\frac{1}{4}$. $\frac{1}{8}$. $\frac{1}{16}$ etc.
hastighed.

Antag en Oceanbølge af 600 Fods Længde og 40 Fods Høide imellem Top og Dal. I 66 à 67 Fods Dybde er dens Høide 20 Fod; i en Dybde af 200 Fod ($\frac{3}{9}$ af Længden) er Høiden 5 Fod. I en Dybde lig Bølgens

egen Længde, altsaa 100 Favne, er Høiden $\frac{1}{512}$ af Overfladens eller $\frac{9}{10}$ Tomme. $1\frac{1}{2}$ Bølgelængde nede er Høiden omtr. $\frac{1}{27}$ Tomme. Da Bølgens Høide er et Udtryk for Forstyrrelsens Omfang, sees altsaa heraf, hvor dybt under Overfladen Forstyrrelsen naaer. Det skal bemærkes, at Centrerne til de forskellige Lags beskrivende Cirkler ligge over Niveauet af det tilsvarende horizontale Lag for stille Vand, og de ligge i enhver Dybde saameget over dette Niveau som $\frac{r^2}{2R}$

(r taget, efter ovenanførte approximative Regel, svarende til Dybden). Dette involverer en Reisning af Lagenes Gravitetscentre over den Plads, de indtage i stille Vand. Toppene hæve sig høiere op over Stillevandsniveauet, end Dalene synke under det; den Høide, Gravitetscentret i ethvert Lag hæver sig, er proportional med Rotationshastigheden af Partiklerne, hvilken Hastighed beroer paa Forholdet mellem r og R . Denne Reisning af Gravitetscentret i Vandmassen, et vist Stykke over dets Stillevandsplads multipliceret med Bølgens Vægt, er et Udtryk for det af Bølgen udrettede mechaniske Arbeide og kaldes Bølgens potentiale Energi (potential energy). Paa denne beroer Bølgens Forplantelse i Rummet. En Tangent til Trochoiden i Bølgedalen bliver horizontal, og det Samme er Tilfældet paa Toppen, og disse 2 Tangenter blive altsaa parallele. Bølgeskraaningens Inclination er paa disse to Steder Nul, og Normalen paa Tangentplanerne bliver altsaa den verticale Linie. Naar man udgaaende fra Dalen opefter og fra Toppen ned efter trækker Tangenter til Curven i Puncter meget nærved hinanden, saa kunne disse Tangenter parviis blive parallele; men man kan ingensteds i 2 Puncter nær ved hinanden trække parallele Tangenter, førend de mødes i et Punct, der ligger nærmere ved Toppen end ved Dalen, og hvilket kaldes Inflexionspunctet (point of inflexion), og i hvilket ingen Tangent kan

trækkes. Heraf følger, at consecutive Tangentplaner altid gjøre en forskjellig Vinkel med Horizonten, og, da denne Vinkel maaler Bølgeskraaningens Inclination med det horizontale Plan, saa sees det, at denne Inclination tiltager fra Dalen og fra Toppen til Inflexionspunctet, hvor den er maximum. Normalen paa Tangentplanet i ethvert Punct gjør en Vinkel med Verticalen, som er lig Bølgeskraaningens Inclination paa dette Sted. I Inflexionspunctet kan ingen Tangent trækkes; men man kan bestemme Normalen i dette Punct imellem to Normaler, een paa hver Side deraf, meget nær ved hinanden. Normalen paa Bølgen falder altsaa paa Toppen og i Dalen sammen med Verticalen. Den har sin største Inclination med Verticalen i Inflexionspunctet, tiltagende Inclination fra Dalen til dette Punct og aftagende fra dette Punct til Toppen. Retningen af Bølge-Normalen er saaledes bestandige og regelmæssig gjen-tagende Forandringer underkastet. Normalens Bevægelser kunne sammenlignes med et Pendels, der oscillerer gennem en Vinkel lig Bølgeskraaningsvinklen i Inflexionspunctet til hver Side af Verticalen, og i en Tid mellem to Udslag lig Bølgens halve Periode.

Denne Bølge-Normalens stadige og regelmæssige Svingning peger hen paa en bestandig Vexlen i Retningen og Størrelsen af det flydende Tryk, naar Søen er i Bevægelse. Enhver Vandpartikel i Bølgen er underkastet Virkning af en centrifugal Kraft og af Tyngden, og det er Resultanten af disse to Kræfter, som bestemmer Retningen og Størrelsen af det momentane Tryk paa Partiklen. *BED* forestiller den beskrivende Cirkel for en Bølges Overflade-Trochoid. *A* er dens Center; *B* er en Partikel paa Overfladen. Den centrifugale Kraft, virkende paa Partiklen *B*, udtrykkes da ved $AB = r$, der angiver saavel dens Størrelse, som er constant, som dens momentane Retning, der uophørlig vexler. Naar $AB = r$ repræsenterer den centrifugale Kraft, saa er

Perpendiculairen P_1Q_1 , og denne er da et Stykke af Bølgens Bagskraaning i Inflexionspunctet. Det bedes bemærket, at B_1C i Figuren er $< BC$, hvilket udtrykker, at ikke alene Retningen, men ogsaa Størrelsen af det flydende Tryk varierer paa de forskjellige Stadier af Bølgen mellem Dal og Dal. Dette Tryk udøves altid i ethvert Punct i Retning af den momentane Normal paa Overfladen, og det er altsaa som denne underkastet en regelmæssig Oscillation, der foregaaer i Søens Periode. Dette er meget vigtigt at lægge Mærke til, da hele Theorien og Principerne for et Skibs Bevægelser i Søgang beroe herpaa. At Resultant-Trykket altid virker perpendiculært paa Overfladen af Bølgen, er ogsaa experimentalt beviist af den bekjendte Mr. Froude. Et Lod blev ophængt i en Ramme, der flød paa Søen. Viseren, der stod i Forbindelse med Loddet, stod under Rammens Oscillationer altid perpendiculær paa den vexlende Overflade. Man har efterviist det Samme ved et Boblevaterpas fastgjort ovenpaa en liden Flaade. Inflexionspuncterne, i hvilke Bølgen har sin maximum Inclination, kunne altid findes af Figuren (17), naar man kjender r og R . De ville være beliggende i de Puncter, hvor de to Tangenter fra C berøre Cirkelens Peripheri. Deres Beliggenhed sees altsaa at variere med Forholdet mellem r og R , altsaa med Forholdet mellem Søens Høide og Længde. De ligge altid nærmere ved Toppen end ved Dalen. I det ene Tilfælde, som i det aabne Hav aldrig forekommer, at $r = R$, er der kun eet Inflexionspunct, som ligger i selve Toppen, og Inclinationen er 90° . Jo større Søens Længde er i Forhold til Høiden, jo nærmere komme Puncterne til Midten af Skraaningerne. I almindelige Oceanbølger, hvor Længden er 15 à 20 Gange Høiden, begaaes ikke nogen stor Feil ved at antage Inflexionspuncterne beliggende midt imellem Toppen og Dalen. Søens maximum Skraaningsvinkel, som er en vigtig Størrelse, findes af Formlen $\sin \Theta =$

$$\frac{r}{R} = \frac{\pi h}{L} \quad (\Theta \text{ er Vinklen, } h \text{ Høiden, } L \text{ Længden}). \quad \text{Maximum}$$

Inclinationen for Stormbølger i Atlanterhavet varierer gjerne mellem 7 og 10°. Er Søens Periode f. Ex. 10^{sec}, vil det normale Tryk paa Bølgeoverfladen altsaa i Løbet af 5^{sec} variere i Retning fra 7 à 10° paa den ene Side af Verticalen til ligesaameget paa den anden Side af Samme. Der er fornylig sagt, at det flydende Tryk ogsaa er Variation underkastet, hvad dets Størrelse angaaer, hvilket ved Betragtning af Figuren strax falder i Øinene, da Resultanterne af de to Composanter, den centrifugale Kraft og Tyngden, aldrig ere ligestore paa samme Side af Toppen. Trykket er i den nedre Deel af Bølgen, fra Dalen til omtr. midt paa Skraaningen, større end Tyngden, fordi denne Kraft og den centrifugale virke sammen. I Dalen er Trykket maximum. I den øvre Deel af Bølgen virke de to Kræfter mod hinanden, og Trykket bliver mindre end Tyngden; det er minimum i Toppen. Disse Variationer i Trykkets Størrelse involvere ligefrem en Foranderlighed i Vandpartiklernes Vægt; idet denne er større i Dalen end ved Toppen. Det er tidligere sagt, (see Texten ved Figur 16), at det mellem to Trochoider indeslattede horizontale Vandlag var et Lag af lige Tryk, saa at Trykket i Laget f. Ex. mellem Trochoiderne I og II var ligesaa stort i Dalen ved L som i Toppen ved A , uagtet Lagets Tykkelse er meget større ved sidstnævnte Sted end ved førstnævnte. Grunden til, at dette kan finde Sted, er netop denne Forskjel i Vandpartiklernes Vægt paa de 2 Steder. En vis Vandmasse i L veier momentant saameget mere end det samme Volumen Vand i A , som Lagets Tykkelse ved A er større end dets Tykkelse ved L . Men vi føres videre endnu: Det er ikke alene Vandmassen, hvis Vægt saaledes varierer fra det ene Øieblik til det andet; men ogsaa de Ting, der flyde i Vandet, afficerer paa samme Maade. Et Skib, der ligger i be-

vægtet Sø, er underkastet de samme Variationer i Vægt efter det Sted, det indtager i Søens Phaser. Skibet kommer imidlertid ikke paa høiere eller lavere Vandlinie, fordi Vandet, hvori det flyder, forandrer sin Vægt samtidigt og i samme Forhold. Skibets apparente Vægt, naar det er i Bølge-dalen, skal forholde sig til dets apparente Vægt, naar det er paa Toppen, som $\frac{R+r}{R-r}$.

Der er gjort experimentale Forsøg for at constatere denne apparente Vægtforskjel ombord i Skibe ved at hænge Vægte op i en Fjeder, der viste større Udstrækning i Bølgedalen end paa Toppen, og Capitain Mottez af den franske Marine beretter, at i Bølger af 26 Fods Høide stode de apparente Vægte i Forhold til hinanden som $\frac{12}{8}$. Han opgiver ikke Søens Længde; men, naar

vi have $\frac{R+r}{R-r} = \frac{12}{8}$, bliver $R = 5r = 5 \cdot 13 = 65$ Fod og

$L = 2\pi R = 408$ Fod. Factum er, at Skibets Vægt i høi Sø momentant aftager og tiltager 12 à 25 %, af dets Vægt i stille Vand, eftersom Søen er længere eller kortere. Heraf følger samme Variationer i Skibets Stabilitetsmoment, i hvilket Deplacementets Vægt er en Factor. Man kan ikke udveie Kjød eller Flæsk ombord i et Skib, der arbejder i høi Sø, med et af disse Veieapparater, der medgives fra Magasinet, som beroe paa Spændstighed af en Fjeder, da denne vil være altfor urolig. Derimod kunne de gammeldags Vægtskaale benyttes, da Lodderne i den ene Skaal afficerer samtidigt med den Fetalie, som er i den anden Skaal.

Det er interessant at lægge Mærke til, at Forslag ere fremkomne, navnlig fra en Mr. Deverell, om at benytte denne varierende Vægt af Skibet paa Søens forskellige Phaser som en bevægende Kraft-til at drive Skibet frem. Hans Idee vil findes i Transactions of Naval Architects for 1874. Ligeledes har en Mr. Tower

i samme Selskab Aaret derefter holdt et Foredrag over dette Project og oplyst, at han har eksperimenteret med en Baad af 16 Fods Længde, i hvilken en 7 Pd.s Vægt var ophængt i en Staalffjeder. Ved en Mechanik blev Staalffjedrens Udstrækning og Sammentrækning, der var en Følge af Loddets varierende Vægt, naar Baaden hoppede i Søen, forplantet til en Skrue i Baadens Agterende. Baaden blev sat ud i Søen ved Torbay. Den bekjendte Mr. Froude var tilstede ved Experimentet som Vidne. Baaden gik virkelig frem imod Vinden, men meget ujævnt. Naar 4 à 5 eensartede Søer fulgte efter hinanden, arbejdede Mechanismen med stor Kraft, givende Skruen omtr. 150 Omdreininger i Minutet; men til andre Tider stoppede den næsten ganske. Skruens Middelhastighed var 40 Omdreininger pr. Minut, hvorved Baaden kom frem gennemsnitlig 30 feet pr. Minut, hvilket svarer til en Fart af 0.3. Maximum Farten var 1.2 Knob. Hr. Tower udtalte sig meget sangvinsk med Hensyn til dette Projects Fremtid, og troede, at store Seilskibe vilde kunne installere Apparater af denne Art, der i 18 Fod høi Sø kunde udykle 600 Hestes Kraft og drive Skibet frem imod Søen med indtil 8 Miles Fart. Hvorvidt Projectet faaer en saadan praktisk Betydning, maae vi lade staae hen; men Experimentet med Baaden er i sig selv interessant, eftersom det factisk godtgjør et Phænomen, som maa ledsage den antagne trochoidale Lov for Bølgebevægelse.

Af Trochoidens geometriske Egenskaber kan det bevises, at Hypothesen, om at Oceanets Bølgeprofiler ere Trochoider, tilfredsstiller Betingelserne for den flydende Bevægelse. Som en mathematisk Theori er den fuldkommen; men Søvand er ikke noget fuldkomment Fluidum, som Theorien forudsætter. Dets Moleculer besidde Viscositet og udvikle en Modstand, naar de skulle forandre Stilling og Leie; men der er al Grund til at antage, at Theorien approximerer meget nær til

de factiske Phænomener, som det dybe Havs Bølger frembyde, meget nærmere end nødvendigt, for derpaa at bygge en Theori om Skibenes Bevægelser i Sø. Det er imidlertid anseet meget ønskeligt, at udstrakte og nøiagtige Observationer gjøres af de virkelige Bølgers Dimensioner og Hastigheder, for at controlere Theorien og afgjøre, hvormeget den nærmer sig Sandheden. Endnu har man ikke tilstrækkelig stort Materiale af paalidelige Observationer over Sø; men det engelske Admiralitet, hvem Sagen for Skibsconstructionsvidenskabens Fremme ligger paa Hjertet, har beordret, at saadanne omhyggelige Observationer skulle foretages i alle den Kongelige Flaades Skibe, samtidigt med lagttagelser over Skibenes tværskibs og langskibs Bevægelser. De derom indsendte Rapporter, de saakaldte »rolling returns«, ere affattede i en bestemt Form og efter et Schema, der er approberet af Admiralitetet paa Forslag af Mr. Froude, hvis Forslag om Fremgangsmaaden ved Observationerne ligeledes er fulgt. I den franske Marine er, saavidt bekjendt, det Samme Tilfældet. Sagen har iøvrigt alt tidligere interesseret Forskjellige, og Officererne, Admiral Coupvent Desbois, Capitain Mottez og Lieutenant Paris ere iblandt dem, der af egen Drift have foretaget et stort Antal mere eller mindre gode Observationer.

Man skal her fremsætte, at det, der paa Sagens nuværende Begyndelsesstandpunct har mest Interesse, er Observationer af regelmæssige Bølge-Serier eller Tilnærmelser dertil, da det er saadan Sø, som i Almindelighed vil give et Skib de sværeste Bevægelser paa Grund af de regelmæssigt gjentagende Impulser i samme Retning. En Form af Bølgebevægelse, som man ofte træffer, de saakaldte »superposed waves« hvor forskjellige Systemer af Sø samtidigt sætte Vandet i Agitation, er meget vanskeligere at observere, men jeg skal dog af egen Erfaring udtale, at et af Systemerne meget ofte findes saa dominerende i Forhold til de andre, at dette

ene kan spores og observeres med temmelig Nøiagtighed. Det er nemlig charakteristisk for Bølgebevægelse, at forskjellige Systemer kunne gaae hen over det samme Terrain uden at blandes, idet hvert System bevarer Længden og Perioden af sine individuelle Bølger. Naar saaledes det ene System ved Toppen løfter Vandet a Tommer, og et andet, som løber over eller under det første, løfter Vandet b Tommer, saa vil Vandet, naar begge Systemers Toppe momentant falde sammen, blive løftet $a + b$ Tommer. Dette slaaer accurat til, naar Bølgerne ere smaa; naar de blive store, slaaer det approximativt til. Antag et simpelt Tilfælde. Lad det ene System af Sø have 400 Fods Længde, 20 Fods Høide, 9^{sec} Periode og en Hastighed af 45 Fod pr. Secund, og lad et andet System, der bevæger sig samme Vej, have Længde 200 Fod, Høide 12 Fod, Periode 6 $\frac{1}{2}$ ^{sec} og Hastighed 32 Fod pr. Secund. Naar Toppene momentant ere over hinanden, faaer den forenede Bølge en Høide af 30 Fod og er naturligt endeel steilere end hvert af de to Systemers enkelte Bølger. Den større Sø vinder 13 Fod pr. Secund paa den mindre. Efter noget mindre end 8^{sec} ligger den mindres Dal over den størres Top, og den fælleds Bølges Høide er da kun 20 Fod. Omtrent 7 $\frac{1}{2}$ ^{sec} senere udfyldes den størres Dal af den mindres Top, og den forenede Høide er da kun omtr. 8 Fod. Hvert 31te Secund faae vi den store combinerede Sø af 30 Fods Høide og stor Steilhed. Midt imellem disse Epocher faae vi en Smulning, idet den lille Bølge udfylder den størres Dal.

Søens Længde og Hastighed staae i et bestemt Forhold til hinanden. For Perioden i Secunder gjælder Formlen $T = \sqrt{\frac{2\pi L}{g}}$ (hvor g er et Le-

gemes Hastighed efter 1 Seconds frit Fald, 32 $\frac{1}{5}$ feet omtr.) hvilket, naar Constanterne $\frac{2\pi}{g}$ udregnes, bliver lig

$V \sqrt{\frac{L}{5.123}} = \frac{4}{9} \sqrt{L}$, forudsat engelske Maal. Approximativt kan T findes (i Secunder) naar L (udtrykt i feet) divideres med $5^{1/8}$ og Qvadratrod uddrages af Qvotienten.

Længden i feet udtrykt ved Perioden er $L = 5.123 T^2$ eller $5^{1/8}$ Gange Periodens Qvadrat.

Søens Hastighed (i feet pr. Second) er lig $\frac{L}{T}$. Udtrykt i Perioden er $V = 5.123 T$. Udtrykt i Længden er $V = \frac{9}{4} \sqrt{L} = \sqrt{5.123 L}$.

Hastigheden i Knob er approximativt $= 3 T$.

Maximum Inclination af Bølgeskraaningene er $\sin \Theta$

$$\frac{r}{R} = \frac{\pi h}{L}.$$

Exp. Antag $L = 415$ feet.

$$T = \sqrt[5^{1/8}]{415} = \sqrt{81} = 9^{\text{sec.}}$$

$$V = \frac{9}{4} \sqrt{415} = \frac{9}{4} \times 20.4 = 46 \text{ feet pr. Second.}$$

$$V (\text{i Knob}) = 3 \times 9 = 27 \text{ Knob.}$$

Antag Søens Høide 24 feet.

$$\sin \Theta = \frac{12}{66} = \frac{\pi \times 24}{415}, \text{ hvorfra } \Theta = 10^{1/2}.$$

Søens Høide indtræder aldeles ikke i nogen Formel som Function af Længden eller Hastigheden. Høiden kan have en hvilkenksomhelst Størrelse fra den næppe synlige til den høieste, Erfaringen giver. Der eksisterer ingen anden Lov for Høiden, end at den ikke kan overskride Forholdet $\frac{h}{L} = \frac{1}{\pi}$. Imidlertid antager man, da dette Forhold langt fra naaes i den steileste Sø i det aabne Hav, at der eksisterer en anden Naturlov, som for hver Bølgelængde giver en maximum Høide, der ikke overskrides. Hvis nogen saadan Lov skulde findes, maa

det skee ad Erfaringens Vei, da Mathematiken ikke formaaer at løse Spørgsmaalet.

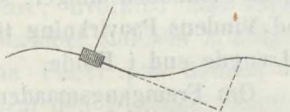
Den længste Oceansø, som er observeret, er maalt af Capitain Mottez af den franske Marine i Nord-Atlanterhavet og var 2720 feet lang fra Top til Top med en Periode af 23^{sec}. I Syd-Atlanterhavet har Sir James Ross maalt Sø, der var 1920 f. lang med Periode 19^{sec},5. I Spanske Sø er maalt Sø af 1320 f. Længde og Periode c. 16^{sec}. Saadan uhyre lang Sø antages at være meget sjelden og kun at kunne opstaae ved langvarige haarde Storme, der vedholdende blæse i samme Retning. I Almindelighed vil Sø af 600—700 Fods Længde og 11 à 12^{sec} Periode kaldes lang Sø. Hr. Scoresby, som er en af de productiveste Observateurer, beretter, at svær atlantisk Stormsø er 5 à 600 Fod lang med Periode fra 10—11^{sec}. De almindelige Stormbølger ville findes at være 2 à 400 Fod lange med Perioder fra 6—9^{sec}. Man maa i disse forskjellige Beretninger ikke uden videre see Modsigelser. Det antages, at Søens Længde tiltager, ikke alene med Kulingens Styrke, men ogsaa med dens Varighed, saaledes, at, for at Søen kan blive, hvad der kaldes fuldvoxen, maa Vinden have virket et vist Tidsrum paa den: en given Vindstyrke bruger en vis bestemt Tid for at udvikle en maximum Bølge, og, naar Bølgen har naaet denne Størrelse, voxer den ikke mere, med mindre Vinden tiltager i Styrke. Paa den anden Side kan det ofte hændes, at Vinden falder af eller flauer hen, forinden Søen har naaet en maximum Længde. Dette forklarer de forskjellige Angivelser af Stormbølgers Længde fra 2 à 400 til 6 à 700 Fod.

Der er oftere, navnlig i tidligere Tider, fremkommet Beretninger om Bølger af 100 Fods Høide og derover. I den senere Tid, da Sagen er greben videnskabeligt an, og da saamange paalidelige Observateurer af den franske og engelske Marine have afgivet Beretninger, er det godtgjort, at alle tidligere Fortællinger om saadanne

Monster Bølger ere meget overdrevne, at den sværeste Sø knap naaar Halvdelen af denne Høide, og at Trediedelen af 100 Fod endog er sjelden. Men det er meget forklarligt, hvorledes disse Forestillinger ere opstaaede. Man kan let lade sig narre til at antage en Sø for betydelig høiere, end den er. Saaledes vil en Observator ombord kunne afficeres,

Fig. 18.

ligesom Skibet, af Bølgebevægelsen, og han kan, naar Skibet ligger paa Bølgeskraaningen, forledes til at troe, at Skibet ligger



med Dækket horizontalt, naar det i Virkeligheden ligger en halv Snees Grader inclineret, og han vil troe, at han skraager i horizontal Retning, naar han i Virkeligheden seer langs Tangenten til Bølgeskraaningen, og han vil i saa Fald kunne skjønne Høiden 2 à 3 Gange for stor. De høieste paalidelige Maalinger af Søens Høide give 44 à 48 feet. Scoresby og Andre have observeret Høider fra 30—40 f; men disse som i det Hele Høider over 30 f. ansees sjeldne. Her tales naturligt kun om Sø henhørende til eet System, men ikke om »superposed waves«, heller ikke om Sø paa opgaaende Grunde. Forholdet mellem Høiden og Længden har megen Interesse, da Bølgeskraaningsens Vinkel med Horizonten afhænger deraf, og denne Vinkels Størrelse har meget at gjøre med Størrelsen af et Skibs Bevægelser. I den steileste Sø, hvorom Beretning foreligger, og som var 350 f. lang, var Forholdet mellem h og L som 1: 8. Dette giver $\angle \Theta$ c. 23° . (Denne Bølge er formodentlig en af Scoresby's). Erfaringen gaaer ud paa, at i saadan Sø, som vil have betydelig Indflydelse paa et Skibs Bevægelser, er Forholdet mellem h og L i Almindelighed ikke mindre end 1: 10, og en Bølgeskraaning af c. 18° skulde altsaa være den største, man har Rimelighed for at møde i det aabne Hav. I

Sø af 5—600 Fods Længde falder Forholdet ned til 1: 20 med en Bølgeskraaning af c. 9° . I de meget lange Søer siges det at være 1: 50. En stor Mængde Observationer af Officerer af den franske Marine give Mediums Forholdet for Stormbølger 1: 25 à 1: 30. hvorved θ bliver $7\frac{1}{2}$ à 6° . Alle Erfaringer gaae ud paa, at den først opstaaede kortere Sø er den steilste, og at Steilheden aftager, som Søen tiltager i Længde o: ved Vindens Paavirkning tiltager Søen forholdsviis mere i Længde end i Høide.

Om Fremgangsmaaden ved Observationer af Søens Dimensioner og Hastighed existerer der i den engelske Marine et Reglement, som er foreslaaet af Mr. Froude. Dersom Skibet er stationært, kan Bølgeperioden observeres af en enkelt Observator, som blot efter Secund-Uhr noterer Momenterne, da de efter hinanden følgende Bølgetoppe passere det Sted paa Skibet, hvor han staaer. For at observere Længden af Søen, naar denne er kortere end Skibet, og dette er stationært med Stævnen vendt til Søen, behøves helst 2 Observateurer, hvilke hver iagttage en af to efter hinanden følgende Bølgetoppe. Længden af Dækket opmaales mellem de Steder, hvor de to Bølgetoppe i samme Nu befandt sig, og denne Afstand er da Længden af Søen. Naar Søen er længere end Skibet, skulde Perioden først observeres og dernæst Hastigheden (i Fod pr. Secund). Man opmaaler en Base langs Dækket, helst saa lang som muligt, og noterer den Tid i Secunder, som en Bølgetop bruger til at gennemløbe denne Base fra dens ene Ende til den anden. Der hører een Observator til hver Ende af Basen, og Observationen gjentages flere Gange. Heraf faaes Hastigheden i Fod pr. Secund V ; naar man ligeledes har observeret Perioden T , er Længden i Fod lig TV .

Dersom Skibet er i Bevægelse og under Damp, er det bekvemmest at vende Stævnen til Søen og gaae saa

langsomt som muligt. Man kan nu ofte holde en Damp-
per i flere Minuter i denne Stilling op imod Søen, med
Maskinen gaaende saa langsomt, at Skibet kun accurat
styrer, men saagodtsom ikke skyder over Stævn *). Det
kan da betragtes som stationairt, og den nysnævnte Me-
thode kan bruges. Er der derimod Fart paa Skibet,
som ikke kan sees bort fra, maa de observerede Stør-
relser corrigeres for denne Fart, hvormed man seiler
Søen imøde. Den Tid, der forløber imellem 2 Bølge-
toppes Passage af det samme Punct paa Skibet, er
mindre end Søens Periode, fordi den Distance, Søen i
dette Tidsrum har gennemløbet, er saameget mindre
end Bølgelængden, som det Stykke, Skibet har seilet
Søen imøde. Naar Skibets Hastighed kjendes, faaes
Søens sande Hastighed ved fra den apparente, som frem-
gaaer af Observationen, at subtrahere Skibets Hastighed.

Antag, at Søen er længere end Skibet, og kald Skibets
Hastighed i Fod pr. Secund V_1
Længden af den paa Dækket afmaalte Base i Fod . B
Søens Hastighed i Fod pr. Secund V
» Længde i Fod L
» Periode i Secunder T
Den Tid en Bølgetop bruger til at gennemløbe
Basen (i Secunder) t
Den Tid, der forløber imellem 2 Bølgetoppes Pas-
sage af det samme Punct paa Skibet i Secunder t_1

Vi have da $V = \frac{B}{t} - V_1$ bestemmes først,

derefter $L = (V + V_1) t_1$.

Naar V og L kjendes, er $T = \frac{L}{V}$.

Hvis man, istedenfor at stævne Søen, løber bort fra
Søen, skal V_1 i Udtrykkene for V og L have modsat Tegn.

*) Forfatterens Bemærkning. Findes, saavidt vides, ikke i Hr.
Froudes Memorandum.

Dersom Skibets Cours ikke gjør en ret Vinkel med Bølgekammen, men devierer en vis Vinkel derfra, gjøres Observationerne paa samme Maade, som om Coursen havde været i Søens Retning. De fremkomne Værdier for Søens Længde og Hastighed ere imidlertid for store og skulle, for at erholde de sande Værdier, multipliceres med *cosinus* af den Vinkel, Skibets Kjøl gjør med Søens Retning.

Længden af Søen kan ogsaa maales med en smækker Line (Logge eller Lodline). En farvet Klud eller anden kjendelig Gjenstand bindes paa Flynderen. Linen fires ud agter og afpasses saaledes, at, naar Skibets Agterende løftes af en Bølgetop, Flynderen da sees paa den nærmeste Bølgetop agtenfor. Linen hales ind og opmaales. (Scott Russell's Methode). Hvis Coursen gjør en Vinkel med Søens Retning, skal det opmaalte Stykke af Linen multipliceres med *cosinus* af denne Vinkel.

Søens Høide er mindre let at bestemme, idetmindste ombord i et Skib med høit Dæk. Men, hvis Søen er saa høj, at dens Top skjuler Horizonten, naar Skibet er i Bølgedalen, saa kan man, ved at gaae høiere op, bringe Bølgekammen til netop at berøre Horizonten, og, naar man da nøiagtigt kjender sit Øies Høide over Skibets Vandlinie, saa er denne Høide nøiagtig lig Søens. Der udfordres, at Skibet skal ligge i Bølgedalen og skal ligge lige i Observationsmomentet. Indtræffer dette ikke, maa Høiden corrigeres for Overhalingsvinklen. Der fordres endvidere, at det Sted, man vælger at gaae tilveirs, ligger saa nær muligt paa Midten af Skibets Længde for at undgaae den Feil, som vilde blive en Følge af, at Skibets Ender løftes op af eller synke ned i Søen.

Er Søen lavere, kan dens Høide maales med et Apparat, der imidlertid er besværligt og tidsspildende at bruge. Apparatet bestaaer af en Ramme af haardt malet Træ, over hvilken er spigret et Stykke Smerting. Under Rammen hænges en Vægt i Hanefod. Over Rammen

er ligeledes en Hanefod, i hvilken Tampen af en Dyblodline fastgjøres. Rammen fires saa langt ned, at den kommer ned i det uforstyrrede Vand under Søen. En Stage af Længde c. 4 Gange Søens Høide fastgjøres med sin Rodende til Lodlinen. Denne Stage, der har Inddelinger i Fod med vexlende Farver, skal staae lodret i Vandet, og dens Top skal være noget høiere over Vandet end Søens Høide. Den er da ved Rammen forankret til det stille Vand under Søen og afficeres ikke af Bølgebevægelsen. Man seer Søen reise og synke paa Stagen, og fra Skibet, som er i Nærheden, aflæses Bølgedalenes og Toppenes Niveauer paa dens Inddelinger. Forskjellen er Bølgens Høide. Perioden kan ligeledes med Nøjagtighed bestemmes. Observationen maa ikke udstrækkes over en Timestid eller to, da Apparatet, ved at være længere Tid i Vandet, bliver vandtrukket og synker. Da Apparatets Benyttelse er noget besværlig og fordrer, at Skibet skal stoppe, er det maaskee ikke meget rimeligt, at det vil blive anvendt af andre Skibe end saadanne, der ere udsendte paa videnskabelige Expeditioner. Apparatet maa helst omtrent saa dybt ned under Overfladen, som Søen er lang, og man maa vogte sig for at bedømme en lang lav Dønnings Længde for ringe. Med en Høide saa ringe, at den netop er synlig for Øiet, kan meget vel forenes en Længde af 6 à 700 Fod og derover. Saadanne Dønninger ere meget interessante og værdige at observeres, da de ofte kunne meddele de største Skibe overraskende store og vedholdende Rulningsbevægelser, hvis Aarsag man tidligere ikke har kunnet forklare sig, men som man nu veed er at søge i Dønningens lange Periode.

Det skal endnu anføres, at man har automatisk virkende Maskiner, som under Skibets Bevægelser tegne Bølgens Profil efter en vis Maalestok paa et Stykke Papir. I England ere de benyttede af Mr. Froude og i Frankrig af Admiral Paris, Marine-Ingenieur Bertin og Andre.

Det er imidlertid ikke selve Overflade-Bølgens Profil, man faaer aftegnet, men derimod den saakaldte effective Bølges Profil (effective wave slope), hvorefter senere.

Theorien har hidtil kun beskæftiget sig med den allerede skabte Sø, men har endnu ikke optaget nogen Lov eller Lære om dens første Fremkomst paa den glatte Overflade. Det er imidlertid sandsynligt, at den øieblikkelige Virkning af et pludseligt localt Tryk af Vinden paa Vandfladen har en Depression tilføje paa det Sted, hvor det rammer, og denne Depression skaber paa engang en Bølge baade til Luvart og i Læ. Dersom Vinden vedbliver, modarbejdes den luv Bølge og dør gradviis hen, medens den læ paavirkes af Vinden. De allerede fremkomne Niveauforandringer byde en directe Modstand mod Vindens Virkning, og dette ubalancerede Tryk vil efterhaanden skabe større Bølger, som optage større Masser i sig, som de drive ned med Vinden. Saalænge dennes Hastighed relativt til Søens er istand til at accelerere dens Bevægelse, saalænge vil Søens Hastighed og dermed dens Dimensioner tiltage. Til Slutning har Søen naaet saadanne Dimensioner, at Vinden netop kan holde den vedlige, og vi have da de fuldvoxne Bølger. Den Regelmæssighed, som Theorien forudsætter og maa forudsætte, er naturligt ikke overensstemmende med de factiske Forhold. Vinden, som skaber og vedligeholder Søens Bevægelse, kommer selv i Bølger og virker igjennem en Række af Impulser snarere end ved et stadigt Tryk. Den følger ikke nøiagtigt den samme Retning, men trækker sig en Streg til den ene eller til den anden Side; den blæser som oftest i Stød og i Byger, hvis Styrke ikke er den samme paa hele Breden af den Strækning, de overspænde; i sit Centrum blæser Bygen med større Kraft end i Kanterne; derved opstaaer en Blanding af større og mindre Bølger

snarere end lange Rækker, der følge efter hinanden med samme Former og Dimensioner. Vindens stødvide Charakter tvinger Bølger over i hinanden, og den saaledes forenede længere Bølge bevæger sig med en større Hastighed end de mindre, hvilket er Resultatet af en mekanisk Sammenblanding og ikke af geometrisk Superposition, som før fremsat. Theorien forudsætter, at Partiklernes horizontale Bevægelse er begrændset af de beskrivende Cirklers Diametre; men Vindens Tryk er større paa Søens Bagskraaning end paa dens Forskraaning, og der er derfor en horizontal Acceleration af Partiklerne, uafhængig af local Strøm, skjøndt den er saa ringe i Forhold til Partiklernes Rotationshastighed, at den er vanskelig at eftervise. Men det er især i den Sø, som er ifærd med at danne sig, at den værste Confusion finder Sted; naar Vinden har naaet sin fulde Styrke, antager Søen en bestemt Charakteer, og det er karakteristisk, at Dønningen, naar Vinden falder af, har Tendents til at gaae over i regelmæssigere Former. Prof. Merryfield siger, at han fra Klipperne paa Irlands og Skotlands Kyst mange Gange efter Storme har seet den svære Atlanterhavs Dønning vælte sig ind i ubrudte Rækker, saa langt Øiet naaede, 5 à 6 engelske Mile til hver Side. I Øst-Passat og Monsun-Regionerne, hvor Vinden med temmelig stadig Retning blæser over Bælter af betydelig Brede, har Søen ogsaa et regelmæssigere Udseende end i Vestpassaten, hvor de voldsomste Storme undertiden have en omdreieende Charakteer.

Søens Aftagen efter Stormens Ophør, hvad vi kalde, at Søen lægger sig, er ledsaget af et Phænomen, som er værd at lægge Mærke til. Af den Energi, som kaldes Forstyrrelsens Energi (energy of disturbance), er den ene Deel, den saakaldte potentiale Energi, det Arbejde, som udrettes ved at løfte Vandmassens Gravitetscenter en vis Høide over den Plads, det indtager i stille Vand. Naar Vinden ophører at virke, er denne Løsten

af Vandmassen en ubalanceret Kraft, og Bølgenes Degradation gaaer da frem efter en Scala, som beroer paa Forholdet imellem Vandpartiklernes Modstand paa Grund af deres Viscositet, og den i Øieblikket tilstedeværende potentiale Energi. Hvert Øieblik abstraherer Modstanden et vist Beløb af Energi fra Bølgen, hvorved dens Masse forringes. Men denne Aftagen gaaer imidlertid kun ud over Høiden, hvorimod Bølgens Længde og altsaa ogsaa Perioden, hvilke indbyrdes bestemme hinanden, forblive næsten ganske uforandrede som i den fuldvoxne Bølge. Erfaringen stemmer her godt med Theorien. Det er factisk godtgjort, at Ocean-Sø, opstaaet af voldsomme Storme, efter at disse have ophørt at rase, vandrer over meget store Strækninger, stadig aftagende i Høide, men med sin oprindelige Længde og Oscillationsperiode, at den kan passere over Bælter, hvor andre Systemer af Sø sætte Vandet i Bevægelse, uden at forstyrres løbe hen over disse Zoner, atter træde ud af dem, fortsætte sin Bevægelse frem i Rummet med uforandret Længde og Hastighed og endnu lade sig bemærke, skjøndt saa lav, at den næppe er synlig for Øiet. Der haves ikke faa Exempler paa, at Skibe ere satte i temmelig stærk Bevægelse af saadanne lange Dønninger, hvis Høide var saa ringe, at den kun netop var synlig. Disse stærke Bevægelser vare en Følge af Dønningens lange Periode, der var særligt incommoderende for Skibene; men Forklaringen heraf hører mere ind under Læren om Skibes Bevægelser i Sø. Det er meget interessant at lægge Mærke til, at der existerer en Analogi imellem Modstandens abstraherende Virkning paa Bølge-Oscillationer og Modstandens Virkning paa Oscillationerne af et Skib. Modstanden i Bølgen abstraherer hvert Moment fra Høiden, men lader Længden og Oscillationsperioden saagodtsom uforandrede. Det er Forholdet imellem den bestandigt aftagende Høide og den uforandrede Længde, der bestemmer Inclinations-

vinklens Størrelse af Bølgeskraaningen og altsaa bestemmer Størrelsen af Normalens Maximumudslag paa begge Sider af Verticalen, hvilke Udslag kunne sammenlignes med et Pendels Bevægelser om sin Ligevægtsstilling, og hvilken Udslagsvinkel stadigt aftager i Størrelse med Bølgens Høide, medens Bevægelsens Periode paa Grund af den uforandrede Længde bliver constant. Modstanden, som indføres i Skibet, der slingrer, yttres sig paa aldeles lignende Maade; den formindsker gradviis for hver Oscillation Udslagsvinklens Størrelse, men afficerer saagodtsom ikke Tidsperioden, hvori Oscillationen foregaaer. Betragtningen heraf hører imidlertid mere ind under Skibets Bevægelser i stille Vand og i Søgang.

Der er sagt, at Søen eller Dønningen kunde vandre hen over store Strækninger, som vare uberørte af den Storm, der paa et tidligere Stadium producerede Søen. Det kunde derfor maaskee være mig tilladt, at yttre et Ord om Bølgernes Evne til at forplante sig. I regulære trochoidale Bølger bevæge Partiklerne sig i verticale Cirkler med en constant Hurtighed, samtidigt med at Vandmassens Gravitetscenter hæves over sin initiale Position til den Middelhøide, som det occuperer under Bølgens Passage. Af den hele Forstyrrelses Energi gaaer Halvdelen til at sætte Partiklerne i Bevægelse, og den anden Halvdeel til at løfte Vandmassen. Den sidste Deel kaldes potential Energi, den første levende Kraft (actual energy). Middelhorizontal Positionen af Partiklerne forbliver uforandret ved Bølgen, og ingen Deel af deres Bevægelses Energi kan forplantes, da Partiklerne blive, hvor de ere, i horizontal Retning. Den eneste Energi, som bliver tilbage at forplante, er Energien, som skyldes Opløftelsen af Partiklerne, og som omfatter den halve Energi af Forstyrrelsen, og denne er den forplantende Kraft. Paa dybt Vand er Hastigheden, hvormed Energien føres frem, den halve Energi af Forstyrrelse multipliceret med Bølgens Hastighed, og som

Følge deraf er Hastigheden af en Gruppe Bølger frem i Rummet lig Halvdelen af de enkelte Bølgers. Naar Bølgerne nemlig skulle ind over det Terrain, som ligger foran dem, skulle de afgive deres Energi for at forplante sig, de ville derfor gradviis aftage i Høide og døe hen, medens nye Bølger hæve sig bag ved de andre. Imedens den apparente Hastighed gennemløber 2 Bøgelængder i Rummet bagved, gaaer Forplantelsen 1 Bøgelængde frem i Rummet foran, og Forplantelsens Hastighed er derfor den halve af de enkelte Bølgers Hastighed. Naar en Steen kastes ud i en Dam, vil den Serie af Ringe, som dannes, gradviis udvide sig og tilsidst omspænde hele Overfladen af Vandet; men, seer man nøie til, bemærkes det, at Bølgerne vandre udefter, med en Hastighed betydeligt større end den, hvormed Forstyrrelsen spreder sig. Den individuelle lille Bølge, vi fæste Øiet paa, har et meget stort Hastværk, men den kan ikke føre Forstyrrelsen frem med samme Hastighed; vi see den paa et vist Stadium døe hen, og en anden Bølge reiser sig bag den, som med samme Hastighed føres et Stykke videre frem, indtil den ogsaa døer hen og giver Plads for en tredie, der kommer frem bag den forrige. Eller vi have vist jævnlige, naar vi ere ombord i en oprørt Sø, bemærket en Bølge, iøinefaldende større end alle dens Naboer; vi kunne følge den med Øiet gennem en kort Distance; dog med eet bliver den borte; men, seer man lidt tilbage, saa gaaer den bagved. Den har ikke kunnet forplante eller føre sin individuelle Størrelse frem med den samme Hastighed, som den selv har, men har maattet aflevere sin Form til sin Nabo bagved. Jeg opfatter Professor Osborne Reynolds Forklaring om Bølgeforplantelsen, hvilken han har ført mathematisk Beviis for, saaledes, at, hvis en vestlig Storm opstod f. Ex. paa den amerikanske Kyst, og Stormen naaer paa den og den Dag Bermudas, og der stiller den af — lad os forudsætte, at den af Stormen reiste Sø har

30 Knobs Hastighed — naar er Dønningen saa ved Canalen, forudsat, at den har Evne at forplante sig dertil? Dersom 30 Knobs Hastighed giver 4 Dage til Canalen, saa vil Dønningen først naae derhen efter 8 Dage. Jeg sagde med Flid, Stormen stiller af; thi, hvis den vedbliver at blæse, saa vil Dønningen eller Søen tidligere naae Canalen. Vinden har nemlig større Hastighed end Søen, den skaber; den vil bestandig være forud for Søens Frønt og skabe nye Bølger i Rummet foran, og den sparer saaledes de efterfølgende Uleiligheden at skulle afgive deres Energi for at forplante sig. Naar Søen bevæger sig henover det dybe Vand, saa foregaaer Partiklernes Bevægelse i Cirkler; men, naar Søen gaaer ind over grundere Vand, saa bliver Bevægelsen elliptisk, idet Excentriciteten vil afhænge af, hvor ringe Dybden bliver. Under disse Omstændigheder forøges den Hastighed, hvormed Energien forplantes, indtil det Punct, naar den elliptiske Bane nærmer sig til en lige Linie, da hele Energien forplantes. Deraf følger, at Forplantelsens Hastighed forøges, som Vandet bliver grundere, indtil denne Hastighed i det Væsentlige bliver lig Bølgens. Bevægelsen ophører at blive trochoidal; men Forskjellen er ikke stor, naar Dybden er større end Søens halve Længde. Naar Søen møder en Modstand, reflecteres den efter den almindelige Lov, at Indfaldsvinklen er lig Udfaldsvinklen, under hvilken den reflecteres ud; dette er Grunden, hvorfor Søen forandrer sin Charakter, naar den fra det dybe Vand avancerer ind paa den opgaaende Landgrund, hvor den møder Modstand, og reflecteres fra Bunden i Retning opefter igjennem Vandmassen til Overfladen. De underste Lag passe ikke mere til de øverste, og Søen bliver kortere og steilere. De fleste af os have oftere erfaret Søens Charakter, naar den løber ind paa de store Banker, som Agulhas eller de opgaaende Grunde udenfor Canalen. Bølgerne bryde ikke heelt over; men vi see dem med skarpere Omrids og skummende Kamme, og man seer Skummet løbe ned ad

Søens Bagskraaning. Søen faaer en større Hastighed og løber høiere, hvilket er en Følge af, at der, ved Overgangen fra dybt til grundt Vand, skal overføres et vist Quantum Bevægelse fra en større Masse til en mindre; Bevægelsens Intensitet pr. Eenhed af Masse maa derfor tiltage, som Vandet grunder, paa samme Tid som Søens indre Structur er brudt ved Reflexen fra Bunden, hvilken forplanter sig igjennem Vandmassen, og forstyrrer Organisationen af Overfladens Bevægelse, og i forstærket Grad, hvis der tillige er Strøm, som næsten altid er Tilfældet, og hvilken ogsaa reflecteres fra den opgaaende Havbund. Disse Aarsaager vise sig paa Bølgens Top, der, ved de forandrede Forhold til Bølgens øvrige Masse og den større Hastighed, hæves høiere og har Tendents til at bryde over.

Det er en for alle Sømænd bekjendt Erfaring, at Søen paa den lav Kant af opgaaende Grund bliver høiere, kortere og steilere, hvorfor den følgelig lettere bryder, og for at nævne et Exempel skal fremhæves, at alle Dampskibsførere, der befare Nordsøen, med Flid skyde Doggersbanken, og især om Vinteren og Efteraaret.

Der skal endnu kun til Slutning bemærkes, at den trochoidale Lov ikke kan gjælde for Farvande som Nordsøen og Østersøen, idetmindste ikke for den Sø, der sætter op med stormende Kuling. Loven forudsætter som en af sine Betingelser en betydelig Dybde i Forhold til Længden af Søen, hvilken Betingelse savnes i disse Farvande, hvor Dybden for det Meste er ringe med meget ujævn Havbund. Den Sø, jeg har havt Leilighed at observere i disse Farvande, var med samme Høide betydeligt steilere end Atlanterhavets, som Følge deraf ogsaa meget kortere. Periodens Forhold til Længden var heelt forskjellig fra Forholdet i det dybe Vand. Med 7 á 8^{de} Periode, hvor Længden af Søen efter Loven skulde være henimod 300 Fod, var den i Østersøen kun omtrent det Halve deraf.

III.

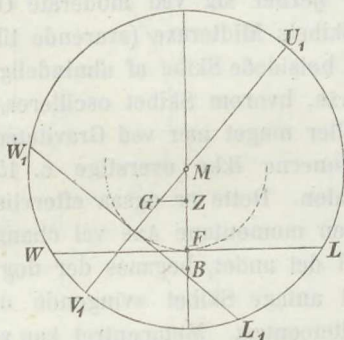
Naar man ved kunstige Midler bringer et Skib til at slingre i Stille vand, saa er det for det Første for at komme til Kundskab om Hurtigheden af dets Bevægelser, idet det antages hævet over enhver Tvivl, at det Tidsforløb, Skibet bruger til at oscillere fra den ene Side af Ligevægtstillingen til den anden, og hvilket Tidsforløb kaldes dets Periode, er af den største Betydning for Charakteren af dets Bevægelser i Søgang. For det Andet er det for at komme til Kundskab om, hvor hurtigt eller langsomt det af sig selv kommer i Hvile igjen, hvilket heroer paa den større eller mindre Modstand, det formaaer at sætte imod Bevægelsen. Størrelsen af denne Modstand er ligeledes et Moment af indgribende Betydning for dets Egenskaber som Søskib. Allerede Bouguer og hans Samtidige Bernouilli havde Øie for Periodens Betydning, og den Første har i sin *traité du navire* forklaret Principet og fremsat den Formel for Perioden af den saakaldte „unresisted rolling“, som bruges endnu den Dag idag. Men man kjendte paa den Tid ikke meget til Lovene for Søens Bevægelser, og disse Videnskabsmænds Forskninger fik ikke saa indgribende praktisk Betydning for Skibsconstructionen.

Det har været en meget almindelig Tro, som ofte er bleven fremført, at et Skib kunde sammenlignes med

et simpelt Pendel, hvis Ophængningspunct var i Metacentret, og hvis Vægt var concentreret i Gravitetcetret; men, medens denne Sammenligning vel holder Stik, naar Pendelet og Skibet ere i Hvile og holdes i en inclineret Stilling, idet Skibets Metacenter da kan betragtes som svarende til Pendelets Ophængningspunct, og Vægten som concentreret i dets Gravitetceter, saa at det statiske Stabilitets Moment altsaa for Begge er det samme og udtrykt ved $W \cdot GM \sin a$ (for Skibets Vedkommende dog kun indenfor Grændserne af den metacentriske Methode), saa brister Sammenligningen derimod, naar Skibet og Pendelet sættes i Bevægelse, ihvorvel der i enkelte Henseender vedbliver at være en Analogi mellem Charakteren af deres Bevægelser. Analogien bestaaer i, at saavel Skibet som Pendelet, naar de i en inclineret Stilling ere i Hvile, og den Kraft, som holder dem i denne Stilling, borttages, ved det ubalancerede statiske Stabilitetsmoment føres tilbage mod Ligevægtstillingen. Hvert Øieblik under denne Bevægelse virker dette Moment og forøger dens Hastighed. Momentet er Nul, i det Øieblk Ligevægtstillingen passerer, og Bevægelsens Hastighed har i dette Punct naaet sit Maximum. Det Arbeide, der er accumuleret, fører til en Udsvingning til den modsatte Side, hvor Stabilitetsmomentet stadig vil tiltage og modarbeide Bevægelsen. Resultatet deraf er en aftagende Hastighed og til Slutning et momentant Ophør af Svinget, naar Udsvingningsvinklen er lig den, hvorfra Bevægelsen begyndte, forudsat, at ingen Modstand er tilstede: under Hypothesen af »unresisted rolling«. Factum er dog, at der udvikles en Modstand, hvilken har tilfølge, at Udsvinget til den anden Side bliver noget mindre end det første, og at denne Modstand gradviis bringer Oscillationen til at ophøre. Dette er Analogien mellem Skibets og Pendelets Bevægelse. Det er derimod en Vildfarelse at antage Skibet bevægende sig om sit Metacenter, naar det oscillerer; Skibet bevæger sig

om sit Gravitetscenter, eller om en Axe, der falder temmelig nær ved dette Punct, og denne momentane Axe er efterviist af Canon Moseley. Sagen forklares simplest af det cylindriske Skib med circulaire Tværsnit. Naar der beskrives en med Snittet concentrisk Cirkel tangerende Vandlinien, vil denne

Fig. 19.



Curve, som benævnes »curve of flotation«, tangere alle andre Vandlinier, hvorledes Cylindren end inclineres. For at bestemme den momentane Axe, er det kun nødvendigt at betragte den eenstidige Bevægelse af Understøttelsespunctet F (centre of flotation) og af Gravitetscentret G . Punctet F har sin øieblikkelige Bevægelse i en horizontal Linie; følgelig dreier det sig om et Punct i Linien FM . De eneste Kræfter, der virke paa Skibet, ere Vægt og Opdrift, hvilke begge virke i vertical Retning; derfor er Gravitetscentrets Bevægelse vertical, og G bevæger sig momentant om et Punct i den horizontale Linie GZ . Punctet Z , som er Skæringspunctet af FM og GZ , er det momentane Center, om hvilket Skibet oscillerer. Z maa naturligt betragtes som et Punct, der forandrer Plads i Skibet, eftersom Udsvingningsvinklen tiltager. I det første Øieblik, naar Udsvinget begynder fra den opreiste Stilling, skeer Bevægelsen om G , der da ligger verticalt under M og falder sammen med Z ; men i det næste Øieblik har Z flyttet sig ud fra Skibets Midteraxe og verticalt opefter, medens G bliver i Midteraxen; og som Svingningsvinklen tiltager, vedbliver Z at forandre Plads paa denne Maade. For en almindelig Skibsform gjælder det

samme Princip; men denne «curve of flotation» er ikke ved Skibsformer en saa regelmæssig Curve, da Understøttelsespunctet F ikke, som i det cylindriske Skib Fig. 19, ligger paa samme Linie som Metacentret og Displacementets Tyngdepunct. I Almindelighed ligger et Skibs Gravitetscenter meget nær ved den Vandlinie, der svarer til dets Ligevægtstilling, og Understøttelsespunctet F fjerner sig ved moderate Oscillationer ikke langt fra Skibets Midteraxe (svarende til Linien $U_1 M V_1$ i Fig. 19). I højsidede Skibe af almindelig Form vil den momentane Axe, hvorm Skibet oscillerer, derfor passere igjennem eller meget nær ved Gravitetscentret, forudsat at Oscillationerne ikke overstige c. 15° til hver Side af Verticalen. Dette er ogsaa efterviist experimentalt, og, uagtet den momentane Axe vel changerer fra det ene Øieblik til det andet, begaaes der dog ikke nogen stor Feil ved at antage Skibet svingende om en Axe igjennem Gravitetscentret. Metacentret kan vel indenfor visse Grændser betragtes som et fast Punct i Skibet, uagtet denne Betragtning strengt talt ikke er correct; men der begaaes ikke nogen stor Feil ved at antage det for fast i Skibet, naar Inclinationerne ikke overstige 12 à 15° . Men videre kan man heller ikke gaae; man kan aldrig betragte Metacentret som et fast Punct i Rummet, hvorm Skibet oscillerer. Ved Betragtning af det cylindriske Skib, hvor Metacentret altid er fast i Skibet, seer man dette Centers Bevægelse i Rummet. Naar Oscillationerne foregaae uafhængig af Modstand, ere de eneste virkende Kræfter Vægten og Opdriften, hvilke Kræfters Retning er vertical, og Gravitetscentret maa derfor bevæge sig i en vertical Linie, naar Skibet ruller. I Fig. 20 forestiller den mørke Cirkel Skibet i sin opreiste Stilling, og den lyse viser Stillingen ved Grændsen af Oscillationen. G var Gravitetscentrets Plads (i Rummet), da Skibet laa opret, og om dette Punct begyndte Svingningen, idet G og Z da faldt sammen; men

Skibet. Der er derimod meent, at dets Pladsforandring er i Rummet, idet Centrets Afstand fra Vandlinien forandres, naar Skibet krænger over. Betragtningen heraf kommer ind under Læren om den dynamiske Stabilitet, idet det udrettede Arbeide, ved at krænge Skibet over, netop udtrykkes ved denne Afstandsforandring, som, multipliceret med Vægten, er Udtrykket for den dynamiske Stabilitet. Naar det, som nys forklaret, er en Vildfarelse at betragte Metacentret som det rullende Skibs Ophængningspunct, saa er det en endnu større Vildfarelse at antage Skibets Vægt concentreret i Gravitetcentret og Metacenterhøiden at repræsentere Længden af det mathematiske Pendel, som vilde svinge i samme Periode som Skibet. Denne urigtige Antagelse beroer paa en Forvexling af statiske og dynamiske Forhold. Saalænge Skibet er i Hvile, kan dets hele Vægt ganske vist tænkes concentreret i Gravitetcentret, uafhængig af, hvorledes de enkelte Vægte ellers ere fordeelte omkring i Skibet; men, naar Skibet er i Bevægelse, maa Sagen betragtes ganske anderledes. For at oplyse dette, sammenlignes 2 Pendeler af eens Vægt, af hvilke det ene, A , er et mathematisk Pendel, hvis hele Vægt er concentreret i Kuglen i dets Ende. Pendelet A er halvt saa langt som Pendelet B , hvilket sidste er et legemligt Pendel, hvis Vægt er eensformigt fordeelt igjennem hele dets Masse.

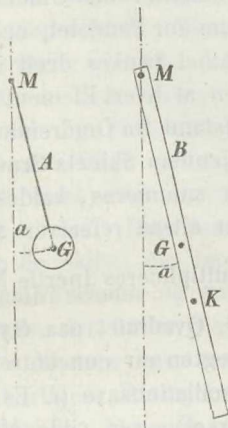
Disse Pendeler ville have deres Gravitetcenter i ligestor Afstand fra Ophængningspuncterne M , og deres statiske Moment, naar de bringes ud af Ligevægtstillingen, vil være det samme, nemlig $W \cdot G M \sin a$. Naar de derimod sættes i svingende Bevægelse, blive deres Oscillationsperiode slet ikke den samme, hvilket vilde være Tilfældet, dersom begge Pendelers Vægt under Bevægelsen var concentreret i Gravitetcentret. Det mathematiske Pendels Vægt vedbliver at være concentreret i Gravitetcentret, fordi dets Vægt er samlet i eet Punct;

men det legemlige Pendel B 's Vægt vil under Bevægelsen concentreres i et Punct, der ligger længere fjernet fra Ophængningspunctet, og dette Punct K ligger $\frac{2}{3}$ af hele Pendelets Længde fra M . B 's Svingningsperiode bliver længere end A 's. Grunden hertil er, at Inertie Momenterne under Bevægelsen ere forskellige. Naar Pendelet B svinger om Punct M , skal dets Inertie Moment nemlig beregnes paa den Maade, at Pendelet tænkes deelt i en Mængde smaa Elementer, hvis Masse hver for sig skal multipliceres med Qvadratet paa Elementets Afstand fra M , og alle disse Producter skulle summeres sammen.

Resultatet er Inertie Momentet, der skrives saaledes $\Sigma (wr^2)$, hvor w er et Elements Masse, r dets Afstand fra Ophængningspunctet, medens Σ betyder, at alle de saaledes erholdte Producter ere sammenadderede. Divideres Inertie Momentet dernæst med hele Pendelets Vægt, og multipliceres der med Tyngdekraften*), faaes Qvadratet af Gyration's Radien, hvilken vi kunne kalde k^2 , og, uddrages Roden, saa er k Afstanden fra Ophængningspunctet hen til Punctet K , i hvilket Pendelets Vægt er concentreret under Svingningen. K kaldes Oscillationscentret (centre of oscillation) og dets Afstand fra M er $\frac{2}{3}$ af hele Pendelets Længde.

Naar dynamiske Spørgsmaal betragtes, som involvere forskellige Vægte satte i Bevægelse, er det ikke alene

Fig. 21.



*) Massen er Vægten divideret med Tyngdekraften, hvilken sidste betegnes ved g , et Legemes Hastighed efter 1sec frit Fald, $32\frac{1}{8}$ feet (Engelsk).

nødvendigt at kjende disse Vægtes fælles Gravitetscenter, men deres Fordeling og Beliggenhed i Relation til Omdreiningssaxen maa ogsaa kjendes. For Skibet har Inertie Momentet om Omdreiningssaxen den samme Betydning, som for Pendelet, og det bestemmes paa lignende Maade. Skibet tænkes deelt i en stor Mængde Elementer; Massen af hvert Element multipliceres med Quadraten af dets Afstand fra Omdreiningssaxen, som kan antages at passere igjennem Skibets Gravitetscenter. Naar alle disse Producter summeres, kaldes denne Sum Inertie Momentet, der altsaa refererer sig til en bestemt Omdreiningssaxe.

Multipliceres Inertie Momentet med $\frac{g}{W}$, bliver Resultatet h^2 , Quadraten paa Gyrationens Radien. Dersom hele Vægten var concentreret i Afstanden h fra den langskibs Oscillationsaxe (f. Ex. i en tværskibs verticalt staaende Cirkel), saa vilde Momentet af de bevægende Kræfter og Inertie Momentet ved tværskibs Oscillationer være det samme, som det er, med alle indehavende Vægte og Skrogets Vægt paa deres virkelige Pladser. Det Samme vil ogsaa finde Sted, om hele Vægten af Skibets ene langskibs Halvdeel var concentreret i eet Punct, og Vægten af den anden dermed symmetriske Halvdeel var concentreret i et andet Punct, begge disse Puncter beliggende eet paa hver Side af Axen i Niveau med denne og i tværskibs Afstand h fra den. Størrelsen af Gyrationssaxen h er afhængig af Vægtenes Fordeling; jo længere Vægtene komme bort fra Oscillationsaxen, saavel i horizontal som i vertical Retning, jo større bliver h og altsaa ogsaa Inertie Momentet. h kan naturligt i ligestore eller ligedannede Skibe have forskellige Værdier, eftersom de svære Vægte spredes fra Axen eller samles i dennes Nærhed. $\frac{4}{5}$ à $\frac{5}{6}$ af Skibets halve Brede er vistnok en ikke sjældent forekommende Værdi for h . Inertie Momentet er et Led i Formlen for Skibets Oscillationsperiode og har altsaa Indflydelse paa dennes

Længde. Uden at forandre Gravitetscentrets Beliggenhed kan man saaledes, ved at flytte Vægte paa begge Sider ind imod eller bort fra dette, eller fra oven og neden mod eller fra Gravitetscentret, forandre Inertie Momentets Størrelse og følgelig Oscillationsperioden. Heraf sees, hvorfor man ikke kan sammenligne et Skib, der ruller, med et Pendel, hvis Vægt var concentreret i Gravitetscentret, og hvis Længde var lig Metacenterhøiden, aldenstund to Skibe af samme Vægt og med samme Metacenterhøide kunne faae forskjelligt Inertie Moment og forskjellige Oscillationsperioder. Hvis Sammenligningen holdt Stik, saa skulde de Skibe, der have størst Metacenterhøide, faae de længste Perioder og omvendt; men det er netop det Modsatte, der finder Sted. Skibene af Prince Consort og Gloire Klassen have med 6 à 7 feet Metacenterhøide meget hurtigere Bevægelser end de nyere Skibe Hercules, Monarch, Marengo og Suffren, hvilke kun have 2 à 3 feet Metacenterhøide. Det med Skibet synchrone Pendel (som har samme Svingningstid) er aldeles ikke lig Metacenterhøiden; det findes efter Proportionen $m:k=k:l$, hvor m er Metacenterhøiden, k Gyrationsradien og l Pendlets Længde. Dette Pendels Svingningstid bliver Skibets saakaldte metacentriske Periode α : dets Svingningsperiode for smaa Svingninger.

Naar Skibets Oscillationsperiode skal undersøges, skeer det i fuldt rustet Tilstand med saavidt muligt alle Vægte inde, Lasten læns, alle Vægte saaledes fastgjorte, at Intet kan gaae i Drift. Experimentet maa foretages paa et Sted, hvor der ingen Bevægelse er i Vandet. Stille Veir er heldigst; men, er der Vind, lægges Skibet saaledes, at den blæser for eller agterind. Saa faa Fortøininger som muligt og visende ret for og agterud. Skibet maa ikke lægges med Bredsiden langs en Kai eller langs et andet Skib. Man lader Mandskabet løbe tværs over Dækket fra den ene Side til den

anden, saaledes at de følge Skibet i den derved opstaaede rullende Bevægelse. Oscillationerne maae helst naae en Størrelse af 8 à 10° til hver Side. Naar denne Udslagsvinkel er naaet, lader man Mandskabet paa een gang falde ned midtskibs og blive liggende rolig. Man aflæser Tiden for Maximumudslagene til Styrbord og Bagbord paa et Secunduhr. Perioden er den Tid, udtrykt i Secunder, Skibet bruger til at oscillere f. Ex. fra Styrbord til Bagbord og tilbage til Styrbord. Halvperioden er Tiden fra Styrbord til Bagbord eller omvendt. Da alle Skibe indenfor Grændserne af Oscillationsvinkler af den nævnte Størrelse ere isochrone (vil sige, at store og smaa Svingninger udføres i ligestore Tider), kan man til Periodens skarpere Bestemmelse tage Tiden for 4, 5 eller flere hele Oscillationer og dividere denne Tid med Antallet. Den Periode, man faaer paa denne Maade, er egentlig den metacentriske Periode; men i Flæng hermed bruges ogsaa Benævnelsen naturlig Periode (natural period), uagtet sidstnævnte strengt talt betyder noget Andet, dog meget nær derved liggende. De Momenter, som fornemmelig have Indflydelse paa Periodens Størrelse, ere 1) den statiske Stabilitet og 2) Inertie-Momentet om den langskibs Axe. Den mathematiske Formel for Halvperioden ved »unresisted

rolling» er $T_1 = \pi \sqrt{\frac{k^2}{gm}}$, hvor T_1 er Halvperioden, k er Gyrationradien, g er et Legemes Hastighed efter 1sec frit Fald (32 $\frac{1}{5}$ feet engelsk) og m er Metacenterhøiden. Udregnes Constanterne $\pi \sqrt{\frac{1}{g}}$, kan Formlen

skrives $T_1 = 0.554 \sqrt{\frac{k^2}{m}}$, men hvorved forudsættes engelske Maal. I denne Formel indtræder Modstanden aldeles ikke; men Modstanden har kun meget ringe Ind-

flydelse paa Perioden. Af $\frac{k^2}{m}$ kan sees, at Perioden tiltager med et større Inertie-Moment, og at den tiltager, naar Metacenterhøiden aftager, at Perioden derimod aftager med mindre Inertie Moment og med Forøgelse i Metacenterhøiden. Det er som oftest fordeeltigt, især for store Skibe, at skaffe en stor Periode, hvorved opnaaes langsommere Bevægelser og større Rolighed i Søgang. Naar Constructeuren har sat sig dette som Opgave, har han saaledes kun Størrelserne $\Sigma (wr^2)$ og m at arbeide med. Stort Inertie Moment betyder en Spredelse af Vægtene bort fra Svingningsaxen, saavel i vertical som i horizontal Retning, og dette skulde Constructeuren altsaa sigte efter; men han har ikke meget frie Hænder i saa Henseende, da alle de vigtigste og betydeligste Vægtes Plads ere forudbestemte ved de opgivne Data, som have Hensyn til Skibets særegne Charakter og Bestemmelse, og hvilke hovedsagelig ere af militair Natur, og, hvad selve Bygningsmaterialets Fordeeling i Skibsskroget angaaer, lader han sig formodentlig kun lede af bestemte Regler og Erfaringer for at opnaae den fornødne Styrke. I et Taarnskib skal saaledes en stor Pandser- og Artillerivægt nærmere ind til Axen; i et Casemat- eller Bredsideskib kommer denne Vægt derimod langt ud i Siden. Det opgives endvidere, om Skibet skal være et Lavdæks Skib eller et højsidet Skib med eller uden Reisninger. Reisningerne have en betydelig Indflydelse, og fornemmelig, naar Seilarealet skal være stort. Andre betydelige Vægtes Plads, saasom Maskine, Kjedler, Kulkasser, Krudt og Granatmagasiner, ere bestemte ved militaire Hensyn. Hvad der for Constructeuren endelig bliver tilovers af Vægte at fordele efter eget Skjøn, bliver en saa ringe Procentdeel af det Hele, at deres Placering ingen Betydning faaer for Inertie Momentet. Man maa derfor tage dette Moment, som det

kan falde. Ved Metacenterhøjdens Bestemmelse har Constructeuren derimod som oftest friere Hænder, ikke saa meget paa Grund af Gravitetcentrets som paa Grund af Metacentrets Bestemmelse. Forandringer i m er altsaa det virksomste Middel til at opnaae den attraaede Periode, og Tendentsen har derfor i de sidste 10 à 15 Aar været, ved de store Skibe, at formindske denne Størrelse saameget som muligt. Undertiden er denne Formindskelse af m gaaet ud over tilladelige Grændser, idet man bagefter har maattet tilføie betydelig Ballast, fordi Skibene, i England navnlig Vanguard Klassen, viste sig at have for lidt Stabilitet. I Frankrig ere saadanne Tilfælde ogsaa forekomne. Skibe maae altid have Stabilitet i forsvarlig Grad, især naar de skulle bære Seil; men den strenge og som oftest kun halvt sagkyndige Kritik, der i England, foranlediget ved saadanne Feiltagelser, er bleven ødslet med, forekommer dog knap berettiget, naar det tages i Betragtning, at man, ved Overgang til et heelt nyt System for Skibsconstruction, vistnok ikke kan undgaae at komme ind paa Experimenternes Omraade, forinden den rette Kundskab og Erfaring erhverves. Det gjælder udentvivl for Skibsconstructionen som i mange andre Tilfælde, og deriblandt f. Ex. for meget af, hvad der hører til den praktiske Sømands Fag, at det er ved de Feil, man begaaer, at man lærer mest, naturlig forudsat, at man har den Selvkritik, at være sig Feilene bevidst.

Det skal bemærkes, at den Forøgelse i Perioden, som opnaaes ved en Formindskelse af m , kun bliver som Quadratroden af m 's Reduction, hvorimod den Nedgang i Stabilitet, som resulterer deraf, bliver directe som Reductionen i m .

Exempler paa Perioder af forskellige Skibe med tilsvarende Metacenterhøider og Længde af det med Skibet synchrone Pendel:

	2 T_1 .	m.	l.
	Secunder.	feet.	feet.
Miantonomoh, amerikansk Monitor	5.4	14	25
Prince Consort, engelsk Pandser-			
fregat	10 à 11	6.5	90
Flandre, fransk do.	12	4	120
Devastation, engelsk Taarnskib. . .	13.5	3.5 à 4	150
Magenta, fransk todæks Pandser-			
fregat.	14.6	3 $\frac{1}{4}$	175
Inconstant, engelsk upandsret Fregat	16	2.8	210
Sultan, engelsk Pandserfregat . . .	17.8	2.5	260

Opgivelse af Inertie Momentets Størrelse haves ikke; men det vigtige Princip er oplyst, at en Formindskelse af m fører til en Forøgelse af $2 T_1$ og omvendt. At beregne Inertie Momentet for et Skib er et meget besværligt Arbejde, da Vægten af hver af Skrogets Dele, som og Vægtene af Alt indenbords skulle multipliceres med Qvadratet paa Afstandene fra Oscillationsaxen. For nogle Skibe er det imidlertid blevet gjort, og ved Formlen

$T_1 = \pi \sqrt{\frac{k_2}{gm}}$ har man forudbestemt Skibets Periode med temmelig Nøjagtighed. Saaledes var Devastations Periode forudbestemt til 14sec, medens den virkelige af Experimentet erholdte Periode var 13 $\frac{1}{2}$ sec. Naar man af Experimentet kjender Halvperioden T_1 , kan man igjennem Formlen omvendt komme til Inertie Momentet om den langskibs Axe tilnærmelsesviis, idet $\Sigma (wr^2) = \frac{W \cdot k^2}{g} = Wm \left(\frac{T_1}{\pi} \right)^2$, hvor W er Displacementets Vægt.

Er W udtrykt i tons og m i feet, bliver Resultatet foot tons. Formlen for T_1 er for »unresisted rolling»; men, da Modstanden næsten udelukkende ytrer sig i Retning af at standse Oscillationerne eller formindske deres Størrelse, men derimod kun i meget ringe Grad officerer Tidsperioden, saa forklares det, hvorledes Perioden efter Beregning af $\Sigma (wr^2)$ og efter Formlen for »unresisted

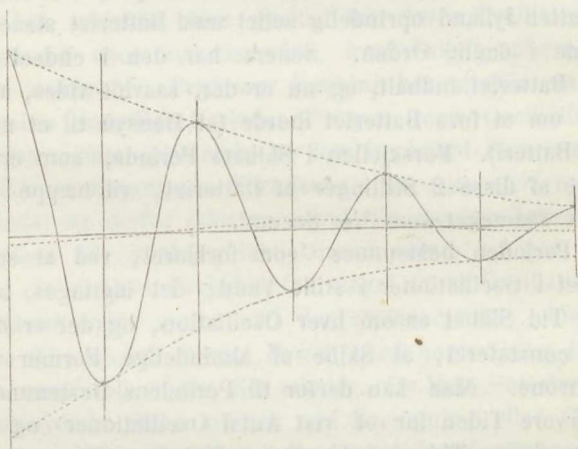
rolling« dog kan stemme temmelig godt med den Værdi af T_1 , der erfares ved Experimenterne, hvor Modstanden jo er tilstede og gjør sig gjældende. Det er ydermere forudsat, at Oscillationerne ere isochrone, hvilket vil sige, at Skibet bruger samme Tid til en lille Svingning som til en stor. Factisk ere høibordede Skibe isochrone indtil 12 à 15^0 paa hver Side af Verticalen. Sultan er bleven slingret til 15^0 paa hver Side og viste sig isochron mellem 15 og 2^0 . Det er Perioden for saadanne Oscillationer, der strengt talt kaldes den metacentriske, hvorimod der med Benævnelsen »naturlig Periode« menes den lidt variable, som gjælder for større Oscillationer, altsaa ud over den Grændse, hvor Skibet ophører at være isochront. Professor Rankine har opstillet en Lov for den naturlige Periodes Tiltagen med Oscillationsvinklen, mest gjældende for low freeboard Skibe; men, da den er bygget paa Forudsætninger, som sjældent ere tilstede, og derfor ikke har synderlig Sandsynlighed for at slaae til, skal jeg ikke komme videre ind paa den. Som oftest bliver Perioden for meget store Oscillationer uidentvivel noget større end den metacentriske; dog er dette ikke nogen absolut Regel. Ved nogle Skibe, f. Ex. Inconstant, bliver den lidt mindre. Da Metacenterhøiden i høibordede Skibe tiltager ved Krængning eller Overhaling, skulde Perioden paa Grund heraf aftage med større Oscillationer. Naar dette ikke altid er Tilfældet, saa maa Grunden søges i andre Aarsager, hvoriblandt Modstanden, som dog kan have nogen ihvorvel kun ringe Indflydelse, og dernæst Forandringer i Inertie Momentet paa Grund af Oscillationsaxens Flytning. Det maa nemlig have for Øie, at det beregnede Inertie Moment, som og det, der udledes af Slingringsexperimentet (altid ved mindre Oscillationer), gjælder kun for een bestemt Axe, og, naar denne ved større Oscillationer skifter Beliggenhed, forandres Inertie Momentets Størrelse, hvilket afficerer Perioden. Inertie Momentet for-

andres ogsaa ved Af- og Tilgang af Vægte, ligesom og ved Flytning af Vægte, hvorved Perioden afficerer. Ligeledes vil Forandringer i Metacenterhøiden have Indflydelse paa Perioden. Inertie Momentet forøges, naar Vægte, saasom Kanoner, flyttes fra Midten ud i Siderne, ligeledes, naar Vægte fjernes i vertical Retning fra Gravitetcentret. Ved Forandringer i Metacenterhøiden kan Perioden undergaae Forandringer, der kunne bemærkes; derimod forandres Perioden ikke i nogen bemærkelig Grad ved de Flytninger af Vægte, man kan gjøre i det alt udrustede Skib. For at nævne et Exempel, har Skruefregatten Jylland oprindelig seilet med Batteriet staaende iborde i daglig Orden. Senere har den i endeel Aar havt Batteriet indhalt, og nu er der, saavidt vides, atter Tale om at føre Batteriet iborde (af Hensyn til et mere tørt Batteri). Forskjellen i Skibets Periode, som er en Følge af disse 2 Stillinger af Batteriet, vil næppe andrage saameget som $\frac{1}{20}$ Secund.

Perioden bestemmes, som forklaret, ved at sætte Skibet i Oscillationer i stille Vand; det iagttages, hvor lang Tid Skibet er om hver Oscillation, og det er derved konstateret, at Skibe af almindelige Former ere isochrone. Man kan derfor til Periodens Bestemmelse observere Tiden for et vist Antal Oscillationer og dividere denne Tid med Antallet. Skibet oscilleres imidlertid ikke alene for at bestemme Perioden, men ogsaa for at komme til Kundskab om Størrelsen af den Modstand, som udvikler sig. Oscillationerne maae til den Ende helst opnaae en Størrelse af mindst 7° à 8° og ikke større end c. 14° . Ved at lade 600 Mand løbe frem og tilbage over Dækket fik man Pandserfregatten Sultan til at rulle $14\frac{1}{2}^{\circ}$ til hver Side, og Devastation kom til at rulle noget over 7° til hver Side, ved at 400 Mand løb 18 Gange over Dækket. Naar Oscillationerne have opnaaet den Størrelse, som man ønsker, eller som man kan opnaae, lader man Skibet af sig selv komme

til Ro. Det, der bringer Skibet tilbage til Hvilestilling, er Vandets Modstand. Af den større eller mindre Hurtighed, hvormed Skibet kommer til Hvile, udledes Modstandens Indflydelse, hvilken er afhængig af Skibets Størrelse, Arealet af Skrogets Overflade under Vandlinien, Skrogets Proportioner, Fiinheden af Linierne og andre Data. Denne Modstands Indflydelse viser sig i en gradviis Formindskelse af Udslagsvinklerne, hvilken kan fremstilles ved en Curve.

Fig. 22.



En Base er deelt i ligestore Dele, hvoraf hver er en Oscillation fra Styrbord til Bagbord eller omvendt, og, da Skibet er isochront, repræsenterer disse Inddelinger ligestore Tider $\propto$ et vist Antal Secunder. Længden af de paa Basen perpendiculære Ordinatorer, trukne igennem Inddelingerne, repræsenterer Oscillationernes Størrelse i Grader; Ordinatorerne over Basen ere Svingene til den ene Side, og Ordinatorerne under Basen Svingene til den anden Side. Forskjellen mellem Længden af 2 efter hinanden følgende Ordinatorer er altsaa Tabet i Størrelse af det ene Sving, og Forskjellen mellem 2 Ordi-

naters Længde, ligegyldigt hvor, er altsaa Tabet i Svingets Størrelse i det tilsvarende Antal Oscillationer. Oscillationerne tabe naturligt i Størrelse for hvert Sving; men dette Tab er ikke ligestort fra Sving til Sving; dets Størrelse aftager bestandigt. Naar et Skib taber en vis Mængde Grader f. Ex. i 20 Sving, saa er Tabet mellem det 1ste og 2det Sving større end Tabet mellem det 9de og 10de, og dette er igjen større end Tabet mellem det 19de og 20de Sving. Den Curve, som fremstiller Tabene i Oscillationernes Størrelse fra Sving til Sving, er eendommelig for hvert Skib og afhængig af den proportionelle Virkning af Inertie-Momentet og Modstanden.

Naar et Skib oscilleres i stille Vand, for at komme til Kundskab om Modstanden, skulle Maximumudslagsvinklerne altsaa observeres, samtidig med at Tiderne noteres efter Secunduhr. Dette kan gøres ved at sigte med en Krængningsmaaler til Horizonten; men paa Grund af let indløbende Observationsfeil, saasom unøjagtig Af-læsning, faaer man ingen smuk og jævn Curve paa denne Maade. Imidlertid er der saavel i England af Mr. Froude som i Frankrig af Hr. Bertin, opfundet automatiske Apparater, som tegne Curven fuldkommen jævnt paa et Stykke Papir, der følger med Skibet i dets Bevægelse. Curven faaer det i Fig. 22 viste Udseende. For at borteliminere Virkningen af en mulig tilstedeværende Overfladeforstyrrelse, trækkes en jævn Curve paa hver Side af Diagrammet, tangerende Toppene af den harmoniske Oscillationscurve. Ordinaterne halveres imellem disse 2 tangerende Curver, og igjennem Halveringspuncterne trækkes en Curve, som er den i Figuren puncterede, der skærer Basen paa flere Steder. Denne er den sande Nullinie og repræsenterer en Oscillation af meget ringe Omfang, som Skibet udfører, uafhængigt af dets forcede Oscillation, og som skyldes en ubetydelig Ondulation af Vandoverfladen eller en mulig Impuls af Vinden. For at gjøre den saaledes

udseende Curve skikket til kritisk Analyse, rectificeres den o: man drager en ret Baselinie, sætter ligestore

Oscillationernes
Størrelse i Grader.

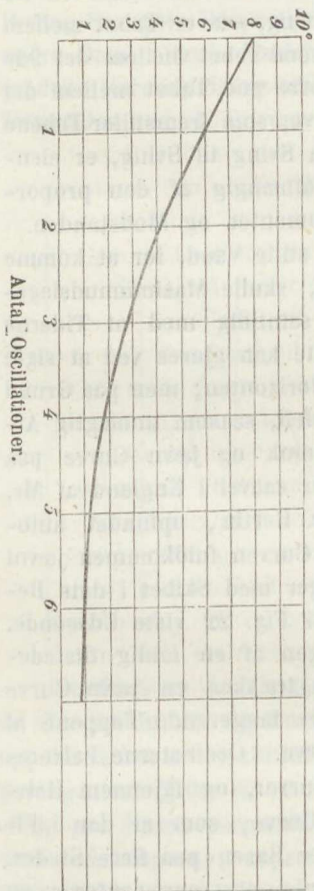


Fig. 23.

Dele ud paa denne, hvilke betyde Antallet af Oscillationer og ligestore Tider. I hver Inddeling opreises Ordinator, paa hvilke Svingene, udtrykte i Grader, opsættes, men saavel bagbords som styrbords til samme Side af Basen. Ved Enden af Diagrammet er en Scala med Gradeinddeling. Man kan nu see hvert Udslags Størrelse og Tabet i Størrelse af Udslagsvinkel for hvert Sving. Inertie Momentet er den Kraft, der stræber at vedligeholde Bevægelsen, naar den er kommen i Gang, og Vandets Modstand er den Kraft, der modarbejder Bevægelsen og gradviis overvinder den, saa at Skibet tidligere eller senere kommer i Hvile. Stabilitetsmomentet virker vevselviis imod og for Bevægelsen; i Svingene udarbejder det i samme

Retning som Modstanden, og i Svingene indvirker det imod Modstanden. Tabet i Udslagsvinklens Størrelse (loss of range) fra den ene Side til den anden, f. Ex.

fra Styrbord til Bagbord α : fra en momentan Hvilestilling gennem en Maximumhastighed til en momentan Hvilestilling, er en Skibet berøvet Energi og repræsenterer det af Modstanden udrettede Arbeide. Størrelsen af dette Arbeide er man istand til at udregne, da Skibets Vægt og Metacenterhøide ere bekendte, og Udslagenes Størrelse saavel som Tabene fra Sving til Sving sees af den Curve, som resulterer af Oscillationsexperimentet. Denne Curve kaldes paa Engelsk »curve of extinction«. Paa Dansk kan man kalde den »Curve for Ruiningers gradvise Ophør«.

Som en almindelig Betragtning gjælder, at det Skib, som har et stort Inertie Moment, er vanskeligere at sætte i Bevægelse; men der vil medgaae længere Tid for at standse dets engang begyndte Bevægelse. Naar et Skibs Oscillationer i stille Vand hurtigt standses paa Grund af stor Modstand, ville dets Bevægelser i Søgang blive mere begrændsede, end naar Tilintetgjørelsen af dets Oscillationer i stille Vand skeer langsommere, paa Grund af mindre Modstand. Modstanden spiller i det Hele en meget stor Rolle i Omfanget af et Skibs Bevægelser i Søgang, og den er saaledes af indgribende Betydning for dets Egenskaber som Sø- og Batailleskib.

Oscillationsexperimenter i stille Vand bleve allerede anbefalede af Bouguer i 1746; men de ere dog ikke komne i Brug før de i senere Aar. I England ere de for det meste udførte under Ledelse af Mr. Froude. I den franske Marine have disse Experimenter i flere Aar været befaalede og ere hovedsagelig udførte af Marine-Ingenieurerne Antoine, E. Bertin, Benazé og Rizbec.

Den flydende Modstand, som udvikles, naar Skibet ruller, og som stræber efter at bringe det til Ro, kan deles i 3 Dele. 1) Frictionsmodstanden (skin resistance), som skyldes Vandpartiklernes Gnidning imod den Deel af Skrogets Overflade, som er under de Vand-

linier, det ruller imellem; 2) Directe Modstand (head resistance, ogsaa kaldet keel resistance eller dead-wood resistance) er den samme Art Modstand, som udøves paa en Planke, der bevæges med Fladen mod Vandet; den udøves mod Skibets lodret staaende Dele, navnlig imod Kjølen, Slingrekjøle og de skarpe Dele i Enderne (Opklodsningen); 3) Overflade Forstyrrelses eller bølgedannende Modstand (wave making resistance), som opstaaer ved, at det rullende Skib uundgaelig skaber successive Deplacementer af forskjellig Form og momentant af forskjellig Størrelse, hvilke paavirke Vandoverfladen som Bølger. Disse uophørligt skabte Bølger vandre bort fra Skibet og bortføre den Energi, de indeholde i sig, hvilken er den samme, som Skibet har afgivet for at danne dem. Men, naar Skibet for hvert Sving berøves endeel af sin Bevægelses Energi af den bortdragende Bølge, saa maa deraf følge en gradviis Aftagen af Svingenes Størrelse, og Bølgedannelsen er altsaa eensbetydende med en Modstand.

Frictionsmodstanden og den directe Modstand kunne approximativt beregnes til en bestemt Svingningshastighed. Man kjender Frictions-Coefficienten for de forskjellige Stoffer, hvoraf et Skibsskrogs Yderhud bestaaer, det være sig Træ, Jern, Kobber, Zink e. a. Skibsbundens Overflade-Areal kan opmaales, Middel-Svingningshastigheden kjendes, naar Perioden, Svingets Størrelse og Middel-Længden af den Vægtstangsarm, hvormed Skibsbunden virker mod Vandmassen, ere bekjendte. Paa samme Maade kjender man af Experimenter Coefficienten for den directe Modstand, naar en Planke bevæges med Fladen mod Vandet. Arealet af Kjøle, Slingrekjøle og Opklodsning (deadwood) kan opmaales. Længden af Vægtstangsarmen for disse Dele kan bedømmes, og følgelig kommer man til deres Svingningshastighed igjennem Vandet. Den Modstand, de udøve mod Bevægelsen, kan da ligesom den Modstand, Frictionen udøver, med nogen-

lunde Nøiagtighed beregnes. Den bølgedannende Modstands Størrelse kan man derimod ikke komme til ved directe Beregning. Den kan kun eftervises ved af »curve of extinction« at beregne den i Svinget udøvede totale Modstand, udtrykt ved den dynamiske Stabilitet, som svarer til Tabet i Svingets Størrelse, hvilket er det Arbeide, Modstanden i det ene Sving har udrettet. Fra denne totale Modstand subtraheres Summen af de ved Beregning erholdte Værdier for Frictions og directe Modstand, og den erholdte Differents antages da heelt og holdent at skyldes bølgedannende Modstand. Hr. Froude giver som Exempel et Skib paa 1100 tons (Greyhound?), der blev oscilleret. Dets Metacenterhøide var 3.2 feet, Periode 8^{sec.}6. Den ved et Sving fra 6° i den ene Side til 5°.65 i den anden Side tabte Energi blev beregnet at andrage 4700 foot lbs., hvilket altsaa var den totale Modstand. Deraf udgjorde, efter en rummelig Calculé, Frictionsmodstanden 120 foot lbs. og den directe Modstand 700 foot lbs. Summen heraf 820 ft. lbs. udgjør kun mellem $\frac{1}{5}$ og $\frac{1}{6}$ af den totale Modstand. Den øvrige Deel 3880 ft. lbs. er da den af en Bølges Dannelse bortførte Energi. Naar der imod Theorien om Bølgedannelsen indvendes, at man ikke kan see nogen Bølge, saa er det ikke vanskeligt at bevise, at saadanne Bølger, paa Grund af deres store Længde, blive saa lave, at de kun vanskeligt ville kunne skjælnes med Øiet. For hvert Sving, Skibet gjør, dannes der en Bølge, som altsaa faaer samme Periode som Skibet. I nærværende Exempel er Bølgens Periode altsaa 8^{sec.}6, hvortil svarer en Længde fra Top til Top af c. 370 feet. Dens Udstrækning langs Kammen er lig Skibets Længde, der var 160 f. Bølgen bortfører og bærer i sig en Energi, der er 3880 ft. lbs., hvoraf Halvdelen er potential og gaaer med til at løfte Vandmassen. Der bestaaer et bestemt Forhold imellem Bølgens Høide og den Høide, Vandmassens Gravitetscenter er løftet, og

med ovennævnte Data kan da beregnes, at den af Skibet dannede Bølges Høide fra Top til Dal kun er c. $1\frac{1}{4}$ Tomme, hvilket i Forbindelse med en saa stor Længde som c. 370 feet forklarer, at Bølgen ikke let bemærkes af Øiet. Heraf sees omvendt, at, naar et stort Skib ruller, er Skabelsen af en saagodtsom usynlig Bølge tilstrækkelig til at forklare det Tab i Bevægelsesenergi, som finder Sted. I efterfølgende Tabel gives den totale Modstand for 4 Skibe, svarende til et vist Stadium af deres Oscillationer, saaledes som udledet af «curve of extinction»:

Svingets Størrelse	Areal af Bund		Frictions- Modstand		Areal af Oplødsning		Directe Modstand deraf		Areal af Kiel og Slingekjole.		Directe Modstand deraf		Sum af Frictions- og directe Modstand		Totale Modstand		Bølgedannende Modstand	
	sq. ft.	ft. lbs.	sq. ft.	ft. lbs.	sq. ft.	ft. lbs.	sq. ft.	ft. lbs.	sq. ft.	ft. lbs.	sq. ft.	ft. lbs.	ft. lbs.	ft. lbs.	ft. lbs.	ft. lbs.	ft. lbs.	ft. lbs.
Sultan . . Fra 6 ^{0.0} Til 5 ^{0.78}	24000	354	2100	3150	420	1886	5390	20066	14676									
Inconstant. Fra 6 ^{0.0} Til 5 ^{0.61}	19500	143	2340	2440	510	1620	4203	21570	17367									
Volage . . Fra 6 ^{0.0} Til 5 ^{0.56}	12300	96	1560	1720	430	1224	3040	14087	11047									
Greyhound. Fra 6 ^{0.0} Til 5 ^{0.65}	"	"	"	"	"	"	820	4700	3880									

Frictions og directe Modstand ere udregnede efter Tegningerne; den bølgedannende Modstand fremkommer ved at subtrahere Summen af disses Værdier fra det totale Tab i dynamisk Stabilitet, som fremgaaer af Curven. Naar hver Art Modstand ansættes i Procentdele af den totale Modstand, faaes for:

	Totale Modstand	Frictions Modstand	Directe Modstand	Bølgedannende Modstand
	ft. lbs.			
Sultan	20066	(354). 1.8 %	(5036). 25.1 %	c. 73 %
Inconstant.	21570	(143). 0.7 %	(4060). 19 %	c. 80 %
Volage	14087	(96). 0.7 %	(2944). 21 %	c. 78 %
Greyhound	4700	(120). 2.5 %	(700). 15.5 %	c. 82 %

Det fremgaaer heraf, hvilken overordentlig Betydning den bølgedannende Modstand har som Led af den totale Modstand, der udvikles, naar et Skib ruller. Omtrent $\frac{4}{5}$ af den totale Modstand skyldes de Bølger, Skibet selv laver. Dette er Grunden, hvorfor man, som før berørt, ikke maa lægge Skibet langs en Kai eller langs et andet i Nærheden liggende Skib, idet de bortvandrende Bølger ville reflecteres fra en saadan Hindring og vende tilbage til det slingrende Skib, hvor de gribe forstyrrende ind og efter Omstændighederne forøge eller formindske den Hastighed, hvormed dets Oscillationer aftage. Hvis saaledes Toppen af den reflecterede Bølge indtræffer ved Skibet i det Moment, dets Master, ved Enden af et Sving, helde imod Kaien, vil det næste Sving blive mindre, end om der ingen Reflection havde været. Det Modsatte finder Sted, naar Bølgetoppen indtræffer ved Skibet, i det Moment, dets Master helde bort fra Kaien. Det sees, at Frictionen kun spiller en meget underordnet Rolle i den Modstand, der udvikles, naar et Skib ruller, idet den kun udgjør nogle ganske faa Procentdele af den totale Modstand. Naar Skibsbunden er snavset, maa den totale Modstand blive lidt forøget, og Frictionsmodstanden vil da udgjøre en noget større Procentdeel deraf.

I Forbigaaende skal bemærkes, at, i Modstanden imod et Skibs Fremdrivning igjennem Vandet, er Forholdet imellem Størrelserne af Frictionsmodstanden og den bølgedannende Modstand et heelt Andet. Ved veltegnede Skibe udgjør Frictionsmodstanden under moderat Fart (hvormed menes omtrent Halvdelen af den Fart, som Skibet, efter sine Proportioner og Linier, er bestemt til at kunne naae) 80 à 90 % af den hele Modstand imod Fremdrivningen, hvorimod den bølgedannende Modstand ved denne Fart kun spiller en meget ringe Rolle. Den directe Modstand (eddy making resistance) er i veltegnede Skibe meget ubetydelig og udgjør kun

8 à 10 % af Frictionsmodstanden. Ved meget stor Fart synker Frictionsmodstandens Andeel ned til 50 à 70 % af den totale Modstand, idet den bølgedannende da kommer til at spille en større Rolle. Denne sidstes Indflydelse tiltager med Skibets Fart, og ethvert Skib har en Hastighedsgrændse, udover hvilken en meget ringe Forøgelse af Farten medfører en uforholdsmæssig stor Forøgelse i Modstanden. Frictionsmodstanden er i Hovedsagen afhængig af Arealet af Skibets Bund under Vandlinien. Skibsbundens Tilstand, om reen eller ureen, spiller en stor Rolle; i sidstnævnte Tilfælde voxer Frictionscoefficienten; den hele Modstand tiltager, og Frictionsmodstanden bliver en større Deel deraf. Den bølgedannende Modstand afhænger af Skibets Proportioner, Fiinheden af dets Linier for og agter og allermest af Længden af Skibets Ender for og agter i Relation til den maximum Fart, man attraaer at opnaae*). For at opnaae en stor Fart, maa Længden af Enderne ikke falde under en vis Grændse. Man er for en stor Deel kommen bort fra den Regel, at Middelspants Arealet er det rette Maal for Modstandens Størrelse. Ved Slæbningsexperimenterne med Greyhound, hvor Modstandens Størrelse stadigt registreredes af et Dynamometer, og hvor man prøvede forskellige Deplacementer, viste det sig, at Modstanden slet ikke stød i Forhold til Middelspants Arealerne. Den kom nærmere til at forholde sig som Deplacementerne. Det er ogsaa godtgjort, at man med et givet Deplacement og en given Længde kan fremstille et Skib med meget bredere Middelspant, der med alle Hastigheder, navnlig de store, forbinder en ikke saa

*) Ved Skibets Ender for og agter (henholdsvis «entrance» og «run») forstaaes den Deel af Skibet fra Stævnene respective agter og forefter, hvor Siderne ikke ere parallelle. I Modsætning hertil er Midterpartiet («middle body») den Deel, hvor Siderne ere parallelle og Tværnittene altsaa lig Middelspantsnittet.

lidt mindre Modstand end et andet Skib med samme Depl. og Længde, men med smallere og mindre Middelspant. Dybgaandet kan blive nærlig det samme for begge Skibe, og Forskjellen imellem dem vil hovedsagelig ligge i Længden af Enderne og Fiinheden af Linierne for og agter, hvilke ere de Data, hvorpaa Bølgedannelsen hovedsagelig beroer. Men Betragtningen heraf hører egentlig ikke hjemme her, og vi ville atter overgaae til at lade Skibet rulle.

Det har været og er endnu et omstridt Spørgsmaal, i hvilken Relation til Svingningshastigheden den flydende Modstand gjør sig gjældende, naar Skibet ruller. Tidligere har det været almindelig antaget, at Modstanden ved smaa Hastigheder forholdt sig som disse ligefrem, ved større Hastigheder som disses Qvadrat, og ved meget store Hastigheder som disse i høiere Potentser. Hr. Froude, der har eksperimenteret overmaade meget baade med virkelige Skibe og med Modeller, er af den Mening, at den hele Modstand, naar Skibet ruller, kan udtrykkes ved en Række Led, hvoraf det første vexler som Hastigheden ligefrem, det andet som dennes Qvadrat, det tredie, som dennes Kubus o. s. v., men at i dette Udtryk kun de 2 første Led have Betydning, medens alle de andre Led, som indeholde Hastigheden i tredie og høiere Potentser, have forsvindende Betydning og kunne bortfalde. I de 2 Led, som blive tilbage, kommer den bølgedannende Modstand ind i det første og Frictionsmodstanden samt den directe Modstand ind i det andet Led. Skibe af almindelig Form ere isochrone indenfor Oscillationer af c. 15° til hver Side af Verticalen ϕ : større og mindre Vinkler indenfor denne Grændse gennemsvinges i ligestore Tider, hvorfor Svingningshastighederne maae forholde sig ligefrem som Oscillationsvinklerne, og Tabet i Energi fra Sving til Sving, som viser sig i Oscillationsvinklens Formindskelse, og som i hvert enkelt Sving er en Følge af og lig med

den flydende Modstand, kan udtrykkes ligefrem ved denne Vinkel. Modstandens Indflydelse i det enkelte Sving maalt ved Tabet i Udslagsvinklens Størrelse (loss of range) kan ifølge Hr. Froude gives Udtrykket $a\theta + b\theta^2$, hvor θ er Udslagsvinklen, og a og b ere Coefficienter, constante for Skibet, hvilke bestemmes af den fra Oscillations-experimentet resulterende Curve. a er Coefficienten svarende til den Deel af Modstanden, som er en Følge af Bølgedannelsen, og b er Coefficienten svarende til den Deel, som er en Følge af Skibsbundens Friction og den directe Virkning af Kjø, Slingrekjole og »deadwood». Saaledes er for Sultan, a funden = 0.0267.

$$b \quad \quad = 0.0016.$$

Naar Sultan slingrer i stille Vand fra en Vinkel f. Ex. 8° , bliver Tabet: $0.0267 \times 8 + 0.0016 \times 64 = 0.32^\circ$, og det næste Udslag bliver $7^\circ.68$.

Coefficienternes Værdi beroer selvfølgelig paa Skibets Inertie Moment og Form under Vandlinien, saasom dets Dybde, Fiinheden af Linierne, Høiden af Kjø og Slingrekjole, Arealet af Bundens Overflade o. s. v.

For den upandsrede Fregat Inconstant er $a = 0.035$.

$$\text{og } b = 0.0051.$$

Naar dette Skib slingrer fra 8° i den ene Side, bliver Udslaget til den anden Side kun $7^\circ.39$.

Inconstant kommer altsaa hurtigere til Ro end Sultan, hvilket kan forklares af dens finere Linier og deraf følgende større Areal af Opklodsning (deadwood) i Forbindelse med mindre Inertie Moment end Sultans.

Det er en Selvfølge, at, naar et Skib slingrer frit i stille Vand, vil Forskjellen imellem Oscillationernes Størrelse fra Sving til Sving efterhaanden aftage: Curven bliver mindre steil, jo mindre Udslagene blive. Jo mindre disse blive, jo mindre bliver nemlig Svingnings-hastigheden, og jo mindre bliver derfor Modstanden, hvorfor følgelig Tabet i Energi eller i dynamisk Stabilitet ogsaa for hvert Sving maa blive mindre.

Det er igjennem Erfaringer og ved at prøve sig frem, at Hr. Froude er kommen til Udtrykket $a\theta + b\theta^2$. Coefficienterne a og b udleder han af den Curve, som fremkommer af Slingringsexperimentet, hvilken Curve han kalder den »experimentale». Han kan nu med de fundne Coefficienter a og b udregne en Curve, som han kalder den »theoretiske». Da denne sidste, for en stor Mængde Skibe, altid har stemmet meget nøiagtigt med den experimentale, saa mener Hr. Froude at have Ret til at antage Formlen $a\theta + b\theta^2$ som den, der paa ethvert Punct i Curven udtrykker Modstanden. De franske Ingenieurer have hidtil ikke villet godkjende dette Udtryk for Modstanden. Uagtet de ikke benegte den bølgedannende Modstands Existens og Betydning, saa have de dog villet hævde, at den totale Modstand, hvilke Kræfter den saa skyldes, er proportional med Hastighedens Qvadrat, hvorfor den kun bør udtrykkes ved eet Led: »loss of range» = $N\theta^2$, hvor N er en Coefficient, constant for det samme Skib. Da den theoretiske Curve, udregnet efter dette Udtryk, imidlertid langt fra stemmer saa godt med den experimentale, saa er der megen Sandsynlighed for, at Hr. Froude har Ret i sin Supposition, eller dog er nærmere ved Sandheden.

Den større eller mindre Modstand, der udvikles, naar Skibet ruller, er af meget stor Betydning for dets Bevægelser i Søgang, og Skibets Egenskaber, baade som Søslib og som Batailleslib, komme derfor til i høi Grad at beroe paa denne Modstand. Man bruger derfor extra Midler for at forøge Modstandens Størrelse, og især ansees dette vigtigt i saadanne Skibe, hvor det ikke har været muligt at skaffe den tilstrækkelig lange Periode, der har viist sig saa gavnlig for Skibenes Rolighed i Søgang. Saaledes er det uidentvivelig vanskeligt at skaffe smaa Skibe en lang Periode, og med store Skibe kan det ogsaa undertiden hælde, at Constructions

Hensyn i Forening med militaire Hensyn for Vægtenes Fordeling have umuliggjort en saa lang Periode som ønskelig. (Dette var t. Ex. Tilfældet med Devastation). Man søger da at bøde derpaa, ved igjennem Anbringelse af meget brede Slingrekjole at forøge Modstanden. Perioden afficeres ikke synderlig derved, som overhovedet Indførelse af Modstand kun har ringe Indflydelse paa Tidsperioden for Oscillationerne; derimod formindsker den forøgede Modstand selve Bevægelsernes Størrelse og derigjennem ogsaa Svingningshastighederne. Slingrekjole antages at forøge saavel den bølgedannende som den directe Modstand; men hvad den første angaaer, kommer det dog uidentvilt til at beroe meget paa Stedet, hvor de anbringes. Hr. Froude har gjort talrige Experimenter med Slingrekjole, saavel med virkelige Skibe som med Modeller. Et af de interessanteste var med en Model af Devastation i $\frac{1}{36}$ af fuld Størrelse. Modellens Gravitetscenter laa overensstemmende med Skibets; ligeledes laa Modellen paa Skibets Udrustningsvandlinie, og dens indehavende Vægte vare saaledes fordeelte, at dens Periode kom i det rigtige Forhold til Skibets. Modellen oscilleredes først uden Slingrekjole og derefter med Slingrekjole af forskellige Breder. Der valgtes 2 Udgangspuncter for Experimenterne, først fra en Krængning af $8\frac{1}{2}^{\circ}$, hvor Kanten af Dækket spillede i Vandet, fra hvilken Krængning Modellen blev sluppet løs, for derfra af sig selv at komme til Ro, og dernæst fra en Krængning af $24\frac{1}{2}^{\circ}$, under hvilken Vinkel Vandet stod ind paa Dækket indtil Over-Kanten af Brystværnet. I efterfølgende Tabel gives Antallet af Oscillationer, indtil disse vare aftagne til 1° .

Saagodt det lod sig observere, optog det første enkelte Sving, fra $24\frac{1}{2}^{\circ}$ som Udgang, ganske lidt over 1^{sec} , eller en Ubetydelighed mere end Middel-Perioden for de efterfølgende enkelte Sving.

	Fra $8\frac{1}{2}^{\circ}$ begyndende Krængn.		Fra $24\frac{1}{2}^{\circ}$ begyndende Krængn.	
	Antal af dobbelte Oscillationer	Periode af dobbelt Oscillation	Antal af dobbelte Oscillationer	Periode af dobbelt Oscillation
		sec.		sec.
Uden Slingrekjole	$31\frac{1}{2}$	1.77	29	1.78
1 Slingrekjøl paa hver Side af 21 inch Brede	$12\frac{1}{2}$	1.90	$8\frac{1}{2}$	1.90
1 Slingrekjøl paa hver Side af 3 feet Brede. .	8	1.90	$6\frac{3}{4}$	1.90
2 Slingrekjole paa hver Side af 3 feet Brede. .	$5\frac{3}{4}$	$\left. \begin{array}{l} 1.95 \\ 1.90 \end{array} \right\}$	$5\frac{1}{2}$	$\left. \begin{array}{l} 2.00 \\ 1.85 \end{array} \right\}$
1 Slingrekjøl paa hver Side af 6 feet Brede. .	4	$\left. \begin{array}{l} 2.00 \\ 1.98 \end{array} \right\}$	$3\frac{1}{2}$	$\left. \begin{array}{l} 2.00 \\ 1.75 \end{array} \right\}$

Tabellen udviser, hvor meget hurtigere Skibet kommer til Ro med Slingrekjole end uden saadanne, og ligeledes, hvor meget hurtigere Oscillationerne standses, som Slingrekjølenes Brede forøges. Det sees dernæst, at Modellen i alle Tilfælde kommer til Ro efter færre Oscillationer fra $24\frac{1}{2}^{\circ}$ som Udgangspunct end fra $8\frac{1}{2}^{\circ}$. Dette maa, flygtig beseet, forekomme som et Paradox, da den førstnævnte Vinkel indeholder den sidste i sig, og altsaa maatte fremtræde med flere istedenfor med færre Oscillationer, forinden Modellen var bragt i Ro; men Phænomenet var aldeles ubestrideligt og er ogsaa iagttaget ved andre Leiligheder. Det kan forklares saavel af den større Bølgedannelse, der fandt Sted som Følge af det første betydelige Sving, ligesom ogsaa af, at Dækket ved $24\frac{1}{2}^{\circ}$ tildeels var under Vand og saaledes i første Sving selv virkede som en Slingrekjøl. Endogsaa uden paasatte Slingrekjole udslettedes i det første Sving fra $24\frac{1}{2}^{\circ}$ næsten hele Vinklen imellem $24\frac{1}{2}^{\circ}$ og $8\frac{1}{2}^{\circ}$.

Efter Resultatet af disse og andre Forsøg er man i England gaaet over til at benytte Slingrekjole i stor Udstrækning, og man giver dem større Brede end tid-

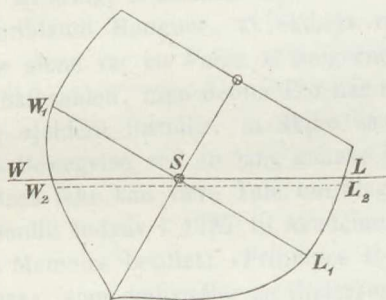
ligere. I Frankrig har man havt Mistillid til dem, navnlig vare de ikke i Gunst hos Constructeuren Dupuy de Lome; men, efter at Forsøgene paa begge Sider af Canalen have viist deres Nytte, synes denne Mistillid at have tabt sig.

For »committee on designs of ships of war« foreligge Udtalelser af dHrr. Barnaby og Reed, hvilke ere meget til Gunst for Slingrekjøles Anvendelse og navnlig gaae i den Retning, at disse ikke ville genere Farten eller Styringen i nogen bemærkelig Grad, naar de ere brede og korte og ikke naae hen paa de skarpe Dele i Skibets Ender, i hvilket Tilfælde de ville øve en Modstand, saavel mod Farten igjennem Vandet som imod Skibets Evne til at løfte sig paa Søen, hvorfor Skibe, hvor dette ikke har været iagttaget, have været tilbøielige til at tage Vand over. Ved Hr. Froudes Slæbningsexperimenter med Greyhound uden og med Slingrekjole til Undersøgelse af Modstanden, har det viist sig, at Forøgelsen i Frictions Modstand, som Følge af at Slingrekjole paa-sættes, er overmaade ringe, og at deres Indflydelse paa Farten desaarsag bliver meget ubetydelig. Slingrekjole af korte og brede Dimensioner anvendes nu i stor Udstrækning i England, saavel i Flaadens Skibe som i de store Paquetskibe, og ansees for at øve en meget gavnlig Virkning. Deres Størrelse finder Begrænsning ved Spørgsmaalet om Skibets Dokning. Det er en Selvfølge, at Slingrekjole ville stille sig hindrende iveien for at stoppe en Læk ved at trække et Seil under Skibet; men, da dette Argument imod deres Anvendelse ingensteds, saavidt vides, er fremkommet, kan Grunden muligt være, at man i England formodentlig ikke tillægger denne Maade at overvinde en større Læk nogen videre praktisk Betydning.

Det skal endnu berøres, at, naar et Skib ruller, enten i stille Vand eller i Sø, er denne tværskibs Bevægelse altid ledsaget af en vertical Bevægelse, hvis

Størrelse afhænger af Skibets Former over og under Vandlinien. I det Foregaaende er der gaaet ud fra, at Skibet under sine Oscillationer bestandigt deplacerer det samme Volumen Vand, hvilket vil sige, at den ned-sænkede og udløftede Kile ere eens i Volumen. Det kan ved Skibsformer imidlertid aldrig finde Sted, at disse Kiler om Omdreiningsaxen i hvert Øieblik ere lige-store, en Feil, som Skibet, imedens det ruller, maa rette ved en vertical Bevægelse op eller ned. Dennes Størrelse er, som sagt, afhængig af Skibets Former, og dens Bemærkelighed for Sandserne er afhængig heraf og af Skibets Periode. I Skibe med lang Periode skeer ogsaa den verticale Bevægelse med saadan Langsomhed, at den ikke bemærkes; men i Skibe med kort

Fig. 24.



Periode σ : hurtige tværskibs Bevægelser, og naar de tilmed have skarpe midtskibs Sectioner, som Skibene af den saakaldte Symondite Type, kan Betingelsen, lige-store Deplacementer, ikke opfyldes øieblikkeligt. Naar et saadant Skib kun bruger ganske faa Secunder til at rulle fra den ene Side til den anden, bliver den ned-sænkede Kile $L S L_1$ momentant større end den udløftede $W S W_1$, saa at, hvis Skibet laa stille i denne Stilling, vilde det ikke kunne flyde paa Vandlinien $W L$, men

derimod paa en anden Vandlinie $W_2 L_2$. Zonen $W W_2 L_2 L$ er da momentant et ubalanceret Opdriftsmoment, som vil foraarsage den verticale Bevægelse, hvis Størrelse er afhængig af Forholdet mellem den ubalancerede Zones Volumen og Skibets Deplacement. Naar Skibet svinger tilbage, vil det synke ned igjen, og der opstaaer saaledes en vertical Oscillation, der kan antage samme Charakter som et Pendels, idet Skibet ved fortsat Slingring vil springe høiere op og sætte dybere ned end Ligevægtsvandlinierne. Disse verticale Oscillationer kunne være høist generende, og Hr. Reed ytrer endog, at deri ligger endeel af Hemmeligheden ved umagelige Bevægelser.

IV.

I det Foregaaende ere Skibets Oscillationer i stille Vand og Theorien eller Læren om Bølgebevægelse be-
tragtede. Nogen Kjendskab hertil maa forudsættes til
Forstaaelse af Forholdene ved et Skibs Bevægelser i
Søgang, saaledes som den nyere Tids Videnskab, støttet
paa praktisk Erfaring, fremstiller dem. Tidligere troede
man, og deriblandt Bouguer, at Skibets rullende Be-
vægelse i Sø alene var en Følge af Bølgenes Slag eller
Choc imod Skibssiden; men denne Tro har man opgivet,
da det ikke sjældent hænder, at Skibe sættes i endog
meget stærk Bevægelse ved en lang ganske lav Dønning,
hvor der altsaa ikke kan være Tale om Slag eller Choc.
Daniel Bernouilli indgav i 1757 til Académie Royale des
Sciences en Memoire betitlet: »Principes Hydrostatiques
et Mécaniques«, som omhandler en Undersøgelse af Mid-
lerne til at formindske Skibes Rulning og Sætning; men
han gik ud fra den vildfarende Forudsætning, at det
flydende Tryk paa Søens Skraaning udøvedes i Retning
af den sande Vertical, og hans Conclusioner ere derfor
urigtige. Imidlertid havde han, ligesom hans ældre
Santidige Bouguer, allerede Øie for den principielle Be-
tydning af Forholdet mellem Søens og Skibets Periode,
uagtet de ikke kjendte Lovene for Søens Bevægelser og
havde uklare Forestillinger om Bølgenes almindelig fore-
kommende Dimensioner og Perioder. Bernouillis Værk

erkjendes dog endnu for at have videnskabeligt Værd, og han var i alt Fald forud for alle sine Samtidige. Andre have til forskellige Tider fremsat Hypoteser, men som ikke have løst Spørgsmaalet og ikke tilfredsstille nu; i over et Aarhundrede har Kundskaben staaet omtrent paa samme Standpunct, indtil Englænderen Hr. Froude for 15 à 20 Aar siden fremsatte sin Theori om Skibes Bevægelser i Sø, hvilken gaaer ud fra den fundamentale Doctrin, som tidligere er forklaret, at Resultanten af det flydende Tryk paa ethvert Punct i Bølgen udøves i Retningen af Normalen paa den trochoidale Overflade eller Laget af lige Tryk, som passerer igjennem Punctet. Theorien er ganske vist ikke endnu fuldkommen, forsaavidt som den ikke udtrykker alle Forholdene i Problemet — der er endnu blanke Sider at udfylde — men den forklarer Forholdene langt mere tilfredsstillende end nogen tidligere og har i den Tid, siden den opstod, øvet en stor og i en bestemt Retning gaaende Indflydelse paa Skibsconstructionen. Ydermere er Theorien accepteret af de høieste Autoriteter i Constructionsvidenskaben saavel i England som i andre Lande: Frankrig, Italien o. fl. Foruden Hr. Froude have andre Videnskabsmænd, hvoriblandt den for faa Aar siden afdøde engelske Prof. Rankine, Franskmændene Emile Bertin, Duhil de Benazé o. fl. bidraget betydeligt til Theoriens fuldkommnere Bearbejdelse og Udvidelse.

Et Skib, som flyder i Vand, hvis Overflade er i Bevægelse, er underkastet horizontale og verticale Kræfter eller Tryk, hvis Resultant virker igjennem dets Deplacementscenter lodret paa Bølgeoverfladen opefter, ligesom Skibets Vægt virker igjennem dets Gravitetscenter lodret paa Bølgeoverfladen nedefter; imellem disse ligestore og modsatte Kræfter skal der være Ligevægt, eller rettere, der er en bestandig Bestræbelse efter at tilveiebringe denne Ligevægt. Normalen til Bølgeoverfladen angiver saaledes Skibets Ligevægtstilling og er den Retning,

henimod hvilken det vil søge at bevæge sig, naar det er bragt bort derfra, paa samme Maade som i stille Vand den verticale Stilling er Ligevægtstillingen. Normalen til Bølgens Overflade, i hvis Retning det flydende Tryk udøves, har imidlertid ikke, saaledes som i stille Vand, en constant Stilling; den vexler uophørligt imellem en maximum Inclination paa Bølgens ene Side og en ligesaa stor modsat maximum Inclination paa Bølgens anden Side, hvilken Vexel foregaaer i et Tidsrum, der er lig Søens halve Periode. Rulling opstaaer ved disse regelmæssige Variationer i Retningen, og ligeledes i Størrelsen, af det flydende Tryk, hvilket Tryk udøves paa den Deel af Skibets Skrog, som er under Vandlinien, idet Skibets Ligevægtsstilling — den Stilling, hvor Momentet af alle ydre Kræfter er Nul, og som i hvert Øieblik falder sammen med den momentane Normal paa Bølgeoverfladen*) — som Følge af disse Variationer undergaaer en periodisk Bevægelse af samme Charakteer som et Pendels. Paa Grund af sit Inertie Moment kan Skibet imidlertid ikke nøiagtigt følge denne Ligevægtsaxens Bevægelse, og, saasnart nu Skibet kommer til at afvige fra den, vil Stabilitetsmomentet gjøre sig gjældende og drage Skibet henimod Ligevægtsstillingen. Derigjennem opstaaer en Egenbevægelse om den vxlende Ligevægtsaxe, hvilken Egenbevægelse foregaaer med en Hastighed, som bestemmes af Skibets Periode. For at forstaae Phænomenet kunne vi saaledes betragte Rulling i Sø som Resultatet af en Ligevægtsbevægelse og en Egenbevægelse. Vi kunne ogsaa betragte den totale Bevægelse som combineret af en Bølgebevægelse (wave roll), i hvilken Skibet vil følge Bølgennormalen, og af en Relativbevægelse (relative roll) om denne vxlende Bølgennormal. Den totale Bevægelses Adskillelse i disse

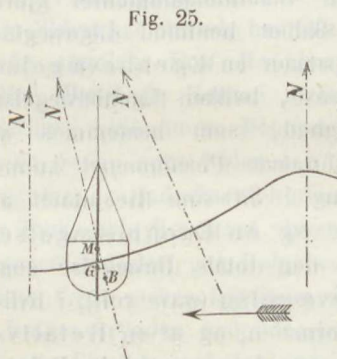
*) Correct talt falder denne Stilling dog kun approximativt sammen med Normalen.

to Arter har ydermere sin Interesse, fordi Bølgebevægelsen og den relative, ved passende dertil konstruerede Instrumenter, kunne maales særskilt. Endvidere har Relativbevægelsen den specielle Egenskab, at den er den eneste Aarsag til Vandets Niveauforandringer langs Skibets Side og til Faren for at tage Styrtesøer over.

Overgangen fra Bølgennormalens α : Ligevægtsaxens yderste Stillinger paa Bølgens to Sider foregaaer i Søens halve Periode, medens Skibet i sin Egenbevægelse om Bølgennormalen vil bestræbe sig for at rulle i sin egen Stillestandsperiode. Forholdet imellem Søens Periode og Skibets naturlige Periode har derfor en overveiende Indflydelse paa Omfanget og Charakteren af Skibets rullende Bevægelse.

Antag, at en Bølge nærmer sig et Skib, som ligger i stille Vand og altsaa er i Hvilte i sin naturlige Stilling, naar den første Bølgedal naaer det, og lad Skibet vende Bredsiden til Bølgen. Forinden Bølgens Ankomst falder Normalen paa den glatte Vandoverflade sammen med Verticalen, og der er ingen Tendents til at forstyrre Skibet; men, saasnart Bølgen kommer, lad den komme

fra høire Side, inclineres Ligevægtsaxen bort fra Verticalen. Derved vækkes paa engang Stabilitetsmomentet, idet det flydende Tryk udøves i Bølgennormalens Retning op igjennem Deplacementscentret, der har flyttet sig ud fra Skibets Midteraxe (tilhøire i Figuren), og Tyngden virker, ligeledes



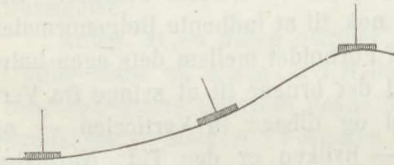
i Normalens Retning, ned igjennem Gravitetscentret. Disse to Kræfter, der virke i modsat Retning, hver paa sin Ende af Vægtstangsarmen GZ, søge at svinge Skibet tilvenstre (i Figuren) $\circ$: Stabilitetsmomentet søger at bringe

Skibets Master til at falde sammen med Bølgenormalen. Denne Normalens Inclinationsvinkel med Verticalen tiltager, til Skibet er omtrent midt paa Bølgens Skraaning, og drager altsaa Skibet med forøget Kraft henimod sig. Paa denne Maade begynder Rulling, der vedligeholdes af Inertiementet, og Skibet svinger med en Hastighed, som afhænger af dets egen Stillestandsperiode. Samtidigt forandrer Bølgenormalen sin Retning, idet den, efter at have naaet sin største Inclination, gradviis gaar tilbage, og paa Bølgens Top atter staaer verticalt; under denne Tilbagebevægelse trækker den Skibet efter sig og søger altsaa at forandre dets Svingningsretning. Normalens Svingningshastighed afhænger af Søens Periode. Om Skibet svinger hurtigt nok til at indhente Bølgenormalen eller ikke, afhænger af Forholdet mellem dets egen halve Periode — hvilken Tid det bruger til at svinge fra Verticalen ud til Bagbord og tilbage til Verticalen — og Søens halve Periode — hvilken er den Tid, Normalen bruger til at svinge fra Verticalen i Bølgedalen ud til venstre og tilbage til Verticalen paa Bølgetoppen. Heraf vil Betydningen af Forholdet mellem Skibets og Søens Periode sees. Den første Aarsag til Rulling er altsaa Bølgens Skraaning, der føres under Skibet, og som involverer en Forandring i Retningen af det flydende Tryk. Den næste Aarsag er Stabilitetsmomentet, der vækkes ved denne Forandring af Kræfternes Retning og bringer Bevægelsen i Gang, og den tredie Aarsag er Inertiementet, der holder Bevægelsen vedlige, idet Skibet, naar det i sit Sving indhenter Bølgenormalen eller indhentes af denne, ikke pludseligt kan standse, uagtet det momentant er i Ligevægt, men af dette Moment maa drives videre forbi Normalen. Stabiliteten spiller under Rulling, den samme Rolle som ved Oscillationer i stille Vand; under Svingene ud fra Bølgenormalen arbejder den imod Inertiementet og søger i Forbindelse med den flydende Modstand at standse Bevægelsen, hvorimod

den under Svinget ind imod Normalen arbejder sammen med Inertiementet og beforder Bevægelsen.

Naar en lille Flaade, som har en uendelig stor Stabilitet og meget ringe Inertiement, og hvis naturlige Periode derfor bliver uendelig kort, sammenlignet med Søens, tænkes svømmende imellem Bølgerne — og lad en lille Mast staae perpendiculair i den — saa vil denne Flaades Bevægelser være saa hurtige i Forhold til Bølgenormalens, at den bestandigt vil kunne holde sin Mast i Normalens Retning og paa ethvert Sted holde sit Dæk parallelt med Bølgeoverfladen. Den har kort sagt

Fig. 26.



kun Bølgebevægelse, men ingen Egenbevægelse. Paa Søens Top og i dens Dal staaer Masten verticalt, og paa begge Skraaningerne faaer

den sin maximum Inclination mod Verticalen. Masten vil vedblive at oscillere gennem en bestemt Bue, som er lig maximum Bølgeskraaning paa hver Side af Verticalen. Der er det at bemærke ved denne Oscillation, at Flaaden uophørligt er i Ligevægt, da dens Mast bestandigt følger Normalen paa Søens Overflade, og en paa Flaaden siddende Observator vilde, naar man bandt ham for Øinene, ikke mærke, at han var i Søgang; han vilde troe sig i Stille vand. Han vilde kunne sidde paa en Stol og have en Frokost anrettet foran sig med en Snaps skjænket til Randen, hvoraf ikke en Draabe vilde spildes. Dette er theoretisk rigtigt, men vilde i Praxis kræve den Forudsætning, at Flaaden var meget lille i Udstrækning i Forhold til Bølgen, saa at den kunde betragtes omtrent som et Punct paa denne. Saasnart Flaaden nemlig har nogen Udstrækning, kommer den til at hvile paa forskellige Inclinationer af Bølgens Skraaning, og den faaer da en lidt rokkende Bevægelse.

afhænger af Forholdet imellem dets egen Periode og Søens. Er Skibets to Gange Søens, vil dets Mast staae vertical i næste Bølgedal, og det har gjort et halvt eller enkelt Sving, medens Bølgenormalen har gjort et heelt eller dobbelt. Er Skibets Periode mere end to Gange Søens, vil det være længere tilbage og er endnu ikke blevet færdigt med et halvt Sving, naar hele Bølgen er passeret. (Det bemærkes, at et halvt Sving betyder en Bevægelse fra Bagbord til Styrbord, eller en Bevægelse fra Verticalen ud til f. Ex. Bagbord og tilbage til Verticalen). Heraf følger i det Hele, at jo langsommere Skibet er i Forhold til Søen, jo oftere vil Normalen passere dets Master, medens disse gjøre et heelt Sving, og jo mindre Tid forholdsvis faaer Stabilitetsmomentet at trække Skibet samme Retning. Det bliver derfor, naar dets Periode er betydelig længere end Søens, ikke forstyrret meget; det holder sig forholdsvis nær til den opreiste Stilling, dets Dæk er fordetmeste nærligen horizontalt, og det er en roligere og bedre Kanonplatform end et Skib med kortere Periode.

Det bemærkes, at det fra først, da man igjennem Hr. Froudes Theori fik Øie for Betingelserne for Rolighed, navnlig var Hensynet til Egenskaben rolig Kanonplatform, der blev Motivet til en forandret Retning i den engelske og franske Krigsskibsconstruction. De første Pandserskibe Warrior, Lord Warden Klassen og det franske Gloire havde Metacenterhøider af 5 à 7 feet og Perioder af 10 à 11 ^{sec.}. Disse Skibe vare »heavy rollers«, og det viste sig, at de paa Grund af store Bevægelser ikke kunde bruge deres Batteri selv under saadanne Forhold af Vind og Sø, som meget hyppigt træffes paa Verdenshavet, en Ulempe, man i begge Landene med Rette fandt saa stor, at man i Frankrig ved senere Skibe, Magenta, Solferino o. fl. gik ned til 3 à 4 feet Metacenterhøide, og i England ved Hercules, Sultan, Monarch, Inconstant, hele Vanguard Klassen o. fl. gik

til under 3 feet. De franske Skibe fik 14 à 15^{sec.} Periode, de engelske 15 à 16^{sec.} Sultans er endog 17.6^{sec.} og et fransk Pandserskib Suffren skal have 20^{sec.} Man paastaar derved at have faaet Skibe, som endog i haard Kuling og Sø ere saa rolige, at de uden Vanskelighed kunne bruge deres Batteri. Hele denne Sag var endnu i de første Aar af Tresserne saa lidt forstaaet, at man i Frankrig, da Gloire viste sig som en »heavy roller« troede at gjøre en Forbedring ved at give dens nærmeste Efterfølger Normandie endnu større Metacentterhøide end Gloire's, der var 7 feet. Imidlertid blev Normandie endnu uroligere end Gloire, og man valgte da at forstyrre hele dens Installation for at faae Gravitetscentret løftet. Man var i 1860 ikke stort videre end i Midten af forrige Aarhundrede, da Bouguer og Bernouilli allerede vidste, at et Skibs Rolighed i Sø beroede paa Forholdet mellem dets Periode og Søens; men i deres Tid savnedes Kundskab om Søen. Kjendskab til dens almindelige Dimensioner, Lovene for dens Bevægelser og Hurtighed vare et ukjendt Gebeet, og navnlig Bernouilli, der var af den Mening, at et Skib altid maatte følge med Bølgen i sine Bevægelser, foreslog for at begrænse deres Omfang at lægge Gravitetscentret saa lavt som muligt og at undgaae indfaldende Sider over og under Vandlinien*), for at sikre en stor Stabilitet. Imidlertid fik den dengang vaagnende Videnskab ingen videre Indflydelse paa Skibsconstructionen; man havde kun een Hovedtype at skulle fremstille, og man arbejdede kun videre paa den Vej, Erfaringen i Aarhundreder havde traadt. Skibene bleve Efterligninger af hinanden, og kun mindre Forandringer eller Forbedringer indførtes fra Tid til anden. Bernouillies Forslag fik ingen praktisk Betydning, idetmindste ingen af Varighed; vi finde, at

*) See første Foredrag om Vandlinie-Arealets Indflydelse paa Stabiliteten.

den mest yndede Type i den franske Flaade, ved Slutningen af forrige Aarhundrede, var Linieskibet le Franklin, der maatte stryge for Nelson i Slaget ved Nilen 1798, og omdøbt til Canopus vandt det en saadan Popularitet i den engelske Flaade, at Englænderne endnu i 1830—40 byggede efter det; men Canopus og dens Søstre vare ikke de overordentlig stive Skibe, som Bernouilli havde anbefalet — de vare tværtimod kildne Skibe, der behøvede et Par hundrede Tons Ballast for at bære deres Seil. Bernouillis Forslag var imidlertid langt fra grebet af Luften; han havde Ret i Principet. Han vilde sikkre en betydelig Forskjel imellem Skibets og Søens Periode, dog kun i den omvendte Retning af den, man nutildags som oftest tilstræber; men Sagen var, at han kjendte ikke Perioden af de Søer, Skibene havde chance for at møde; han troede feilagtigen, at Søen i Almindelighed havde saa lang Periode, at Skibenes vanskeligt kunde blive den overlegen. Det Skib, han vilde have fremstillet, skulde, hvad Periode angaaer, nærme sig til Prammen, jeg for nylig omtalte; det skulde have en meget kort Periode for at kunne følge Søen og maatte til den Ende have stor Stivhed, i hvilket Raisonnement han havde Ret. Saadanne Skibe existere den Dag idag tilnærmelsesviis i de hollandske Dybsø Fiskerfartøier fra Scheveningen og Goree, og af Krigsskibe er der de amerikanske Monitorer af Miantonomoh Klassen. To af disse Monitorer have været over Atlanterhavet og i England. Deres Metacentrerhøide er 14 feet, naturlige Stillevandsperiode for et heelt eller dobbelt Sving 5.4^{sec} , Dækkets Høide over Vandlinien 3 feet. Beretningerne lyde, at de havde moderate Bevægelser i høi Sø, og at de kun toge meget lidt Vand over Dækket, (der tales naturligt kun om tværskibs Bevægelser og ikke om Dampning mod Søen) hvilket stemmer godt med Theorien. Naar man som Prammen, hvis Charakter disse Skibe nærme sig, følger Søens Bevægelser, saa holder man Dækket tilnærmelsesviis

parallelt med Søens Overflade i dennes vexlende Stillinger, og Søen bryder mindre let over. Denne Form af Bevægelse kaldes at rulle fra Søen, hvilket et Skib vil gjøre, naar dets Periode er Søens underlegen. Man erindre, at Søen i Atlanterhavet med eller efter almindelig haard Kuling og Storm har fra 6—9 Secunders Periode. Der foreligger iøvrigt ikke paalidelige Data om Miantonomohs Bevægelser, da Rullingsobservationerne bleve foretagne med Pendel, hvilket fører til meer eller mindre vildfarende Resultater, alt efter Stedet i Skibet, hvor Pendelet anbringes. Naar dette Skib ligger tværs i en Sø eller Dønning af 11^{sec.} Periode, hvilken sandsynligt kan have en maximum Skraaning af 7 à 9°, saa vil det, under Forudsætning af, at det nøiagtigt følger Søen, hvert 5½^{sec.} overgaae fra 7 à 9° Inclination mod Horizonten i den ene Side til ligesaameget i den anden Side, og, uagtet denne Bevægelse, paa Grund af at Skibet bestandigt er i Ligevægt, ikke mærkes ombord og ikke anstrenger Skibet, saa vil Dækket dog ikke afgive nogen rolig Kanonplatform, da denne Egenskab har Hensyn til Forandring af Stilling mod Horizonten. Mr. Reed blev i »committee on designs of ships of war« spurgt, om han som Constructeur vilde lade sig nøie med at frembringe et Skib, der nøiagtigt fulgte Søen og saaledes altid kun fik moderate Bevægelser, svarende til Søens maximum Inclination. Han svarede dertil, at han ikke vilde lade sig nøie hermed, Sagen seet fra »gunplatform« Standpunctet, og at han trøstede sig til at construere Skibe, som endog i temmelig høi Sø skulde faae mindre Rullingsbevægelser imod Horizonten. Man maa til Forstaaelse heraf nemlig vel skjelne imellem »wave roll« og »relative roll«. Med Hensyn til Magelighed og minimum Anstrengelse paa Skrog, Reisning og Forstøtninger af alt indenbords er det Skib ganske vist at foretrække, som, følgende Bølgenormalen, altid er i Ligevægt og altsaa kun har »wave roll«; men, da Sigtning

og Skydning med Kanoner ikke har med denne Normal at gjøre, men derimod med Horisonten, bliver et saadant ellers meget mageligt Skib en mindre rolig Kanonplatform. Det bedste Skib i saa Henseende er det, der ruller langsomt imod Søen og netop saa meget, at den »relative roll« eller Egenbevægelsen saa nær muligt ophæver Bølgens Skraaning. Dets Master staae da altid paa det nærmeste i Verticalen, og dets Dæk er nærlig parallelt med Horisonten. Saadanne Skibe existere saavel i den engelske Flaade: Sultan, Alexandra, Inconstant o. fl. som i den franske: Ocean, Suffren, Trident o. fl. Imellem disse 2 her fremstillede Yderligheder, nemlig den lille Pram, som havde en forsvindende kort Periode, og i Modsætning dertil et Skib, hvis Periode er stor i Forhold til Søens, ligge de mere almindeligt forekommende Tilfælde, hvor Skibenes naturlige Perioder nærme sig mere eller mindre til Lighed med Perioden af den Sø, som almindeligt mødes i Stormveir paa det aabne Hav.

Der skal her forudskikkes en kort Bemærkning om de Forudsætninger, der af Hr. Froude ere foreslaaede lagte til Grund for at bringe et Skibs Bevægelser i Søgang ind under mathematisk Behandling, uden at vi dog her ville gaae ind paa den videnskabelige Deel deraf.

1) Skibet betragtes som liggende med Bredsiden mod Søen.

2) Bølgerne, som det ruller i, antages at danne regelmæssige Rækker bag efter hinanden, alle af samme Dimensioner og Perioder.

3) Indflydelsen af Vandets Modstand betragtes særskilt, saa at den mathematiske Behandling forudsætter Bevægelsen upaavirket af denne Modstand (»unresisted rolling«).

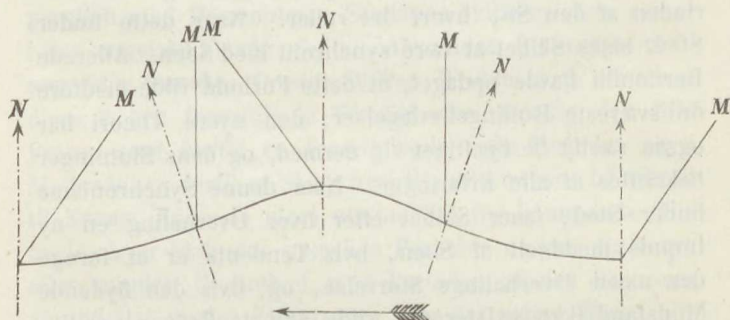
I Praxis har Søen ikke den regelmæssige Charakter, som her forudsættes; men man kan ikke godt bringe de uophørligt vekslede Forhold, som en uregelmæssig Sø vilde medføre, ind under en mathematisk Behandling.

Desuden fremgaaer det af udstrakte Erfaringer, at denne Søens Uregelmæssighed i Virkeligheden i de fleste Tilfælde er i Skibets Faveur, og at den supponerede regelmæssige Sø vil foraarsage de største Rullingsbevægelser. Desuden har man valgt den værste Position for Skibet, ved at antage det liggende passivt med Bredsiden til Søen.

Det mest kritiske Tilfælde for et Skib indtræder, naar dets naturlige Stillevandsperiode er lig med Perioden af den Sø, hvori det ruller. Naar dette finder Sted, siges Skibet at være synchront med Søen. Allerede Bernouilli havde opdaget, at dette Forhold vilde medføre de sværeste Rullingsbevægelser; den nyere Theori har ogsaa særlig beskæftiget sig dermed, og dens Slutninger bekræftes af alle Erfaringer. Naar denne Synchronisme finder Sted, faaer Skibet efter hver Overhaling en ny Impuls meddeelt af Søen, hvis Tendents er at forøge den næste Overhalings Størrelse, og, hvis den flydende Modstand ikke existerede, vilde Skibets Bevægelser tiltage og det selv ende med at kapseise. Størrelsen af de Rullingsbevægelser, Skibet opnaaer, afhænger foruden af Modstanden tillige af Forholdet mellem dets egen og Søens Periode, samt af Søens største Skraaningsvinkel. (I den mathematiske Behandling kan Modstanden holdes udenfor og indføres særskilt, og saa meget mere, som denne Modstand kun har overmaade ringe Indflydelse paa Skibets Periode). Under Forudsætning af, at Modstanden ikke existerede, vilde et Skib, der ruller i en synchront Sø, hvis maximum Skraaning er 9° , kun behøve tre efter hinanden følgende Bølger for at kastes rundt. Dette vilde ogsaa finde Sted med Tilnærmelse til Synchronisme indenfor 10% Forskjel imellem Perioderne. Er Forskjellen imellem Perioderne derimod over 10%, blive tiltagende Sving atter modererede af de efterfølgende Bølger, der ville træffe Skibet paa saadanne Stadier i dets Bevægelse, at denne modarbeides.

Antag, at et Skib, der er synchront med Søen, ligger i Bølgedalen med Bredsiden til Søen, og at det har fuldendt sit Sving ud, f. Ex. til Styrbord, og lad Bølgen komme fra Styrbord. Da vil Skibet, uafhængigt af Bølgens Impuls, ved sit Stabilitetsmoment bringes til at svinge ind imod Verticalen i et Tidsrum, der er lig $\frac{1}{4}$ af

Fig. 28.



dets Periode, hvilket under den givne Forudsætning af Synchronisme svarer til den Tid, $\frac{1}{4}$ af Bølgen bruger til at passere. Skibet vil saaledes være opret midt imellem Søens Top og Dal, eller omtrent paa det Sted, hvor Søen har sin maximum Skraaning. Imedens Skibet gjør dette Sving imod Bølgenormalen, forandrer denne hvert Øieblik sin Stilling, saaledes at den bestandig gjør Vinklen til Skibets Mast større; følgelig forøges Stabilitetsmomentet og Svingningshastigheden, saa at Skibet, naar den opreiste Stilling er naaet, har erhvervet en større Hastighed, end om det havde svinget fra samme oprindelige Inclination i stille Vand, og det har derfor Tendents til at svinge ud i en større Vinkel til Bagbord end den, det begyndte med. Skibets Mast har, vel at mærke, endnu ikke naaet Normalen, men bliver endnu tiltrukket af denne, der imidlertid svinger tilbage mod Verticalen, hvilken Stilling den indtager paa Søens Top, hvor Skibet

vil have fuldendt sit Udsving. Under dette Udsving er den Vinkel, Masten gjør med Normalen, overalt mindre end Vinklen, den gjør med Verticalen, og Stabilitetsmomentet, som er den Kraft, der skal modarbeide og standse Udsvinget, er altsaa overalt mindre, end det vilde være under en lignende Oscillation i stille Vand, og der er atter en Tendents til at forøge Svingets Størrelse. Skibet vil under disse Omstændigheder faae betydelige Bevægelser, 1) fordi det under Svingene ind opnaaer større Hastighed, og 2) fordi der udøves mindre Modstand af Stabilitetsmomentet under Svingene ud. Skibet er paa Figuren (28) fremstillet liggende i Bølgedalen med Masten M heldende imod den sig nærmende Bølgetop, fordi Rulling i regelmæssig synchron Sø vil antage den Ckarakteer, at de største Overhalinger finde Sted i Dalen og paa Toppen, medens den verticale Stilling vil passeres paa Bølgeskraanings Midte, og Bevægelsen er en Rulling fra Søen. Det vil af Figuren sees, at Skib og Bølgenormal oscillere samme Vei under Svingene ind og modsat Vei under Svingene ud, hvilket ifølge Hr. Bertin er Betingelsen for, at Bevægelserne tiltage eller have Tendents at tiltage i Omfang. Da det er paa Bølgenormalens Udslag fra Verticalen, det beroer, at Skibets Mast faaer en større Bue at svinge igjennem, og som Følge deraf, da Skibet er isochront, Svingningshastigheden ogsaa maa forøges, saa vil det endvidere være anskueligt, at der er en directe Forbindelse imellem Bølgeskraanings Størrelse og Oscillationernes Omfang og Voldsomhed.

Synchronisme mellem Skibet og Søen, eller Tilnærmelse dertil, er altid den mest kritiske Situation; selv om der ikke er Tale om, at Skibet skal rulle rundt, er det dog altid høist ubehageligt og undertiden farligt at falde i vedholdende svære Rullingsbevægelser, der anstrenge Skibet ved at bryde paa dets Forbindinger, anstrenge Reisningen og Forstøtninger af Kanoner samt af andre svære Ting (i Koffardiskibe føre til Lastens For-

skydning), og det er tildeels Hensynet hertil, der i England og Frankrig har ledet til, at man har søgt at give Skibene, hvor det var muligt, saa store naturlige Perioder som 14 à 16^{sec} og endog derover. Man mener derved at undgaae chance for, at Skibene skulle møde coperiodisk Sø, da Sø af den Længde, som svarer til 14 à 16^{sec} Periode, efter alle Erfaringer er overmaade sjelden. Den almindelige Periode af Atlanterhavets Sø med Stormveir er 6 à 9^{sec}, undtagelsesviis 10 à 11^{sec}, og den sidstnævnte Længde antages Søen kun at kunne faae efter nogenlunde langvarige og haarde Storme. Naar Skibene da have 14 à 16^{sec} Periode, undgaaes de kritiske Tilfælde, som ere en Følge af at møde coperiodisk Sø, og man er al Sø, som opstaaer med almindelig jævn haard Kuling, og som kan have 5 à 8^{sec} Periode, saa overlegen, at Bevægelserne ikke blive større, end at man kan bruge sit Batteri.

At denne Synchronisme mellem Skibet og Søen medfører de største Oscillationer, bekræftes af talrige Erfaringer. Det er saaledes en Kjendsgjerning, at Skibene af Prince Consort Klassen, hvis Periode er 10 à 10^{1/2}^{sec}, ere meget urolige Skibe, og det er interessant at lægge Mærke til, at denne Periode netop svarer til Perioden for Sø af 5 à 600 Fods Længde, som ifølge Hr. Scoresby og andre Observatorer forekommer i Atlanterhavet med haarde Storme, samt at den er den almindelige Sø af 8 à 9^{sec} Periode kun lidet overlegen. Disse Skibe have saaledes en Periode, der hyppigt bringer dem i Berøring med synchron eller tilnærmelsesviis synchron Sø. Det Samme er ogsaa Tilfældet med mange ældre upandsrede Skibe. Chefen for Pandserfregatten Achilles, Captain Hamilton, rapporterer, at hans Skib, der ansees for et af de roligste i den engelske Flaade, i speilglat Vand tværs af Portland i en Dønning, der var saa lav, at den var vanskelig at skjelne, rullede haardere end i meget haardt Veir under Kysten af Irland. Grunden

hertil var, at denne meget lave Dønning accurat var copierisk med Skibet. Det Samme har efter Admiral Coöper Key's Beretning været iagttaget med Prince Consort i en næsten umærkelig lav Dønning. Monarch, der engang var i Følge med flere af de værst rullende Skibe, og som sædvanligt rullede gennem Buer, hvis Størrelse kun var Halvdelen eller Fjerdedelen af de andres, kom derimod ved en bestemt Leilighed, da Skibene vare tilankers i Cascaes Bay ved Indløbet til Lissabon, til at overgaae de andre. Dens maximum Bevægelser vare 26° , medens Prince Consort, Caledonia og Defence kun rullede 13 à 15° . Grunden hertil var en Dønning, der satte ind i Bugten, og hvis Periode har været saa stor, at den særligt incommoderede Monarch, medens de øvrige Skibe med kortere Perioder slap bedre derfra. Næste Dag rullede Monarch 4° , medens Caledonia rullede 50° , Prince Consort 36° og Defence 26° . Det er dog meget at beklage, at der ved disse Leiligheder ikke blev taget paalidelige Observationer af Dønningens Periode og øvrige Data. En Omstændighed, der almindeligt i de mest kritiske Tilfælde under haardt Veir kommer Skibene tilgode, er, at Søen ikke er saa regelmæssig, som Theorien forudsætter. Det mest Farlige ved Synchrisisme ligger netop i Eensformigheden af uophørligt gjentagende friske Impulser i samme Retning. I Almindelighed følge 3 à 4 Søer af omtrent samme Størrelse efter hinanden, hvilke sætte Skibet i stærk Bevægelse; men derefter pleier der at følge en kortvarig Smulning, under hvilken Skibet faaer Tid til at komme nogenlunde til Ro, saa at det ikke vedblivende accumulerer Bevægelse. Naar flere Systemer af Sø løbe over hinanden af forskjellig Periode og Høide, er dette ofte til Fordeel for Skibet; det ene System vil da afvejlende i regelmæssige Phaser forhøie det andet Systems Bølgetoppe, men det vil ogsaa mere eller mindre udfylde dets Dale, saa at, naar Skibet i den ene Phase mødes

af en høi Sø og af denne sættes i stærk Bevægelse, kommer det strax efter i Berøring med den Sø, der har udfyldt Dalen, og hvor Steilheden derfor er meget ringe. En anden Omstændighed, som ligeledes kommer Skibet tilgode, naar det ruller i en svær coperiodisk Sø, er den, at Skibet ikke er fuldkomment isochront, naar Bevægelserne blive store. De fleste Skibe ere isochrone indtil Inclinationsvinkler af c. 15° til hver Side; for større Inclinationer forstyrres derimod Isochronismen, og, ihvorvel Afbigelsen derfra som oftest kun er ubetydelig, saa hjælper det dog altid i den rigtige Retning, naar Perioden tiltager for meget store Bevægelser, hvorved Synchronismen med Søen ophører. De følgende Overhalinger ville da sandsynligt blive moderatere.

Naar et Skib i længere Tid har været udsat for en regelmæssig Sø, vil det sandsynligt have naaet en vis Maximumstørrelse af Overhalinger og udføre sine Oscillationer ikke i sin egen naturlige Periode, men derimod i den mulig derfra forskellige Bølgeperiode. Skibets og Søens Perioder kunne altsaa være forskellige; men Oscillationerne holde ikke destomindre Skridt med Søen — deres Periode forceres til Lighed med Søens. Saadanne Oscillationer kaldes »forcerede« eller »permanente«, og Skibet kan under disse Omstændigheder antages at ville staae opret i Bølgedalen og paa Toppen og at naae sine største Inclinationer, naar Maximum-Skraeningen af Bølgen passerer under det. Størrelsen af Oscillationerne, der vil være temmelig constant, afhænger da af 1) Søens Maximum-Skraaningsvinkel og 2) Forholdet imellem Skibets naturlige Stillestandsperiode og Søens Periode.

Kaldes Søens Maximum-Skraaningsvinkel mod Horizonten θ , Skibets Maximum Inclination mod Verticalen θ , Søens Halvperiode*) T , Skibets do. T_1 , saa er

*) Da det overalt er Halvperioderne, der indtræde i Formlerne, ville T og T_1 i det Efterfølgende altid betyde henholdsvis Søens

det under Forudsætning af, at der sees bort fra den flydende Modstand, godtgjort, at:

$$\frac{\theta - \Theta}{\Theta} = \frac{T_1^2}{T^2 - T_1^2}, \text{ hvorf}$$

1) $\frac{\theta - \Theta}{\theta - \Theta} = 1 - \frac{T^2}{T_1^2}$, flyttes 1 over og multipliceres der med $\div 1$, faaes

2) $\frac{\theta}{\theta - \Theta} = \frac{T^2}{T_1^2}$, hvorf udledes at:

$$3) \theta = \Theta \frac{1}{1 - \frac{T^2}{T_1^2}} = \frac{\Theta T^2}{T^2 - T_1^2}$$

Da Θ er Søens Maximum-Skraaningsvinkel i Inflexions-punctet, bliver $\theta - \Theta$ altsaa den Vinkel, Skibets Master gjøre med Bølgenormalen. Naar vi nu have Skibets og Søens Perioder givne og supponere en Inclination $\theta - \Theta$ imod Bølgenormalen, kunne vi af 1) finde, hvilken Bølgeskraaning Θ der udfordres for at hidføre den givne Inclination mod Bølgenormalen. (Det er paa Størrelsen af Inclinationsvinklen imod Bølgenormalen, at Skibets Sikkerhed under extreme Forhold beroer). Af 2) eller 3) kunne vi finde den tilsvarende Inclinationsvinkel imod Verticalen. (Det er paa denne, at Skydningens Paalidelighed beroer).

Det sees af Formlerne, at den Inclination θ , et Skib med en given Periode $2T_1$ vil naae, afhænger af Søens Skraaning Θ og dens Periode $2T$, eller er en Function af disse Data.

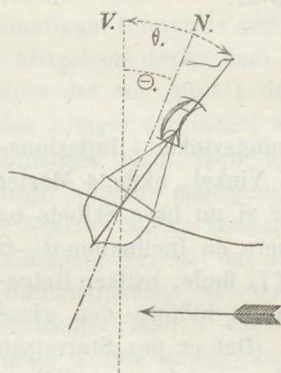
I. Betragtes Æquation 3, vil det sees, at, naar $T_1 = T$: Synchronisme, saa bliver $\theta = \infty$, hvilket vil sige, at Skibet kapseiser. Man maa huske, at her er Tale om Rulling uden Modstand. I Praxis bliver det Modstandens Sag at holde Skibet oppe.

og Skibets halve Perioder, hvormed for Skibet er meent enkelt Sving.

II. Naar $T_1 < T$: Skibets Periode mindre end Søens, bliver $\frac{\Theta T^2}{T^2 - T_1^2}$ en positiv Størrelse, og θ og Θ

have altid samme Tegn : Skibets Master helde altid bort fra den nærmeste Bølgetop — Skibet ruller fra Søen. Jo nærmere Værdien af T_1 er ved T , jo

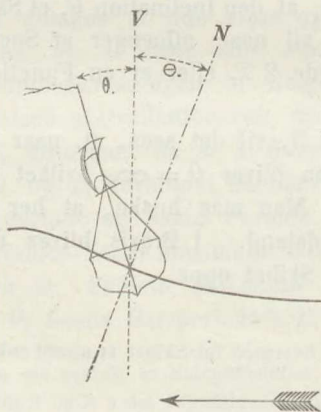
Fig. 29.



mindre bliver Nævneren, og jo større bliver θ . Jo større Forskjellen derimod er imellem T og T_1 , jo mindre bliver θ ; Svinder T_1 ind til en uendelig lille Størrelse, bliver $\theta = \Theta$ (Inclinationen mod Verticalen lig Bølgeskæringen); det vil sige »relative roll» bliver Nul — Skibet har kun »wave roll» : dets Master følge Bølgenormalen, hvilket er det tidligere omtalte Forhold med Prammen.

III. Naar $T_1 > T$: Skibets Periode større end Søens, bliver $T^2 - T_1^2$ negativ, θ og Θ have altid modsat

Fig. 30.



Tegn : Skibets Master helde imod Bølgetoppen — Skibet ruller imod Søen. Jo nærmere Værdien af T er ved T_1 , desto større bliver θ , hvilket er approximativ Synchronisme. Jo større Forskjellen derimod er imellem T_1 og T , jo mindre bliver θ . En stor Deel Skibe saavel af den engelske som af den franske Flaade

have saa stor Periode $2T_1$ sammenlignet med den almindelig forekommende Oceansø, at de under næsten alle Forhold kun rulle overmaade lidt. De for Rolighed berømteste Skibe ere Pandserfregatterne af Sultan og Suffren Typen og de upandsrede Fregatter af Shah Typen.

Exempel. Pandsterskibet Devastation i Spanske Sø. $2T_1 = 13^{\text{sec}}.6$; $2T$ observeredes 12^{sec} (lang Dønning), og θ observeredes $1^{\circ}.5$ (forudsat Rulling uden Modstand).

$$\theta = \frac{1,5 \times 12^2}{12^2 - 13,6^2} = \frac{216}{-41}; \text{ eller } \div \theta = \frac{216}{41} = 5^{\circ}.3.$$

Det bemærkes som almindelig Regel, at, naar den ene Retning benævnes positiv, saa er den modsatte altid negativ. I nærværende Tilfælde betyder det negative Tegn for θ , at dens Retning fra Verticalen er i modsat Retning af Bølgeskraaningens (θ) Retning fra Samme.

Skibets observerede Oscillation imod Verticalen var 7° i det Hele, eller $3^{\circ}.5$ til hver Side. Forskjellen imellem den observerede og den beregnede Oscillation maa fornemmelig tilskrives Modstandens Indflydelse.

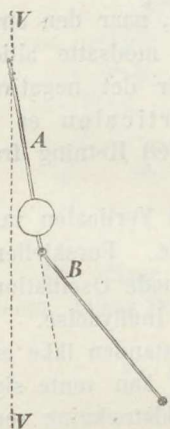
Det maa nemlig erindres, at Modstanden ikke er taget i Betragtning, hvorfor man ikke kan vente sig nøiagtige Resultater af Oscillationernes Udstrækning ved Beregning efter den givne Formel.

Af Figur 30 bliver det endvidere anskueligt, at, da det momentane Stabilitetsmoment skal bedømmes ved Vinklen, Masterne gjøre med Bølgenormalen, saa kan et Skib med hurtig forsvindende Stabilitet (Captain) af Sø og Vind i Forening allerede ved en mindre betydelig Inclination mod Verticalen være drevet over sin Maximum og udsættes for at gaae rundt.

De ovenanførte Tilfælde kunne oplyses med Pendeler. Lad A være et Pendel af svær Vægt, saa at

det har et betydeligt Inertiemoment, lad dets Periode være lig Søens, og sæt det i en Oscillation, til hver Side af Verticalen, lig Bølgeskraaningen. Det repræsenterer saaledes Søens eller rettere Bølgenormalens Svingninger om Verticalen. Befæst til dette Pendels Underende et andet Pendel *B*, hvis Vægt er forsvindende i Forhold til *A*'s, saa at det ikke paavirker dets Bevægelser. Pendelet *B* repræsenterer Skibet. Lad *B* have samme Længde og Periode som *A*, saa vil man faae at see, at, uagtet *A*, som ikke forstyrres af *B*, ved-

Fig. 31.



blivende svinger i en moderat Vinkel lig Bølgeskraaningen, faaer *B* derimod meget store Udslag, hvilke ere en Følge af de synchroniserende Impulser, som meddeles det ved Slutningen af hvert Udsving. Ombyt dernæst *B* med et andet Pendel, der er meget kort og har en hurtig Periode, saa vil dette, under den samlede Oscillation, bestandig holde sig i Forlængelsen af *A*, eller meget nær derved, ligesom den lille Pram med uendelig kort Periode holder sin Mast i Bølgenormalens Retning. Borttag nu dette, og sæt i dets Sted et tredje Pendel af stor Længde og lang Periode sammen-

lignet med *A*'s, saa vil dette nye Pendel bestandig hænge næsten vertikalt ned, medens *A* svinger, paa samme Maade, som Skibet med lang Periode holder sig omtrent vertikalt, medens Søen passerer under det.

Medens et Pendel er fuldkommen fyldestgjørende for at observere Inclinationen af et Skib, naar det ligger paa en constant Krængning, saa vil det derimod være anskueligt, at man ikke med et Pendel kan observere Størrelsen af et svingende Skibs Oscillationer. Pendelet vil ikke engang give paalidelige Resultater ved Oscilla-

tioner i stille Vand, og langt mindre, naar de finde Sted i Søgang. Et Pendel anbragt i et Skib, som ruller i Sø, vilde repræsenteres ved i Figur 31 at ophænge et 3die Pendel under B , hvilket Sidste forestiller Skibet, medens A forestiller Bølgenormalen. Sæt nu A igang, saa kan man dog ikke forlange, at det underste Pendel skal markere Størrelsen af det mellemstes Oscillationer.

Naar man i et Skib, som ruller i stille Vand, ophænger et Pendel, der har meget kort Periode, i Omdreiningssaxen (der passerer igjennem Gravitetscentret), saa vil et saadant Pendel hænge verticalt, og altsaa indicere Skibets Oscillationer; men, ophænges det over eller under Omdreiningssaxen, saa underkastes det ved Slutningen af hver Oscillation accelererende Kræfter, som sætte det i Svingninger, og det vil følgelig ikke mere hænge verticalt. Det vil bestandig indicere større Vinkler, end Skibet ruller igjennem, og Feilene i dets Angivelser tiltage med Afstanden af dets Ophængningspunct fra Omdreiningssaxen, og ere desuden afhængige af Hurtigheden af Skibets Bevægelser.

Kald Skibets sande Inclinationsvinkel α .

- » den apparente Inclinationsvinkel, som angives af Pendelet, β ,
- » Skibets Halvperiode (i Secunder) T_1 ,
- » Afstanden af Pendelets Ophængningspunct fra Skibets Gravitetscenter h ,

saa er approximativt:

$$\alpha = \frac{10 T_1^2}{10 T_1^2 + 3 h} \beta.$$

Exempel: I Pandserfregatten Prince Consort er $T_1 = 5.5^{\text{sec}}$. Naar Pendelet anbringes paa Commandobroen, er $h = 20$ feet.

$$\alpha = \frac{10 \times 5.5^2}{10 \times 5.5^2 + 60} \beta = \frac{302.5}{362.5} \beta = \frac{5}{6} \beta.$$

Pendelet angiver altsaa Oscillationsvinklen ikke mindre end 20 pCt. for stor.

Naar et Skib oscillerer i Søgang, vil Pendelet end mindre kunne indicere den sande Inclinationsvinkel med Verticalen. Feilene i dets Angivelser beroe, ligesom i stille Vand, paa Afstanden fra Omdreiningss-axen og paa Bevægelsens Hurtighed, og de blive endnu større end i stille Vand. Nogle faa Exempler skulle gives efter Rapporter fra Skibene:

	Pendel- Observationer	Correcte Vinkler med Verticalen
Lord Warden	11 ^o .4	9 ^o .1
Minotaur	6.1	3.8
Do.	8.2	4.3
Bellerophon	8.2	3.0

De correcte Vinkler ere tagne ved Sigte til Horizonten.

Der er 2 fundamentale Principer at holde fast paa: 1) Naar et Pendel med meget kort Periode ophænges i Skibet i Høide med Gravitetcentret, vil det hvert Øieblik stille sig perpendiculært paa Bølgeoverfladen, (eller rettere paa den saakaldte »effective« Bølgeoverflade*); det følger altsaa Bølgennormalen og angiver altid den Vinkel, Masterne gjøre med denne Normal (effective Bølgennormal). Dette er vigtigt at lægge Mærke til. Et saadant hurtigt Pendel anbragt i Gravitetcentret paa en amerikansk Monitor af Miantonomoh Typen, der holder sit Dæk nærlig parallelt med Bølgeoverfladen, vil saaledes angive liden eller ingen Bevægelse, medens Monitoren i Virkeligheden oscillerer til hver Side af Verticalen, saameget som maximum Bølgeskraaning. Hvis paa den anden Side et meget roligt Skib som Inconstant ligger i den samme Sø som Monitoren, saa vil et lignende Pendel, anbragt i dets Gravitetcenter, angive meget større Oscillationer, end Skibet i Virkeligheden har; thi, hvis

*) Den effective Bølgeoverflade ligger lidt dybere end den apparente øverste Bølgeoverflade og har altsaa lidt mindre Skraaning end denne. Forklaring deraf vil senere blive given.

Inconstant i Hovedsagen holder sig i opret vertical Stilling, medens Søerne passere under den, saa vil Pendelet give Oscillationsvinkler til hver Side af omtrent samme Størrelse som Bølgeskraaning. 2) Naar et Pendel af meget lang Periode anbringes i et Skib, der ruller, vil det holde sig i den verticale Stilling eller meget nær derved. Et saadant Pendel kan ikke fremstilles under den sædvanlige Form. Man erindre fra forrige Foredrag, at Længden af det med et langsomt rullende Skib synchrone Pendel allerede kan være 2 à 300 Fod.

Af det Foregaaende vil det forhaabentligt være klart, at Pendelet ikke er noget paalideligt Apparat til at observere Størrelsen af et Skibs Bevægelser. Det Samme gjælder i lige Grad om andre Instrumenter, saasom Boble Vaterpas og de almindelige Spiritus-Krængningsmaalere, hvis Virkning ligesom Pendelets beroer paa statiske Betingelser. Vaterpasset anbragt paa det gunstigste Sted, nemlig i Høide med Gravitætcetret, vil ikke angive Dækkets Vinkel med Horizonten, men derimod dets Vinkel med den effective Bølgeskraaning.

Den correcte Maade at observere saavel tværskibs som langskibs Bevægelsers Omfang er at sigte til Horizonten med en Krængningsmaaler. Paa dens inddeelte Bue aflæses Vinklen, som Dækket gjør med Horizonten, hvilken er den samme, som Masterne gjøre med Verticalen. Et simplere og mere praktisk Apparat, som hviler paa det samme Princip, bestaaer af 2 lange tynde Stager, der opstilles f. Ex. paa Commandobroen, en i hver Side tværs for hinanden. I bekvem Høide over Dækket mærkes paa hver Stage et Nulpunct; Linien over disse 2 Nulpuncter er nøiagtig horizontal, og Stagerne verticale, naar Skibet er paa ret Kjø. Fra Nulpuncterne opefter afsættes Gradeinddelinger paa Stagerne, beregnede fra et Centrum, beliggende midt imellem dem og i samme Niveau. Naar Rullingsbevægelser

skulle observeres, holdes Øiet i dette Centrum; der sigtes til den Horizont, som Skibet ruller imod, og den Inddeling paa Stagen, som i det Moment, Overhalingen standser, er overet med Horizonten, angiver maximum Vinklen mellem Masterne og Verticalen. Man kan ogsaa i mindre Skibe beregne Gradeinddelingen saaledes, at den styrbords Stages Nulpunct er Center for Inddelingerne paa den bagbords og omvendt; men der skal da enten være 2 Observatorer, eller man skal i hver Overhaling tværs over Dækket for at aflæse Vinklerne til begge Sider. Til Observation af langskibs Bevægelser kunne lignende Apparater opstilles og inddeles. I den engelske Flaade er denne Methode at observere Skibenes Bevægelser meget almindelig; Apparatet kaldes: »batten instrument«. Dets Anvendelse fordrer naturligt, at Horizonten er synlig.

For alle almindelige Tilfælde ere Observationer til Horizonten fyldestgørende, og med flere Observatorer kan Bevægelsens Periode ligesom Søens Periode og Dimensioner samtidigt observeres; men man faaer ingen gennemgaaende Oplysning om Vinklen, Skibets Master gjøre med Bølgenormalen, hvilken er af ligesaa megen Betydning. Der er imidlertid saavel i Frankrig af Hr. E. Bertin som i England af Hr. Froude construeret Instrumenter, som virke automatisk og paa engang oplyse om alle de Data, der have Interesse. Dette Instrument er construeret paa Grundlag af de 2 ovenfor givne Hovedprinciper. Et knapt 2 Tommer langt, kraftigt og følsomt Pendel, hvis Periode for dobbelt Sving kun er $0.^{sec}4$, angiver hvert Øieblik Masternes Inclination imod den effective Bølgenormal, idet Pendelet fører en Blyantstift, der under dets Svingninger tegner en Curve paa et Ark Papir spændt om en Tromle, som følger Skibets Bevægelse, og ved et Uhrværk meddeles en Rotation. Et andet Uhrværk fører en Stift, som aftegner en Tidsskala paa Tromlen. Det saaledes tegnede

Diagram viser altsaa ikke alene Skibets successive Inclinationer imod Bølgenormalen, men ogsaa Tidsmomenterne svarende til disse Inclinationer. Instrumentets langsomme Pendel, der skal angive Inclinationerne mod Verticalen, fremstilles ved et Hjul af et tungt Metal, 3 Fod i Diameter og af c. 200 lbs. Vægt. Hjulets Gravitetscenter ligger 0.0065 Ins. fra Centret af dets Staalaxe, hvis Ophængning er saa følsom, at Hjulet sættes i kjendelig Bevægelse, naar man blot aander paa det. Dets Periode er noget over 70^{sec} for et dobbelt Sving; det erindres, at de langsomst bevægende Skibes Periode er c. 18^{sec} og Søens sjældent over 10 à 12^{sec} . Instrumentet placeres saaledes, at Hjulet staaer tværskibs, og selve Hjulet forbliver saagodtsom ubevægeligt, naar Skibet ruller, saa at det i hvert Moment praktisk angiver den sande verticale Retning. Skibets Bevægelse, relativt til Hjulet, angives ved en Blyant, der staaer i Forbindelse med Axen, og som paa den ovenfor nævnte roterende med Skibet følgende Tromle tegner en Curve, der har samme Tidsskala som den af det hurtige Pendel tegnede Curve. Heraf fremgaaer i hvert Moment Skibets Inclination imod Verticalen, og Oscillationens hele Periode, idet Papiret er forsynet med en vertical Inclinations Skala inddeelt i Grader. Tidsskalaen er horizontal. Diagrammet skæres paa Midten af en horizontal Baselinie; alt over denne er Udslag til den ene, og alt under den Udslag til den anden Side. Naar Observationen er forbi, kan Papiret tages af Tromlen, og Diagrammerne analyseres.

I Figuren fremstilles et Diagram for et Skib af 1160 Tons Displacement (Greyhound?) med 4.3^{sec} Halvperiode. Den puncterede Curve er den, der er tegnet af det hurtige Pendel, og som angiver Inclinationsvinklerne imod Bølgenormalen. Den trukne Curve er den, der er tegnet af det langsomme Pendel (Hjulet), og som angiver Inclinationsvinklerne imod Verticalen, hvilke saa-

velsom de førstnævnte kunne aflæses i Grader paa den tilvenstre anbragte Skala. Den algebraiske Forskjel

Inclinations-Skala.

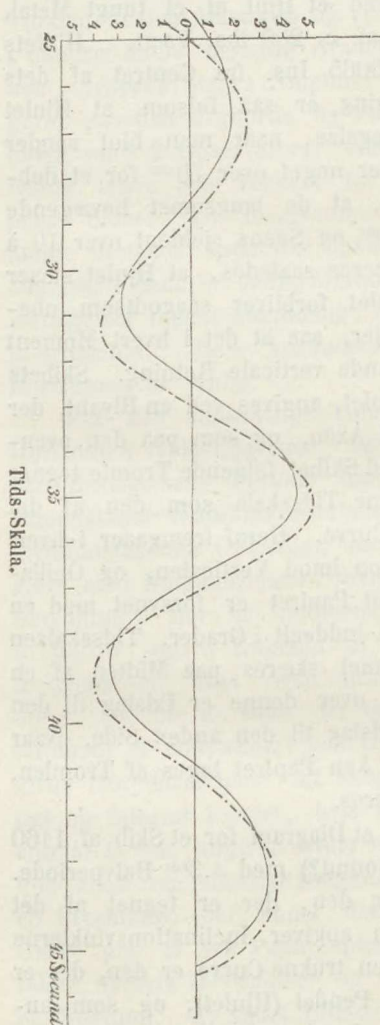


Fig. 32.

imellem Curverne angiver i ethvert Moment Bølgeskraaningen, hvis Maximum sees at have været 1 à $1\frac{1}{2}^{\circ}$. Derefter kan Bølgens Profil konstrueres, da man kjender Perioden. Tages Sidstnævnte $8^{\text{sec}}.3$ og Skraaningsvinklen i Inflexionspuncterne $1^{\circ}.5$, bliver Søens Længde c. 350 Fod og dens Høide c. 3 Fod. De Puncter, hvor de 2 Curver skære hinanden, svare naturligt til Toppen og Dalen af Søen, hvor Verticalen og Bølgens normalen falde sammen. De Puncter, hvor den trukne Curve skærer Basen, svare til de Momenter, da Skibet har staaet opret. Det sees, at den Sø, hvori Diagrammet er taget, var nærlig synchroon med Skibet, og at de største In-

clinationer forekomme lidt efter, at Dalen og Toppen er passeret. Maximumudslagene mod Bølgennormalen ere større end de tilsvarende mod Verticalen, hvilket ogsaa skal finde Sted under saadanne Forhold, som her ere fremstillede.

Den Oplysning, Diagrammet giver, er altsaa:

1. Skibets Inclination imod den effective Bølgennormal i hvert Øieblik.

2. Skibets Inclination imod Verticalen i hvert Øieblik.

3. Oscillationens Periode α : det Antal Secunder, Skibet bruger til et heelt Sving.

4. Skraaningsvinklen af den effective Bølgeoverflade.

5. Den effective Bølges Periode, der altid er lig med den apparente Overfladebølges.

Saa vel i England som i Frankrig er der taget meget vellykkede Observationer med det automatiske Instrument, i England navnlig af Hr. Froude i Skibene Greyhound, Perseus og Devastation. Instrumentet er udentvivl kostbart og haves i Regelen ikke til Raadighed; men, hvad enten man har det eller maa undvære det, bør det være en Regel, at man ledsager sine Observationer over Bevægelserne med Oplysning om, i hvilken Tilstand og under hvilke Forhold Skibet er, om det fører Seil, og da hvilke, om den omtrentlige Afgang af Forbrugsartikler fra Udrustningsdeplacementet, for at navnlig Stabiliteten, der har Indflydelse paa Perioden, kan bedømmes, om Kjederne ere fulde eller tomme, om der er Vand i Lasten o. s. v. Tillige angives Vindens Retning og Styrke, Søens Retning og Skibets Cours. Endelig tages saa gode Observationer som muligt af Søens Periode og Dimensioner. Selve Bevægelserne observeres ved Sigte til Horizonten, Størrelsen saavel af luv som læ Overhalinger noteres, ligesom Mediet af alle Oscillationer for 5 eller 10 Minuter, og Størrelsen af

maximum Oscillationerne, samtidigt observeres Rullingens Periode. Ved Observation af de langskibs Bevægelser noteres Duvningsvinklen (Næsen) og Sætningsvinklen (Hælen) (pitching & scending). I de engelske Regulativer er det bestemt, at Observationerne udstrækkes over et Tidsforløb af 10 Min. ad Gangen.

Med Hensyn til Spørgsmaalet om Rulling i den naturlige Periode, eller i en permanent forceret Periode, var der hos de tidligere Grandskere i Videnskaben Uoverensstemmelse i Anskuelserne, idet Bouguer betragtede Bevægelserne i Sø som foregaaende ufravigeligt i den naturlige Stillevandsperiode, medens Daniel Bernouilli derimod paastod, at Bevægelserne altid maatte synkronisere med Søen og altsaa altid bleve forcerede. Hr. Bertin erklærer, at Bouguers Paastand var den rette, hvilket bekræftedes ved de omhyggelige Observationer i den franske Pandserescadre i 1863, og han yttre, at man i Søgang kunde kjende et Skib paa lang Afstand paa Antallet af dets Svingninger i Minutet. I 1867 og 68 registrerede han Bevægelserne i Magenta og Savoie med et automatisk Instrument og fandt aldrig andre Afvigelser i Bevægelsernes Tid, end hvad der kunde forklæres af Forandringer i Skibets indehavende Vægte. Chefen for Heroine kom efter flere tusinde Observationer til det samme Resultat. Dog vise andre Optegnelser om franske Skibes Bevægelser Afvigelser fra den naturlige Periode, ligesom det Samme ogsaa fremgaaer af engelske »rolling returns«. Den naturlige Periode be-roer imidlertid paa Stabilitetsmomentet og indirecte paa Deplacementet, og, da disse Størrelser ere Forandringer underkastede ved Af- og Tilgang af Vægte (navnlig Kul), og da Beretningerne Intet indeholde derom, ligesom man ikke altid kan see, om Skibene have havt Seil tilsatte, hvilke antages at have Indflydelse paa Perioden, saa er det som oftest vanskeligt at komme til et afgjørende Resultat. I England er den forcerede Periode

accepteret som en Frugt af Erfaring og forklares at indtræde, naar Skibet i lang Tid har været udsat for en regelmæssig Sø. Hr. Bertin er ogsaa bekendt dermed, men mener, at den forcerede Periode lettere indtræder i mindre Skibe end i store Panderskibe. I den Anledning skal det anføres, at Skonnerten Ingolf temmelig hurtigt faldt ind i »permanent rolling« eller Tilnærmelse dertil. Dens naturlige Periode for dobbelt Sving var $8\frac{3}{4}^{\text{sec}}$. I stiv Kuling med i det Hele regelmæssig Sø af 5^{sec} Periode var Skibets Oscillationstid for dobbelt Sving $6\frac{1}{2}^{\text{sec}}$. Med Sø af 6^{sec} Periode var Oscillationstiden $7\frac{1}{2}$ à $7\frac{3}{4}^{\text{sec}}$ og med Sø af 7^{sec} Periode var Oscillationstiden nøagtigt 7^{sec} , hvilket var Medium af 78 Observationer.

Loven om Størrelsen af Inclinationsvinklen θ som Function af T , T_1 og θ forudsætter, correct gennemført, at Skibet er isochront i sine Svingninger. Dette er næsten altid Tilfældet for Oscillationer indtil 10 à 15° til hver Side, hvorimod der for større Inclinationer som oftest finder smaa Afvigelser Sted. Af Udtrykket

for $T_1^*) = \pi \sqrt{\frac{\Sigma(wr^2)}{W \cdot m}}$ sees T_1 at beroe paa Inertiemo-

mentet og Stabilitetsmomentet, hvilke Størrelser begge ere momentane Forandringer underkastede. $\Sigma(wr^2)$ forandres ved rullende Bevægelse, fordi Omdreiningsaxen ikke kan betragtes som fastliggende, dog ere dens Stedforandringer saa

*) Dette er Hr. Bertins Udtryk, og faaes ved i det tidligere givne

$$T_1 = \pi \sqrt{\frac{k^2}{gm}} \text{ at indsætte Værdien for } k^2 = \frac{\Sigma(wr^2)}{W} g, \text{ hvor}$$

W er Deplacementets Vægt. Hr. B. bruger dog ikke Benævnelsen m for Metacenterhøiden, men derimod $(\rho - \alpha)$, hvor ρ er Metacentrets Høide over Deplacementscentret, og α er Gravitetscentrets Høide over Samme. Denne Betegnelse giver en Forestilling om Centrenes Beliggenhed i Skibet, som m slet ikke giver.

smaa, at Hr. Froude erklærer dem at være uden Betydning, og de Variationer i $\Sigma (wr^2)$, som blive en Følge deraf, have heller ikke stor Indflydelse paa T_1 . Forandringer i m have derimod kjendelig Indvirkning paa T_1 , og, som det vil erindres af den metacentriske Evolute, gaae disse Forandringer i den Retning, at m voxer med Oscillationsvinklerne, hvorfor T_1 altsaa skulde aftage, naar disse blive store. Imidlertid er vel søm oftest det Modsatte Tilfældet, og Aarsagen maa da søges andesteds, f. Ex. i Modstanden, der med store Svingninger, som medføre store Hastigheder, maa tiltage betydeligt, saameget mere som endeel deraf er proportionel med Hastighedernes Qvadrat. Stabilitetsmomentet $W \cdot m$ er ogsaa momentane Forandringer underkastet, fordi Vægten er større i Bølgens underste og mindre i dens øverste Halvdeel. Afvigelseerne fra Isochronismen ere dog i det Hele ubetydelige og indskrænke sig som oftest til smaa Brøkdeler af Secunder. I den upandsrede Fregat Inconstant aftager Perioden ved store Overhalinger. I »low freeboard« Skibene ere Afvigelseerne større end i de højsidede Skibe.

Under den foregaaende Betragtning er Skibet overalt supponeret liggende med Bredsidens til Søen. Naar Cursen bliver skjøn paa Søens Retning, indtræder en Forandring i den indbyrdes Virkning af Søens og Skibets Periode. Antag t. Ex., at et Skib, hvis naturlige Periode er 12 à 13^{sec}, gaaer tværs i en Dønning, som har 8 à 9^{sec} Periode, og at det ruller mageligt 4 à 5⁰ til hver Side. Da der Intet er til Hinder for at kaste Batteriet los og lukke Portene op, begynder man sine Øvelser; men af en eller anden Grund bæres der nu 5 à 6 Streger af, saa at Dønningen kommer paa Laaringen; og det kan da hændes, at man skynder sig at lukke sine Porte igjen, fordi Skibet sandsynligt har antaget meget større Rulningsbevægelser. Aarsagen hertil er da, at man paa den nye Curs løber bort fra Søen, som nu skal indhente

Skibet, hvoraf følger, at Søens apparente Periode bliver længere end den virkelige, der er 8 à 9^{sec}. Den apparente har nærmet sig Skibets, maaskee er den bleven lig dettes, i hvilket Tilfælde vi have Synchronisme. Dette vil afhænge af Forholdet imellem Søens og Skibets Hastighed. Af Forsøg med Devastation haves følgende Erfaring. Skibet, der har 13^{sec}.5 Periode, dampede tværs i Sø af omtrent 11^{sec} Periode og rullede dermed igjennem en Totalbue af 14°. Man bar derefter af og tog Søen paa Laaringen og gik saaledes 7.5 Mils Fart. Oscillationsvinklen blev derved fordoblet, idet Skibet nu rullede 13° til Luvart og 14½° læ, altsaa ialt 27½°. I dette interessante Forsøg er den eneste Betingelse, der varierer, Forholdet imellem Skibets Periode og Søens apparente Periode. Lignende Forsøg ere anstillede af Hr. Froude med Corvetten Greyhound, hvilke have givet samme Resultat. Naar et Skib, hvis naturlige Periode er kortere end Søens, forandrer Cursen fra tværs i Søen til skjøns op imod Søen, ville dets Bevægelser efter samme Princip tiltage, fordi Søens apparente Periode derved bliver kortere end den virkelige og altsaa bringes nærmere til Lighed med Skibets. Personlig Erfaring derom haves fra Skruedampskibet Kjøbenhavn, der havde overmaade hurtige og haarde Bevægelser. Dets Periode var kun ufuldkomment bekjendt, men antoges i Almindelighed 5 à 6^{sec}, dog naturligt noget forskjellig efter den indehavende Ladnings Beskaffenhed. Det var imidlertid en ubestridelig Kjendsgjerning, at dette Skib, hvis Router faldt i Østersøen, Nordsøen og Nord-Atlantehavet, sædvanligt rullede haardere med Søen 4 à 6 Streger paa Bougen end med Søen tværs. Et Skib med længere Periode end Søens vil derimod komme til at ligge roligere, hvad tværskibs Bevægelser angaaer, jo nærmere det stævner Søen. Afseet fra Forholdet imellem Perioderne er Stillingen skjøns paa Søen gunstigere for Rolighed, fordi Skibet med sin Længde kommer til

at ligge over forskellige Inclinationer af Søens Skraaning. Bølgens Inclination har sit Maximum paa et bestemt Sted, omtrent midt paa Skraaning, hvorfra den aftager saavel mod Toppen som mod Dalen. Ligger Skibets Center nu f. Ex. i dette Inflexionspunct, saa komme Enderne af Skibet til at ligge i Steder paa Søen, hvor Inclinationen er mindre, og Resultant-Skraaning bliver da mindre, end om Skibet laa tværs i Søen.

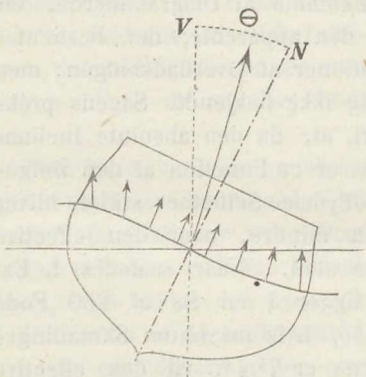
Med Hensyn til Søens Skraaningsvinkel, i Almindelighed taget, er der Meget, der taler for, at den, hvoraf Skibets Oscillationer ere afhængige, i Reglen bliver noget mindre end den virkelige Overflade-Skraaningsvinkel, som kaldes den *apparente*. Det vil erindres, at Steilheden af de horizontale Lag af lige Tryk aftager, som de ere dybere nede, og at denne Steilhed i en Dybde under Overfladen, lig $\frac{1}{9}$ af Søens Længde, er aftaget til det Halve. Skibet naaer med sit Skrog ned i en vis Dybde og gennemtrænger saaledes en vis Tykkelse af horizontale Lag, hvis Steilhed stadigt aftage fra Vandlinien ned til Kjølen. Det antages nu, at Skibets Ligevægtstilling er afhængig, ikke af Overfladens Inclination, men derimod af en Middelinclination, beliggende et eller andet Sted mellem Overfladen og Kjølen, som kaldes den »*effective*» Bølgeskraaning (*effective wave slope*), og hvis Steilhed altsaa er lidt mindre end den *apparente*, og det er Normalen paa denne *effective* Bølgeskraaning, som saaledes approximativt bliver Skibets momentane Ligevægtsstilling. Man antager, at det horizontale Lag, som, forlænget igjennem Skroget, vilde passere igjennem Deplacementscentret, er Skibets *effective* Bølgeskraaning, dog er dette ingenlunde afgjort. Hr. Froude er ved theoretisk Undersøgelse af Spørgsmaalet kommen til det Resultat, at den *effective* Bølgeskraanings Beliggenhed er afhængig af Forholdet imellem Skibets Brede og Dybde og Metacenterhøjdens Forhold til Dybden, dog

advarer han selv imod at drage afgjørende Slutninger af disse Resultater. Med det automatiske Instrument har han dernæst gjort praktiske Forsøg ombord i Panderskibet Devastation og fundet, at den effective Bølgeskraaning, som vil fremkomme af Diagrammerne, var noget mindre steil end den apparente, der bestemtes ved omhyggelige Observationer af Overfladebølgen; men hvormeget mindre, er mig ikke bekendt. Sagens praktiske Interesse ligger deri, at, da den absolute Inclination, Skibet naaer i Søen, er en Function af den Bølgeskraaning, under hvis Indflydelse Skibet er stille, bliver denne absolute Inclination mindre, naar den effective Bølgeskraaning er mindre steil. Naar saaledes f. Ex. Panderskibet Hercules ligger i en Sø af 250 Fods Længde og 13 Fods Høide, hvis maximum Skraaningsvinkel i Inflexionspuncterne er $7\frac{1}{2}^{\circ}$, vil den effective Bølgeskraaning, forsaavidt den passerer igjennem Skibets Deplacementscenter, være 2 à $2\frac{1}{2}^{\circ}$ mindre steil end Søens Overfladeskraaning. Det fremgaaer heraf, at store Skibe i saa Henseende maae have en Fordeel over smaa.

Hr. Bertin, der har behandlet hele Rullingsspørgsmaalet med stor Grundighed, uagtet han paa et enkelt Punct (om Modstandens Forhold til Hastigheden) er i Strid med de engelske Forfattere, giver endnu en Coefficient, hvormed Bølgeskraaningsvinklen skal multipliceres, og som altid reducerer denne Vinkel. Denne Coefficient bestemmes af Forholdet imellem Skibets og Søens Dimensioner. Dersom Skibet f. Ex. er saa stort, at dets Brede er lig den halve Bøgelængde, saa vil det, naar dets Center er i Søens Inflexionspunct, gennemgaae alle Retninger af Tryk imellem den verticale og den inclinerede Bøgenormals, og Resultanten deraf vil være en Retning, der gjør en mindre Vinkel med Verticalen end Bølgeskraaningsvinklen, som vi ville kalde θ . Skibets og Søens relative Dimensioner faae selvfølgeligt især Vigtighed, naar Skibet er meget stort og Søerne

meget smaa; dersom Skibet saaledes paa engang hviler paa flere Bølger, vil Middeltrykket kun afvige meget

Fig. 33.



lidt fra Trykket i stille

Vand, og Rulling finder

næsten slet ikke Sted.

Under mere ordinære

Forhold i Søgang faaer

Dimensionerne vel ikke

saa stor Betydning;

men de have dog for-

detmeste Interesse. Ne-

denfor gives Værdier af

Coefficienten μ , hvor-

med Θ skal multipli-

ceres. b er Skibets

Brede, l er Søens halve

Længde, h Søens Høide

og L dens hele Længde. Deraf sees, at, naar Skibets

Brede er lig Søens Længde, forsvinder Virkningen af Θ .

$\frac{b}{l}$	Værdier af Coefficient μ .	
	$\frac{h}{L} = 0.05.$	$\frac{h}{L} = 0.10.$
0.00	1.00	1.00
0.25	0.98	0.98
0.50	0.90	0.92
0.75	0.79	0.82
1.00	0.65	0.67
1.25	0.48	0.50
1.50	0.30	0.31
1.75	0.14	0.14
2.00	0.00	0.00

Naar Bredden er lig Søens halve Længde, skal Θ multipliseres med 0.65. Naar Søens Længde er 8 Gange

Skibets Brede, bliver μ 0.98 og ophører at have Inter-

esse. Det sees, at store Skibe have Fordeel over smaa.

For Skibe med lang Periode har μ ingen Betydning

paa synchron Sø, da dennes Længde bliver mere end 8 Gange Skibets Brede. For Skibe med kort Periode kan μ derimod faae Betydning paa synchron Sø. Det er paa Grund af, at Skibet ikke er et Punct i Forhold til Søen, men derimod optager en relativt større eller mindre Plads i denne, at Normalen til den effective Bølgeoverflade kun approximativt angiver Skibets Ligevægtstilling (see Note Pag. 111). Jo større Søen er i Forhold til Skibet, jo større er Tilnærmelsen.

I det Foregaaende er der kun fremhævet de 2 Hovedbetingelser for et Skibs Opførsel i Søen, nemlig det bestaaende Forhold imellem Skibets naturlige Periode og Søens Periode samt Bølgens Steilhed, hvorimod den tredie Hovedfactor Vandets Modstand har været holdt udenfor. Denne Factor spiller imidlertid en saadan Rolle, at, saafremt den ikke fandtes, vilde ethvert Skib ved Møde med coperiodisk Sø ufeilbarlig efter færre eller flere Bølgers Passage (alt efter deres Steilhed) blive kapsejet. Naar saaledes et Skib tænkes rullende uden Modstand i en Sø, der er synchron, saa vil enhver Bølgeimpuls forøge Oscillationernes Størrelse; denne Forøgelse udtrykker Bølgens Energi og kan betragtes som et af denne paa Skibet udrettet Arbeide. Tænker man sig nu, naar Rulling begynder, Modstanden indført, saa vil Bølgeimpulsen ved den første ringe angulaire Hastighed have Overvægt over Modstanden; men, som Oscillationerne paa Grund deraf stadig tiltage i Størrelse, forøges ogsaa Svingningshastigheden, hvilket fører til en gradviis Forøgelse af Modstanden, indtil et Punct er naaet, hvor den netop balancerer Bølgeimpulsen, og ved dette Punct tiltage Oscillationerne ikke mere i Størrelse, idet hver ny Bølgeimpuls, der rammer Skibet, absorberes af Modstanden. Denne fremtræder altsaa her som en Kraft, der begrænsrer Bevægelsen.

Paa Grund af den flydende Modstands afgjørende Betydning for et Skibs Rolighed i Sø og endog for dets Existens, har Lovene, hvorefter den gjør sig gjældende, naturligt tiltrukket sig de dygtigste Grandskeres Opmærksomhed. Ved Slingringsexperimenter kan man, som tidligere forklaret, komme til nøjagtig Kundskab om Størrelsen, udtrykt i mechanisk Kraft, af den Modstand, der fremkommer, naar Skibet slingrer i stille Vand; men Lovene, den adlyder, er paa et bestemt Punct et omstridt Spørgsmaal. Hr. Froude antager, at Udtrykket for Modstanden bestaaer af 2 Led, hvoraf det ene indeholder Hastigheden ligefrem og det andet Hastighedens Qvadrat, og at Tabet i Svingets Størrelse kan fremstilles ved $a\theta + b\theta^2$, hvor θ er Inclinationsvinklen og a og b Coefficienter, der ere eiendommelige for Skibet^{*)}), hvorimod den franske Ingenieur Hr. Emile Bertin hævder, at Modstanden i sin Heelhed er proportional med Hastighedens Qvadrat og skal udtrykkes ved eet Led $N\theta^2$. Man antager nu, at den Modstand, der yttres sig ved Rulling i Søen, nærlig er lig den, der for en ligesaa stor Udslagsvinkel er funden i stille Vand. Det synes vel, at Vilkaarene ere noget forskellige. Naar Skibet ligger stille, sætter det, ved Rulling, de omgivende Vandmasser i en continuerende oscillatorisk Bevægelse, hvilket man skulde troe kunde have en Formindskelse af Modstanden tilfølgende, hvorimod Skibet, naar det gaaer frem, bestandigt kommer ind i nyt Vand, som er uforstyrret af tidligere Oscillationer. Hr. Froude udtaler herom, at, uagtet han ikke vil paa-staae, at Modstandslovene for Stillevandsoscillationer uden Modification kunne anvendes, naar Skibet bevæger sig frem i Søgang, saa ville disse Modificationer dog ingenlunde blive store, og de ville ialfald ikke føre til nogen Formindskelse af Modstanden. Han oplyser til Støtte herfor, at den mest omhyggelige Analyse af de

^{*)} See forrige Foredrag.

automatiske Diagrammer, tagne af ham selv i Corvetterne Greyhound og Perseus samt i Panderskibet Devastation i Søgang i Canalen og undertiden med temmelig stor Fart, synes ikke at tyde paa nogen stor Forandring i de Modstandscoefficienter, som for disse Skibe vare bestemte af Oscillationer i stille Vand. Da Coefficienterne a og b ere bestemte ved et Experiment, under hvilket det oscillerede i sin naturlige Periode, maae de imidlertid undergaae en Modification ved at anvendes paa Skibet, naar dette forceres til at udføre sine Bevægelser i en kortere eller længere Periode, hvorved Svingningshastigheden forandres.

Modstandens Rolle gaaer i Hovedsagen i Retning af gradviis at standse Bevægelsen i stille Vand og at begrænse Bevægelsen i Søgang, og, da den Kraft, hvormed den modsætter sig Bevægelsen, er proportional med Svingningshastigheden deels ligefrem, deels i anden eller høiere Potentser, er den naturligt størst i det Moment, Svingningshastigheden er maximum, hvilket er, naar Skibet i sit Sving passerer den opreiste Stilling, og den er Nul, naar Skibet er ved Enden af sit Udsving.

Saavel Hr. Froude som flere Andre have forsøgt at løse Problemet om Bestemmelse af et Skibs Maximum-Oscillationer i Sø af visse givne Dimensioner, naturligt under Forudsætning af en ganske regelmæssig Sø, naar de nødvendige Data for Skibet inclusive Modstandscoefficienterne ere bekjendte. Hr. Froude har nærmet sig Løsningen af Problemet ved at betragte Modstanden som æquivalent med en Reduction af Søens Steilhed, beregnet saaledes, at denne formindskede Skraaning af Bølgen træder ind i det mathematiske Udtryk istedenfor den effective Bølgeskraaning. Afdraget i Skraaning af Bølgen, som altsaa ifølge hans Betragtning balancerer Modstanden, kalder han »maintaining power«. Den tilbageblevne Bølge ansees da som lig den, der uden Mod-

stand vilde bibringe Skibet ligesaa store Oscillationer, som det virkelig udfører. Det skal iøvrigt bemærkes, at, da Modstanden beroer paa Svingningshastigheden, og denne igjen er afhængig af Oscillationsvinklernes Størrelse, som man ikke kjender, men som søges, saa maa Spørgsmaalet vendes om og stilles saaledes, at der supponeres en Størrelse af Oscillationsvinkel, og findes den Skraaning af Bølge, der fordres for at bibringe Skibet saa store Oscillationer. Hr. Bertin opstiller, for maximum Inclinations-Vinklen mod Bølgennormalen i synchro-

Sø, Udtrykket 1) $\phi = \sqrt{\frac{\Theta}{N}}$ *), hvor Θ er Søens Skraaning,

og N er en Størrelse, som findes af Stillevandsoscillationerne, og som indeholder Modstandscoefficienten. N gives ved

$\frac{4 M_1}{3 \Sigma (wr^2)}$, hvor M_1 er Modstandsmomentet, svarende til en angulair Hastighed = 1. Indsættes dette i 1) faaes 2) $\phi =$

$\sqrt{\frac{3 \Sigma (wr^2) \Theta}{4 M_1}}$. Af Formlen for Halvperioden 3) $T_1 =$

$\pi \sqrt{\frac{\Sigma (wr^2)}{W \cdot m}}$ haves Inertiemomentet $\Sigma (wr^2) = \frac{T_1^2}{\pi^2}$

$W \cdot m$, hvilket indsat i 2) udtrykker 4) $\phi = \frac{T_1}{\pi} \sqrt{\frac{3 \Theta W \cdot m}{4 M_1}}$,

hvilket Udtryk, af samme Grund som ovenfor omtalt, maa løses med Hensyn til Θ med supponeret Værdi af ϕ . Man maa iøvrigt ikke vente sig nogen rigorøs Løsning, men Udtrykket, som kun har en approximativ Charakter, giver et Billede af den Indflydelse, Skibets og Søens Hoveddata have paa Bevægelsernes Størrelse. Det sees af 4), at jo større T_1 er, jo større bliver ϕ , hvilket naturligt skal forstaaes i Forbindelse med Forudsæt-

*) Hr. Bertin betegner Skibets Halvperiode ved T_n og Stabilitetsmomentet ved $P (\rho - a)$; men her skulle de tidligere brugte Udtryk T_1 og $W \cdot m$ bibeholdes.

ningen om Synchronisme. Det Skib, som har en stor Periode, naaer en større Rullingsvinkel ved Møde med sin synchrone Sø, end det Skib, som har en mindre Periode, ved Møde med sin, naar ellers de andre Data ere de samme. Dette vil let indsees, naar man tænker sig Yderlighederne, T_1 meget stor i Modsætning til T_1 meget lille. En Sø af meget stor Periode skabes af en langvarig Brandstorm, hvorimod en Sø af meget lille Periode forekommer med Magsveir. Men det Skib, der har en stor Periode, har ringe Sandsynlighed for at møde sin synchrone Sø; det møder den maaskee aldrig og opnaaer i saa Tilfælde aldrig sin Maximum-Inclination. Det er ogsaa begrundet paa Erfaring, at Bølgeskraaning θ aftager, naar Søens Halvperiode T voxer $\propto$: som Søen med vedvarende og tiltagende Kuling voxer i Længde, bliver den mindre steil, (uagtet den ogsaa voxer i Høide). Naar Søens og Skibets Perioder ere forskellige, skulle Udtryk 2) og 4) tænkes multiplicerede med en Factor, der altid er mindre end Eenheden, og hvis Størrelse bliver mindre, eftersom Forskjellen imellem Perioderne er større. Synchronisme medfører altid de sværeste Bevægelser. Jo nærmere man kommer dertil, i jo større Deel af det hele Sving vil Skibet og Bølgennormalen oscillere samme Vei i Svingene ind og modsat Vei i Svingene ud, og jo sværere vil Skibet rulle. Jo fjernere man er fra Synchronisme, jo mindre ville Bevægelserne blive. Man bør derfor tilstræbe saa stor Forskjel som mulig mellem T_1 og T . Bestemmelsen af T_1 fordrer Kjendskab til Søens Periode, som den almindelig forekommer. Da $2T$ med Stormveir i det aabne Hav falder imellem 6 og 10^{sec} og kun undtagelsesviis overskrider sidstnævnte Grændse, have vi Fordeel af at forøge $2T_1$ saa meget som muligt, naar den naaer 10 à 12^{sec} . Kan man naae $17\frac{1}{2}^{\text{sec}}$ som i Inconstant, eller 20^{sec} som i Suffren, faaer man Skibe, som kun rulle overmaade lidt. I mindre

Skibe kunne nogenlunde analoge Resultater naaes ved at formindske T_1 saa meget som muligt, naar $2T_1$ er omtrent 5^{sec} . En Nedgang af $2T_1$ til under 4^{sec} kan dog kun naaes i Smaaskibe og Kanonbaade. Det maa dog ikke oversees, at, naar Skibe som den amerikanske Monitor Miantonomoh, hvis $2T_1$ kun er $5^{\text{sec}}.4$, fremstilles som forholdsviis rolige i Vestpassatens længere Sø, saa ere de dog ikke rolige Batailleskibe og blive navnlig forholdsvis urolige i jævnt Magsveir, hvor $2T$ kan falde imellem 3 og 6^{sec} , ligesom de i specielle Zoner af Oceanet, saaledes i Østpassatens Regioner, netop ville møde en temmelig regelmæssig synchron Sø. Størrelsen af $2T$ er i NO Passaten i Almindelighed $5^{\text{sec}}.8$. Skibets Rolighed afhænger altsaa ligesaameget af Søens Data, der ere variable fra Dag til Dag, som af dets egne, der indenfor visse Grændser ere constante. Det vil uden Tvivl være heldigst at skaffe Skibet en lang Periode — især de store Skibe. Af 3) sees, at Halvperioden $T_1 = \pi$

$\sqrt{\frac{\Sigma (wr^2)}{W \cdot m}}$ er afhængig af Inertiementetet og Stabilitetsmomentet. For at skaffe en stor Periode fordres altsaa $\Sigma (wr^2)$ saa stort som muligt. $\Sigma (wr^2)$ beroer alene paa Vægtenes Fordeling, over hvilke Constructeuren dog ikke har synderlig Indflydelse, da alle betydelige Vægtes Plads er forudbestemt dels af militaire Hensyn og dels blive en Følge af de Data, som Administrationen opgiver, og som have Hensyn til Skibets Character som Krigsskib. $\Sigma (wr^2)$ maa derfor tages, som det kan falde, og, selv om Constructeuren kunde influere noget derpaa, sees det, at det staaende i Tælleren i Udtrykket 2) for ϕ vilde bidrage til at forøge dennes Størrelse, jo større det bliver. Et stort Inertiementet betyder vel, at Skibet vanskeligere sættes i Bevægelse; men det betyder ogsaa store Bevægelser, hvilke vanskeligere standses, naar de først ere i Gang. Der maa altsaa iagttages, at man ikke

taber i den ene Retning, hvad man vinder i den anden, og der er ingen absolut Løsning, undtagen naar man ønsker at gjøre T_1 saa lille som mulig 3: naar man vil bygge et Skib som Miantonomoh. Spørgsmaalet har iøvrigt, som sagt, mindre Interesse for Krigsskibe, hvorimod man i Koffardiskibe, der indtage Ladning, som oftest, idetmindste til en vis Grad, er Herre over Vægtenes Fordeling. Den bedste Fordeling er, naar Skibet hverken er for svært lastet foroven eller forneden, men har sine Hovedvægte nærlig i Vandliniens Niveau og i Nærheden af Diametralplanet. For langskibs Bevægelser er det heldigst at undgaae svære Vægte i Enderne, og Resultatet bliver altsaa at samle saa stor en Deel af Vægtene som muligt i Nærheden af Gravitetscentret. Stabilitetsmomentet $W. m$, som staaer i Nævneren af Udtryk 3), er Constructeuren derimod mere Herre over ved Bestemmelse af Metacenterhøiden m , hvis Størrelse kan varieres indenfor rigelige Grændser, navnlig ved Forandringer i Former og undertiden tillige ved Modificationer i Vægtene. Det er saagodtsom udelukkende ved Valget af m , at man bliver Herre over Perioden, og for at faae denne stor, skal m altsaa vælges saa lille som muligt. Der er imidlertid en praktisk Grændse for Reductionen af m , begrundet i Fordringen, at Skibet ikke alene skal have tilstrækkelig Stivhed, men ogsaa rigelig Udstrækning af Stabilitet (range of stability)*), især hvis det har Reisninger og Seil, og det er uidentvilt kun store og høie Skibe, som taale en yderliggaaende Reduction af Metacenterhøiden. Det maa ikke tabes af Syne, at T_1 ved denne Reduction kun tiltager som $\sqrt{m}$ i omvendt Forhold, hvorimod Stabiliteten aftager ligefrem, som m reduceres. En Sag, der heller ikke kan lades ude af Betragtning, er, at det flydende Tryks Intensitet ikke er constant under Bevægelse i Sø, hvorfor følgende Skibets

*) See første Foredrag. (Stabilitetscurver).

apparente Vægt er underkastet Forandringer. Disse Variationer, der ere større, eftersom Søen er høi i Forhold til Længden, og paa meget høi steil Sø kunne andrage 15 à 20 pCt. over og under det normale, afficere ligefrem og i samme Grad Stabilitetsmomentet. Naar Stabiliteten saaledes momentant aftager, maa Inclinationsvinklen tiltage, fordi der skal være Ligevægt mellem de to Momenter. Det er saameget mere nødvendigt at tage Hensyn hertil ved Bestemmelsen af Metacenterhøiden, som meget store Krængningsvinkler for Seilene netop faaes under saadanne Omstændigheder, hvor Søen er høi, og da Skibet paa Bølgetoppen, hvor Stabiliteten er under den normale, er mest udsat for Kraften af Vinden, ligesom disse Variationer i Intensiteten af det flydende Tryk i sig selv fører til større Oscillationer, naar Svingene ind finde Sted i Bølgedalen, hvor Stabiliteten, hvis Moment Svinget skyldes, er maximum, og Svingene ud finde Sted paa Bølgetoppen, hvor Stabilitetsmomentet, der skal modarbeide Bevægelsen, er minimum.

Af 2) sees, at Bølgeskraanningen Θ staaer i Udtryk- kets Tæller og altsaa maa forøge ϕ , som den selv bliver større; i det Foregaaende er gjort Rede for, at den effective Θ er noget mindre end den apparente paa Søens Overflade.

Vi vende os nu til Modstanden M_1 , som i kritiske Tilfælde er Skibets eneste virkelige Beskyttelse, og som det selvfølgelig altid er heldigt at skaffe saa stor, som andre Constructionshensyn tillade det. Store Skibe have en betydelig Fordeel over smaa, fordi deres Svingningsradier ere større, og Modstanden tildeels endog er proportional med Svingningshastighedernes Qvadrat. Paa Grund heraf taale de en Reduction af Metacenterhøiden, som det vilde være farligt at prøve med smaa Skibe, og som for disse næppe vilde have begrænsede Bevægelser tilfølge. Man kan altid forøge M_1 ved Anbringelse af Slingrekjole.

En Forøgelse af Modstanden er æquivalent med en Forøgelse af Inertiemomentet og vil derfor have en ringe Forlængelse af Stillevandsperioden til Følge; men Forskjellen er, som førnævnt, ikke stor. Saavel i Frankrig som i England er det anerkjendt, at Slingrekjole, naar de ere korte og brede (helst $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5}$ af Skibets Dybgaaende) udøve en betydelig Indflydelse paa Oscillationernes Størrelse uden at skade Farten i nogen bemærkelig Grad, og de anvendes i stor Udstrækning saavel i Flaaderne som i Transportskibe og i de store Paquet-skibe. Troppeskibene Serapis og Crocodile ere blandt andre Exempler paa, hvorledes dybe Slingrekjole kunne forvandle urolige Skibe til meget rolige. Den eneste Grændse for deres Størrelse ligger i Constructions-vanskeligheder og Hensyn til Dokning. Hr. Froude har gjort Experimenter i Sø med den samme Model af Devastation, som i forrige Foredrag blev beskrevet i Forbindelse med Stillevandsexperimenter. Modellen blev udsat for Søen i et stort Dokbassin. Det blæste betydeligt, og den Sø, der satte op, var 15 à 18 Tom. høi, undtagelsesviis 2 Fod, hvilket for selve Skibet vilde svare til en Høide af 45 à 54 og undtagelsesviis 60 Fod, en Høide af Sø, som næppe nogensinde forekommer paa det dybe Hav. Søens Periode var $2^{\text{sec.}}1$ til $2^{\text{sec.}}25$; Modellens metacentriske Periode var $1^{\text{sec.}}8$ til $1^{\text{sec.}}9$. Det var saaledes en meget ubehagelig Sø for Modellen, betydelig høiere, end Skibet har Udsigt at møde og temmelig steil (Θ indtil 15°). Modellen blev holdt med Bredsidens til Søen ved Hjælp af lange tynde Liner i hver Ende, hvilke styredes fra en Baad, der laa et Stykke i Læ af den. Linerne slækkedes hver Gang der blev observeret. Vinklerne, som toges af 3 Observateurer, stemmede meget godt indbyrdes.

Med Slingrekjole af 6 feet Brede var Resultatet:

Maximum Overhalingerne $3\frac{1}{4}^0$; dog siger Hr. Froude, at, da man endnu ikke var rigtig øvet i at maale

Vinklerne, er det sikkrere at sige 5^0 som Maximum, dog var det sjeldent, at denne naaedes. Medium var 1 à 2^0 .

Med Slingrekjole af 3 feet Brede:

Gav $13\frac{1}{2}^0$ som Maximum; 9 à 10^0 som Medium. I begge Tilfælde vare luv Overhalinger lidt større end de læ; men Forskjellen noteredes ikke.

Uden Slingrekjole:

Gav gjentagne Overhalinger af 20 og 21^0 , og i den første høie Sø, der kom, og dette indtraf meget snart, kæntrade Modellen i en luv Overhaling. Den faldt dødt over for at møde den kommende Sø og blev overløbet af den. Dens Dæk, betragtet som Slingrekjøl, nyttede den ikke, men bidrog maaskee, til Kæntringen, da det maa have hindret Modellen i at reise Siden til at modtage den kommende Bølgetop.

Hr. Froude har dernæst gjort Forsøg med Corvetterne Greyhound og Perseus, to Søsterskibe, der vare bragte paa samme Amning og havde ligestore Stillevandsperioder, og af hvilke det første havde $3\frac{1}{2}$ Fods Slingrekjole, medens Perseus ingen havde. I en Tværsø i Canalen af 4 à 5^{se} Periode havde Greyhound kun halvt saa store Oscillationsvinkler som Perseus, og dette saavel for Maximum som for Mediumvinklernes Vedkommende. Slingrekjole ville altid være gavnlige i Retning af at begrænde Bevægelserne, hvilket er af Vigtighed saavel for Søskibet som Batailleskibet, og de anvendes endog i de for Rolighed mest ansete Skibe; men de faae især Betydning for saadanne Skibe, hvor Former og Vægtfordeling, bestemte af andre Hensyn, ikke have tilstedet en tilstrækkelig lang Stillevandsperiode, samt for mindre Skibe, i hvilke Inertiemomentet altid bliver forholdsvis ringe*) og Stabiliteten ikke kan reduceres saameget som

*) I ligedannede Skibe med Vægtene eens fordeelte er $\Sigma (wr^2)$ proportional med den 5te Potents af Dimensionerne, $W.m$ med fjerde Potents og T_1 med Qvadratoden af Dimensionerne.

i store Skibe, og hvilke derfor ikke kunne skaffes en lang Periode relativt til den almindeligt forekommende Bølgeperiode i Oceanet.

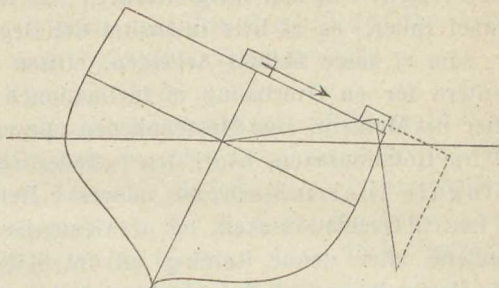
Til Slutning skal endnu omtales de Inerti kræfter, den centrifugale og den tangentielle, som udvikles, naar Skibet ruller, og af hvis Intensitet det Begreb afhænger, som vi kalde Skibets Arbeiden. Disse Kræfter repræsentere for en Overhaling af Inclinationen ϕ det Tryk eller det Moment, som Masseenheden udøver i den Afstand fra Rotationsaxen, hvori den befinder sig. Det centrifugale Inerti moment udøves i Retning af Radien hen til Oscillationsaxen, og det vil stræbe at kaste Gjenstandene efter denne Retning ud fra Skibet; det naaer sit Maximum, naar Svingningshastigheden er størst, altsaa naar Ligevægtsstillingen passerer, og Inclinationen mod den effective Bølgennormal er Nul. Det opnaaer ikke store Værdier og er ikke farligt for Materiellet, fordi det ved sit Maximum virker nærlig i Retning af Gjenstandenes Forstøtning. Det tangentielle Inerti moment udøves i Retning perpendiculair paa Radien hen til Oscillationsaxen; det naaer sit Maximum ved Enden af Oscillationen, altsaa naar Svingningshastigheden er Nul. Udtrykket for dets Maximum Værdi er

$$J_t = r \frac{\phi \pi^2}{T_1^2 g}, \text{ hvor } r \text{ betyder Gjenstandens Af}$$

stand fra Oscillationsaxen, ϕ er Inclinationsvinklen mod Bølgennormalen ved Enden af Svinget. $r\phi$ er altsaa Længden af det Buestykke, Gjenstanden beskriver med r som Radius. T_1 er Halvperioden. Qvotienten skal multipliceres med Gjenstandens Vægt, og til Productet skal lægges Composanten, som faaes ved at multiplicere Gjenstandens Vægt med sinus af Inclinationsvinklen, hvilken Kraft, Frictionen fradraget, altid vil gaae paa Forstøtningen, eller med hvilken Kraft Gjenstanden altid vil stræbe at flytte sig ved Skibets Inclination,

selv naar det ligger paa en støt Inclination i stille Vand. Summen er da den Kraft, Frictionen fradraget,

Fig. 34.



hvormed Gjenstanden bryder paa sin Forbindelse med Skibet, i det Øieblik Svinget ophører, og overgaaer til den modsatte Retning. En Gjenstand, f. Ex. en Kanon, der staaer paa Dækket, har under Skibets Oscillationer naturligt altid Tendents at fortsætte den Bevægelse i Rummet, som den er ifærd med. I det Øieblik et Sving (til Styrbord) nu standser, og under Svinget til Bagbord, vil Kanonen derfor under Paavirkning af det tangentialt Inertiement, hvis den ikke er forsvarlig surret, kjøre henad Dækket mod Styrbords Side. Det tangentialt Inertiement indtræder med sin fulde Størrelse for de Ting, der staae i Diametralplanet, fordi Momentet virker i Retningen perpendicular paa Svingningsradien, og altsaa i dette Tilfælde parallel med Dækket. Staaer Tingen derimod iborde, og Radien trækkes hen til den, vil det sees, at Perpendicularen faaer en Retning skjøns nedefter. Momentet kan da opløses i 2 Composanter, hvoraf den ene gaaer i Retning parallel med Dækket, og den anden, der gaaer i Retning perpendicular paa dette, absorberes af Dækket. Det tangentialt Inertiement beroer paa Svingenes

Størrelse og Hastighed samt paa Svingningsradiernes Længde og lader sig, naar disse Data ere bekendte, nøiagtig beregne; det kan opnaae meget betydelige Værdier; i Masterne og Reisningen over $\frac{4}{3}$ af Gjenstandenes Vægt. Exp. I et hurtigsvingende Skib, der ruller i høi Sø, staaer en Kanon af $6\frac{1}{2}$ Tons Vægt i Diametralplanet. Systemets Gravitetcenter 12 Fod over Oscillationsaxen.

$r = 12$ Fod; Svingets Halvperiode $T_1 = 3^{\text{sec}}.5$. Maximum Inclination mod Bølgennormalen $\phi = 40^\circ$.

$$\frac{r \phi \pi^2}{T_1^2 g} w = \frac{8.378 \times 9.870}{11.25 \times 31.2} \times 6.5 = 1.53 \text{ Tons} = J.$$

$$w \times \sin 40^\circ = 6.5 \times \sin 40^\circ = 4.18 \text{ —}$$

$$\text{Kraft paa Kanonens Forstötning} = 5.71 \text{ Tons.}$$

Endeel af Kraften vil dog absorberes af Frictionen. I alle Tilfælde seer man, at der er Tale om Kraftudviklinger, som nærme sig Kanonens Vægt. ϕ er ingenlunde valgt urimelig stor; en Vinkel af 40° og mere mod Bølgennormalen kan meget godt naaes, naar Bølgens Skraaning er 12 à 14° , hvilket ikke er ualmindeligt i Øster- og Nordsøen.

Urolighed er en Feil ved Skibet, som Sømanden lægger stor Vægt paa; den forringer dets Betydning som Batailleskib og har igjennem de udviklede Inertiemomenter Skibets Arbeiden til Følge, bryder paa Forbindingerne, især i Træskibe, fremskynder Bygningsmaterialets Forfald, anstrenger Reisningen og dens Forstötning samt Forstötningen af alle svære Ting, saasom Kanoner o. s. v. og kan medføre Fare, naar saadanne svære Gjenstande slaae sig løs. I Koffardiskibe fører den til Lastens Forskydelse. Endvidere foraarsager Skibets Arbeiden ogsaa fysisk Besvær for Mennesker og er uidentvill Aarsag til det Phænomen, som hos usøvante Individuer kaldes Søsyge. Det tangentielle Inertiemoment sees i to Henseender at afhænge af Perioden; for det første indirecte, fordi ϕ , der staaer i Udtrykkets Tæller, afhænger af Halvperioden T_1 og bliver mindre,

eftersom denne er forskjellig fra Søens Halvperiode, og for det andet directe, fordi T_1 forekommer i Nævneren i anden Potents. Da Inertiementernerne variere omvendt som Svingningshastighedernes Qvadrat, er det fordeelagtigt at skaffe T_1 en stor Værdi. Dersom man saaledes kan forøge Halvperioden fra 6^{sec} til 10^{sec} , aftager Skibets Arbeiden i Forholdet som 100 til 36, hvor den sandsynlige Reduction af Φ , som ogsaa vil øve Indflydelse, endda ikke er medregnet.

Et Skibs Rolighed afhænger, som anført, foruden af dets Periodes Forhold til Søens, tillige i høj Grad af den Modstand, der udøves imod Bevægelsen. Denne Modstand beroer, afseet fra Slingrekjole, hovedsagelig paa Skrogets Former og Proportioner. Frictionsmodstanden afhænger af Bundoverfladens Areal. Den directe Modstand er større, eftersom Skibet er langt, skarpt og dybt med fine Ender og deraf følgende betydeligt Areal af »deadwood«. Da begge disse Arter Modstand ere proportionale med Hastighedens Qvadrat, spille de en større Rolle i Skibe med hurtige og store Bevægelser end i roligere Skibe. Den bølgedannende Modstand, der i langsomt rullende Skibe udgjør en større Deel af den totale Modstand end i hurtigt rullende, udøves hovedsagelig af det Parti af Skroget, som er i Nærheden af Vandlinien, og den beroer paa, at Skibet ved Rulling momentant skal forandre Deplacementets Form. Circulaire Tværsnit, som i Cigarskibet, hvor Deplacementet før og under Krængningen faaer den samme Form, give en minimum Bølgedannelse, og et Skibs Tværsnit skulde derfor ikke nærme sig hertil. Skibets Former under Vandet bestemmes imidlertid i Hovedsagen af andre Hensyn, saasom Bæreevne, let Seilads og Stabilitet, og derimod ikke af Hensyn til Modstand mod de tværskibs Bevægelser.

Hr. Bertin udtaler iøvrigt, at, for at Studiet af Søens Forstyrrelser og af disses Virkninger paa Skibene kan

faae den fulde praktiske Betydning for Skibsconstruc-
 tionen, maa det fremfor Alt antage en mere experimental
 og mindre speculativ Charakteer. At fremsætte Qvæstioner
 i de simpleste Udtryk, derefter at samle det størst mulige
 Antal Erfaringer og tvinge Videnskaben til at antage
 dem, endelig at uddrage logiske Slutninger af vel-
 bekjendte og velforstaaede Facta, dette er Veien at gaae,
 og paa denne Vei er Fremskridtet sikkert.

Rettelser.

Pag. 77, Linie 7: »dets Periode«, læs: »dets halve Periode«

— 89, Linie 20: $\pi \sqrt{\frac{k_2}{gm}}$, læs: $\pi \sqrt{\frac{k^2}{gm}}$

— 89, sidste Linie: $\sum (wr_2)$, læs: $\sum (wr^2)$

