

Mt517P


Oefening Scheepshydronechanica

Handleiding

april 2004

Ing. C. J. Bom

Maritieme Techniek

 **TU Delft**

Technische Universiteit Delft

INHOUD

1.	Inleiding	3
2.	Opdracht.....	3
3.	Drukkingspunt in lengte; kromme van spantoppervlakken.....	3
4.	Schetsen van de spantvormen.....	4
5.	Planimeter	5
6.	Aanwijzingen voor een goede vorm	5
8.	Het netwerk	9
9.	Voor- en achtersteven.....	10
10.	Stroken	11
11.	Hoofdafmetingen	13
12.	Bepaling van enkele hydrostatische grootheden.....	13
13.	Stabiliteitsberekening en beoordeling	14
14.	Weerstand, schroefontwerp en motorvermogen.....	15
15.	Methode Lap-Auf'm Keller	15
16.	Weerstand volgens Holtrop en Mennen	17
17.	Schroef en vermogen.....	18

bijlage 1 "Moederscheepsvormen" bijlage bij rapportnr. 438 van het laboratorium van scheepshydronechanica: "Transformatie van scheepsvormen" van ing. A Versluis, januari 1998.

bijlage 2 Instructie "PIAS" van ing. H. van Keimpema, april 2003

bijlage 3 "Extended diagrams for determining the resistance and required power for single-screw ships" by W.H. Auf'm Keller.

bijlage 4a "An approximate power prediction method" by J. Holtrop and G.G.J. Mennen.

bijlage 4b "A statical re-analysis of resistance and propulsion data" by J. Holtrop.

bijlage 5 Openwater-diagrammen B-serie schroeven

1. Inleiding

Deze oefening heeft een relatie met de colleges "Hydromechanica" [mt501], "Geometrie en stabiliteit" [mt517] en "Weerstand en Voortstuwing" [mt518].

De theorie achter het lijnenplan en de stabiliteitsberekeningen wordt uiteengezet in het dictaat "Geometrie en stabiliteit" [mt517] van ir. J. Pinkster / ing. C. J. Bom. Dit dictaat is dan ook onmisbaar bij het maken van deze oefening en in deze handleiding wordt steeds verwezen naar de grafieken en de figuren van dit dictaat.

Aan de hand van een aantal gegevens van een schip moet de vorm van het schip worden bepaald en een eenvoudig lijnenplan getekend.

Veel schepen hebben een bulbsteven, maar vanwege het voor deze oefening te complexe karakter daarvan, is deze vervangen door een voorsteven zonder bulb.

Van het schip worden verder berekeningen gemaakt om de carène-inhoud, de ligging van het drukingspunt en enkele andere hydrostatische grootheden te bepalen. Ook een stabiliteitsberekening moet worden gemaakt. Tenslotte moeten een weerstands- en vermogensschatting worden gedaan en de berekening van de schroef gemaakt.

2. Opdracht

Eerste deel (40 uren)

- ontwerpen KVS afhankelijk van volheid, snelheid, hoofdafmetingen, enz.;
- berekening carène-inhoud en de ligging van het drukingspunt;
- spantvormen ontwerpen m.b.v. voorbeeld scheepsvormen en een aantal andere overwegingen;

zie par. 6: Aanwijzingen voor een goede vorm;

zie par. 7: voor het aantal te tekenen doorsneden.

Tweede deel (60 uren)

- lijnenplan tekenen op A2 formaat;
- berekening carène-inhoud en de ligging van het drukingspunt aan de hand van het gerealiseerde lijnenplan;
- berekening van de dwarsscheepse stabiliteit (m.b.v. PIAS);
- vergelijking van de uitkomsten van de hand- en computerberekening;
- beoordeling van de stabiliteit;
- schatting van de scheepsweerstand m.b.v. een handberekening (Lap Auf'M Keller) en via een computerberekening (Holtrop en Mennen);
- schroefberekening met de hand m.b.v. openwater diagrammen (B-serie);
- bepaling van het benodigde machinevermogen.

3. Drukingspunt in lengte; kromme van spantoppervlakken

Het ontwerpen van de scheepsvorm begint met het bepalen van de KVS. De vorm van de KVS is afhankelijk van de snelheid en de volheid van het schip en de lengteligging van het drukingspunt. Figuur 2.28 [mt517] geeft de optimale ligging van het drukingspunt (in deze grafiek kan enigszins extrapoleren nodig zijn).

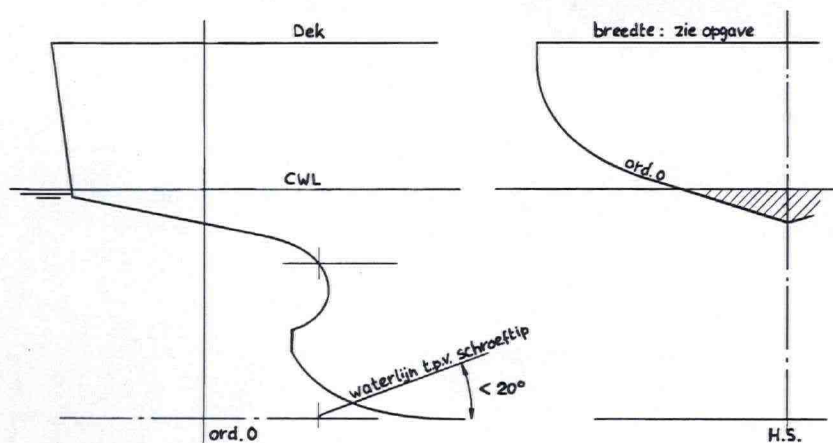
M.b.v. figuur 2.32 [mt517] kan bepaald worden tot welke categorie het schip behoort en met figuur 2.34 [mt517] is dan de prismatische coëfficiënt van het voor- en achterschip te bepalen; deze kunnen ook bepaald worden m.b.v. de volgende formules:

$$c_{pa} = \frac{1/2 \nabla - x_B A_M}{1/2 A_M L} \quad c_{pf} = \frac{1/2 \nabla + x_B A_M}{1/2 A_M L} \quad \text{(deze formules gelden alleen exact als de scheepsvorm vanaf ord. 10 tot aan het drukingspunt hetzelfde doorsnedeoppervlak } A_M \text{ heeft)}$$

De spantoppervlakken kunnen gevonden worden m.b.v. figuur 2.36 [mt517].

Het oppervlak van ordinaat 0 volgens de KVS uit de grafieken zal meestal niet overeenkomen met het gevonden oppervlak zoals dat bepaald kan worden uit de opgave. De hoogte van de gillinglijn en de

breedte ter plaatse zijn te zeer bepalend voor het oppervlak van deze ordinaat. Om het oppervlak van ord. 0 te bepalen moet daarom een schets van de achterstevencontour gemaakt worden. Deze contour kan afgeleid worden uit het gegeven algemeen plan. Het oppervlak van ordinaat 0 onder de CWL kan dan geschat worden door de vorm van ord. 0 voorlopig vast te leggen, zie het gearceerde deel in figuur 1.



De gewenste uitreehoek van de waterlijn van 20° is vooral voor wat vollere schepen en/of schepen met een brede spiegel (breed dek) niet aan te houden. De uitreehoek t.p.v. de bovenkant van de schroef moet dan (zo mogelijk) kleiner zijn dan 20° .

figuur 1

De achterstevencontour is o.a. afhankelijk van de roer- en schroefafmetingen en de vereiste vrijslagen van de schroef, zie figuur 2.18, 2.19 en 2.20 [mt517].

zie voor de vorm en constructie van het achterschip: par. 9 figuur 9

Controleer of de geschetste achterstevencontour voldoet aan de eisen voor het minimum roeroppervlak en de vrijslagen van de schroef.

Strook daarna de KVS uit, die gecorrigeerd is voor het oppervlak van ord. 0 en het erachter gelegen deel (op A3 formaat).

Bepaal ∇ en x_b met behulp van de eerste regel van Simpson (denk aan het deel achter ord. 0)

4. Schetsen van de spantvormen

Rekening houdend met aanwijzingen voor een goede vorm: zie par. 6;
zie voor het aantal doorsneden: par. 7.

Op een stuk stevig papier (A4) wordt het spantenraam opgezet met de nodige lijnen van het netwerk erin (waterlijnen, verticalen en kimsent) en de contouren.

Dit spantenraam moet op dezelfde schaal getekend worden als het later te tekenen complete lijnenplan. De opgave wordt als leidraad gebruikt om de contouren van het schip te tekenen. De contouren van het spantenraam worden gevonden door de aansnijdingspunten van dek en spanten uit te zetten in dit spantenraam.

Teken nu voor elk spant een rechthoek met als hoogte de ontwerpdiepgang en breedte b_x , zodat $2 \cdot b_x \cdot T = A_x$; A_x is het spantoppervlak volgens de KVS, zie figuur 2.38 [mt517]. Schets de spanten zodanig dat hun oppervlak onder de cwl overeenkomt met dat van de rechthoek. Het schetsen moet worden begonnen met de spanten die de grootspantvorm het meest benaderen, zodat dit een leidraad vormt voor de te schetsen spantvorm; vanuit ord. 10 wordt dus naar voren gewerkt in het voorschip en naar achteren in het achterschip. De spanten worden in één keer doorgestrookt tot aan de verschansing of tot aan het bovenste (kampagne- of bak)dek.

Gebruik bij het schetsen vooral ook voorbeelden van zoveel mogelijk lijnenplannen, waarvan de ligging van het drukkingspunt en de blokcoëfficiënt min of meer overeenkomen. Maak hierbij ook gebruik van "Moederscheepsvormen" van bijlage 1 en de aanwijzingen in de collegedictaten MT517 en MT518 en die in par. 6 van deze handleiding gegeven zijn.

Ter controle van de onderlinge samenhang van de spanten kunnen de cwl en de kimsent uitgestrookt worden en de spanten eventueel aangepast.

Als de spanten geschetst zijn, worden de oppervlakken gecontroleerd met de planimeter; als het oppervlak van het spant afwijkt van het oppervlak volgens de KVS, wordt het aangepast, maar steeds lettend op de goede vorm, zodat het karakter hetzelfde blijft.

5. Planimeter

Met behulp van een planimeter kan een oppervlak bepaald worden.

De punt van de planimeter wordt op het beginpunt van het op te meten spant gezet en een beginaflezing wordt gedaan; vervolgens wordt van de figuur de omtreklijn gevolgd en een eindaflezing wordt gedaan. Deze eindaflezing is weer de beginaflezing voor het volgende spant. Het verschil tussen de beide aflezingen vermenigvuldigd met een correctiefactor geeft het oppervlak van de spantvorm onder de cwl.

In de correctiefactor (cf) is de schaal van de tekening verwerkt en eventuele krimp of rek van het papier. De cf wordt bepaald door enkele malen het grootspant af te rijden en nu het werkelijke oppervlak te delen door het verschil van de aflezingen, dus:

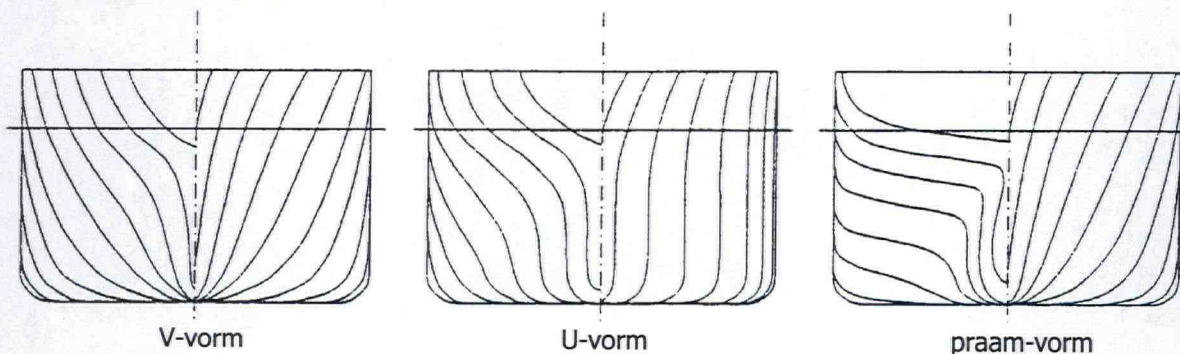
$$cf = \frac{A_M}{\text{verschil begin - en eindaflezing}} \quad \text{de cf van voor- en achterschip apart bepalen, resp. } cf_f \text{ en } cf_a$$

6. Aanwijzingen voor een goede vorm

Maak een gefundeerde keuze voor uw spantvorm en vermeld de motivatie hiervoor in het verslag.

In het hierna volgende deel worden aanwijzingen gegeven voor de vorm van de spanten.

Het is niet mogelijk een eenduidige algemeen geldende uitspraak te doen over welke rompvorm de beste is. In het bijzondere geval is een kwalitatieve uitspraak wel mogelijk; daarvoor dienen de specifieke eigenschappen van de verschillende romp-vormtypen beschouwd te worden: namelijk V-vorm, U-vorm en praamvorm.



figuur 2

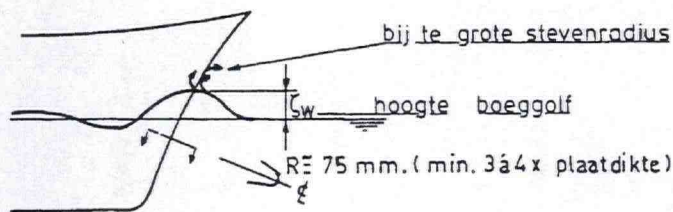
- De (gematigde) V-vorm is van oudsher de meest toegepaste vorm en biedt naast goede zeegangseigenschappen een gemiddelde weerstand.
- De (gematigde) U-vorm is een type dat in de jaren zestig is ontstaan en vooral is ontwikkeld om een gelijkmatiger volgstroomveld te bewerkstelligen, zodat trillingshinder kan worden voorkomen. Een bijkomend voordeel is de verbeterde hull efficiency, bij een overigens ongeveer gelijke tot weinig hogere weerstand vergeleken met de V-vorm. De wrijvingsweerstand is groter, vanwege een groter nat oppervlak, maar afhankelijk van de snelheid kan de golfweerstand lager uitvallen.
- De praamvorm voor zeeschepen is een ontwikkeling uit de jaren zeventig en is ontstaan uit het ontwerp van dubbelschroefschepen; deze vorm kenmerkt zich door de vorm van het achterschip, het voorschip is veelal V-vormig. De praamvorm geeft een lagere weerstand en schroefbelasting en het openwater rendement van het toegepaste schroefontwerp neemt toe. De voortstuwerromp interactie is echter matig, zodat de hull efficiency kleiner is. Zie "Weerstand en Voortstuwing" [mt518].

In het voorschip van redelijk volle schepen maken grote intreehoeken het schip gevoelig voor zeegang. Om te vermijden dat de intreehoeken van de waterlijnen, die boven water liggen maar bij stampen onder water komen, snel groter worden, moet de voorsteven schuin staan, de opeenvolgende waterlijnen praktisch evenwijdig lopen en de spanten een V-vormig karakter krijgen. Dit heeft tot gevolg dat de spanten uitwaaiierend worden; dit heeft de volgende voordelen:

- waterkering in zeegang;
- vermindering van de wrijvingsweerstand;
- het reserve displacement wordt groter;
- het dekoppervlak voor de opstelling van het anker- en meergerei en voor het voorste luik wordt vergroot;
- de lijnen zijn gemakkelijker te stroken;

de nadelen:

- de bouwkosten van het schip worden groter (meer materiaal en vooral meer loonkosten);
- de exploitatie van het schip zal duurder zijn (grotere lengte, dus meer kosten).



De kromtestraal van de voorsteven dient zo klein mogelijk te zijn (circa 75 mm, minimaal 3 à 4 maal de plaatdikte), ook boven de waterlijn tot de hoogte van de boeggolf.

figuur 3

De intreehoek van de waterlijn moet zo klein mogelijk blijven om het golfsysteem bij de boeg klein te houden. Dit brengt echter meer volume naar achter zodat de kans op schoudevorming ontstaat, dus daar meer golfvorming.

Afhankelijk van de afmetingen, snelheid, enz. van het schip wordt gekozen voor een meer of minder U- en/of V-vormig voor- en achterschip. Uit oogpunt van golfweerstand is het gunstig de waterverplaatsing zo ver mogelijk onder het wateroppervlak te hebben, dus U-spanten. Extreme U-spanten hebben echter grote krommingen van het scheepsoppervlak tot gevolg en daardoor loslating en meer weerstand, *dus matigen*.

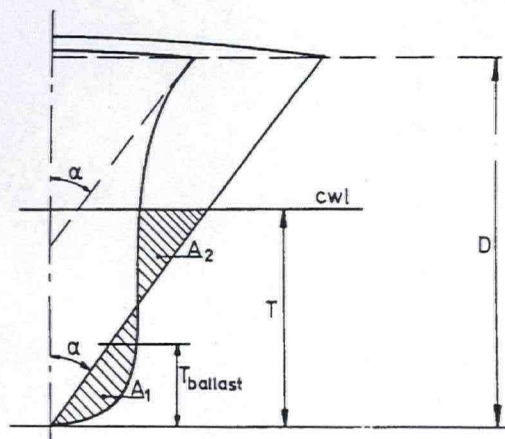
U-spanten zijn nadelig t.o.v. V-spanten uit zeegangsoogpunt.

Extreme U-spanten worden zelden toegepast.

Het voorschip van kleine zeeschepen (vissersschepen, loodsboten, coasters, enz.) heeft vaak V-spanten om water overnemen en slammings zoveel mogelijk te voorkomen.

In figuur 4 zijn extreme U- en V-spanten tegenover elkaar gesteld; het spantoppervlak is gelijk.

De eigenschappen van de spantvormen zullen behandeld worden met V-spanten als voorbeeld.



figuur 4

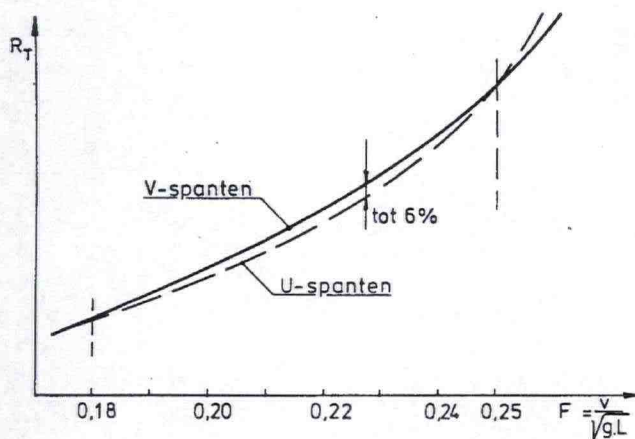
De voordelen van V-spanten:

- goede stabiliteit door:
 - hogere waarde van KB;
 - grotere I_T en BM door de grotere waterlijnbreedte;
- kleiner nat oppervlak, dus kleinere wrijvingsweerstand;

- goed gedrag in zeegang door:
 - grotere reserve waterverplaatsing boven de cwl;
 - slamming is geringer;
- vrij vlakke delen van de huid, dus goedkopere productie;
- grotere ruiminhoud boven cwl en groter dekoppervlak;
- in ballastvaart kleinere blokcoëfficiënt en scherpe waterlijn, dus kleinere weerstand en grotere diepgang vóór.

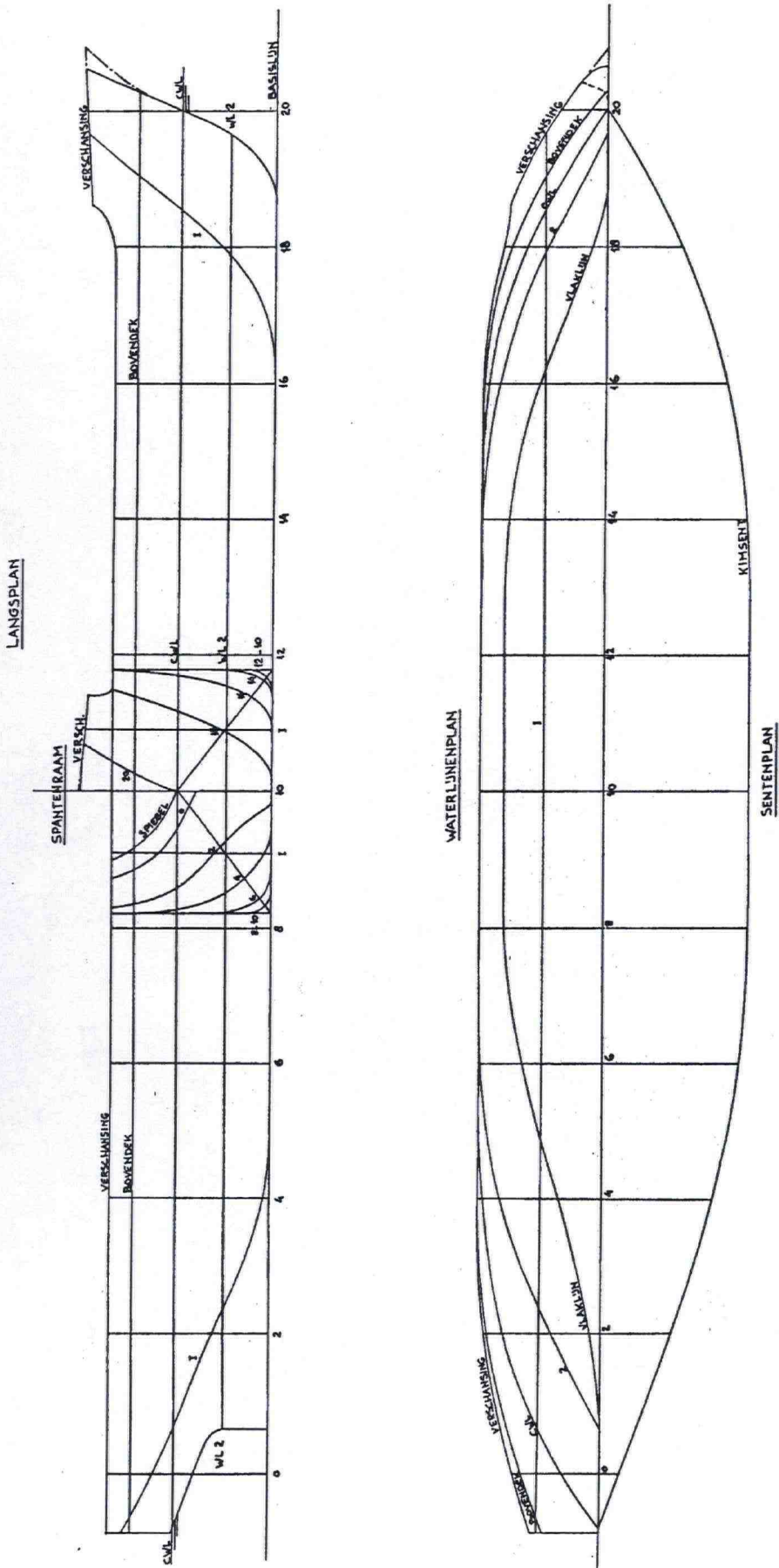
De nadelen van V-spanten:

- weinig ruimte voor ballasttanks in het voorschip die nodig kunnen zijn voor het trimmen van het schip;
- minder goede stabiliteit door hoger gewichtszwaartepunt;
- groter staalgewicht;
- grotere golfweerstand, die ondanks de kleinere wrijvingsweerstand, er de oorzaak van kan zijn dat in bepaalde snelheidsgebieden de totale weerstand groter is dan van een schip met U-spanten.



Voor schepen met $c_b = 0.675$ werd door SSPA gevonden dat het weerstandsverschil in het bereik van $Fn = 0.18 - 0.25$ tot 6% kan bedragen in het voordeel van U-spanten.

figuur 5



figuur 6

7. Lijnenplan

Nu kan begonnen worden met het tekenen van het lijnenplan. De schaal is afhankelijk van het gekozen papierformaat (A2) en de lengte van het schip:
schaal 1 : 200, 1 : 250 of 1 : 333.3

Een lijnenplan bestaat uit het langsplan, spantenraam en sentenplan; zoals beschreven in het dictaat mt517, hoofdstuk 2.

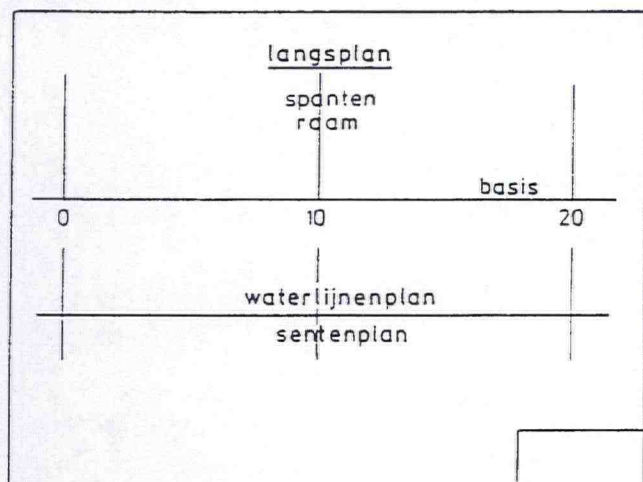
Een lijnentekening van een schip is gegeven in figuur 6.

De benodigde lijnen van het lijnenplan voor deze opgave zijn:

- voor- en achterstevencourant;
- spantenraam met minstens de spiegel en 11 ordinaten:
spiegel - 0 - 2 - 4 - 6 - 8 - 10 - 12 - 14 - 16 - 18 - 20;
- constructiewaterlijn en 2 waterlijnen daaronder: 0 - $\frac{1}{2}T$ - T;
- deklijn bovenste dek (zonder dekrondte);
- kampagedek en bakdek;
- kimsent;
- 1 verticaal per scheepshelft.

8. Het netwerk

Onder het netwerk verstaat men: alle rechte lijnen die in het lijnenplan voorkomen en als coördinatenstelsel dienst doen. Op deze lijnen worden punten bepaald waardoor de gebogen lijnen gestrookt worden.



Het netwerk wordt dun opgezet met potlood waarvan de hardheid minstens 2H bedraagt.

Een aanwijzing voor de indeling is hiernaast aangegeven.

De schaal van de tekening moet zodanig worden gekozen dat de lijnentekening op A2-formaat getekend kan worden.

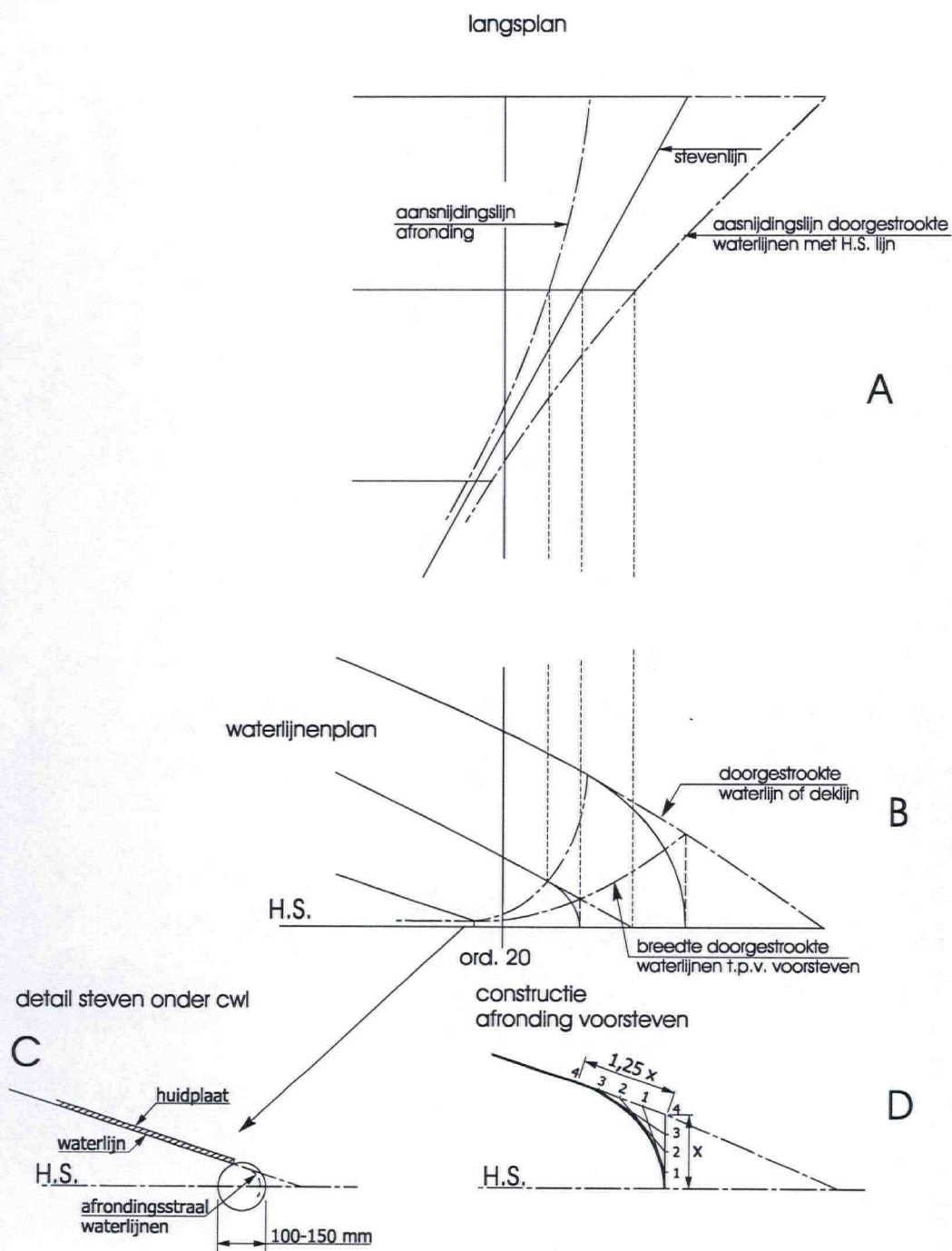
figuur 7

Volgorde voor het opzetten van het netwerk:

- a. basis uitzetten vanuit de rand van het papier;
- b. L_{ord} uitzetten met de schaalstok; L_{ord} in twee gelijke stukken verdelen en deze op hun beurt weer in vijf gelijke stukken;
- c. de ordinaten opzetten, controleren op haaksheid en tevens onder en boven meten of de onderlinge afstanden gelijk zijn;
- d. het uitzetten en tekenen van de waterlijnen;
- e. het spantenraam wordt verkregen door de breedte B uit te zetten t.p.v. ord.10 en de verticalen en de kimronde te tekenen;
- f. in het waterlijnenplan de H.S. lijn en de verticaal tekenen.

9. Voor- en achtersteven

De afronding van de waterlijnen en dekken t.p.v. de voorsteven is in figuur 2.24 [mt517] en onderstaande figuur aangegeven.

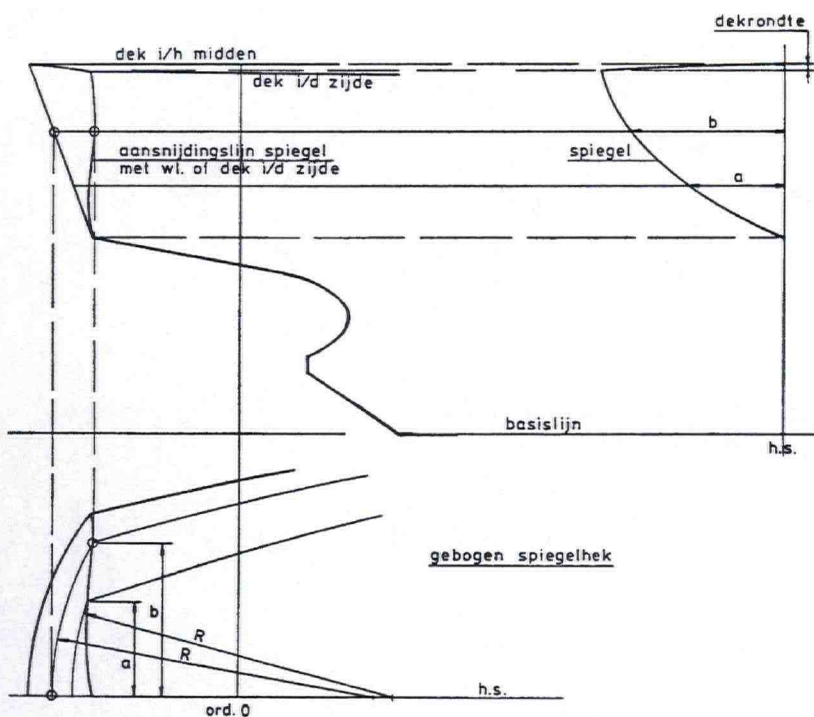


figuur 8

Hierbij kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- in het waterlijnenplan worden de (water)lijnen doorgestrookt tot de hartschijplijn (8B);
- dit geeft in het langsplan aanleiding tot het tekenen van de aansnijdingslijn van de doorgestrookte (water)lijnen op H.S. (8A);
- in het waterlijnenplan worden de breedten van de doorgestrookte (water)lijnen t.p.v. de voorsteven uitgezet (8B);
- in het waterlijnen- en langsplan wordt de aansnijdingslijnlijn voor het begin van de afronding uitgezet (8A en B);
- bij het afwerken van de lijnentekening worden de waterlijnen en dekken afgerond (8C en 8D).

De vorm van het achterschip is in figuur 9 gegeven; het betreft de meest gebruikelijke vorm, namelijk een spiegelhek.



De vorm hiervan kan zijn:

- gebogen;
- geknikt of recht;
- verticaal of achterovervallend.

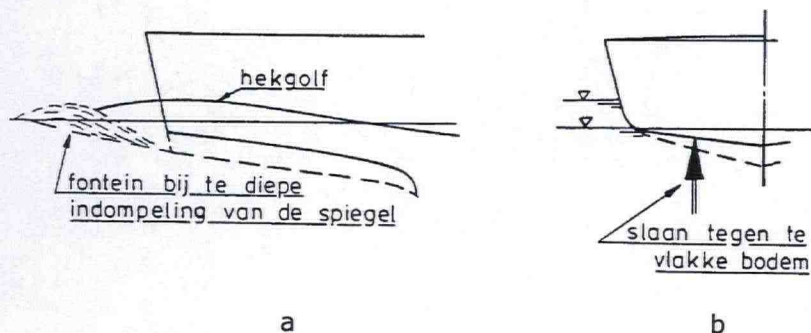
(in de figuur is een gebogen achterovervallende spiegel met de onderlinge relaties tussen de projecties getekend)

figuur 9

De achterstevencoutour is o.a. afhankelijk van de roer- en schroefafmetingen en de vereiste vrijslagen van de schroef, zie figuur 2.18, 2.19 en 2.20 [mt517].

De spiegel mag niet te diep ingedompeld zijn, omdat dan het gevaar ontstaat van fonteinvorming achter het schip (weerstandverhogend), zie figuur 10a.

Een te vlakke spiegel heeft last van het slaan er tegen van achterin komende golven (trillingen), zie figuur 10b.



figuur 10

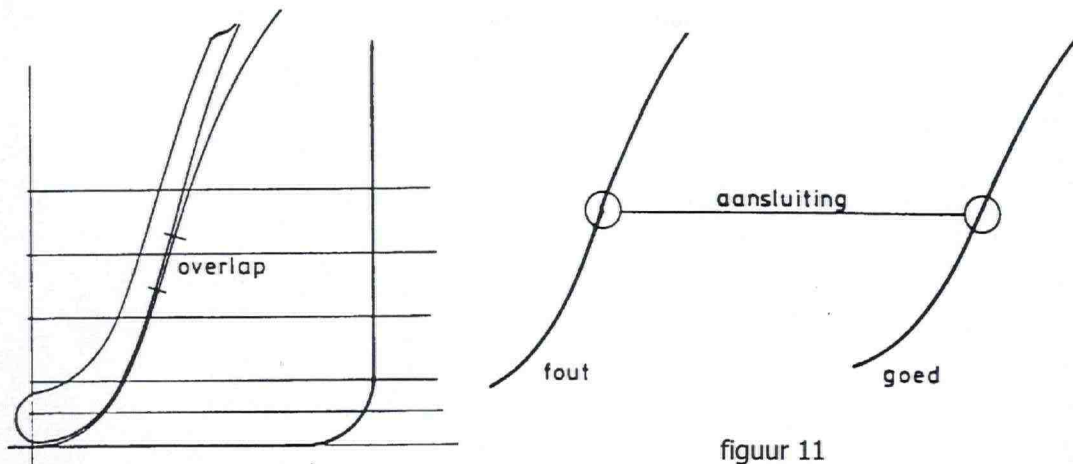
10. Stroken

Stroken met mallen

Voor deze oefening worden de ordinaten, waterlijnen, verticalen en sent eerst met de hand gestrookt, teneinde vorm en karakter ervan goed te kunnen vastleggen. Daarna worden de lijnen met Kopenhager scheepsmallen bijgewerkt en strakker gemaakt.

Het is meestal niet mogelijk een complete lijn met één mal in één keer te tekenen, daarom wordt met verschillende delen van mallen gewerkt en worden kortere stukken getekend, zie figuur 11. Steeds moet voor een goede overlap gezorgd worden en zorgvuldige aansluiting op het vorige stuk.

Aanwezig zijn de nrs. A1, A2, A11-29, A13 en A30.



figuur 11

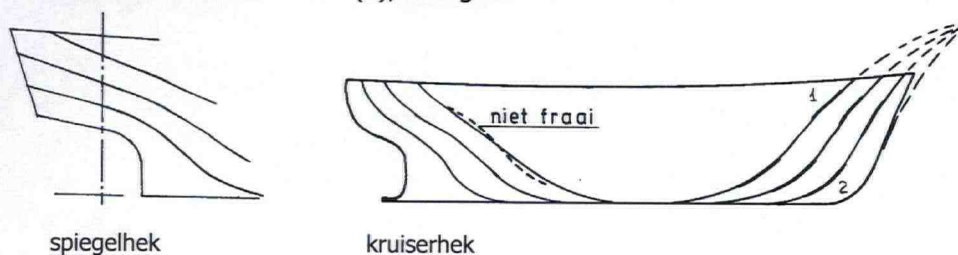
Uitstroken der lijnen

De volgorde voor het uitstroken van de lijnen is als volgt:

- opzetten van de contouren in het langsplan;
- uit het spantenraam de breedten van elke ordinaat op de cwl overnemen (m.b.v. een strookje papier), uitzetten in het waterlijnenplan en uitstroken; op de in- en uittreehoeken letten;
- uit het spantenraam de afstand overnemen van het snijpunt van elke ordinaat met de kimsent, langs de kimsent gemeten, uitzetten in het sentenplan en uitstroken;
- uit het spantenraam de breedten van waterlijnen en dekken overnemen en in het waterlijnenplan uitstroken;
- uit het waterlijnenplan *en* het spantenraam de verticalen in het langsplan construeren; eventuele foutjes direct corrigeren; N.B.: altijd vanuit twee projecties werken;
- als alle projecties met elkaar overeenstemmen worden de definitieve spanten in het spantenraam getekend;
- nadat alles compleet is en klopt, de tekening schoon maken (gummen) en met potlood 2H of H de lijnen ophalen (scherpe punt); daarna de bijschriften in inkt of potlood bijschrijven, gebruik bij voorkeur pen dikte 0.35 mm of potlood HB.

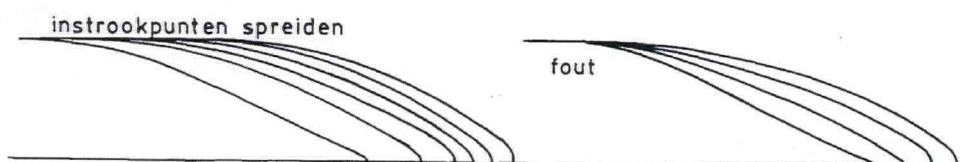
Voor het verloop van de verticalen op het volgende letten:

- voor de buitenste verticaal achter is het goed dat deze niet meer hol loopt (achterschip);
- de helling van de verticalen neemt naar de voorsteven toe steeds meer af (1) en de kromtestraal onder wordt steeds kleiner (2), zie figuur 12.



figuur 12

Bij de waterlijnen erop letten dat schoudevorming vermeden wordt door de instrookpunten t.p.v. het instroken in de volle breedte in de zijde te spreiden, zie figuur 13.



figuur 13

11. Hoofdafmetingen

De volgende hoofdafmetingen moeten op de tekening vermeld worden:

- lengte over alles	L_{oa}	=	m	
- lengte tussen de ordinaten	L_{ord}	=	m	
- lengte waterlijn	L_{wl}	=	m	
- grootste gemalde breedte	B_{mal}	=	m	
- holte i/d zijde tot bovendek op $\frac{1}{2} L$	D	=	m	
- ontwerpdiepgang op $\frac{1}{2} L$	T_{cwl}	=	m	
- volume bij deze diepgang	∇	=	m^3	
- afstand drukkingspunt tot ord. 10	x_b	=	m	
- kimstraal	R	=	m	
- coëfficiënten:	C_b	=	C_{pf}	=
	C_p	=	C_{pa}	=
	C_m	=	C_{wp}	=

12. Bepaling van enkele hydrostatische grootheden

- Met behulp van de planimeter worden de definitieve spantoppervlakken uit de tekening opgemeten, de daarbij behorende KVS getekend en hieruit worden de carène-inhoud en de lengteligging van het drukkingspunt bepaald; resp. ∇ en x_B
- Bepaling van het waterlijnoppervlak en de lengteligging van het zwaartepunt van de cwl; resp. A_w en x_A .

Voer de berekeningen uit met behulp van een overzichtelijke Simpson tabel.

13. Stabiliteitsberekening en beoordeling

Een belangrijk gegeven voor o.a. de veiligheid van het schip is de stabiliteit tijdens het bedrijf van het schip.

Om van de stabiliteit van het schip een goed beeld te krijgen moeten voor diverse beladingstoestanden stabiliteitsberekeningen worden gemaakt. In het kader van deze oefening wordt echter alleen de stabiliteit bij de gelijklastige ontwerpdiepgang onderzocht.

Bij de berekening van de stabiliteit is het niet voldoende alleen de aanvangsstabiliteit te controleren. Ook aan de stabiliteit bij grotere hellingshoeken worden eisen gesteld door o.a. de Nederlandse Scheepvaartinspectie (NSI).

Om de stabiliteit voor de totale stabiliteitsomvang te kunnen berekenen wordt voor deze oefening gebruik gemaakt van het PIAS-computerprogramma. (Programma voor de Integrale Aanpak van het Scheepsontwerp, ontwikkeld door SARC bv te Bussum) Ten behoeve van het gebruik van PIAS is door ing. H. van Keimpema een handleiding gemaakt, zie bijlage 2.

Als van de scheepsvorm een PIAS-file is gemaakt kunnen vervolgens met behulp van PIAS de stabiliteitsberekeningen worden gemaakt. Het gaat om de volgende berekeningen en uitvoer:

- een deel van het carènediagram, in tabelvorm uitgevoerd (korte versie), ter controle van de uitkomsten van de berekeningen voor het lijnenplan; begin met een diepgang net onder de ontwerpdiepgang en eindig met een diepgang daar net boven;
- dwarskrommen van stabiliteit; uitvoer in de vorm van tabellen en grafisch (korte versie); neem voor de range waarvoor de dwarskrommen uitgerekend moeten worden: $\pm 20\%$ tot $\pm 120\%$ van het displacement met een stapgrootte van $\pm 10\%$ van het displacement (gebruik hiervoor afgeronde waarden);
- stabiliteitsberekening voor de beladen conditie (ontwerpdiepgang en zonder trim); deze berekeningen resulteren in de kromme van armen van statische stabiliteit;
 - o de hiervoor benodigde plaats van het gewichtszwaartepunt in hoogte is in de opgave gegeven;
 - o er hoeft geen rekening te worden gehouden met vrije vloeistofoppervlakken en een windmoment.

Beoordeling

- Vergelijk de uitkomsten met de resultaten van de handberekeningen (zoals omschreven in par. 12);
- toetsing aan de eisen van de Nederlandse Scheepvaart Inspectie;
- let ook op de slingertijd van het schip, zoals beschreven in Hst. 8 van het collegedictaat mt517 (Geometrie en Stabiliteit).

Geef, als het schip niet aan de eisen blijkt te voldoen, hiervoor een verklaring en een mogelijke oplossing voor het probleem, zonder deze oplossing verder uit te werken.

14. Weerstand, schroefontwerp en motorvermogen

Voor het ontwerp van een schroef en het bepalen van het benodigde motorvermogen moet allereerst een weerstandsberekening worden uitgevoerd. De weerstand kan worden benaderd met verschillende methoden, o.a. de methode van Lap-Auf'm Keller en Holtrop en Mennen.

De methode van Lap-Auf'm Keller gaat uit van de wrijvingsweerstand volgens de ITTC-lijn, de golfweerstand (af te lezen uit een grafiek en te corrigeren voor diverse grootheden als B/T e.d.) en enige toeslagen, zoals huidruwheid e.d.

De methode van Holtrop en Mennen werkt volgens eenzelfde methode maar geeft voor iedere component een formule waarin weer diverse coëfficiënten zijn verwerkt, die soms moeten worden bepaald met weer een ingewikkelde formule en is daarom minder geschikt voor een handberekening.

Opdracht:

- bepaal de weerstand van uw schip volgens de methode van Lap-Auf'm Keller met een handberekening;
- bepaal de weerstand van uw schip met het computerprogramma volgens de methode van Holtrop en Mennen (downloaden via Blackboard of op de computers in de Maritieme studio's en op de tekenzaal: te bereiken via programs => maritieme software => Holtrop/Mennen (hydro));
- probeer een verklaring te vinden voor een verschil in weerstand volgens beide methoden als dat verschil groter is dan 4%;
- geef aan of uw schip wel of niet binnen de grenzen van de methoden valt.

Voor het schroefontwerp kan de weerstand volgens Holtrop en Mennen worden aangehouden. Met behulp van deze methode kan ook het zog-, volgstroomgetal en relative rotation coëfficiënt worden bepaald (zie de computer-uitvoer).

Opdracht (vervolg):

- ontwerp via een handberekening een schroef met optimaal toerental m.b.v. de B-serie openwater diagrammen (K_T - K_Q -J); neem de diameter zoals in uw tekening is aangegeven;
- bepaal het benodigde motorvermogen (verliezen in de as 2% en toeslag voor slecht weer 20%)

15. Methode Lap-Auf'm Keller

Hieronder zal de methode Lap-Auf'm Keller worden beschreven en toegepast op een "voorbeeld" schip tot en met de weerstandsschatting. De methode is beschreven in I.S.P. vol. 20 uit 1973, zie bijlage 3.

LET OP: bij de berekening worden alle grootheden ingevoerd in het SI-eenhedenstelsel, dus m, N, s, enz. (tenzij anders vermeld).

Voorbeeldschip "FANCY".

L_{PP}	= 161.50 m	C_B	= 0.685	D_{schr}	= 6.30 m
L_{WL}	= 166.00 m	C_M	= 0.958	∇	= 35188 m ³
B	= 28.40 m	C_P	= 0.715	Δ	= 36200 ton
T_{max}	= 11.20 m	LCB	= + 0.33 %	A_M	= 305 m ²
V_S	= 17.20 kn = 8.85 m/s				
S	= 6370 m ²	= $(3.4 \nabla^{1/3} + 0.5L_{WL}) \nabla^{1/3}$ (volgens formule LAP)			

LET OP: Auf'm Keller werkt met een afwijkende lengte namelijk:

$L_D = 1.01 L_{PP}$ of L_{WL} (de kleinste van de twee); daarmee verandert C_P in C_{PD} (op basis van L_D)

Voorbeeldschip "FANCY":

$$L_D = 1.01 * 161.5 = 163.1 \text{ m}; C_{PD} = 0.708$$

Standaard wordt aangehouden dat vermogensbepalingen worden uitgevoerd voor een schip in zeewater van 15° C: $\rho = 1026 \text{ kg/m}^3$ en $\nu = 1.1883 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

De weerstandsbeplating.

Bij deze methode wordt de weerstand verdeeld in een aantal componenten namelijk: de wrijvings- en restweerstand en een aantal toeslagen; iedere weerstandscomponent wordt uitgedrukt in een coëfficiënt:

$$C_i = R_i / 0.5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S$$

De wrijvingsweerstandcoëfficiënt kan worden bepaald met de I.T.T.C. formule:

$$C_f = 0.075 / (\log R_n - 2)^2 \text{ waarin } R_n = V \cdot L / \nu$$

$$R_n = 163.1 \cdot 8.85 / (1.1883 \cdot 10^{-6}) = 1.215 \cdot 10^9$$

$$C_f = 1.494 \cdot 10^{-3}$$

Lap geeft weerstandscoëfficiënten volgens Schoenherr maar die wijken nauwelijks af van de I.T.T.C. formule.

De restweerstandcoëfficiënt wordt bepaald volgens Auf'm Keller. Hij onderscheidt vijf groepen schepen op basis van LCB en C_{PD} .

Voor iedere groep geeft Auf'm Keller een grafiek waarin de restweerstand ζ_r wordt gegeven op basis van C_{PD} en $V_S / (C_{PD} \cdot L_D)$;

indien nodig kan worden geïnterpoleerd tussen twee grafieken.

Voorbeeldschip "FANCY":

$$C_{PD} = 0.708 \quad V_S / \sqrt{C_{PD} \cdot L_D} = 8.85 / \sqrt{0.708 \cdot 163.1} = 0.824$$

figure 4: $\zeta_r = 24 \cdot 10^{-3}$ (soms moeilijk leesbaar)

De coëfficiënt ζ_r moet worden gecorrigeerd voor L_D/B , maar alleen als $C_{PD} > 0.80$

Vervolgens wordt omgerekend naar C_{Rr} omdat ζ_r als restweerstand dimensieloos gemaakt is met A_M en C_R dimensieloos gemaakt is met S .

Voorbeeldschip "FANCY":

$$C_{PD} = 0.708 \text{ dus } \zeta_r \text{ blijft } 24 \cdot 10^{-3}$$

$$C_R = \zeta_r \cdot A_M / S = 24 \cdot 10^{-3} \cdot 305 / 6370 = 1.149 \cdot 10^{-3}$$

Toeslagen.

De aldus bepaalde wrijvingsweerstand en restweerstand gelden voor een ideaal gladde romp en vlak water (tanktoestand). Auf'm Keller geeft een ruwheidstoelage C_A afhankelijk van de lengte, die bij grote lengte negatief kan worden (zie table 1).

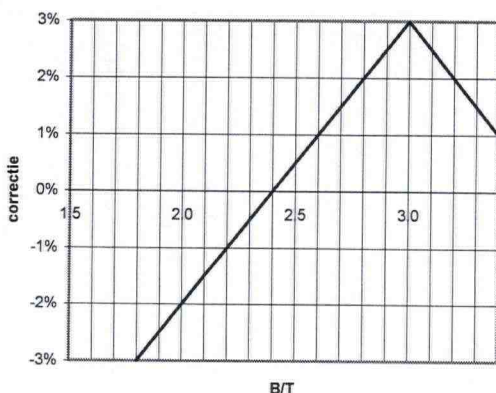
Het totaal van C_f , C_R en C_A geeft nu C_T' .

Voorbeeldschip "FANCY":

$$C_A = 0.20 \cdot 10^{-3}$$

$$C_T' = C_f + C_R + C_A = (1.494 + 1.149 + 0.20) \cdot 10^{-3} = 2.843 \cdot 10^{-3}$$

Auf'm Keller geeft nog een correctie voor B/T , waarbij de tekst in de publicatie "even goed moet worden gelezen", zie figuur 14.



Voorbeeldschip "FANCY":

$$B/T = 28.4 / 11.2 = 2.53$$

correctie = + 0.7%, dus

$$C_T = 1.007 \cdot 2.843 \cdot 10^{-3} = 2.863 \cdot 10^{-3}$$

figuur 14

Rest nu nog de gezochte weerstand te berekenen met:

$$R_{\text{totaal}} = C_T * 0.5 * \rho * V^2 * S$$

Voorbeeldschip "FANCY":

$$R_{\text{schip}} = 2.863 * 10^{-3} * 0.5 * 1026 * 8.85^2 * 6370 / 1000 = 733 \text{ kN}$$

Behalve bovengenoemde methode zijn er nog vele andere methoden. Al deze methoden wekken de indruk zeer nauwkeurig te zijn o.a. door de vele, soms kleine, correcties. Maar... al deze methoden geven slechts een schatting die geschikt is om voorlopig een motorvermogen op te baseren en daarmee de benodigde ruimte te bepalen voor machinekamer, brandstoftanks e.d. Een definitieve bepaling van het motorvermogen en keuze van de schroef volgt meestal pas na het uitvoeren van sleepproeven in een sleeptank.

16. Weerstand volgens Holtrop en Mennen

Het bepalen van de weerstand volgens Holtrop en Mennen gaat in principe op dezelfde wijze, stap voor stap de publicatie volgen. De methode is beschreven in: "An approximate power prediction method", uit I.S.P. juli 1982, zie bijlage 4a, later verbeterd in: "A statistical re-analysis of resistance and propulsion data" uit I.S.P. november 1984, zie bijlage 4b.

Daarbij kunnen de volgende opmerkingen gemaakt worden:

- Holtrop baseert coëfficiënten als c_B en c_P op de waterlijn lengte en niet op de lengte tussen ord. 0 en 20 zoals we gewend zijn, of L_D zoals Auf'm Keller.
- Een aantal formules zijn voor uw geval niet van toepassing, b.v. voor bulb, boegschroef etc.

Benodigde invoergegevens:

- Lengte tussen de loodlijnen	LPP	m
- Lengte op de waterlijn	LWL	m
- Breedte	BR	m
- Diepgang op halve lengte	DRAFT	m
- Trim	TRIM	m
- Carène-inhoud	VOL	m ³
- Drukkingspunt in lengte t.o.v. $\frac{1}{2} L_{pp}$	LCB	% L_{pp}
- Waterlijncoëfficiënt op basis van L_{wl}	CWP	
- Grootspantcoëfficiënt	CM	
- Vorm coëfficiënt achter	CAFT	
- Nat opp. roer(en) (zie volgende blz.)	SRUD	m ²
- Roer coëfficiënt	CRUD	
- Nat opp. appendages (totaal) (zie volgende blz.)	SAPP	m ²
- Equivalent App. coëfficiënt	CAPP	
- Dwarsdoorsnede bulb	ABULB	m ²
- Zwaartepunt bulb boven de kiel	HBULB	m
- Diameter boegschroef-tunnel	DBTT	m
- Weerstandcoëfficiënt boegschroef	CBTT	
- Opp. van ondergedompeld deel v.d. spiegel	AT	m ²
- Halve intreehoek v.d. waterlijn	ALFA	gr.
- Aantal schroeven	NPROP	
- Diameter schroef	DP	m
- Bladopp.verh. A_E/A_0 (schat 0.55)	AAE	
- Spoed/diameterverhouding P/D	PPD	
- Aantal scheepssnelheden	NV	
- Scheepssnelheid	VK	kn
Ook wordt gevraagd:		
- Nat opp. v.d. huid	SHULL	m ²
- Lengte v.d. run	SLR	m

Als u deze laatste twee gegevens als nul invoert, bepaalt het programma zelf de gevraagde waarden. Indien een gegeven bij u niet van toepassing is (bijv. als er geen bulb of boegschroef aanwezig is) kunt u het getal 0 invoeren.

Nat opp. roer (SRUD) en appendages (SAPP)

- Het oppervlak van het roer kan worden overgenomen uit de tekening of volgt uit figuur 2.18 [mt517].
- In het natte oppervlak van de appendages wordt meegerekend, mits aanwezig: scheg, schroefas en uithouders, stabilisatievinnen, dome en kimkielen.
- Bij deze oefening wordt aangenomen dat er kimkielen aanwezig zijn.
- Neem aan dat de lengte van de kimkielen is 45% van L_{pp} en dat de hoogte van de kimkielen is 2% van de breedte van het schip.

Bladoppervlakte verhouding van de schroef en P/D

$$\frac{A_E}{A_0} = k + \frac{(1.3 + 0.3z)T}{(p_o + \rho gh - p_v)D^2}$$

waarin: $k = 0.2$ voor enkelschroefschepen
 $z = 4$ (aantal bladen v.d. schroef)
 $T =$ stuwkracht
 $h =$ afstand hart schroefas - CWL
 $p_o - p_v = 99047 \text{ N/m}^2$

(neem $A_E / A_0 = 0.55$ als T nog niet bekend is)
(P/D is op dit moment nog niet bekend, gebruik hiervoor 1)

Uit de beide berekeningen zal waarschijnlijk wel blijken dat de beide methoden (Lap-Auf'm Keller, Holtrop en Mennen) niet hetzelfde (of bijna hetzelfde) antwoord opleveren. We kiezen bij een wat groter verschil (> 4%) voor de nieuwste methode, n.l. de weerstand volgens Holtrop en Mennen.

17. Schroef en vermogen

Het volgende deel van de opdracht omvat het zoeken van een schroef voor uw schip en het bepalen van het benodigde motorvermogen.

Schroef

De publicatie van Holtrop en Mennen geeft formules voor het zoggetal t , het volgstroomgetal w en relative rotation coëfficiënt η_r .

Nu zijn de stuwkracht T , de instroomsnelheid in de schroef V_i en de "hull-efficiency" η_H te berekenen. In de publicatie wordt ook een formule van Auf'm Keller gegeven voor het minimum bladoppervlak A_E/A_0 dat nodig is om cavitatie te vermijden.

Voor het openwater rendement η_0 maken we gebruik van de "openwater" diagrammen van de B-serie-schroeven, zie bijlage 5.

Indien het benodigde bladoppervlak tussen twee diagrammen ligt, kan zo nodig lineair worden geïnterpoleerd tussen de diagrammen

De bepaling van het openwater rendement en de andere parameters van de schroef kunt u als volgt uitvoeren:

- Kies een schroef met vier bladen en een diameter zoals uit de tekening volgt (rekening houdend met voldoende vrijslagen van de schroef).
- Het maximale openwater rendement η_0 en het bijbehorende toerental n kan gevonden worden door gebruik te maken van de werkwijze, zoals die beschreven is in het dictaat mt518 (jan 2003, hst. 11.10).

Een andere methode gaat als volgt:

Neem drie toerentallen (kijk voor de orde van grootte naar eventuele vergelijkingschepen).

Bereken voor ieder toerental de grootheden K_T en J en zoek in het diagram met de juiste bladoppervlakte verhouding welke P/D -verhouding daarbij hoort en welk rendement die combinatie oplevert. Kies aan de hand van de resultaten nu nog twee toerentallen zodanig dat het maximale rendement beter te bepalen is.

Eerst genoemde methode verdient de voorkeur

Vermogen

Met behulp van het voortstuwingsrendement (η_D) en het effectief vermogen (P_E) is het voortstuwingsvermogen (P_D) te berekenen.

Bereken vervolgens het benodigde motorvermogen als het asverlies 3% bedraagt en bij een slechtweer toeslag van 20%.

Bijlage 2

Handleiding

PIAS

Programma voor de Integrale Aanpak van het Scheepsontwerp

april 2003

Ing. H. van Keimpema

Maritieme Techniek

 **TU Delft**

Technische Universiteit Delft

INHOUD

1.	Vorbereiding.....	3
2.	Gebruik van het PIAS-programma.....	5
2.1	Opstarten	5
2.2	Hoofdafmetingen en spantafstanden	6
2.3	Ordinaat invoer met de screendigitizer.	8
2.4	Instellingen; menuoptie 130 'Miscellaneous'.....	10
2.5	Toevoegen appendages; menuoptie 90 'Hullform defenition'.....	12
2.6	Output of hullform	13
2.7	Hydrostatische berekeningen; menuoptie 'Hydrostatics and intact stability	14
2.8	Beladingstoestanden; menuoptie 240	15
2.9	Definitie stabiliteitscriteria; menuoptie 260	17

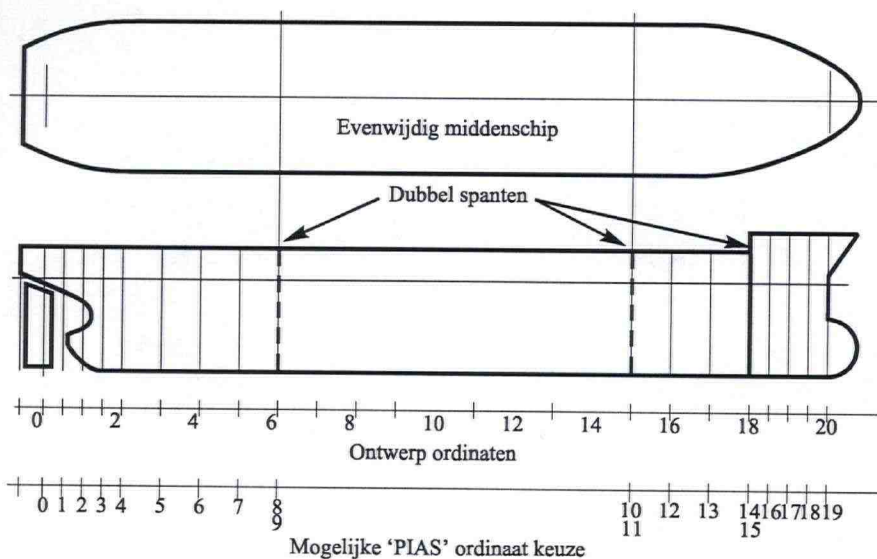
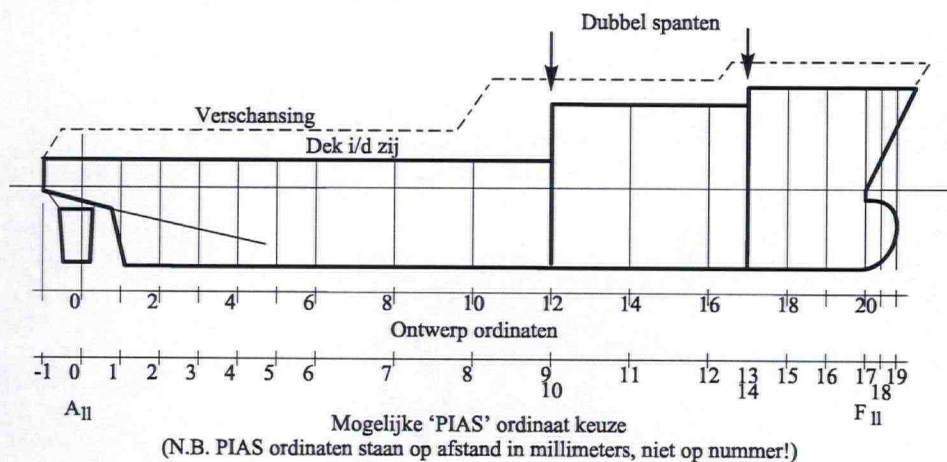
1. Voorbereiding

Voordat u naar de computer-zaal gaat, moet u de volgende gegevens van uw schip hebben verzameld:

- Ordinaat afstanden in meters t.o.v. ord 0.
- Van elke ordinaat voldoende coördinaten (halve breedte en hoogte waarden) om de vorm goed te beschrijven of een gescande Bitmap van uw spantenraam.
- Gegevens over het dek (appendages).

Bij het vastleggen van de ordinaatplaatsen moet u een aantal voorwaarden in acht nemen:

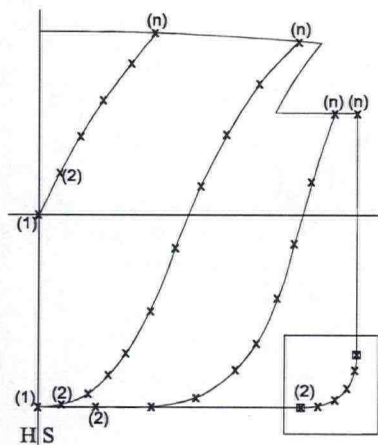
1. Geef de positie van de ordinaat op t.o.v. ordinaat nul in **meters**. Achter ord. 0 krijgt u dus negatieve waarden.
2. De ordinaatposities moeten in een oplopende volgorde worden ingevoerd.
3. Als de scheepsvorm een discontinuïteit vertoont (het verspringen van de deklijn of begin/eind van de poten van een semi-sub b.v.), moet ter plaatse van de discontinuïteit een dubbelspant worden opgegeven met respectievelijke hoogten tot het 'lage' en 'hoge' dek, zie figuur 1.
4. De afstand tussen twee opéénvolgende ordinaten is vrij te kiezen, zolang de verhouding tussen twee opéénvolgende ordinaatafstanden niet groter is dan 1:4 (i.v.m. de stabiliteit van de integratie methode). Deze voorwaarde kan overigens worden doorbroken door het plaatsen van een dubbelspant. Hiermee kan dan ook het begin en het eind van een lang evenwijdig middenschip worden beschreven, zie figuur 1.



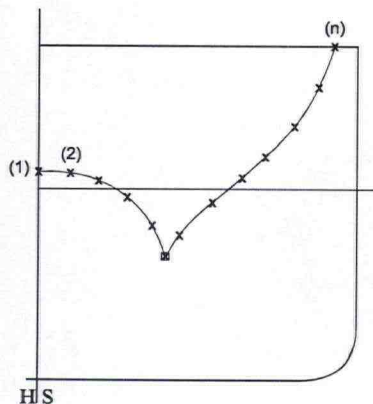
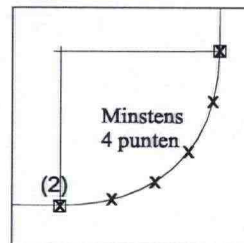
figuur 1

De juiste manier van spantdefinitie.

- De punten van het spant dienen opvolgend te worden opgegeven, te beginnen bij hartschip (de hoogte hoeft niet op de basis gekozen te worden).
- De breedtematen worden t.o.v. de hartschiplijn opgegeven (dus de halve breedte). De hoogtematen worden t.o.v. de basis gemeten.
- Het laatste punt van het spant is het punt van het dek in de zijde.
- Minimaal dienen twee punten opgegeven te worden, maximaal 80. Redelijkerwijs kan een spant met 10 à 20 punten goed gedefinieerd worden.
- Beperk het gebruik van knikken (een discontinuïteit in de raaklijn). Echter bij de overgang van vlak naar kim (en van kim naar zijde) kan, vooral bij een kleine kimstraal, het gebruik van een kinkpunt (K) handig zijn om een ongewenste uitslingering van de B-spline te voorkomen, zie figuur 2.



Detail kimstraal



- X = Punt
- ⊠ = Knik punt
- (1) = Eerste punt
- (2) = Tweede punt
- (n) = Laatste punt

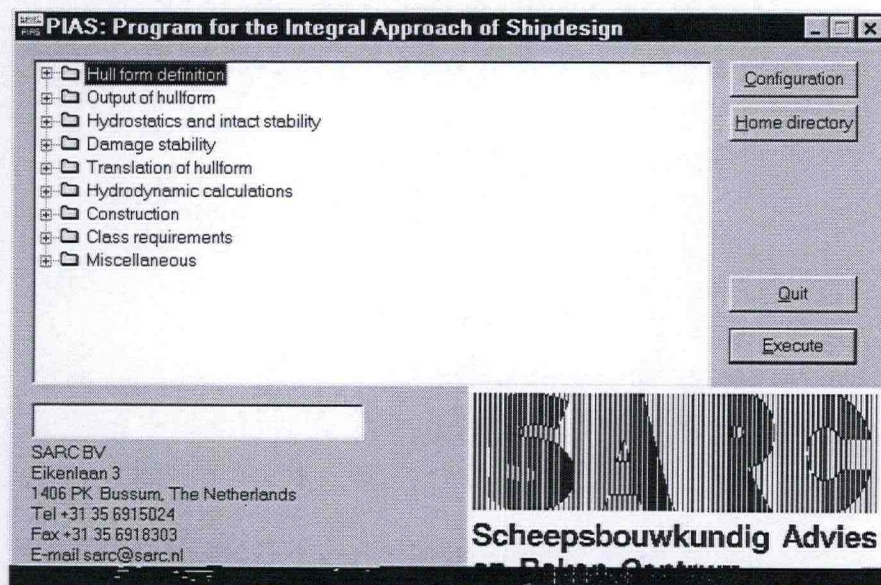
figuur 2

2. Gebruik van het PIAS-programma

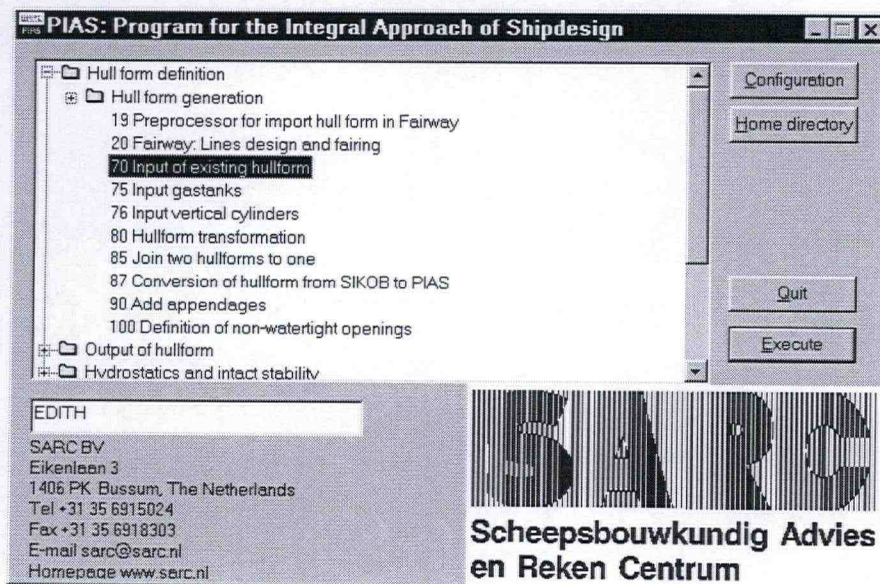
Pias programma's zijn op alle computers in de studio's en MT tekenzaal te gebruiken.

2.1 Opstarten

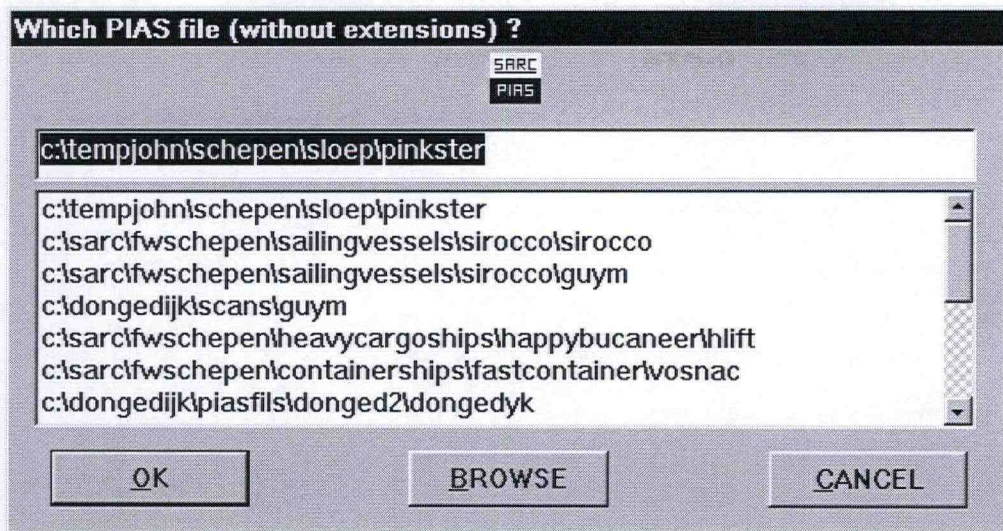
Opstarten via het 'Start' menu bij 'Programma's', dan komt u in het submenu een Menu Item 'Maritieme Software' tegen hetgeen weer een submenu opent, daarin staat een optie 'PIAS', hierop klikken opent het hoofdmenu :



Kies optie 'Hull form definition' van de scheepsvorm, dan verschijnt het volgende menu:



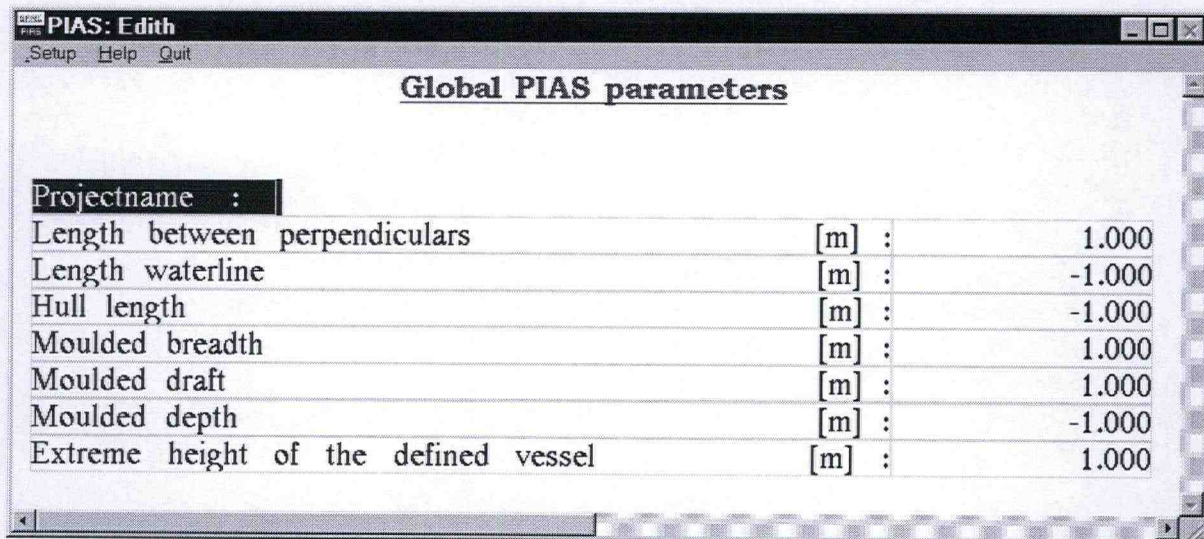
Kies optie '70 Input of existing hullform' van de scheepsvorm, dan verschijnt het volgende menu:



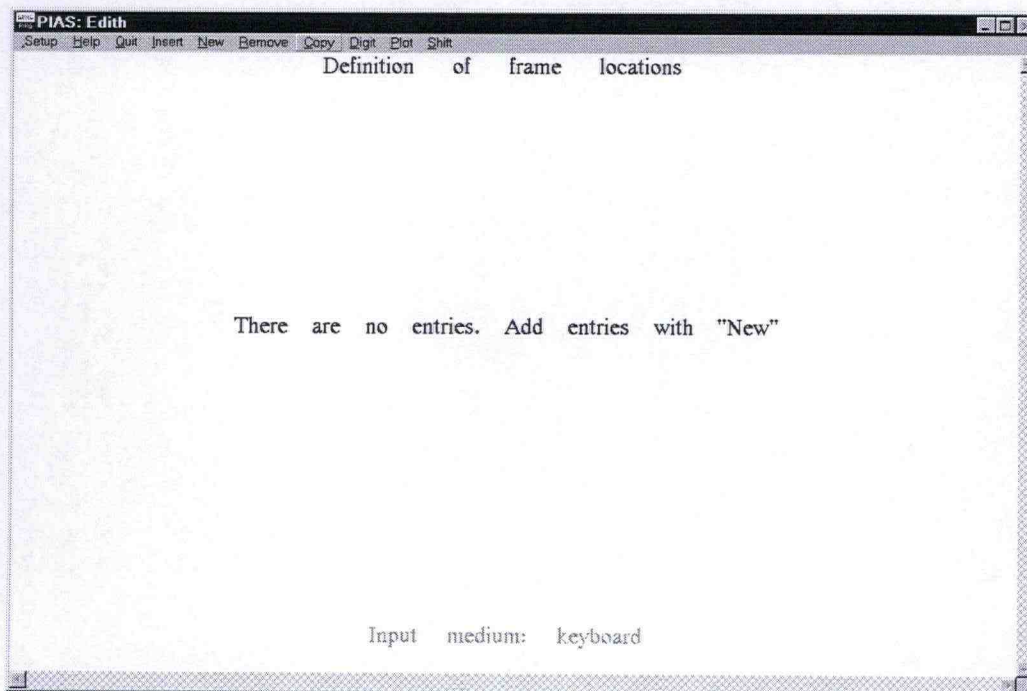
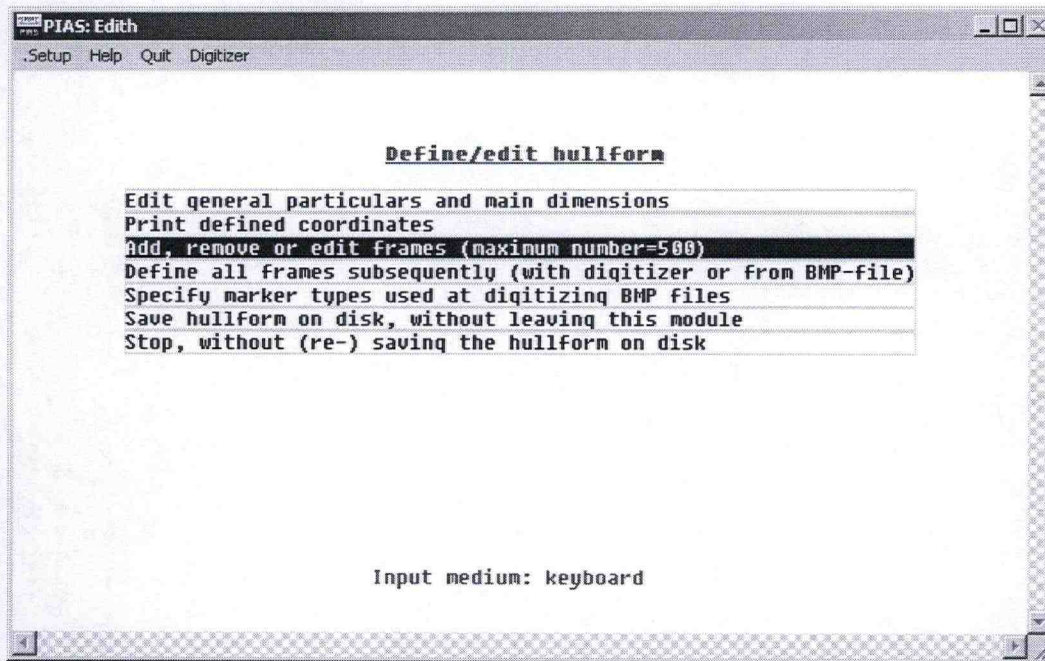
U kunt de naam van uw schip zonder extentie, intikken achter de map naam met maximaal 8 karakters, b.v. 'C:\myship\myship'.

2.2 Hoofdafmetingen en spantafstanden

Na 'OK' verschijnt het volgende invoervenster. Na invullen kiest u voor 'Quit' .

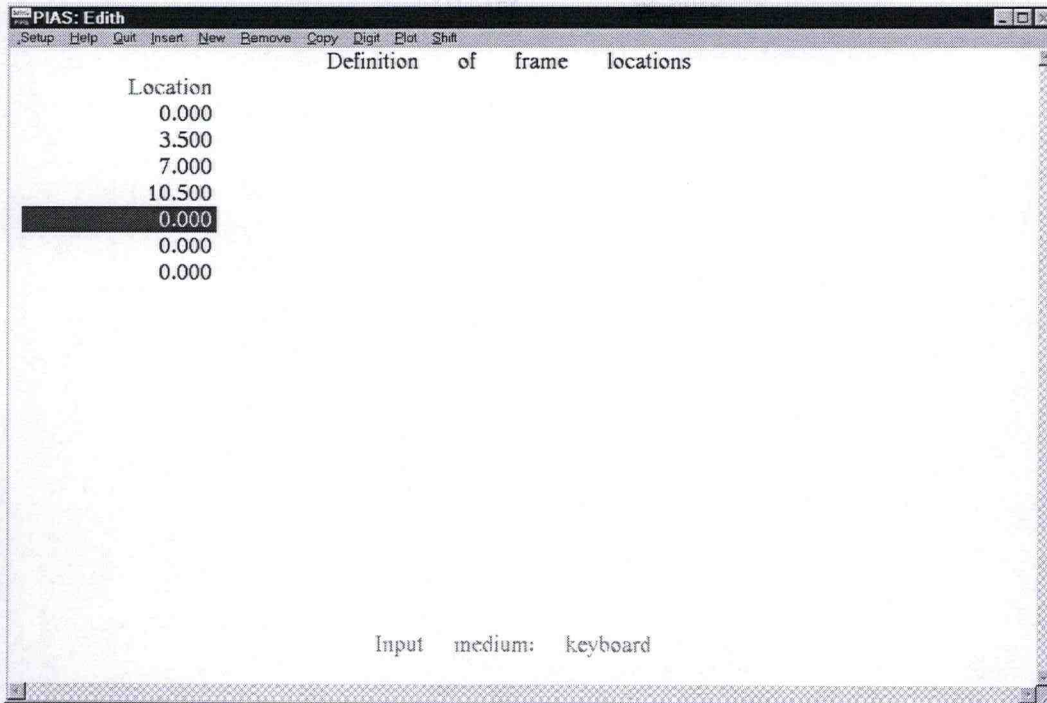


Dan verschijnt het Edithmenu, kies de optie:
"Add, remove or edit frames (maximum number = 500)"

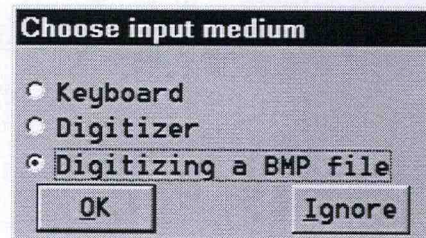


Dan verschijnt bovenstaand venster, waarin u met 'Alt + N' toesen of met Menu optie 'New', Invoervelden kunt creëren. In die invoervelden kunt u de plaats van de ordinaat invoeren. Dit kunt u steeds per ordinaat doen, maar ook de hele tabel achter elkaar invullen. Vul onder Location de afstand in meters tot ord. 0 in.

U krijgt dan bijv. het volgende:

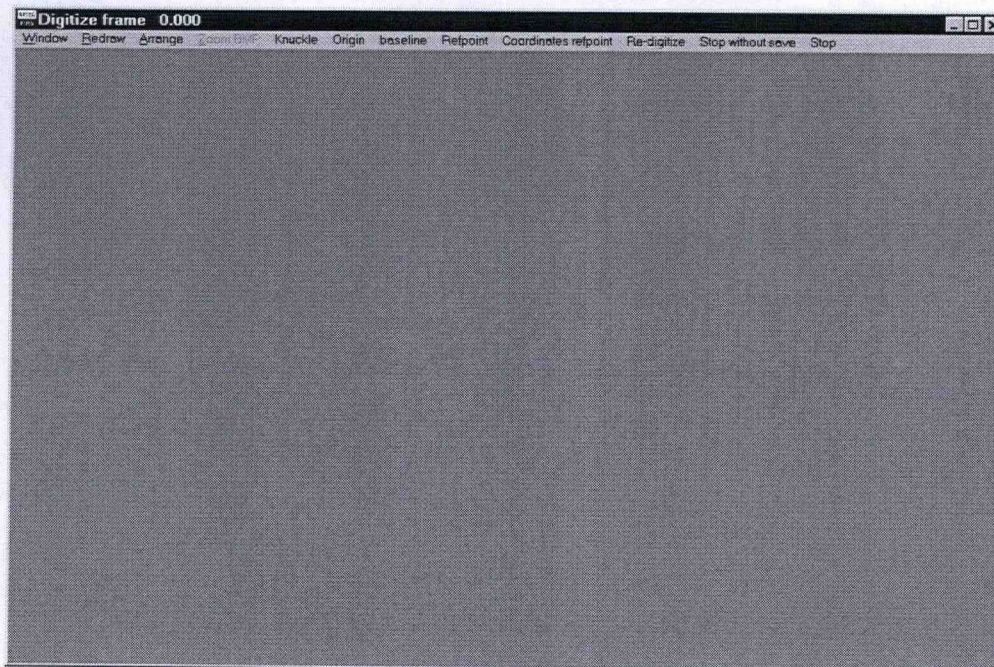


In het 'Edith' venster staat in de menubalk de optie 'Digit', klik hierop, dan verschijnt het submenu 'Choose input medium', hiermee kunt u kiezen op welke manier u de ordinaat coördinaten wilt invoeren. In uw geval kiest u voor: 'Keyboard' of 'Digitizing a BMP file'

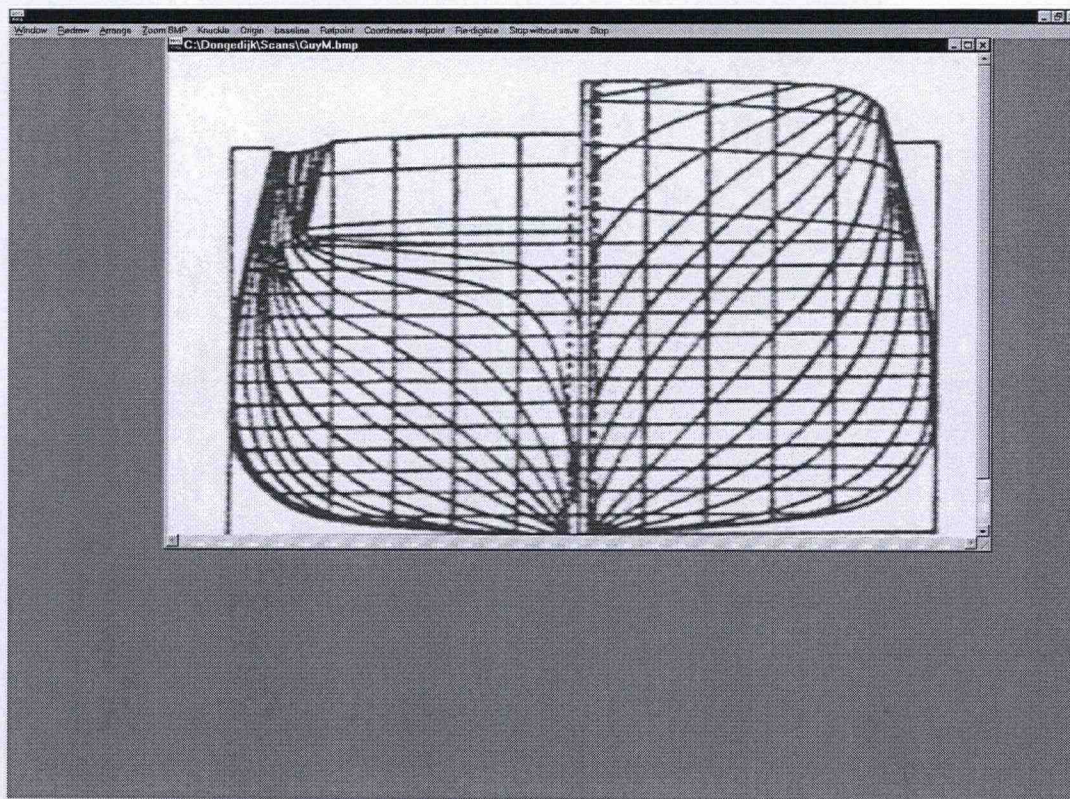


2.3 Ordinaat invoer met de screendigitizer.

Dubbeltklik op b.v. ordinaat 0, dan verschijnt een grafisch venster.



Onder de menuoptie 'Window' vindt u in het submenu de optie 'Open' waarmee u de Bitmap van het door u gescand spantenraam kunt opvragen.



Voordat u nu kunt gaan digitaliseren moeten er enkele punten geïnitieerd worden. Dat zijn:

- Origin
- Baseline
- Refpoint
- Coördinaten refpoint

Klik op de menu optie Origin en ga dan met de cursor naar de kruising van de Hartschijplijn en de Basislijn, en klik dan op de linker muisknop. Er verschijnt op dat punt een groen cirkeltje.

Klik dan op de menuoptie 'Baseline' en ga met de cursor naar een willekeurig punt op de basislijn, niet te dicht bij hartschip. Er verschijnt een geel cirkeltje.

Klik dan op Refpoint en ga dan met de cursor naar een bekend punt, b.v. het snijpunt van de ontwerp diepgangslijn en de volle breedte. Er verschijnt een blauw cirkeltje.

Klik dan op Coördinaten Refpoint, er verschijnt dan een invoervenster waarin u de breedte en hoogte coördinaat kunt invoeren. (N.B. de halve breedte van het schip dient hier te worden ingevoerd).

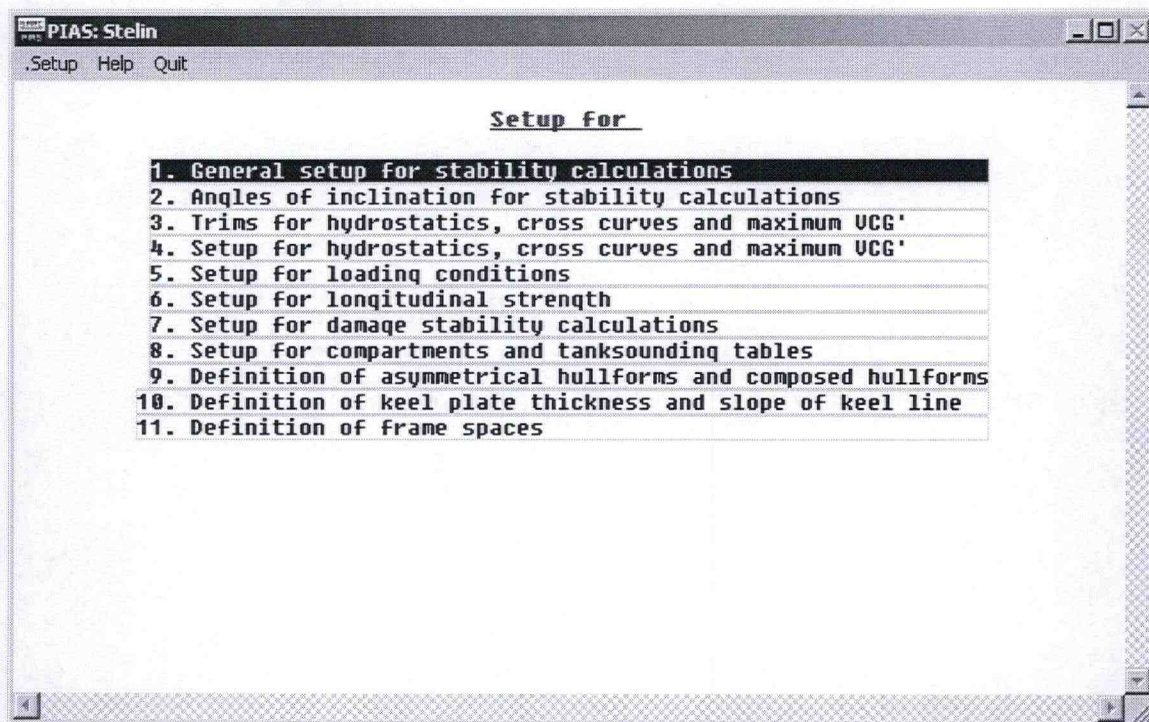
Het Refpoint dient aan de kant van hartschip te staan welke wordt gedigitaliseerd, anders worden de breedte waarden van de coördinaten negatief.

Hierna kunt u met de grafische cursor punten langs de betreffende ordinaat aanbrengen door op de linker muis te klikken. Dubbelklik zet een knikpunt neer.

Wanneer alle coördinaten van de betreffende ordinaat zijn aangeklikt, klikt u op menuoptie 'Stop', u komt dan weer in het venster waar de ordinaat lokaties staan, waar u de volgende ordinaat kunt selecteren.

Wanneer u wilt zien welke getallen zijn ingevoerd, kunt u onder menuoptie 'Digit' de optie Keyboard kiezen, klikken op een ordinaat, levert dan de numerieke waarden tabel.

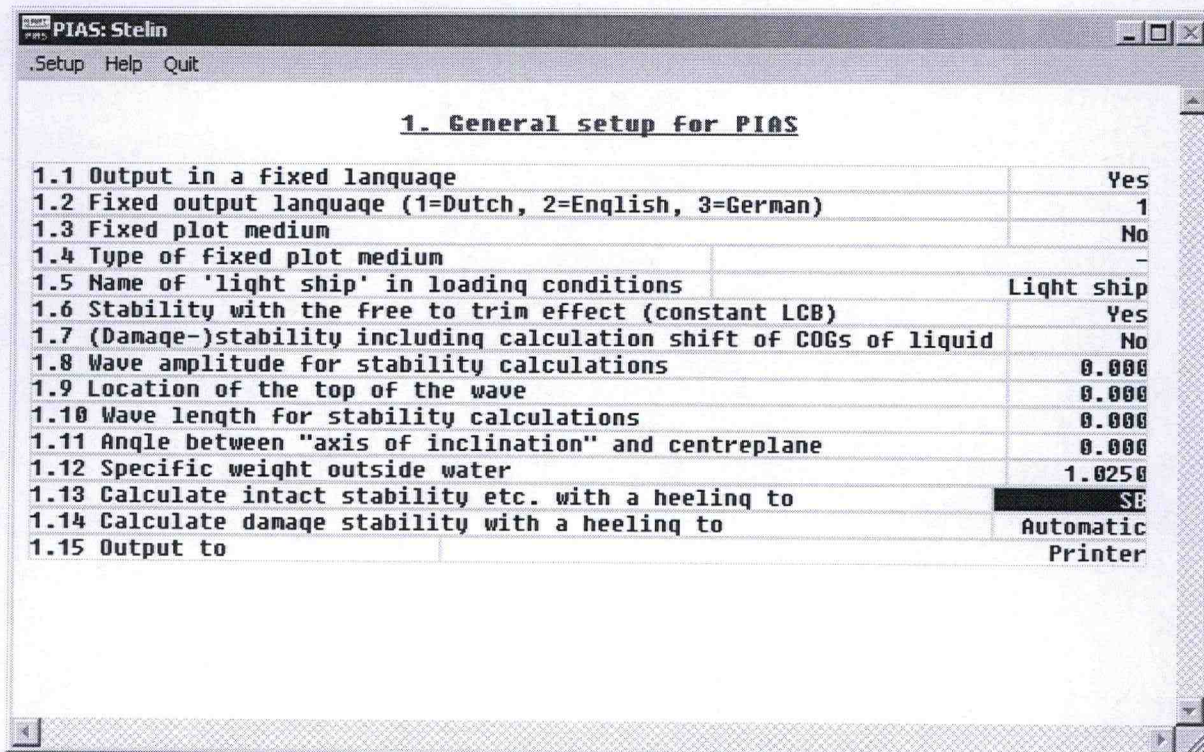
2.4 Instellingen; menuoptie 130 'Miscellaneous'



Kies eerst voor:

1. General setup for stability calculations

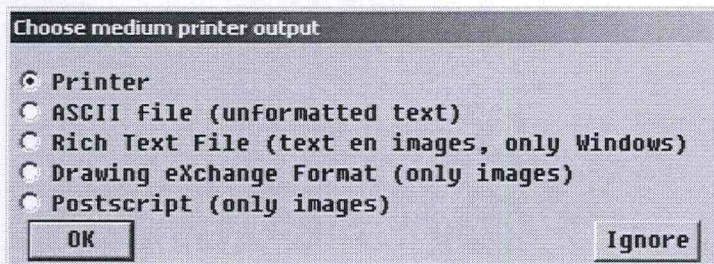
dan verschijnt het volgende invul scherm.



Vul dat in door dubbelclicken op het vak of door de x-toets in te drukken. Een yes gaat ook met 'y' toets.

Waar in het venster een '-' of '0.000' is ingevuld, is voor u niet van belang in dit stadium van uw studie.

Bij 1.15 door dubbelclick of 'x' komt het volgende menu tevoorschijn, u kunt hier eventueel kiezen voor uitvoer naar file in diverse formaten. Kiest u voor uitvoer naar file, dan verschijnt item 1.16, waar bij u een filenaam moet worden opgegeven die niet gelijk mag zijn aan de naam die u reeds gebruikt.



2. Angels of inclination for stability calculations

Door de scheepvaartinspectie worden de volgende hoeken geëist: 0, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 en 60 graden.

3. Trims for hydrostatics, cross curves and maximum VCG.

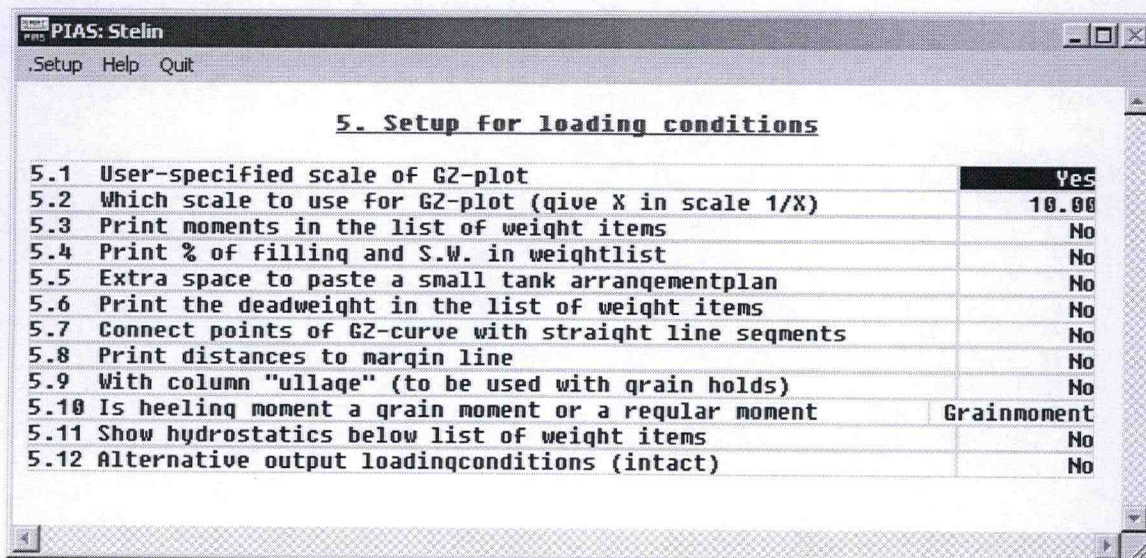
Hiermee stelt u de trimhoek range in die bij de hydrostatische uitvoer wordt weergegeven. Bij deze oefening volstaat de gelijklastige situatie (bij de stabiliteitsberekening wordt uitgegaan van een vrije vertrimming tijdens het hellen).

4. Setup for hydrostatics, cross curves and maximum VCG.

In het algemeen is een korte tabellarisch uitvoer van alle hydrostatische resultaten voldoende.

5. Setup for loading conditions

Veel van deze instellingen zijn afhankelijk van de opdracht en het scheepstype. De schaal voor de GZ-kromme wordt automatisch ingesteld, door in onderstaand venster bij 5.1 Yes in te vullen krijgt u de mogelijkheid om bij 5.2 de schaal voor de GZ kromme in te vullen (bv 1/10); de andere items zijn voor u nog niet van belang.



11. Definiëren spantafstanden

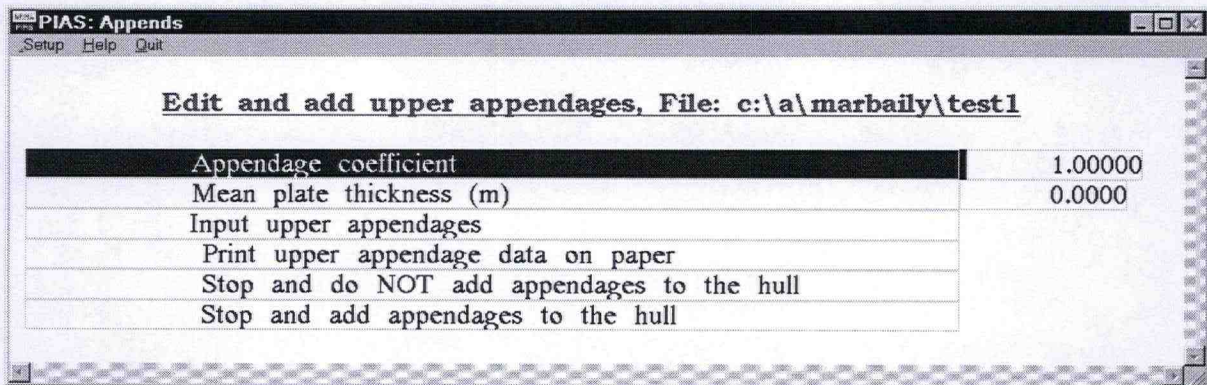
Voor deze oefening kunt u beter de spantplaatsen invoeren zoals bij het Edithmenu is aangegeven.

2.5 Toevoegen appendages; menuoptie 90 'Hullform defenition'

Appendages vormen geen aparte definitie categorie, maar moeten als een aanvulling van de spantdefinitie gezien worden.

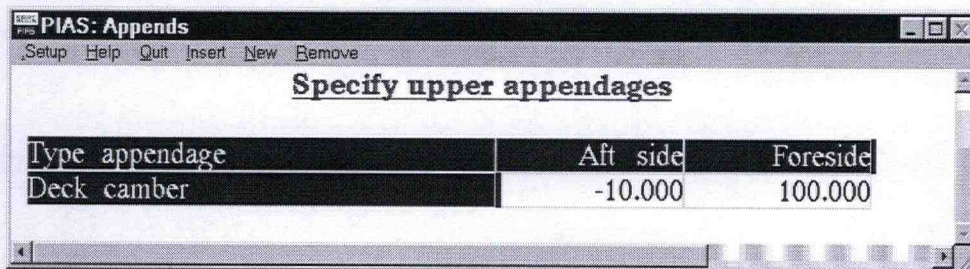
Als de definitieve scheepsvorm is bepaald kunnen met deze applicatie de volgende appendages aan de scheepsvorm worden toegevoegd:

- aanhangsel coëfficiënt
- gemiddelde dikte van de huidplaat
- opgeven bovenappendages (input upper appendages)

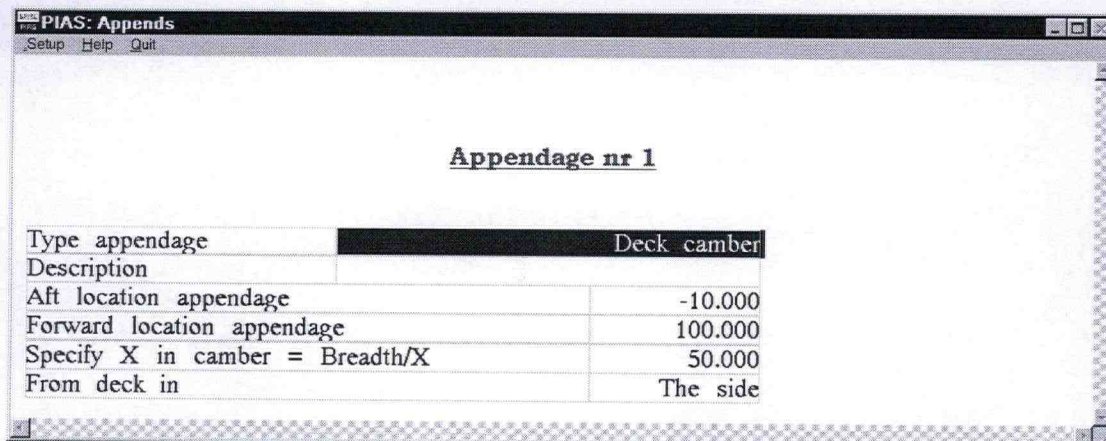


Het is gebruikelijk om de gemiddelde dikte van de huidplaat onder te brengen bij de aanhangsel coëfficiënt, neem hiervoor 1,005.

Bij het opgeven van een appendages kies "New".



Dubbelclick op Deck camber, dan verschijnt het volgende invoer venster.



Dubbelclick op het vak achter Type appendage en maak een keuze uit het typemenu .

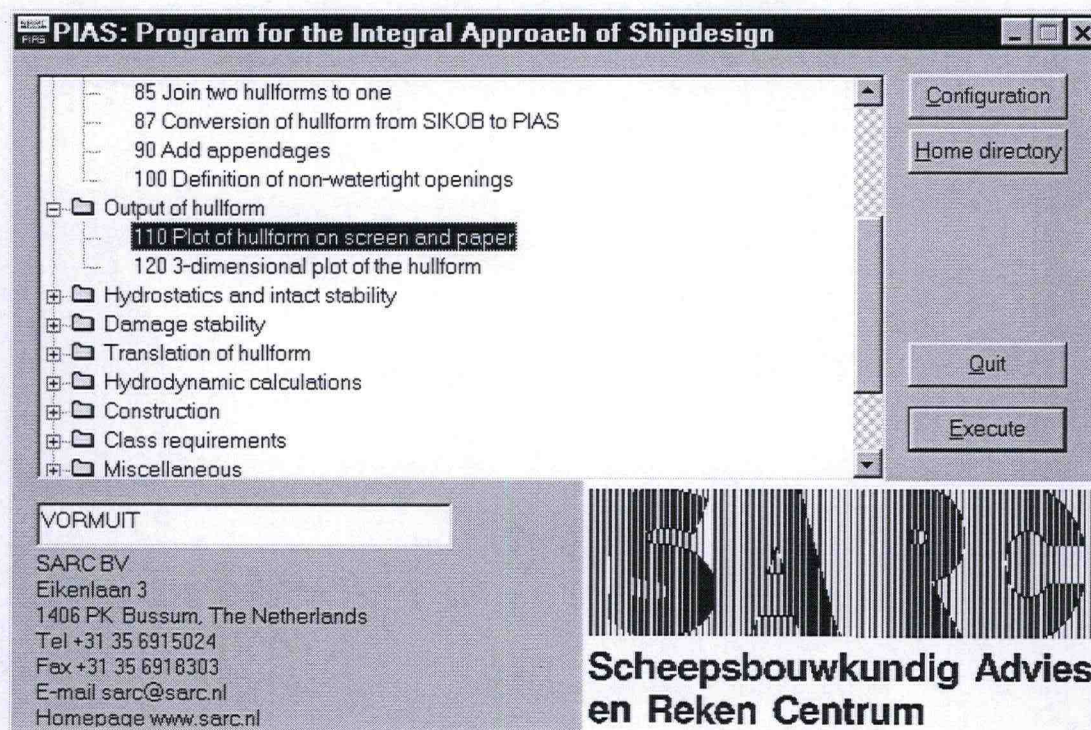
Aft location appendage kan een waarde zijn die achter het schip ligt, Pias kapt die dan zelf af bij het laatste ingevoerde spant (ordinaat). Dit geldt ook voor de Forward location appendage.

De X waarde voor de dekrondte (Camber) is standaard ca 50. Dat betekent dat de dekrondte dan 1/50 van de breedte van het schip is.

Verlaat de optie 'appendage toevoegen' met Quit, dan wordt alles automatisch opgeslagen.

U kunt de spantvorm gaan controleren en zult zien dat de spanten van boven met een deklijn zijn afgesloten.

2.6 Output of hullform



110 Plot of hullform on screen and paper.

Via OUTPUT of HULLFORM kunt u met deze optie de scheepsvorm controleren.

Met de optie schematic linesplan on screen/paper kunt U een schetsmatig lijnenplan van de scheepsvorm uitplotten en de spantvorm controleren. De langsdoorsnede is niet reëel, omdat de contouren niet kunnen worden vastgelegd. U kunt alleen globaal een indruk krijgen van de scheepsvorm.

Als de vorm op het oog goed is kunt u deze laten uitprinten. Kies daarvoor dezelfde schaal als het lijnenplan, zodat controle van de ingevoerde scheepsvorm mogelijk is. Kies voor alle uit te plotten tekeningen een geschikte schaal, anders kiest PIAS een schaal waarbij het papier optimaal gebruikt wordt, maar waarmee niet altijd te werken valt (b.v. 1:163).

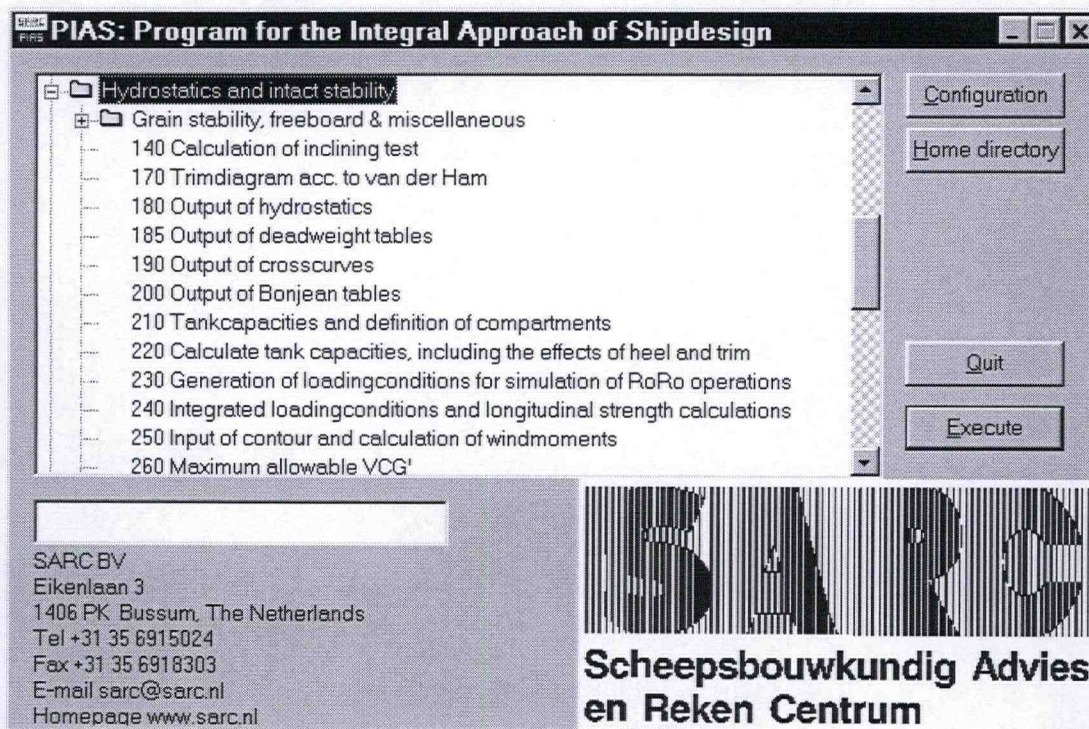
Let op voer de reciproke waarde van de schaal in (dus 150 i.p.v. 1/150)!

120 Driedimensionale uitvoer scheepsvorm

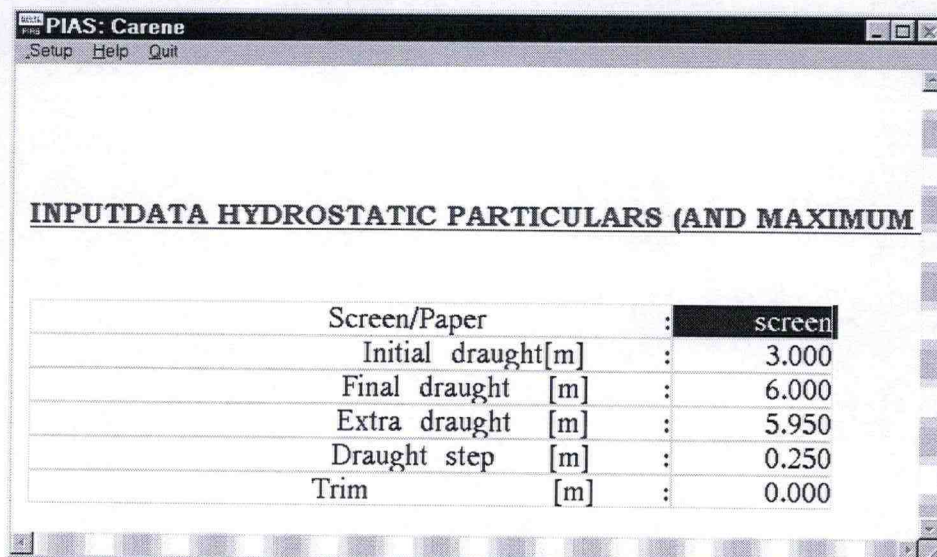
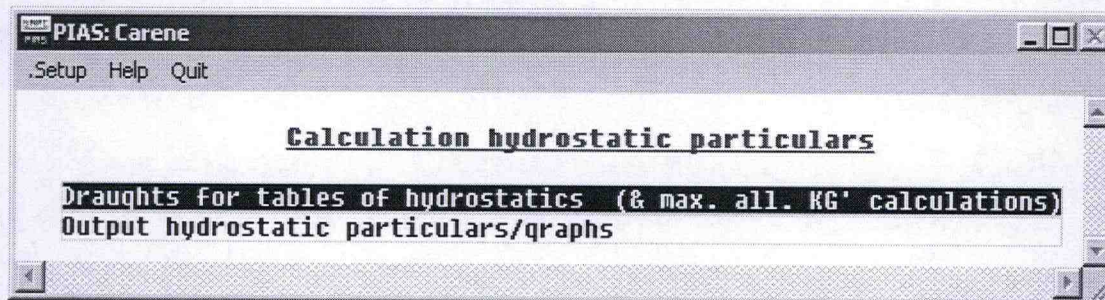
Deze optie stelt u in staat om 3-D plaatjes te maken van uw schip; ook hier krijgt u om de reeds genoemde reden geen realistisch beeld.

2.7 Hydrostatische berekeningen; menuoptie 'Hydrostatics and intact stability'

Na selectie van deze optie uit het hoofdmenu komt het volgende menu beschikbaar



180 Output of hydrostatics (carènetabellen)



Hier moeten de volgende waarden worden ingevoerd :

Initial draught (begin diepgang) : circa 0.50 m onder T_{leeg}
Final draught (grootste diepgang): circa 0.50 m boven $T_{geladen}$
(kies echter tenminste $T_{max} = 0,85 D$ i.v.m. vrijboord berekening.)
Draught step (stapgrootte) : bijv. 0.10 m
Trim : 0.000

Na 'Quit' kiest u voor Output hydrostatic particulars/graphs.

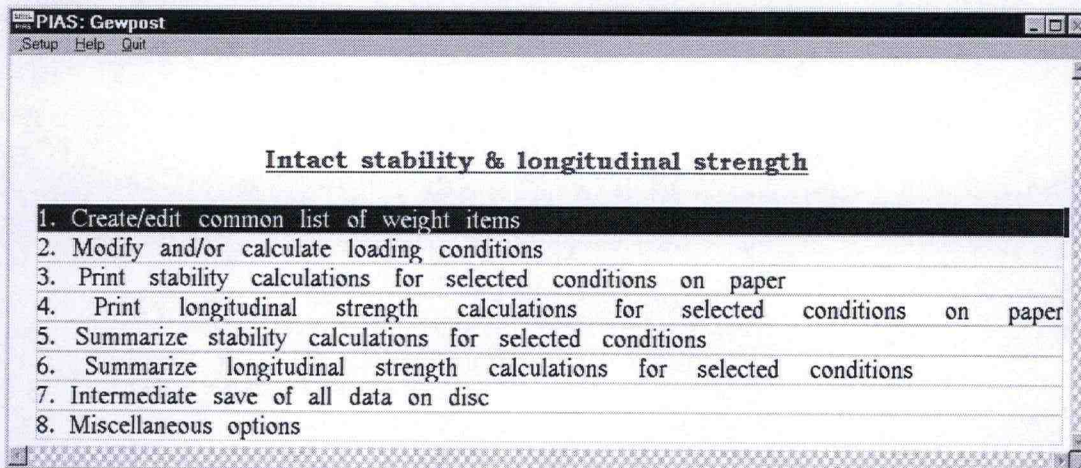
190 Output crosscurves (dwarskrommen)

Hier moeten de volgende waarden worden ingevoerd :

Displacement begin : circa 20% van het displacement
Displacement end : circa 120% van het displacement
Displacement step : circa 10% van het displacement
Trim : 0

2.8 Beladingstoestanden; menuoptie 240

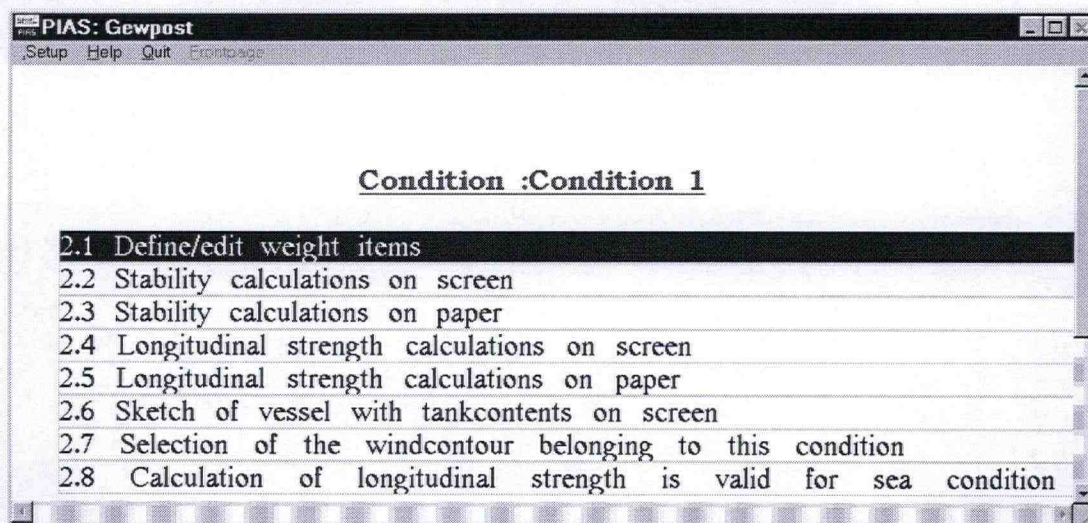
Integrated loading conditions and longitudinal strenght calculation



2. Modify and/or calculate loading conditions (beladingsgeval voor stabiliteit bewerken/uitvoeren)

Na selectie van deze optie verschijnen op het beeldscherm de namen van de beladingsgevallen. Zijn deze nog niet ingevoerd dan kunt u deze toevoegen met menu optie **New**. Elke beladings-toestandsnaam mag maar 1 keer voorkomen (b.v. schip met 10% voorraden en 10% lading). De beladingstoestanden kunnen geselecteerd worden voor een bepaalde berekening door de **Selected** optie te wijzigen of «X»).

Het invullen van een bepaald beladingsgeval geschiedt door deze te selecteren (dubbelclick linkermuisknop of «Enter», daarbij verschijnt het volgende menu:



2.1. Define/edit weight items (gewichtsposten invullen/wijzigen)

Er verschijnt nu een leeg scherm, met menuoptie **New** kunt regels toevoegen.

Indien u een Algemene lijst met vaste gewichten heeft opgegeven, kunt u die posten naar deze lijst halen door de cursor in het nummer vakje te zetten en dan het nummer van de gewenste gewichtspost in te typen.

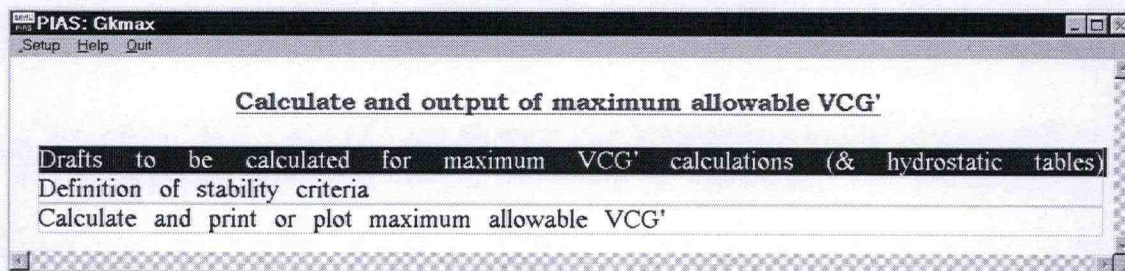
2.3/2.4 Stability calculation on screen/paper

(Beladingstoestand berekenen en uitvoeren op het beeldscherm/papier)

Met deze opties kunt u de berekende waarden bekijken of printen. Let op dat de uitvoer bepaald wordt door de waarden die u bij de menu instellingen (130) hebt opgegeven. de GZ curve wordt getekend indien er meer dan twee hellingshoeken zijn opgegeven. De criteria waaraan moet worden voldaan moeten bij maximum allowable VCG' (maximum KG) worden opgegeven.

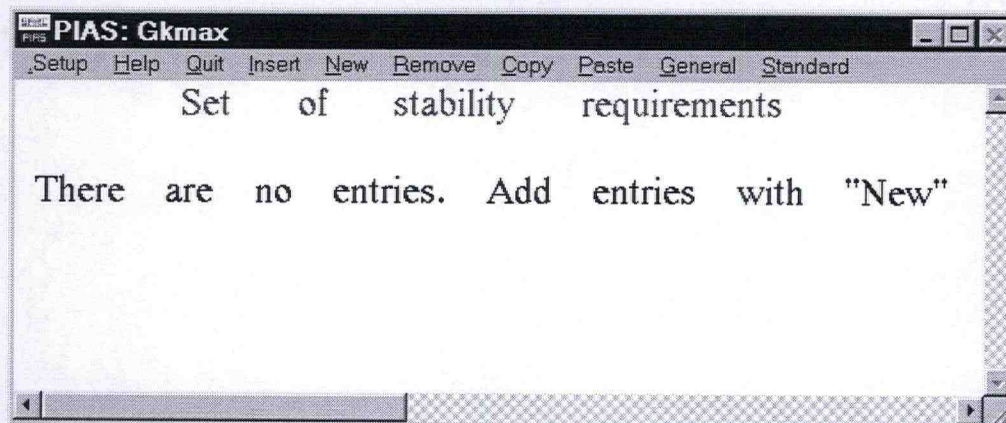
2.9 Definitie stabiliteitscriteria; menuoptie 260 Maximum allowable VCG' (maximum KG)

Met deze module wordt de maximaal toelaatbare KG berekend. Er kunnen met deze applicatie uit totaal 25 stabiliteitseisen geselecteerd worden. De uitvoer kan grafisch of tabellarisch geschieden. Na selectie van deze optie verschijnt het volgende menu op het scherm:

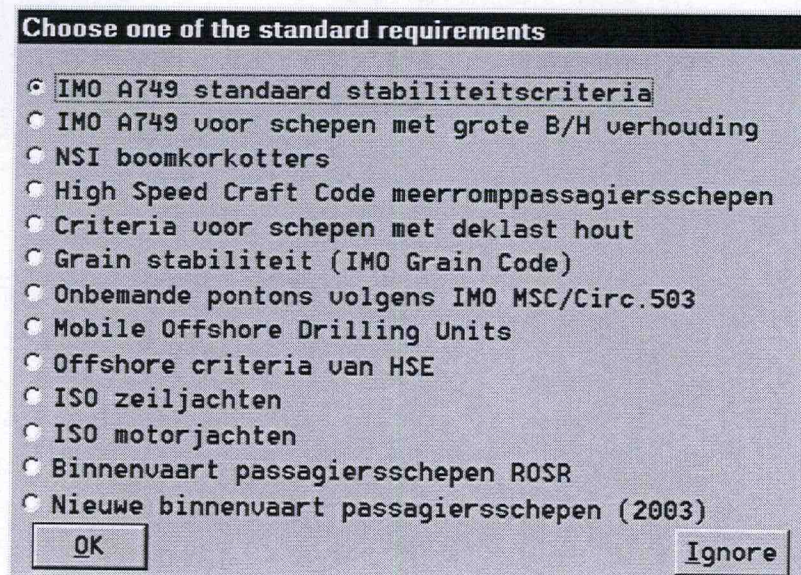


Definition of stability criteria (maximale KG' eisen)

Na selectie van deze optie verschijnt het volgende venster:

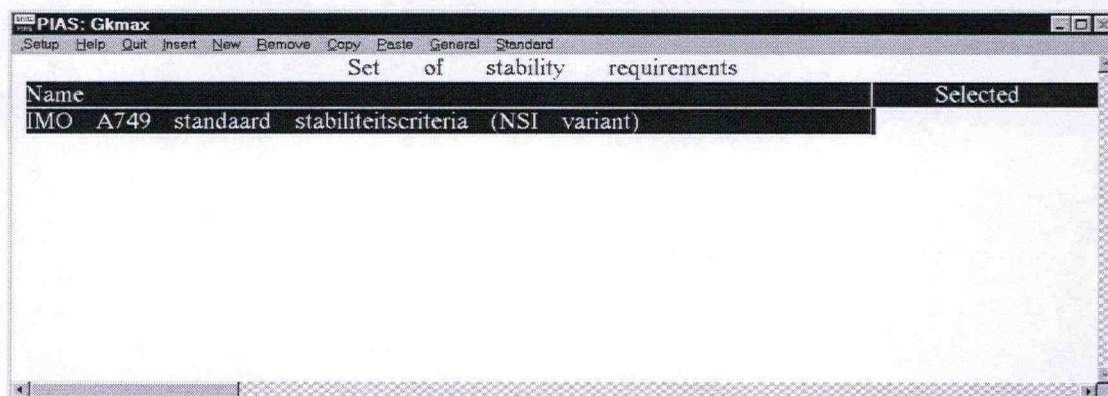


Kies de menuoptie **Standaard** dan verschijnt een keuzemenu. Het eerste criterium, **IMO A749 standaard stabiliteitscriteria** is voor u van toepassing.

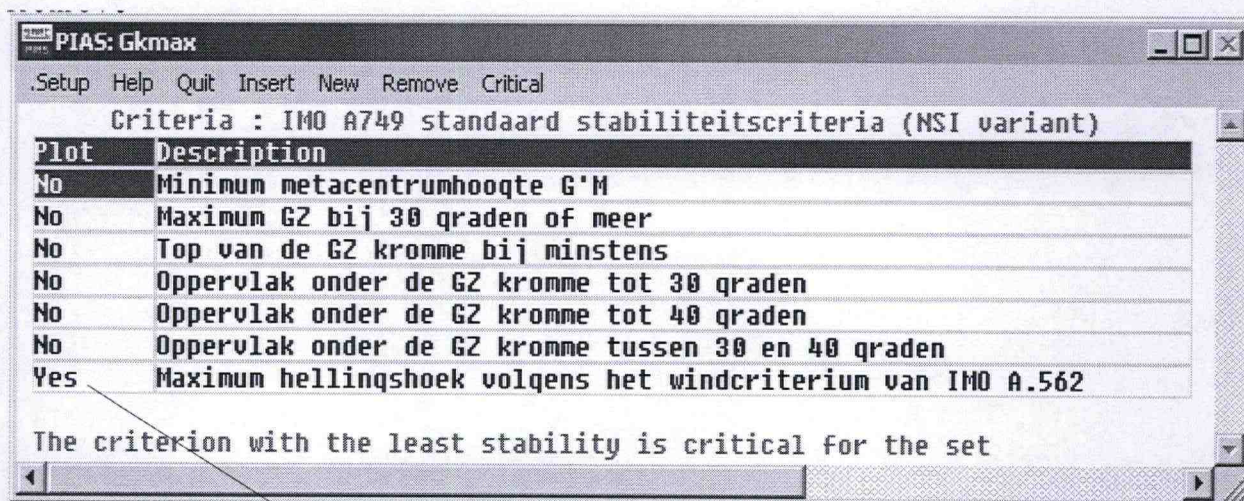


Na **OK** verschijnt een soortgelijk venster, vink 'In NSI version' aan en click op **OK**.

U komt dan weer terug in scherm voor de stabiliteitscriteria en ziet dat er een regel is toegevoegd.



Dubbeldclicken op deze regel geeft toegang tot de eisen die actief zijn.



Remove

Het laatste criterium (wind criterium) moet u met 'Remove' of Alt+R verwijderen, want u heeft geen windcontour opgegeven.

De **No** onder de kop **Plot**, moet blijven; dat heeft alleen betrekking op het maken van extra plots.

U kunt deze vensters sluiten en de stabiliteitsberekeningen uitvoeren.

Bijlage 3

Extended Diagrams for Determining the Resistance and required Power for Single-Screw Ships

by W. H. Auf'M Keller

Maritieme Techniek

 **TU Delft**

Technische Universiteit Delft

EXTENDED DIAGRAMS FOR DETERMINING THE RESISTANCE AND REQUIRED POWER FOR SINGLE-SCREW SHIPS.

by

W.H. AUF'M KELLER *).

1. Introduction.

Due to ever increasing dimensions, block coefficients etc. of single-screw ships such as bulk carriers and tankers, it often is not possible anymore to use the diagrams published by Lap [1], because the values of the parameters to be used, now often are not within the range of the mentioned diagrams. Therefore an extension of these diagrams was necessary.

2. Diagrams.

The results of model tests of 107 large single-screw ships were converted into dimensionless residuary resistance values. Based on these values the extended diagrams, Figures 2 through 6, were made.

The available data have been grouped in the same way as published in [1].

Figure 1 shows the relation between C_p and LCB for these groups.

Figure 7 represents a histogram for the B/T ratio values of the 107 investigated models.

Contrary to the distribution of the B/T values mentioned in [1], Figure 7 shows that for the large ships 71% has a B/T value varying between 2.5 and 3.0.

Since it was the intention to start from the existing diagrams as given in [1], which apply to a B/T value of 2.40, a correction was necessary for the differences in B/T.

The same correction as mentioned in [1] was maintained, viz. a mean value of 0.5% increase of the total ship resistance for an increase of B/T by 0.1.

It appeared, however, that for ships with high B/T values ($B/T > 3.00$), such as for example gas tankers, these corrections had to be adapted.

If $B/T > 3.00$ a correction of 0.5% decrease of the total ship resistance seemed to be desirable for an increase of B/T by 0.1.

It further was found necessary to introduce an empirical correction factor for the effect of

much lower L/B ratios than those usual at the time of publication of [1].

This correction, in percents of (ζ_r) on a base of L/B ratio, is given in Figure 8.

For a reliable power calculation a good total propulsive efficiency estimation is required.

The resistance values calculated by means of the present diagrams, just like those of [1], are based on Schoenherr's extrapolation with roughness allowance coefficients C_A of 0.00035 to 0.00045.

For ship self propulsion points corresponding to these extrapolations an efficiency curve η_D was given in Figure 13 of [1].

It is clear that for large ships, as investigated now, with incremental resistance coefficients, of $C_A = -0.00025$ (or even less) a much lower loading of the propellers has to be accounted for than was formerly usual. This results in higher efficiencies and a correction on the η_D curve of [1] is necessary in such cases. The correction as a function of C_A (representing a certain over- or underload) is given in Figure 9.

It must be noted that this figure only may be used for ships with large block coefficients (> 0.75).

For ships with small block coefficients the η_D decreases (respectively increases) as a function of the overload (respectively underload) are much smaller.

According to Lap the η_D correction for the last mentioned ships amounts to about 1/3 per cent per 10 per cent overload, this corresponds to only a fifth of the correction as given now in Figure 9. Furthermore it appeared that with increasing block coefficients and decreasing L/B ratios the efficiency η_D decreased.

Empirical η_D corrections to a base of block coefficient and L/B ratio are therefore given respectively in Figures 10 and 11.

A histogram showing percentages deviation of the efficiency derived from the curves in the Figures 9, 10 and 11 as compared to actual

*) Netherlands Ship Model Basin, Wageningen, the Netherlands.

model test results, is given in Figure 12. With the calculated efficiency and P_E values the P_D values can be determined. An indication of the accuracy of the calculations

is given by the percentages deviation of the calculated P_D values with regard to the P_D values of 116 arbitrarily chosen tested models in the histogram of Figure 15.

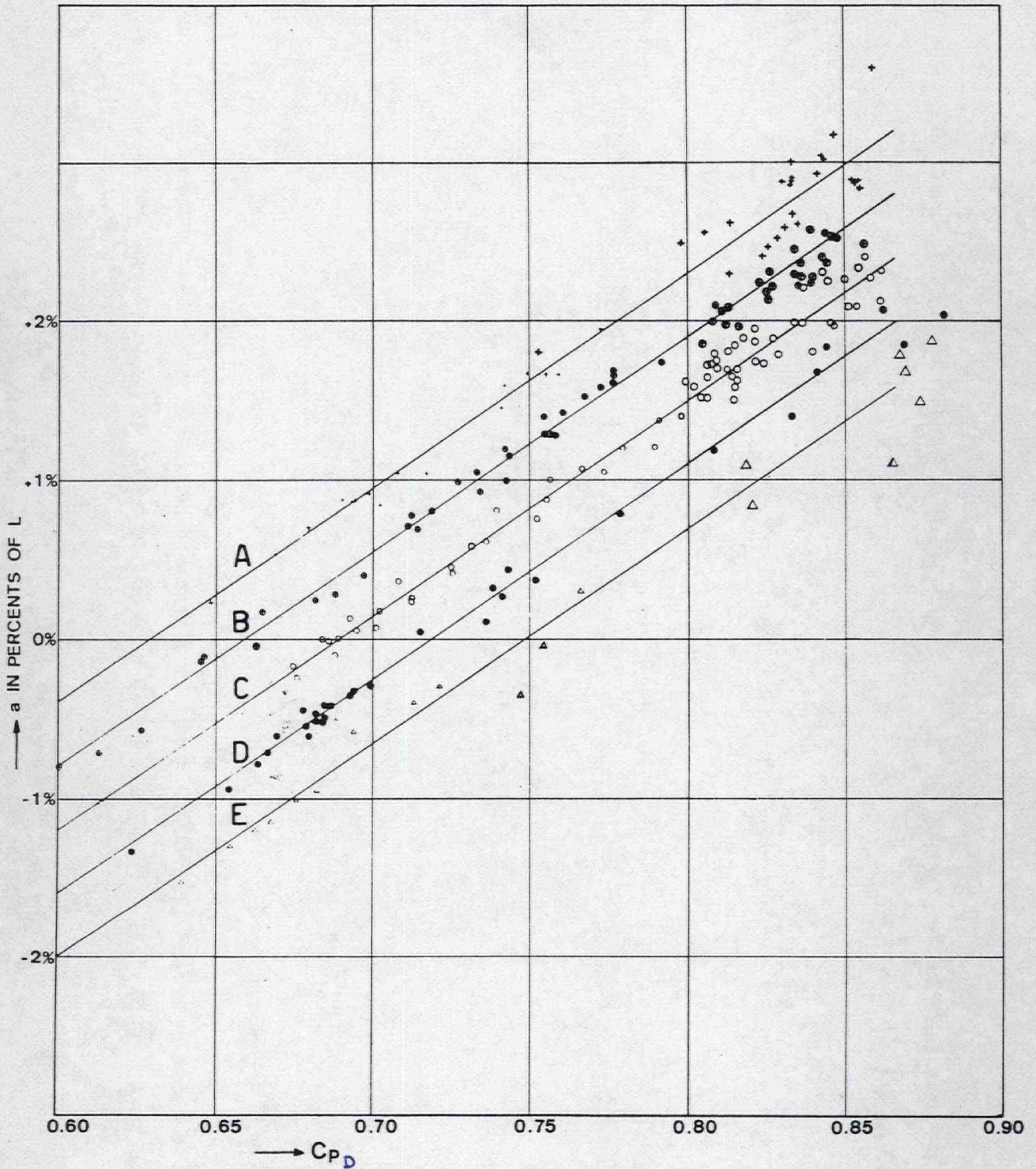


Figure 1. Position of centre of buoyancy of the examined models.

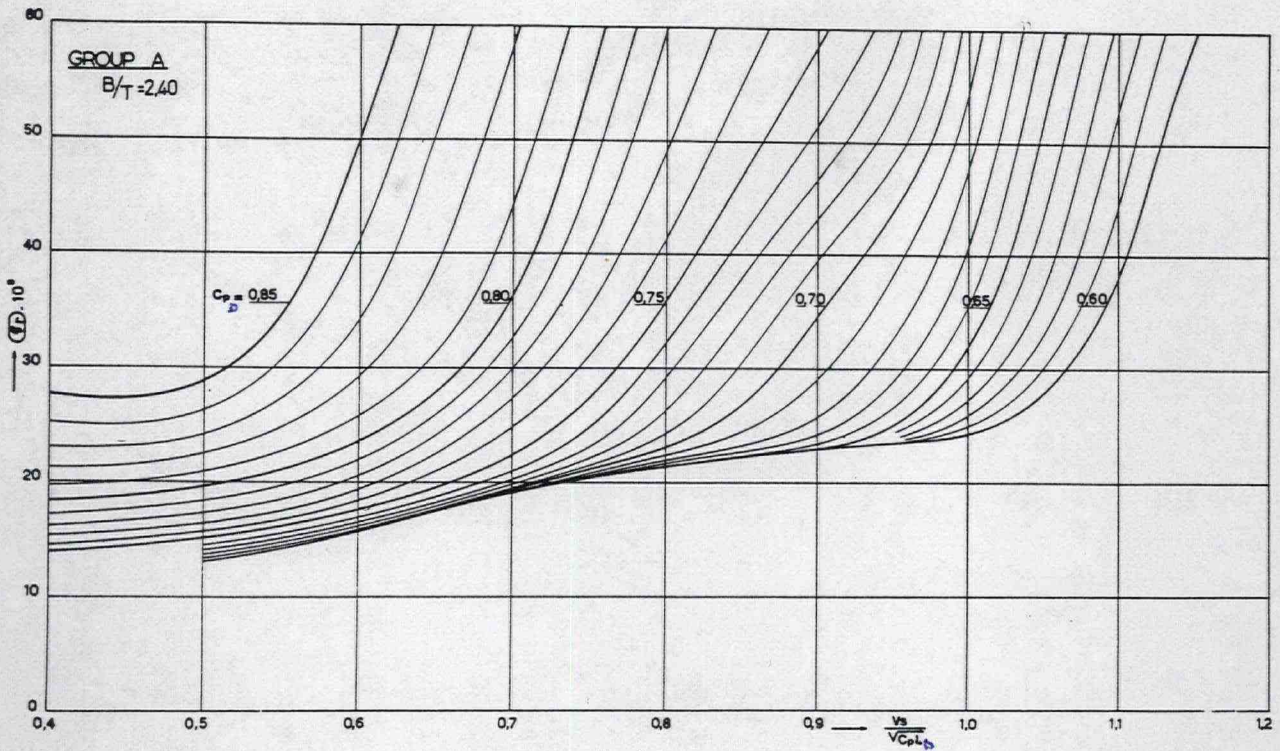


Figure 2. Diagram for determining the specific residuary resistance as a function of $\frac{V_s}{\sqrt{Cp_D L_D}}$ and Cp_D

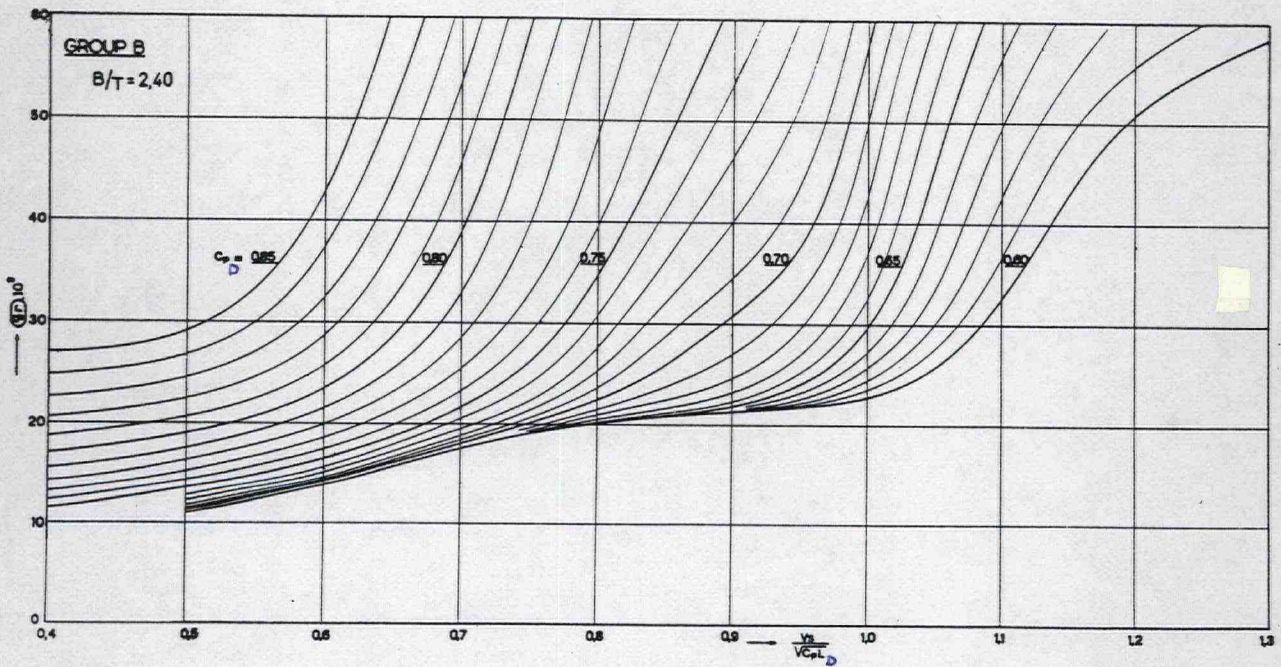


Figure 3. Diagram for determining the specific residuary resistance as a function of $\frac{V_s}{\sqrt{Cp_D L_D}}$ and Cp_D

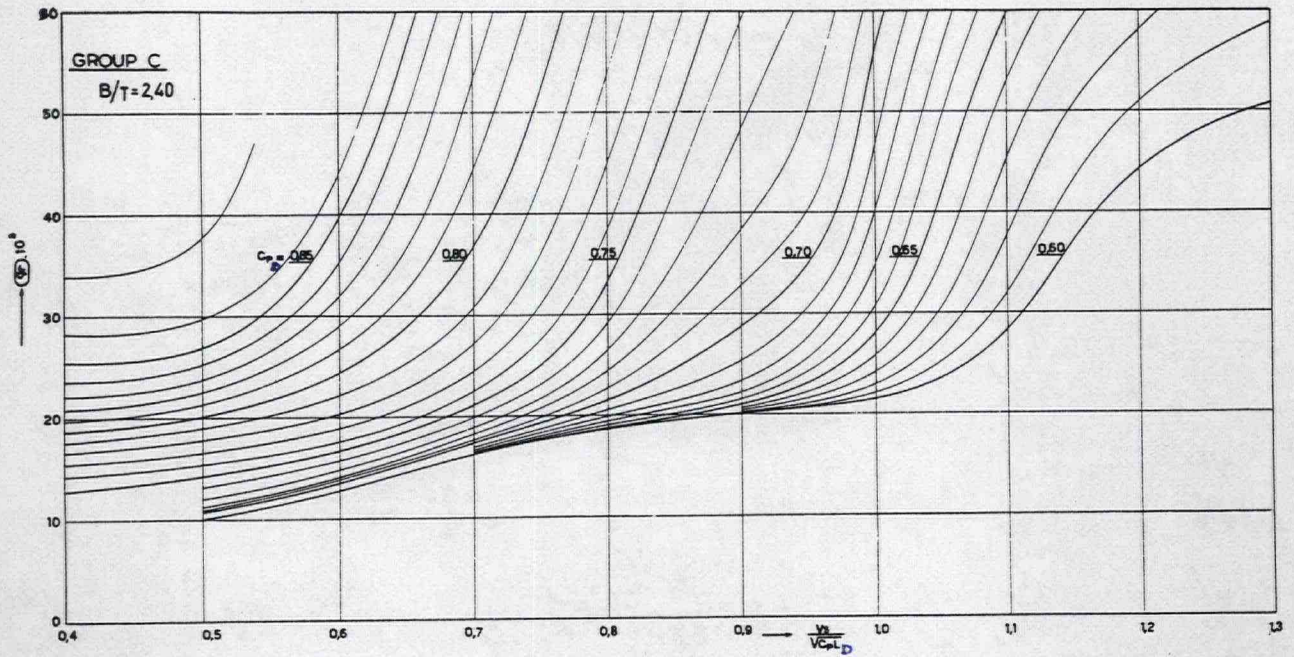


Figure 4. Diagram for determining the specific residuary resistance as a function of $\frac{V_s}{\sqrt{Cp} L_D}$ and Cp_D

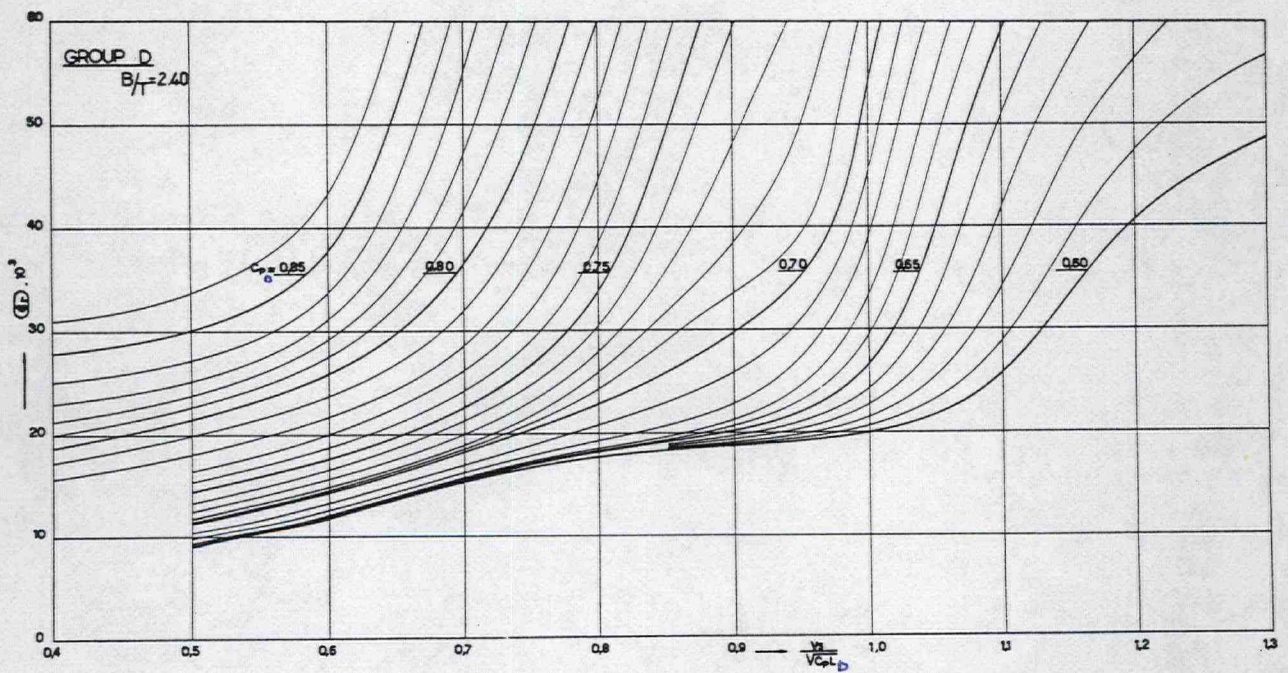


Figure 5. Diagram for determining the specific residuary resistance as a function of $\frac{V_s}{\sqrt{Cp} L_D}$ and Cp_D

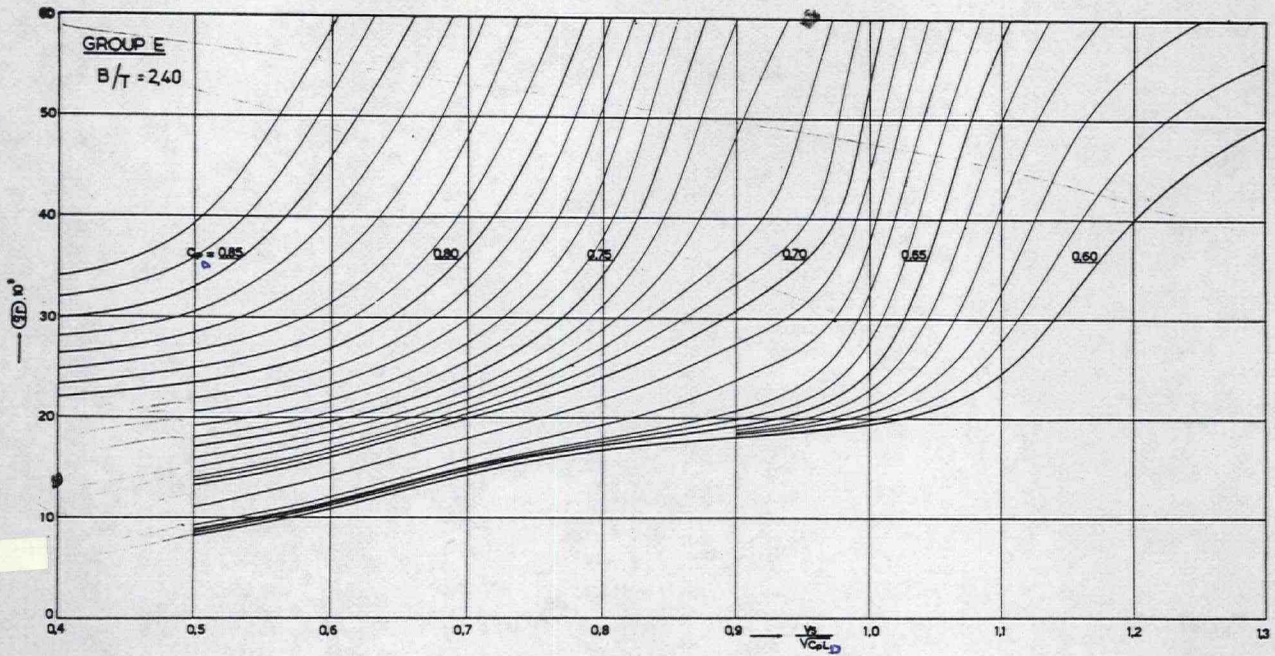


Figure 6. Diagram for determining the specific residuary resistance as a function of $\frac{V_s}{\sqrt{C_p L D}}$ and C_p

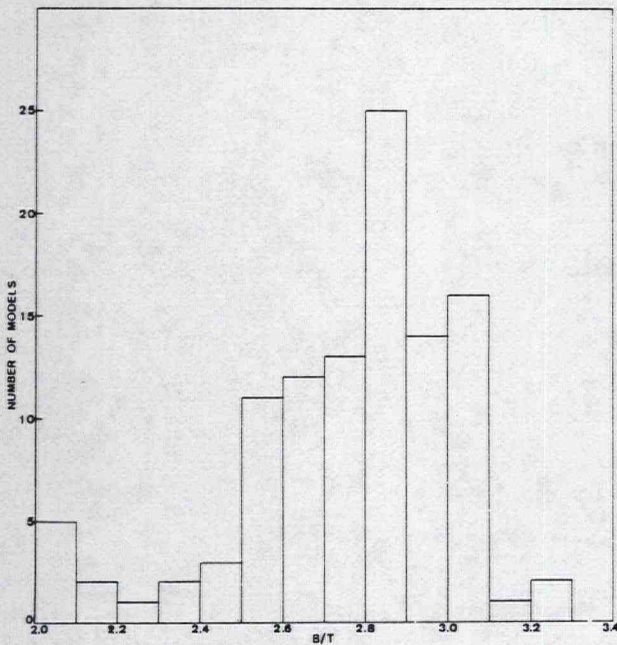


Figure 7. Histogram for the B/T ratio values of the 107 investigated models.

3. Use of the diagrams and estimation of P_E and P_D values.

The use of the diagrams is similar to the method as mentioned by Lap in publication 118 of the N. S. M. B. [1].

For the resistance calculation the new correc-

tion for the L/B ratio has to be included.

The ship length required for the calculation is the length between perpendiculars increased with one percent (L_d).

In cases where the length of the waterline is smaller than $1.01 \times L_{pp}$ the waterline length must be used.

For the resistance calculation it is furthermore necessary to make the correct choice for the incremental resistance coefficient C_A .

In Table 1 C_A values, as used for resistance calculations at the moment at the N. S. M. B., are given as a function of the dimensions of the full size vessels.

With the aid of the number of propeller revolutions N and the ship length L a preliminary η_D value can be estimated from Figure 13.

Table 1

Length of the vessels	Incremental resistance coefficient C_A
50 - 150 m	+0.0004 - +0.00035
150 - 210 m	+0.0002
210 - 260 m	+0.0001
260 - 300 m	0
300 - 350 m	-0.00010
350 - 450 m	-0.00025

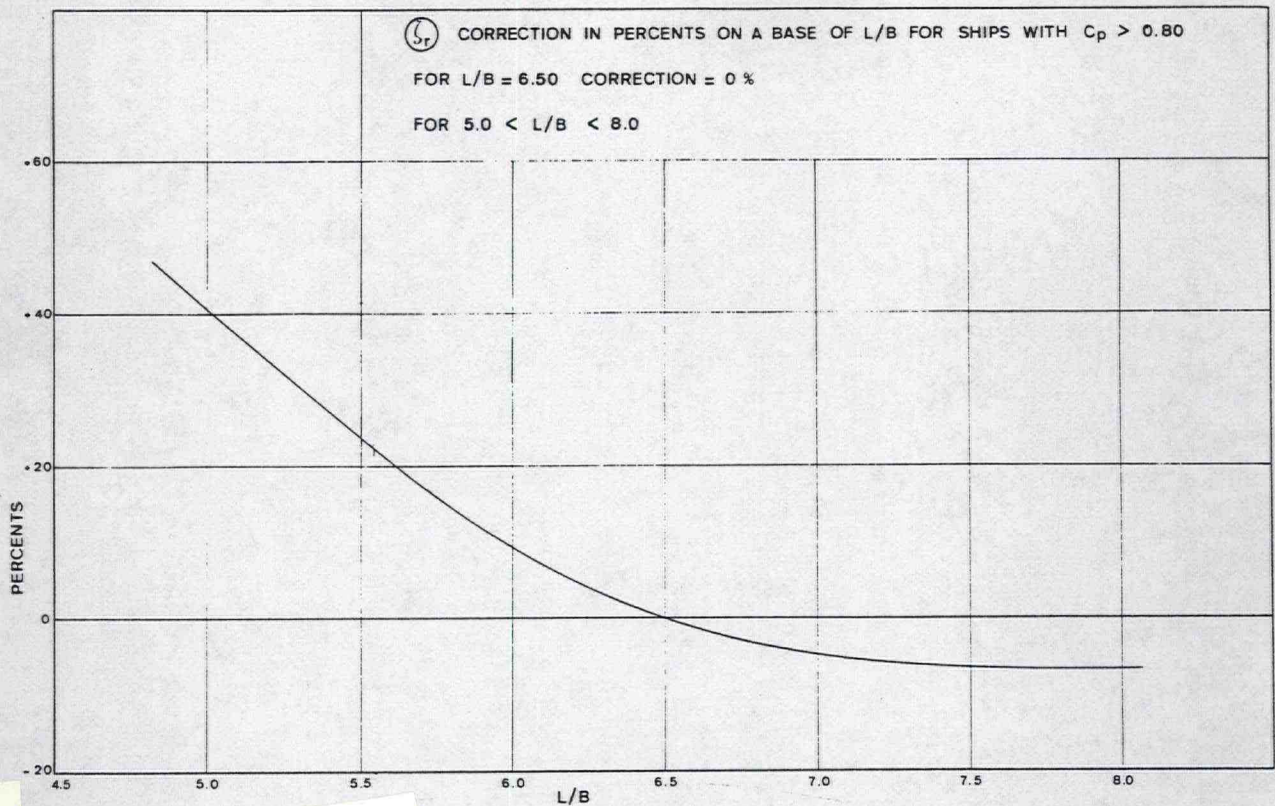


Figure 8. Correction in percents of \odot on a base of L/B ratio.

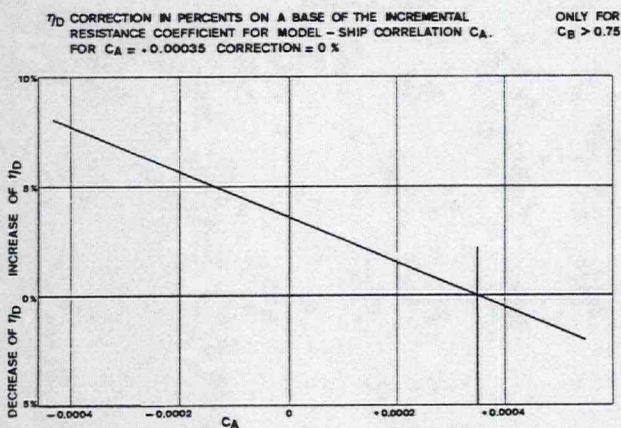


Figure 9. η_D correction in percents on a base of the incremental resistance coefficient for model-ship correlation C_A . For $C_A = +0.00035$ correction = 0%.

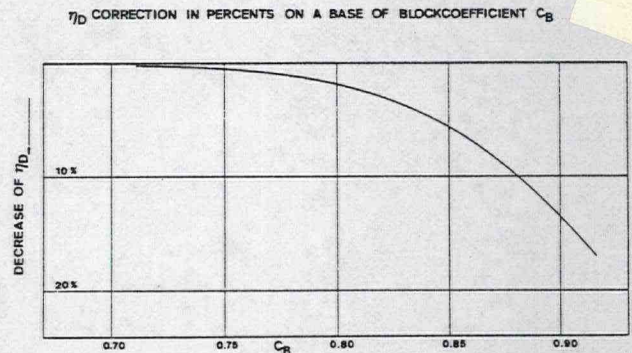


Figure 10. η_D correction in percents on a base of block coefficient C_B .

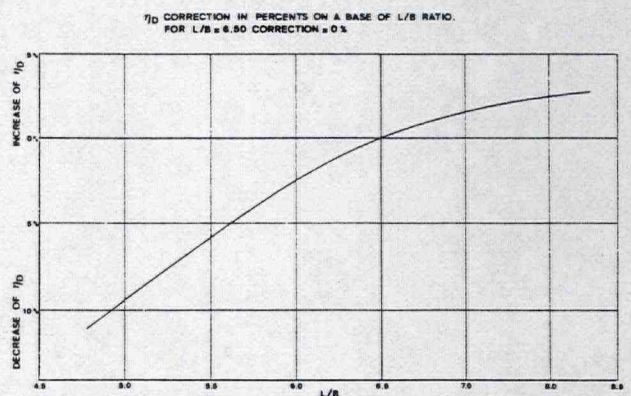


Figure 11. η_D correction in percents on a base of L/B ratio.

To find the final total efficiency the η_D values from Figure 13 must be corrected with percentages as given in the Figures 9, 10 and 11. With the final η_D and P_E values the P_D values on trials can be determined.

An example to explain the method of calculation is given on the next page.

4. Example of calculation.

Characteristics of ship.

L	= 350.00 m	L _d /B	= 5.89	revs./min. propeller = 80
L _d	= 353.50 m	B/T	= 2.79	Wanted: SHP at trial condition for
B	= 60.00 m	∅ = C.O.B.	= +3.00%	<u>14-15-16 and 17 knots.</u>
T	= 21.50 m	S	= (3.4 ∇ ^{1/3} + 0.5 L) ∇ ^{1/3} = 30512 m ²	
∇	= 377000 m ³	ρ	= 104.5 kg sec ² m ⁻⁴ (salt water) temperature = 15° Centigrade	
C _B = δ	= 0.835	1/2 ρ S	= 1,594,252 kg sec ² m ⁻²	
C _{Bd} = δ _d	= 0.827			
C _M = β	= 0.995	$\frac{A_m}{S} \zeta_r = \frac{C_M \times B \times T}{S} \zeta_r = 0.042067 \times \zeta_r = C_{Rt}$		
C _p = φ	= 0.839			
C _{pd} = φ _d	= 0.831	$C_t = C_{Rt} + C_{FS} + C_A = \frac{R_{t1}}{1/2 \rho V_s^2 S}$		

Derived from:

Fig. 1	Group A				
1	Ship speed V in knots		14	15	16	17
2	Ship speed V _s in m sec ⁻¹		7.2023	7.7168	8.2312	8.7457
3	$\frac{V_s}{\sqrt{\phi_d L_d}}$		0.420	0.450	0.480	0.510
4 Fig. 2	$\zeta_r \times 10^3$		23.24	23.35	23.79	25.00
5 Fig. 8	L _d /B correction =		+12%	+12%	+12%	+12%
6	$\zeta_r \times 10^3$ corrected		26.03	26.15	26.64	28.00
7	C _{Rt} × 10 ³		1.095	1.100	1.121	1.178
8	V × L _d (V in knots L in metres)		4949	5303	5656	6010
9 Fig. 14	C _{FS} × 10 ³		1.397	1.385	1.374	1.365
10	C _A (See Table 1)		-0.00025	-0.00025	-0.00025	-0.00025
11	(C _{FS} + C _A) × 10 ³		1.147	1.135	1.124	1.115
12	C _{t2} × 10 ³ (= 7 + 11)		2.242	2.235	2.245	2.293
13	V _s ² (m sec. ⁻²)		51.873	59.549	67.753	76.487
14	1/2 ρ V _s ² S (kg)		82,698,634	94,936,112	108,015,356	121,939,553
15	R _{t1} (in kg) (=12 x 14)		185410	212182	242494	279607
16	B/T correction		+1.95%	+1.95%	+1.95%	+1.95%
17	R _t (in kg)		189025	216320	247223	285059
18	$\frac{V_s}{75}$ (m sec. ⁻¹)		0.096030	0.10289	0.10975	0.11661
19	P _E (= EHP)(in hp metric)		18152	22257	27133	33241

20 Fig. 13	N √L _d =	1504	η _D = 0.706			
21 Fig. 9	C _A =	-0.00025	correction η _D = +6.1%	η _D = 0.749		
22 Fig. 10	C _B (perpendiculars)		correction η _D = -4 %	η _D = 0.719		
23 Fig. 11	L/B correction		correction η _D = -3 %	η _D = 0.697 = η _D final		
24	P _D Trials = $\frac{P_E}{\eta_D}$ (in hp metric)					
			26043	31933	38928	47692

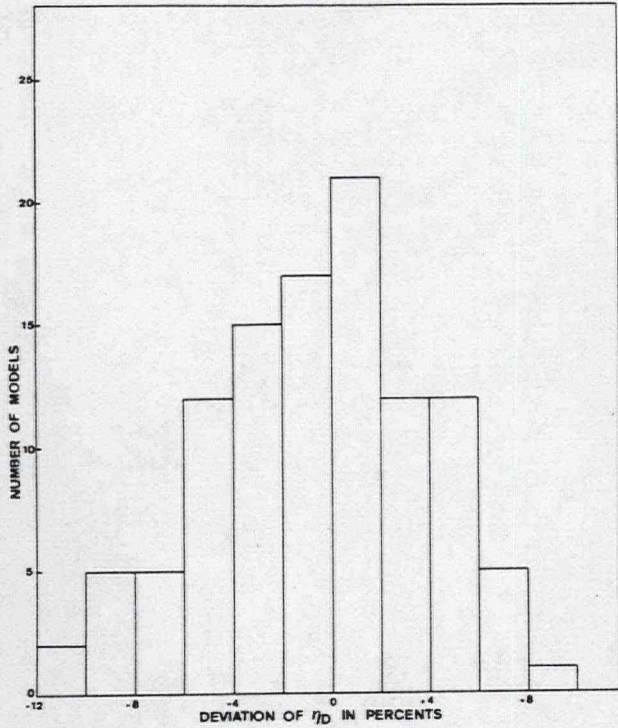


Figure 12. Histogram showing percentages deviation of the efficiency.

5. Final remarks.

a. It must be taken into account that the diagrams apply to ships with a conventional bow or with a cylindrical bow, but not to ships equipped with a bulbous bow.

b. According to our experience with the use of these diagrams the efficiency η_D may be 1 or 2% better than calculated, if the vessel is equipped with Oertz or balance rudder arrangement instead of a Mariner rudder arrangement.

c. As the efficiency diagram Figure 13 and the correction diagrams apply to the results of tests with 4 bladed propellers, it is necessary to realize that ships with 6 bladed propellers may have up to about 4% lower efficiencies than derived from the diagrams.

Bibliography.

Lap, A.J.W., 'Diagrams for determining the resistance of single-screw ships', Publication 118 of the N. S. M. B., International Shipbuilding Progress, Volume 1, No. 4, 1954.

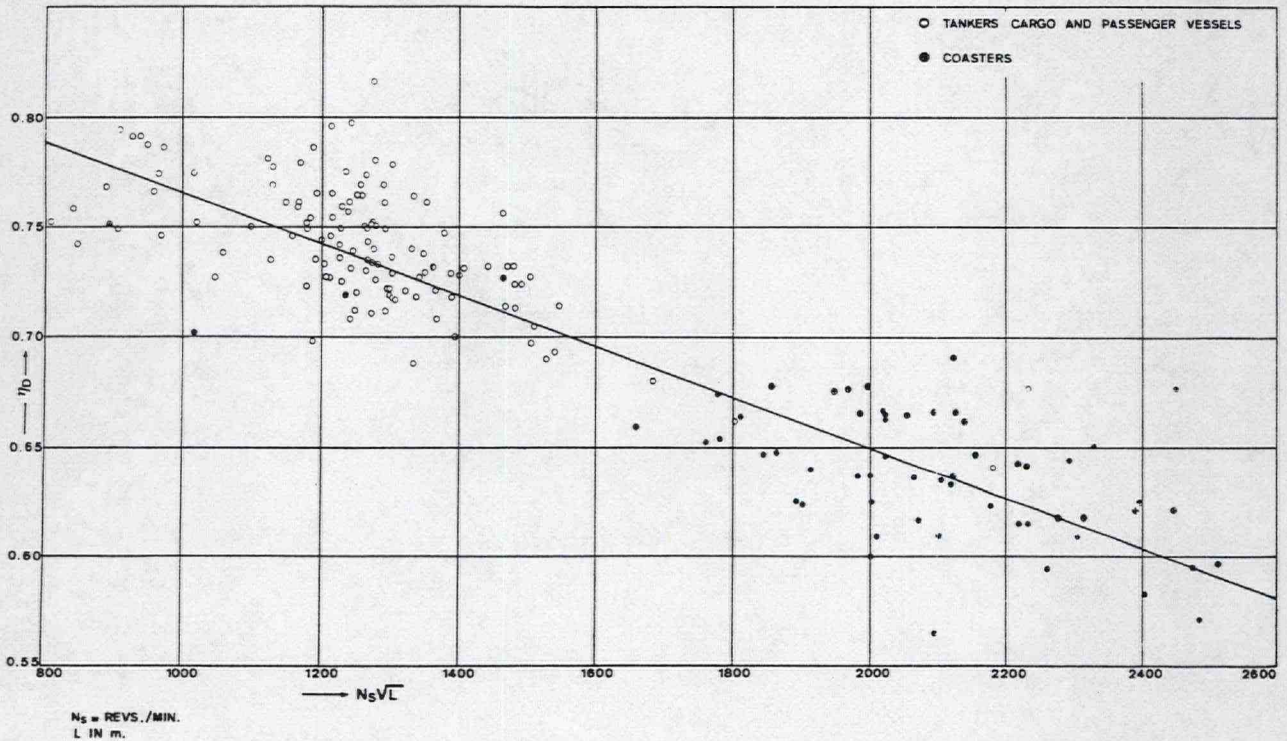


Figure 13. Diagram for determining the total propulsive efficiency for the smooth ship under ideal circumstances.

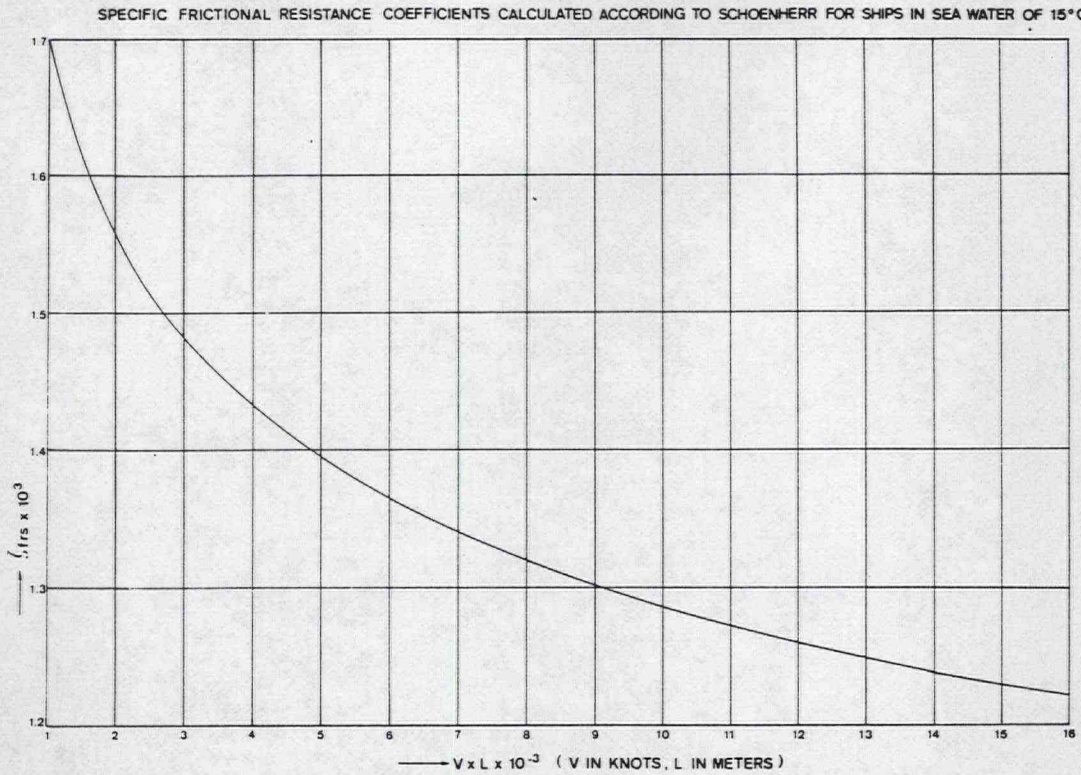


Figure 14. Specific frictional resistance coefficients calculated according to Schoenherr for ships in sea water of 15° Centigrades.

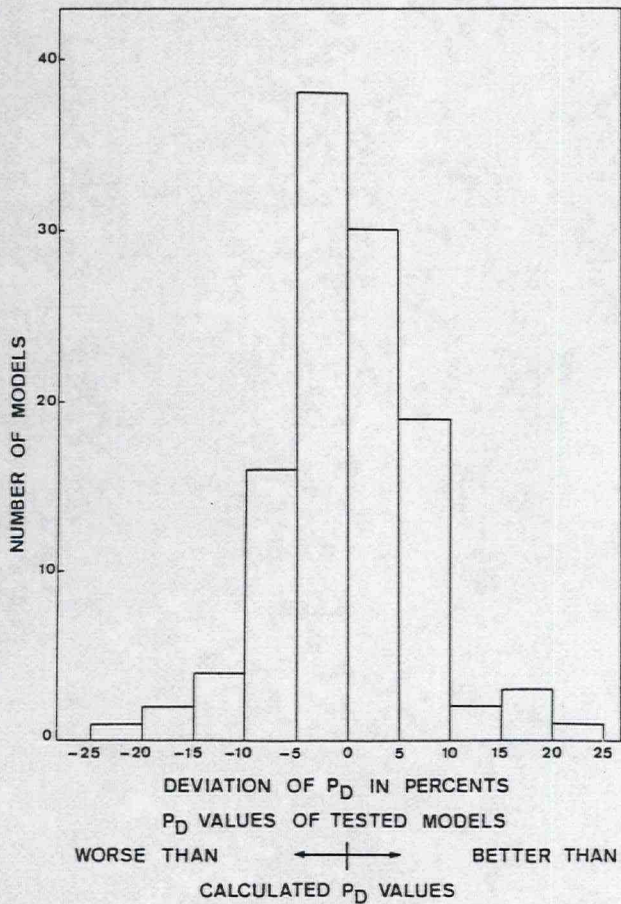


Figure 15. Histogram of the deviation of P_D in percents.

Nomenclature.

- a Distance of centre of buoyancy forward (+) or aft (-) } perc. of L
- A_m Midship section area. m²
- B Breadth moulded. m
- BHP_{tr} Engine power under trial conditions. hp
- BHP_s Engine power under service conditions. hp
- $C_A (= \Delta \zeta)$ Incremental resistance coefficient for model-ship correlation.
- $C_B (= \delta)$ Block coefficient.
- $C_M (= \beta)$ Midship section coefficient.
- $C_p (= \varphi)$ Prismatic coefficient.
- $C_{pd} (= \varphi_d)$ Prismatic coefficient belonging to displacements length.
- $C_{Rt} (= \zeta_r)$ Specific residuary resistance.
- $C_{FS} (= \zeta_{frs})$ Specific frictional resistance of the ship.
- $C_t (= \zeta_{ts})$ Total specific resistance of the ship.
- d Screw diameter m

D = ∇	Displacement in fresh water	m^3	R_r	Residuary resistance of the ship.	kg
DHP = P_D	Delivered horse power at the screw in sea water.	hp	R_t	Total ship resistance in sea water of 15° C under tank conditions.	kg
EHP = P_E	Effective horse power in sea water.	hp	S (= Ω)	Wetted area.	m^2
g	Acceleration due to gravity.	m/sec^2	T	Mean draft.	m
L	Length between perpendiculars.	m	V	Ship speed.	knots
L_d	Displacement length (= 1.01 L or = L_{WL}).	m	V_m	Model speed.	$m/sec.$
L_{WL}	Length on load waterline.	m	V_s	Ship speed.	$m/sec.$
N'	Number of revolutions of the propeller in tank condition.	revs./sec.	W (= ψ)	Wake fraction.	
N_s	Number of revolutions of the propeller in service condition.	revs./min.	α	Angle of entrance of load waterline.	
			η_p	Efficiency of the screw in open water.	
			η_D (= ξ_0)	Total propulsive efficiency.	
			t (= ν)	Thrust deduction fraction.	
			γ	Specific gravity of water.	kg/m^3
			ρ	Specific density of water.	$kg\ m^{-4}\ sec^2$

Bijlage 4a

An Approximate Power Prediction Method

by J. Holtrop and G. G. J. Mennen

1982

Maritieme Techniek

 **TU Delft**

Technische Universiteit Delft

AN APPROXIMATE POWER PREDICTION METHOD

by

J. Holtrop* and G.G.J. Mennen*

1. Introduction

In a recent publication [1] a statistical method was presented for the determination of the required propulsive power at the initial design stage of a ship. This method was developed through a regression analysis of random model experiments and full-scale data, available at the Netherlands Ship Model Basin. Because the accuracy of the method was reported to be insufficient when unconventional combinations of main parameters were used, an attempt was made to extend the method by adjusting the original numerical prediction model to test data obtained in some specific cases. This adaptation of the method has resulted into a set of prediction formulae with a wider range of application. Nevertheless, it should be noticed that the given modifications have a tentative character only, because the adjustments are based on a small number of experiments. In any case, the application is limited to hull forms resembling the average ship described by the main dimensions and form coefficients used in the method.

The extension of the method was focussed on improving the power prediction of high-block ships with low L/B -ratios and of slender naval ships with a complex appendage arrangement and immersed transom sterns.

Some parts of this study were carried out in the scope of the NSMB Co-operative Research programme. The adaptation of the method to naval ships was carried out in a research study for the Royal Netherlands Navy. Permission to publish results of these studies is gratefully acknowledged.

2. Resistance prediction

The total resistance of a ship has been subdivided into:

$$R_{\text{total}} = R_F(1+k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A$$

where:

- R_F frictional resistance according to the ITTC-1957 friction formula
- $1+k_1$ form factor describing the viscous resistance of the hull form in relation to R_F
- R_{APP} resistance of appendages
- R_W wave-making and wave-breaking resistance
- R_B additional pressure resistance of bulbous bow near the water surface

R_{TR} additional pressure resistance of immersed transom stern

R_A model-ship correlation resistance.

For the form factor of the hull the prediction formula:

$$1+k_1 = c_{13} \{0.93 + c_{12}(B/L_R)^{0.92497} (0.95 - C_p)^{-0.521448} (1 - C_p + 0.0225 lcb)^{0.6906}\}$$

can be used.

In this formula C_p is the prismatic coefficient based on the waterline length L and lcb is the longitudinal position of the centre of buoyancy forward of $0.5L$ as a percentage of L . In the form-factor formula L_R is a parameter reflecting the length of the run according to:

$$L_R/L = 1 - C_p + 0.06 C_p lcb / (4 C_p - 1)$$

The coefficient c_{12} is defined as:

$$c_{12} = (T/L)^{0.2228446} \quad \text{when } T/L > 0.05$$

$$c_{12} = 48.20(T/L - 0.02)^{2.078} + 0.479948 \quad \text{when } 0.02 < T/L < 0.05$$

$$c_{12} = 0.479948 \quad \text{when } T/L < 0.02$$

In this formula T is the average moulded draught. The coefficient c_{13} accounts for the specific shape of the afterbody and is related to the coefficient C_{stern} according to:

$$c_{13} = 1 + 0.003 C_{\text{stern}}$$

For the coefficient C_{stern} the following tentative guidelines are given:

Afterbody form	C_{stern}
pram with gondola	25
V-shaped sections	- 10
Normal section shape	0
U-shaped sections with Hogner stern	+ 10

* The wetted area of the hull can be approximated well by:

$$S = L(2T+B) \sqrt{C_M} (0.453 + 0.4425 C_B + 0.2862 C_M - 0.003467 B/T + 0.3696 C_{WP}) + 2.38 A_{BT}/C_B$$

In this formula C_M is the midship section coefficient, C_B is the block coefficient on the basis of the

* Netherlands Ship Model Basin, (Marin), Wageningen, The Netherlands.

waterline length L , C_{WP} is the waterplane area coefficient and A_{BT} is the transverse sectional area of the bulb at the position where the still-water surface intersects the stem.

The appendage resistance can be determined from:

$$R_{APP} = 0.5 \rho V^2 S_{APP} (1 + k_2)_{eq} C_F$$

where ρ is the water density, V the speed of the ship, S_{APP} the wetted area of the appendages, $1 + k_2$ the appendage resistance factor and C_F the coefficient of frictional resistance of the ship according to the ITTC-1957 formula.

In the Table below tentative $1 + k_2$ values are given for streamlined flow-oriented appendages. These values were obtained from resistance tests with bare and appended ship models. In several of these tests turbulence stimulators were present at the leading edges to induce turbulent flow over the appendages.

Approximate $1 + k_2$ values

rudder behind skeg	1.5 - 2.0
rudder behind stern	1.3 - 1.5
twin-screw balance rudders	2.8
shaft brackets	3.0
skeg	1.5 - 2.0
strut bossings	3.0
hull bossings	2.0
shafts	2.0 - 4.0
stabilizer fins	2.8
dome	2.7
bilge keels	1.4

The equivalent $1 + k_2$ value for a combination of appendages is determined from:

$$(1 + k_2)_{eq} = \frac{\Sigma(1 + k_2) S_{APP}}{\Sigma S_{APP}}$$

The appendage resistance can be increased by the resistance of bow thruster tunnel openings according to:

$$\rho V^2 \pi d^2 C_{BTO}$$

where d is the tunnel diameter.

The coefficient C_{BTO} ranges from 0.003 to 0.012. For openings in the cylindrical part of a bulbous bow the lower figures should be used.

The wave resistance is determined from:

$$R_W = c_1 c_2 c_5 \nabla \rho g \exp \{ m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2}) \}$$

with:

$$c_1 = 2223105 c_7^{3.78613} (T/B)^{1.07961} (90 - i_E)^{-1.37565}$$

$$c_7 = 0.229577 (B/L)^{0.33333} \quad \text{when } B/L < 0.11$$

$$c_7 = B/L \quad \text{when } 0.11 < B/L < 0.25$$

$$c_7 = 0.5 - 0.0625 L/B \quad \text{when } B/L > 0.25$$

$$c_2 = \exp(-1.89 \sqrt{c_3})$$

$$c_5 = 1 - 0.8 A_T / (BT C_M)$$

In these expressions c_2 is a parameter which accounts for the reduction of the wave resistance due to the action of a bulbous bow. Similarly, c_5 expresses the influence of a transom stern on the wave resistance. In the expression A_T represents the immersed part of the transverse area of the transom at zero speed.

In this figure the transverse area of wedges placed at the transom chine should be included.

In the formula for the wave resistance, F_n is the Froude number based on the waterline length L . The other parameters can be determined from:

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B \quad \text{when } L/B < 12$$

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.36 \quad \text{when } L/B > 12$$

$$m_1 = 0.0140407 L/T - 1.75254 \nabla^{1/3} / L + 4.79323 B/L - c_{16}$$

$$c_{16} = 8.07981 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.984388 C_p^3 \quad \text{when } C_p < 0.80$$

$$c_{16} = 1.73014 - 0.7067 C_p \quad \text{when } C_p > 0.80$$

$$m_2 = c_{15} C_p^2 \exp(-0.1 F_n^{-2})$$

The coefficient c_{15} is equal to -1.69385 for $L^3/\nabla < 512$, whereas $c_{15} = 0.0$ for $L^3/\nabla > 1727$.

For values of $512 < L^3/\nabla < 1727$, c_{15} is determined from:

$$c_{15} = -1.69385 + (L/\nabla^{1/3} - 8.0)/2.36$$

$$d = -0.9$$

The half angle of entrance i_E is the angle of the waterline at the bow in degrees with reference to the centre plane but neglecting the local shape at the stem.

If i_E is unknown, use can be made of the following formula:

$$i_E = 1 + 89 \exp \{ -(L/B)^{0.80856} (1 - C_{WP})^{0.30484} \}$$

$$(1 - C_p - 0.0225 lcb)^{0.6367} (L_R/B)^{0.34574}$$

$$(100 \nabla / L^3)^{0.16302} \}$$

This formula, obtained by regression analysis of over 200 hull shapes, yields i_E values between 1° and 90° . The original equation in [1] sometimes resulted in negative i_E values for exceptional combinations of hull-form parameters.

The coefficient that determines the influence of the bulbous bow on the wave resistance is defined as:

$$c_3 = 0.56 A_{BT}^{1.5} / \{ BT(0.31 \sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B) \}$$

where h_B is the position of the centre of the transverse area A_{BT} above the keel line and T_F is the forward draught of the ship.

The additional resistance due to the presence of a bulbous bow near the surface is determined from:

$$R_B = 0.11 \exp(-3 P_B^{-2}) F_{ni}^3 A_{BT}^{1.5} \rho g / (1 + F_{ni}^2)$$

where the coefficient P_B is a measure for the emergence of the bow and F_{ni} is the Froude number based on the immersion:

$$P_B = 0.56 \sqrt{A_{BT}} / (T_F - 1.5 h_B)$$

and

$$F_{ni} = V / \sqrt{g(T_F - h_B - 0.25 \sqrt{A_{BT}}) + 0.15 V^2}$$

In a similar way the additional pressure resistance due to the immersed transom can be determined:

$$R_{TR} = 0.5 \rho V^2 A_T c_6$$

The coefficient c_6 has been related to the Froude number based on the transom immersion:

$$c_6 = 0.2(1 - 0.2 F_{nT}) \quad \text{when } F_{nT} < 5$$

or

$$c_6 = 0 \quad \text{when } F_{nT} \geq 5$$

F_{nT} has been defined as:

$$F_{nT} = V / \sqrt{2 g A_T / (B + B C_{WP})}$$

In this definition C_{WP} is the waterplane area coefficient.

The model-ship correlation resistance R_A with

$$R_A = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_A$$

is supposed to describe primarily the effect of the hull roughness and the still-air resistance. From an analysis of results of speed trials, which have been corrected to ideal trial conditions, the following formula for the correlation allowance coefficient C_A was found:

$$C_A = 0.006(L + 100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 \sqrt{L/7.5} C_B^4 c_2 (0.04 - c_4)$$

with

$$c_4 = T_F / L \quad \text{when } T_F / L \leq 0.04$$

or

$$c_4 = 0.04 \quad \text{when } T_F / L > 0.04$$

In addition, C_A might be increased to calculate e.g. the effect of a larger hull roughness than standard. To this end the ITTC-1978 formulation can be used from which the increase of C_A can be derived for roughness values higher than the standard figure of $k_s = 150 \mu\text{m}$ (mean apparent amplitude):

$$\text{increase } C_A = (0.105 k_s^{1/3} - 0.005579) / L^{1/3}$$

In these formulae L and k_s are given in metres.

3. Prediction of propulsion factors

The statistical prediction formulae for estimating the effective wake fraction, the thrust deduction fraction and the relative-rotative efficiency as presented in [1] could be improved on several points.

For single-screw ships with a conventional stern arrangement the following adapted formula for the wake fraction can be used:

$$w = c_9 C_V \frac{L}{T_A} \left(0.0661875 + 1.21756 c_{11} \frac{C_V}{(1 - C_{P1})} \right) + 0.24558 \sqrt{\frac{B}{L(1 - C_{P1})}} - \frac{0.09726}{0.95 - C_P} + \frac{0.11434}{0.95 - C_B} + 0.75 C_{\text{stern}} C_V + 0.002 C_{\text{stern}}$$

The coefficient c_9 depends on a coefficient c_8 defined as:

$$c_8 = BS / (LDT_A) \quad \text{when } B/T_A < 5$$

or

$$c_8 = S(7B/T_A - 25) / (LD(B/T_A - 3)) \quad \text{when } B/T_A > 5$$

$$c_9 = c_8 \quad \text{when } c_8 < 28$$

or

$$c_9 = 32 - 16 / (c_8 - 24) \quad \text{when } c_8 > 28$$

$$c_{11} = T_A / D \quad \text{when } T_A / D < 2$$

or

$$c_{11} = 0.0833333(T_A / D)^3 + 1.33333 \quad \text{when } T_A / D > 2$$

In the formula for the wake fraction, C_V is the viscous resistance coefficient with $C_V = (1 + k) C_F + C_A$. Further:

$$C_{P1} = 1.45 C_P - 0.315 - 0.0225 lcb.$$

In a similar manner the following approximate formula for the thrust deduction for single-screw ships with a conventional stern can be applied:

$$t = 0.001979 L / (B - BC_{P1}) + 1.0585 c_{10} + 0.00524 - 0.1418 D^2 / (BT) + 0.0015 C_{\text{stern}}$$

The coefficient c_{10} is defined as:

$$c_{10} = B/L \quad \text{when } L/B > 5.2$$

or

$$c_{10} = 0.25 - 0.003328402 / (B/L - 0.134615385) \quad \text{when } L/B < 5.2$$

The relative-rotative efficiency can be predicted

well by the original formula:

$$\eta_R = 0.9922 - 0.05908 A_E/A_O + \\ + 0.07424(C_P - 0.0225 lcb)$$

Because the formulae above apply to ships with a conventional stern an attempt has been made to indicate a tentative formulation for the propulsion factors of single-screw ships with an open stern as applied sometimes on slender, fast sailing ships:

$$w = 0.3 C_B + 10 C_V C_B - 0.1$$

$$t = 0.10 \quad \text{and} \quad \eta_R = 0.98.$$

These values are based on only a very limited number of model data. The influence of the fullness and the viscous resistance coefficient has been expressed in a similar way as in the original prediction formulae for twin-screw ships. These original formulae for twin-screw ships are:

$$w = 0.3095 C_B + 10 C_V C_B - 0.23 D/\sqrt{BT}$$

$$t = 0.325 C_B - 0.1885 D/\sqrt{BT}$$

$$\eta_R = 0.9737 + 0.111(C_P - 0.0225 lcb) + \\ - 0.06325 P/D$$

4. Estimation of propeller efficiency

For the prediction of the required propulsive power the efficiency of the propeller in open-water condition has to be determined. It has appeared that the characteristics of most propellers can be approximated well by using the results of tests with systematic propeller series. In [2] a polynomial representation is given of the thrust and torque coefficients of the B-series propellers. These polynomials are valid, however, for a Reynolds number of $2 \cdot 10^6$ and need to be corrected for the specific Reynolds number and the roughness of the actual propeller. The presented statistical prediction equations for the model-ship correlation allowance and the propulsion factors are based on Reynolds and roughness corrections according to the ITTC-1978 method, [3]. According to this method the propeller thrust and torque coefficients are corrected according to:

$$K_{T\text{-ship}} = K_{T\text{-B-series}} + \Delta C_D 0.3 \frac{P c_{0.75} Z}{D^2}$$

$$K_{Q\text{-ship}} = K_{Q\text{-B-series}} - \Delta C_D 0.25 \frac{c_{0.75} Z}{D}$$

Here ΔC_D is the difference in drag coefficient of the profile section, P is the pitch of the propeller and

$c_{0.75}$ is the chord length at a radius of 75 per cent and Z is the number of blades.

$$\Delta C_D = (2 + 4(t/c)_{0.75}) \{0.003605 - (1.89 + 1.62 \\ \log(c_{0.75}/k_p))^{-2.5}\}$$

In this formula t/c is the thickness-chordlength ratio and k_p is the propeller blade surface roughness.

For this roughness the value of $k_p = 0.00003$ m is used as a standard figure for new propellers.

The chord length and the thickness-chordlength ratio can be estimated using the following empirical formulae:

$$c_{0.75} = 2.073(A_E/A_O) D/Z$$

and

$$(t/c)_{0.75} = (0.0185 - 0.00125 Z) D/c_{0.75}.$$

The blade area ratio can be determined from e.g. Keller's formula:

$$A_E/A_O = K + (1.3 + 0.3 Z) T/(D^2(p_o + \rho gh - p_v))$$

In this formula T is the propeller thrust, $p_o + \rho gh$ is the static pressure at the shaft centre line, p_v is the vapour pressure and K is a constant to which the following figures apply:

$K = 0$ to 0.1 for twin-screw ships

$K = 0.2$ for single-screw ships

For sea water of 15 degrees centigrade the value of $p_o - p_v$ is 99047 N/m².

The given prediction equations are consistent with a shafting efficiency of

$$\eta_S = P_D/P_S = 0.99$$

and reflect ideal trial conditions, implying:

- no wind, waves and swell,
- deep water with a density of 1025 kg/m³ and a temperature of 15 degrees centigrade and
- a clean hull and propeller with a surface roughness according to modern standards.

The shaft power can now be determined from:

$$P_S = P_E / (\eta_R \eta_o \eta_S \frac{1-t}{1-w})$$

5. Numerical example

The performance characteristics of a hypothetical single-screw ship are calculated for a speed of 25 knots. The calculations are made for the various resistance components and the propulsion factors, successively.

The main ship particulars are listed in the Table on the next page:

Main ship characteristics

length on waterline	L	205.00 m
length between perpendiculars	L_{PP}	200.00 m
breadth moulded	B	32.00 m
draught moulded on F.P.	T_F	10.00 m
draught moulded on A.P.	T_A	10.00 m
displacement volume moulded	∇	37500 m ³
longitudinal centre of buoyancy		2.02% aft of $\frac{1}{2}L_{PP}$
transverse bulb area	A_{BT}	20.0 m ²
centre of bulb area above keel line	h_B	4.0 m
midship section coefficient	C_M	0.980
waterplane area coefficient	C_{WP}	0.750
transom area	A_T	16.0 m ²
wetted area appendages	S_{APP}	50.0 m ²
stern shape parameter	C_{stern}	10.0
propeller diameter	D	8.00 m
number of propeller blades	Z	4
clearance propeller with keel line		0.20 m
ship speed	V	25.0 knots

References

- Holtrop, J. and Mennen, G.G.J., 'A statistical power prediction method', International Shipbuilding Progress, Vol. 25, October 1978.
- Oosterveld, M.W.C. and Oossanen, P. van, 'Further computer analyzed data of the Wageningen B-screw series', International Shipbuilding Progress, July 1975.
- Proceedings 15th ITTC, The Hague, 1978.

The calculations with the statistical method resulted into the following coefficients and powering characteristics listed in the next Table:

F_n	= 0.2868	F_{nT}	= 5.433
C_P	= 0.5833	R_{TR}	= 0.00 kN
L_R	= 81.385 m	c_4	= 0.04
lcb	= -0.75% (relative to $\frac{1}{2}L$)	C_A	= 0.000352
c_{12}	= 0.5102	R_A	= 221.98 kN
c_{13}	= 1.030	R_{total}	= 1793.26 kN
$1 + k_1$	= 1.156	P_E	= 23063 kW
S	= 7381.45 m ²	C_V	= 0.001963
C_F	= 0.001390	c_9	= 14.500
R_F	= 869.63 kN	c_{11}	= 1.250
$1 + k_2$	= 1.50	C_{P1}	= 0.5477
R_{APP}	= 8.83 kN	w	= 0.2584
c_7	= 0.1561	c_{10}	= 0.15610
i_E	= 12.08 degrees	t	= 0.1747
c_1	= 1.398	T	= 2172.75 kN
c_3	= 0.02119	A_E/A_O	= 0.7393
c_2	= 0.7595	η_R	= 0.9931
c_5	= 0.9592	$c_{0.75}$	= 3.065 m
m_1	= -2.1274	$t/c_{0.75}$	= 0.03524
c_{15}	= 1.69385	ΔC_D	= 0.000956
m_2	= -0.17087		
λ	= 0.6513		
R_W	= 557.11 kN	From the B-series polynomials:	
P_B	= 0.6261	K_{Ts}	= 0.18802
F_{ni}	= 1.5084	n	= 1.6594 Hz
R_B	= 0.049 kN	K_{Qo}	= 0.033275
		η_o	= 0.6461
		P_S	= 32621 kW

Bijlage 4b

A Statistical Re-Analyses of Resistance and Propulsion Data

by J. Holtrop

1984

Maritieme Techniek

 **TU Delft**

Technische Universiteit Delft

$$c_{19} = 0.18567/(1.3571 - C_M) - 0.71276 + 0.38648 C_p$$

when $C_p > 0.7$

$$c_{20} = 1 + 0.015 C_{\text{stern}}$$

$$C_{p1} = 1.45 C_p - 0.315 - 0.0225 lcb .$$

The coefficient C_V is the viscous resistance coefficient with

$$C_V = (1 + k) C_F + C_A$$

As regards the thrust deduction of single screw ships a new formula was devised of comparable accuracy:

$$t = 0.25014(B/L)^{0.28956} (\sqrt{BT}/D)^{0.2624} /$$

$$/(1 - C_p + 0.0225 lcb)^{0.01762} + 0.0015 C_{\text{stern}}$$

For the relative-rotative efficiency an alternative prediction formula was derived but because its accuracy is not better than that of the original one it is suggested to use the prediction formula of [1]:

$$\eta_R = 0.9922 - 0.05908 A_E/A_O +$$

$$+ 0.07424(C_p - 0.0225 lcb)$$

For multiple-screw ships and open-stern single-screw ships with open shafts the formulae of [1] were maintained.

The model-ship correlation allowance was statistically analysed. It appeared that for new ships under ideal trial conditions a C_A -value would be applicable which is on the average 91 per cent of the C_A -value according to the statistical formula of [1]. Apparently, the incorporation of more recent trial data has reduced the average level of C_A somewhat. It is suggested, however, that for practical purposes the original formula is used.

$$c_2 = \exp(-1.89\sqrt{c_3})$$

$$c_5 = (1 - 0.8A_{BT})/(BTC_M)$$

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B$$

when $L/B < 12$

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.36$$

when $L/B > 12$

$$d = -0.9$$

$$c_3 = 0.56 A_{BT}^{1.5} / \{BT(0.31\sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B)\}$$

$$m_4 = c_{15} 0.4 \exp(-0.034 F_n^{-3.29})$$

$$c_{15} = -1.69385$$

when $L^3/\nabla < 512$

$$c_{15} = -1.69385 + (L/\nabla^{1/3} - 8)/2.36$$

when $512 < L^3/\nabla < 1726.91$

$$c_{15} = 0$$

when $L^3/\nabla > 1726.91$

The midship section coefficient C_M and the transverse immersed transom area at rest A_T and the transverse area of the bulbous bow A_{BT} have the same meaning as in [1]. The vertical position of the centre of A_{BT} above the keel plane is h_B . The value of h_B should not exceed the upper limit of $0.6 T_F$.

Because attempts to derive prediction formulae for the wave resistance at low and moderate speeds were only partially successful it is suggested to use for the estimation of the wave resistance up to a Froude number of 0.4 a formula which closely resembles the original formula of [1]. The only modification consists of an adaptation of the coefficient that causes the humps and hollows on the resistance curves. This formula, which is slightly more accurate than the original one reads:

$$R_{W-A} = c_1 c_2 c_5 \nabla \rho g \exp\{m_1 F_n^d + m_4 \cos(\lambda F_n^{-2})\}$$

with:

$$c_1 = 2223105 c_7^{3.78613} (T/B)^{1.07961} (90 - i_E)^{-1.37565}$$

$$c_7 = 0.229577 (B/L)^{0.33333}$$

when $B/L < 0.11$

$$c_7 = B/L$$

when $0.11 < B/L < 0.25$

$$c_7 = 0.5 - 0.0625 L/B$$

when $B/L > 0.25$

$$m_1 = 0.0140407 L/T - 1.75254 \nabla^{1/3} / L - 4.79323 B/L - c_{16}$$

$$c_{16} = 8.07981 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.984388 C_p^3$$

when $C_p < 0.8$

$$c_{16} = 1.73014 - 0.7067 C_p$$

when $C_p > 0.8$

m_4 : as in the R_W formula for the high speed range.

For the speed range $0.40 < F_n < 0.55$ it is suggested to use the more or less arbitrary interpolation formula:

$$R_W = R_{W-A_{0.4}} + (10F_n - 4)(R_{W-B_{0.55}} - R_{W-A_{0.4}})/1.5$$

Here $R_{W-A_{0.4}}$ is the wave resistance prediction for $F_n = 0.40$ and $R_{W-B_{0.55}}$ is the wave resistance for $F_n = 0.55$ according to the respective formulae.

No attempts were made to derive new formulations for the transom pressure resistance and the additional wave resistance due to a bulb near the free surface. The available material to develop such formulae is rather scarce. As regards the height of the centre of the transverse bulb area h_B it is recommended to obey the upper limit of $0.6 T_F$ in the calculation of the additional wave resistance due to the bulb.

3. Re-analysis of propulsion data

The model propulsion factors and the model-ship correlation allowance were statistically re-analysed using the extended data sample. This data sample included 168 data points of full-scale trials on new built ships. In the analysis the same structure of the wake prediction formulae in [1] was maintained. By the regression analyses new constants were determined which give a slightly more accurate prediction.

A point which has been improved in the wake prediction formula is the effect of the midship section coefficient C_M for full hull forms with a single screw.

The improved formula for single screw ships with a conventional stern reads:

$$w = c_9 c_{20} C_V \frac{L}{T_A} \left(0.050776 + 0.93405 c_{11} \frac{C_V}{(1 - C_{P1})} \right) + 0.27915 c_{20} \sqrt{\frac{B}{L(1 - C_{P1})}} + c_{19} c_{20}$$

The coefficient c_9 depends on the coefficient c_8 defined as:

$$c_8 = BS/(LD T_A)$$

when $B/T_A < 5$

or

$$c_8 = S(7B/T_A - 25)/(LD(B/T_A - 3))$$

when $B/T_A > 5$

$$c_9 = c_8$$

when $c_8 < 28$

or

$$c_9 = 32 - 16/(c_8 - 24)$$

when $c_8 > 28$

$$c_{11} = T_A/D$$

when $T_A/D < 2$

or

$$c_{11} = 0.0833333(T_A/D)^3 + 1.33333$$

when $T_A/D > 2$

$$c_{19} = 0.12997/(0.95 - C_B) - 0.11056/(0.95 - C_p)$$

when $C_p < 0.7$

or

A STATISTICAL RE-ANALYSIS OF RESISTANCE AND PROPULSION DATA

by

J. Holtrop*

1. Introduction

In a recent publication [1] a power prediction method was presented which was based on a regression analysis of random model and full-scale test data. For several combinations of main dimensions and form coefficients the method had been adjusted to test results obtained in some specific cases. In spite of these adaptations the accuracy of the method was found to be insufficient for some classes of ships. Especially for high speed craft at Froude numbers above 0.5 the power predictions were often wrong. With the objective to improve the method the data sample was extended covering wider ranges of the parameters of interest. In this extension of the data sample the published results of the Series 64 hull forms [2] have been included. The regression analyses were now based on the results of tests on 334 models. Beside these analyses of resistance and propulsion properties a method was devised by which the influence of the propeller cavitation could be taken into account. In addition some formulae are given by which the effect of a partial propeller submergence can tentatively be estimated. These formulae have been derived in a study carried out in a MARIN Co-operative Research programme. Permission to publish these results is gratefully acknowledged.

2. Re-analysis of resistance test results

The results were analysed using the same sub-division into components as used in [1]:

$$R_{\text{Total}} = R_F(1 + k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A$$

where:

R_F = frictional resistance according to the ITTC-1957 formula

$1 + k_1$ = form factor of the hull

R_{APP} = appendage resistance

R_W = wave resistance

R_B = additional pressure resistance of bulbous bow near the water surface

R_{TR} = additional pressure resistance due to transom immersion

R_A = model-ship correlation resistance.

A regression analysis provided a new formula for the form factor of the hull:

$$1 + k_1 = 0.93 + 0.487118 c_{14} (B/L)^{1.06806} (T/L)^{0.46106} (L/L_R)^{0.121563} (L^3/\nabla)^{0.36486} (1 - C_p)^{-0.604247}$$

In this formula B and T are the moulded breadth and draught, respectively. L is the length on the waterline and ∇ is the moulded displacement volume. C_p is the prismatic coefficient based on the waterline length.

L_R is defined as:

$$L_R = L(1 - C_p + 0.06 C_p lcb / (4 C_p - 1))$$

where lcb is the longitudinal position of the centre of buoyancy forward of $0.5 L$ as a percentage of L .

The coefficient c_{14} accounts for the stern shape. It depends on the stern shape coefficient C_{stern} for which the following tentative figures can be given:

Afterbody form	C_{stern}
Pram with gondola	-25
V-shaped sections	-10
Normal section shape	0
U-shaped sections with Hogner stern	10

$c_{14} = 1 + 0.011 C_{\text{stern}}$

As regards the appendage resistance no new analysis was made. For prediction of the resistance of the appendages reference is made to [1].

A re-analysis was made of the wave resistance. A new general formula was derived from the data sample of 334 models but calculations showed that this new prediction formula was not better in the speed range up to Froude numbers of about $F_n = 0.5$. The results of these calculations indicated that probably a better prediction formula for the wave resistance in the high speed range could be devised when the low speed data were left aside from the regression analysis.

By doing so, the following wave resistance formula was derived for the speed range $F_n > 0.55$.

$$R_{W-B} = c_{17} c_2 c_5 \nabla \rho g \exp \{ m_3 F_n^d + m_4 \cos(\lambda F_n^{-2}) \}$$

where:

$$c_{17} = 6919.3 C_M^{-1.3346} (\nabla/L^3)^{2.00977} (L/B-2)^{1.40692}$$

$$m_3 = -7.2035 (B/L)^{0.326869} (T/B)^{0.605375}$$

The coefficients c_2 , c_5 , d and λ have the same definition as in [1]:

*) Maritime Research Institute Netherlands, Wageningen, The Netherlands.

Bijlage 5

Openwater diagrammen voor B-serie schroeven

Maritieme Techniek



Technische Universiteit Delft

