

LABORATORIUM VOOR SCHEEPSCONSTRUCTIES

TECHNISCHE HOGESCHOOL - DELFT

W.F. 9

RAPPORT Nr. SSL 208

BETREFFENDE:

Scheepsbouwkunde in een notedop

door

Prof.Ir. J.J.W. Nibbering

*Lexing ten behoeve van het symposium
"Vaart in Beton"
30 maart 1977 - Technische Hogeschool Delft*

"SCHEEPSBOUWKUNDE IN EEN NOTEDOP"

Prof.Ir. J.J.W. Nibbering^{*})

1. Inleiding

Op het tijdstip dat deze tekst geschreven werd, was er in het voorlopige programma niet meer dan 25 minuten gereserveerd voor dit onderwerp. De bedoeling de betonbouwers kennis te laten maken met de scheepsbouwkunde in al haar facetten zal daarom slechts vluchtig kunnen geschieden. Om toch een maximum aan informatie te kunnen geven, wordt de voordracht meer op de mogelijkheden van het oog, dan van het oor gericht. Het is echter ondoenlijk om al die figuren, waarvan vele in kleur, in deze uiteenzetting op te nemen. Daar staat tegenover dat de tekst meer samenhang kan hebben en enkele facetten beter kan toelichten.

2. Het scheepsontwerp

Voor de niet-scheepsbouwer zijn de bouw van het schip op de werf en het gebruik in de vaart het meest spectaculair. In de betonwereld is men weliswaar ook wel wat gewend op het gebied van grootte, maar tot voor kort was het alleen aan de scheepsbouwers voorbehouden enorme constructies op de vaste wal te bouwen, deze d.m.v. een slee in het water te laten glijden en na enige tijd met behulp van eigen voortstuwings- en stuurmechanismen de wereldzeeën te laten bevaren. Het aardige is, dat zij daarbij grote hoeveelheden lading vervoeren, die bovendien dikwijls met behulp van eigen gerei geladen en gelost kunnen worden.

De opvallende bouw- en gebruiksfasen van het scheepsbestaan kunnen doen vergeten dat het al of niet voldoen van het schip in de praktijk in hoofdzaak tijdens de ontwerpfase bepaald wordt. Het ontwerpen begint niet bij de scheepsbouwer, maar bij de reder. Hij wil bijv. weten of het verantwoord is om een nieuwe lijn te openen, of een bestaande uit te breiden, of schepen te vervangen. Dit vergt een grondige marktanalyse (o.a. concurrentie), bestudering van infra-structuren en toekomstige ontwikkelingen ervan, beschouwing van politieke en sociale factoren, prognoses betreffende brandstofprijzen, havengelden etc. (fig. 1).

Deze arbeid loopt in een bepaald stadium vast op gebrek aan exacte gegevens omtrent de bouwkosten en levertijden van schepen. Vroeg of laat moet de reder in contact treden met één of meer werven. Van de vele honderden die er op de wereld bestaan kiest hij er enkele uit. Dit gebeurt niet zomaar. De gezichtspunten die wederzijds een rol spelen zijn verwant met die optreden bij de keuze van een huwelijkspartner (fig. 2). De scheepsbouwer die uiteindelijk het schip moet leveren is dan vrouwelijk. Een probleem, dat zich in andere vormen ook later in het ontwerpproces regelmatig voordoet, is dat de reder eerst nauwkeurige gegevens van de werf nodig heeft, voordat hij kan besluiten wát te laten bouwen (grootte, snelheid, aantal) en waar. De werf moet zich dus in een beginstadium al "bloot"geven. Zij zal dan graag willen weten of er meer gegadigden zijn en wie (Japan!). Afhankelijk hiervan ontstaat een meer of minder betrouwbaar offerte-ontwerp. Dit helpt de reder vooruit in zijn studie (fig. 3) en uiteindelijk komt hij met een duidelijk omschreven wens (zie fig. 4 links). Als de reder niet zelf het hele ontwerp maakt, zal de scheepsbouwer nu een voorontwerp leveren in nauwe samenspraak met de reder. Het contract kan dan worden opgemaakt (als dit al niet eerder gebeurd is) en de werf werkt het voorontwerp verder uit. Het ideaal zou zijn als nu door een systematische variatie van de scheepsontwerpparameters hun invloed op bouw en exploitatie-

^{*}) Hoogleraar R.U. Gent; lector T.H. Delft.

kosten enerzijds en op opbrengst van het ladingvervoer anderzijds tot uiting gebracht werd. Dit vereist een integratie van specialistische kennis in een proces van itereren en optimaliseren tot een synthetisch compromis. (Dit gebeurt niet zo vaak, o.a. doordat de invoergegevens onvoldoende nauwkeurig gekwantificeerd kunnen worden).

Ter illustratie wordt in fig. 5 en fig. 6 de invloed van het variëren van slechts één parameter, de snelheid, bekeken. Eerst worden de scheepsafmetingen en de vorm gelijk gehouden en wordt alleen het machinevermogen vergroot. In fig. 5 wordt vervolgens geschat wat bereikt kan worden door het schip met behulp van de bestaande kennis en sleeptankproeven optimaal te dimensioneren. Wat zal opvallen is, dat snelheid duur is. De brandstofkosten wegen zwaar in de analyse wat maakt dat een betrouwbare prognose met betrekking tot die kosten broodnodig is.

Dit kan niet altijd, omdat men nu eenmaal moeilijk in het oliedik kan kijken. Men moet dan naast de meest waarschijnlijke prijsontwikkeling ook nog aangeven hoe zeker men daarvan is, (betrouwbaarheidsgrenzen: confidence limits). De reder krijgt zo een idee van de risico's die hij loopt door bijv. een hoge snelheid te kiezen.

Wat ook tevoorschijn komt is dat een 25% hogere snelheid het in omloop zijnde kapitaal (schip, containers etc.) lang niet evenredig beter benut.

Wat in de figuren niet tot uiting is gebracht is, dat de lading zelf, die ook een groot kapitaal vertegenwoordigt, minder lang passief in de ruimen ligt, wanneer een schip sneller vaart. De reder zou dus een hogere vrachtprijs kunnen bedingen.

3. De hulpwetenschappen

In het beginstadium van het ontwerpproces zijn het vooral de reder (scheepvaartkundige) en het werfbedrijf (werfingenieur) die de vereiste gegevens verstrekken. Een belangrijke positie wordt hierbij ingenomen door de scheepswerktuigkundigen. De keuze van het type machine heeft grote invloed op het scheepsontwerp en de exploitatiekosten.

In een latere fase van het ontwerpen komen de bekende hulpwetenschappen: hydromechanica, technische mechanica en materiaalkunde meer naar voren.

In de hydromechanica/dynamica zijn verschillende disciplines te onderscheiden: Weerstand, Voortstuwing, Scheepsbewegingen (incl. Stabiliteit) en Sturen.

De ontwerper heeft vanouds in deze gebieden een grote speelruimte gehad. Hij heeft weinig last van belemmeringen in de vorm van wetsvoorschriften e.d. Ze zijn er wel, bijv. op het terrein van de stabiliteit, maar dan vooral in de vorm van randvoorwaarden. Dit contrasteert sterk met de situatie met betrekking tot het ontwerp van de (staal)constructie. Bij het materiaal heeft men vele jaren nauwelijks van een keuzemogelijkheid kunnen spreken. Nu nog beperkt deze zich grotendeels tot twee sterktypen. Ook wat de verbanddelen van de constructie betreft, viel er tot ca. 1960 voor de scheepsbouwer weinig eer te behalen. Dit komt doordat materiaal en constructie vooral een zaak van de klassebureaus is.

Het oudste bureau is Lloyd's Register of Shipping. Uit de naam moet men niet afleiden dat het een verzekeringsmaatschappij is. Het is een onafhankelijk instituut van deskundigen dat op verzoek van de reder of de werf toezicht houdt tijdens de bouw en aanwijzingen geeft met betrekking tot materiaal en constructie. De reder vraagt die steun niet zozeer omdat hij de werf niet vertrouwt (soms wel!) maar omdat hij het schip verzekerd wil hebben. De verzekeringsmaatschappijen doen dit bijna blindelings wanneer het schip aan de eisen van een erkend klassebureau voldoet. Ook de scheepsvaartinspecties kijken dan nauwelijks naar de constructie om.

In Nederland hebben we vooral te maken met Lloyd's, Bureau Veritas, Det norske Veritas en American Bureau of Shipping.

De scheepsbouwkunde heeft zich de afgelopen 15 jaar zo snel ontwikkeld, dat de klassebureaus wat hun know-how betreft niet altijd meer "voor" maar

hoogstens "bij" konden blijven. Daarnaast is er de noodzaak van snel produceren, om het in een in aanbouw zijnd schip geïnvesteerde kapitaal vlug rentedragend te krijgen en de kosten van de werfouillage over zoveel mogelijk schepen te kunnen spreiden.

Dit heeft geleid tot geavanceerde snij- en lasprocedures, die problemen geven met betrekking tot de sterkte en kwaliteitsbeheersing. Er is daardoor voor de constructeurs meer ruimte gekomen voor "eigen" sterkteanalyses met gebruik van de huidige kennis op het gebied van de belastingen in zeegang, de responsie van de scheepsrump (eindige elementen berekeningen) en de draagkracht (plasticiteit, vermoeiing, breuk). Aparte vermelding verdient de trillingsproblematiek, die zowel hydrodynamische (schroef) als machine-technische en mechanica-aspecten heeft (fig. 7).

Van deze hulpwetenschappen kan in het kader van deze voordracht maar een klein stukje worden belicht.

De basis wordt gevormd door de hydrostatische berekeningen. Deze gaan uit van de lijnentekening (fig. 8) en leveren de inhoud van de carène (onder water gedeelte), de ligging van het drukkingspunt (zwaartepunt van de carène) en de noodzakelijke gegevens voor stabiliteit- en trimberekeningen. Bij de stabiliteit ontmoeten we de merkwaardigheid dat het scheepszwaartepunt ligt boven dat van de carène en dat het schip toch niet kapseist (fig. 9).

De klassieke weerstandsberekening van een schip in vlak water wordt geïllustreerd in fig. 10. Het probleem hierbij is dat de wrijvingsweerstand de schaalwet van Reynolds volgt en de golfweerstand die van Froude. Het is een geluk voor de sleeptanks dat de modellen in overeenstemming met Froude gemaakt kunnen worden. Anders zouden zeer hoge modelsnelheden en zeer grote modellen nodig zijn.

Er zijn in het verleden veel systematische proeven met scheepsmodellen en scheepsschroeven gedaan. De resultaten zijn in publikaties te vinden.

De scheepsbouwer kan daarmee zelf scheepsvorm, schroef en machinevermogen bepalen (fig. 11A). Voor grote, dure schepen worden toch altijd proeven gedaan, maar dan in golven en met modellen met eigen voortstuwing.

De scheepsbewegingen en de golfbelastingen worden minder vaak bekeken.

Hoe dat in principe toegaat wordt getoond in fig. 14A en 14B. De klassieke, nog veel toegepaste werkwijze, toont fig. 13.

Dat schepen niet alleen belast worden door golven is nog aangegeven in fig. 12 en fig. 15.

4. De bouw van het schip

Een moderne scheepswerf heeft enkele hoofdkenmerken:

- a. Bouwdokken in plaats van hellingen met grote (portaal)kranen (tot 1500 ton hefvermogen) (fig. 17).
- b. Panelenstraten voor het samenstellen van verstijfde plaatvelden uit platen en profielen (fig. 16).
- c. Numeriek bestuurde autogene snijmachines van hoge nauwkeurigheid.

Dit alles is zo toegespitst op het feit dat een schip een gelaste, verstijfde, dunwandige staalplaatconstructie is, dat de betonbouwer er weinig aanknopingspunten in zal vinden. Mede daarom zullen in de dia's vooral die werflay-outs worden getoond, die ook uit een oogpunt van betonbouw interessant kunnen zijn. In welke opzichten moet hier aan de fantasie van de betonbouwers worden overgelaten.

Enkele van de dia's worden in de figuren 17 en 18 weergegeven.

5. Slot

Voor het bouwen in beton komen vooral schepen in aanmerking, die van de specifieke voordelen van beton boven staal kunnen profiteren.

Dit zijn in de eerste plaats gastankers. In feite is het bij deze schepen meer een zaak van omzeilen van de problemen die met staal gepaard gaan (lage temperatuur - brosheid).

Daarnaast heeft beton als duidelijke voordelen een lage warmtegeleidingscoëfficiënt en een lage prijs in vergelijking met lichtmetaal of 9% nikkelstaal. Het hoge gewicht is van minder belang, omdat vloeibaar aardgas een laag soortelijk gewicht heeft.

De belangrijkste typen LNG-tankers zijn:

- a. schepen met zelfdragende binnentanks met vlakke wanden;
- b. schepen met niet-zelfdragende membraantanks (fig. 19);
- c. schepen met boltanks (fig. 20).

Naast de gastankers zullen in de toekomst wellicht olietankers en bulkcarriers in beton gebouwd kunnen worden. Deze schepen zijn zo groot, dat het extra gewicht, door het gebruik van beton, een betrekkelijk geringe invloed heeft op het laadvermogen.

Containerschepen zijn ook groot, maar in tegenstelling tot tankers en bulkcarriers bovendien zeer snel. Er zullen daardoor weinig concessies kunnen worden gedaan ten aanzien van de scheepsvorm en het scheepsgewicht in verband met het machinevermogen en het brandstofverbruik.

GEWENST SCHIP = SCHAKEL IN VERVOERSKETEN

RESULTAAT VAN VOORSTUDIE VAN DE REDER.

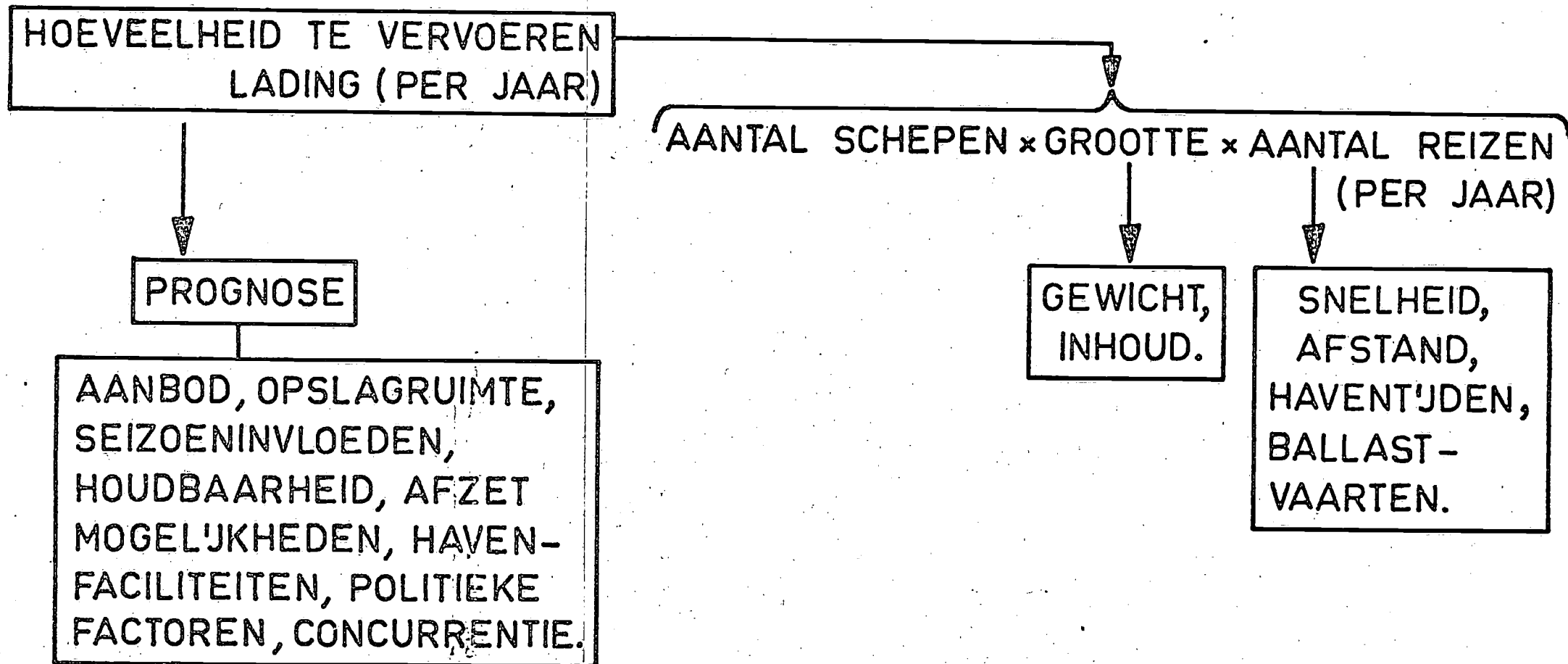


FIG.1

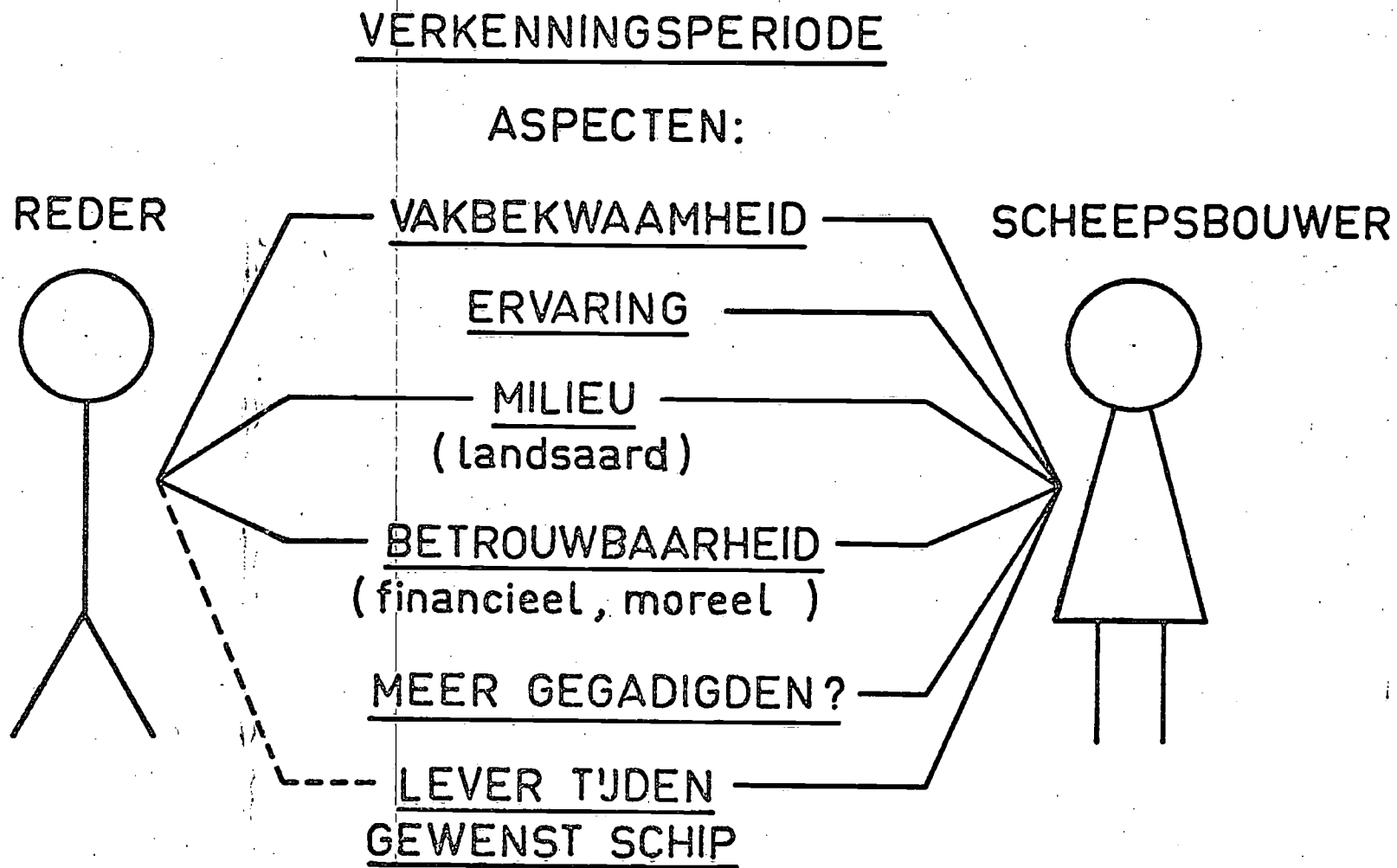


FIG. 2

INKOMSTEN :

OPBRENGST - KOSTEN

BOUWKOSTEN (RENTE)

MATERIAAL,
LOON,
PRODUCTIEMIDDELEN

VOOR: ROMP (STAAL,
BETON)
MACHINEINSTAL-
LATIE,
INRICHTING,
UITRUSTING

EXPLOITATIEKOSTEN

PERSONEEL,
ONDERHOUD,
BRANDSTOF, } VARIABEL
HAVENGELDEN, }
VERZEKERINGEN, } VAST
BEHEER }

FIG. 3

REDER:

AANTAL SCHEPEN
GROOTTE (DEADWEIGHT OF
RUIM INHOUD)

SNELHEID

TYPE

TRAJECT

WERF:

OFFERTE ONTWERP

VOORONTWERP

DEFINITIEF ONTWERP

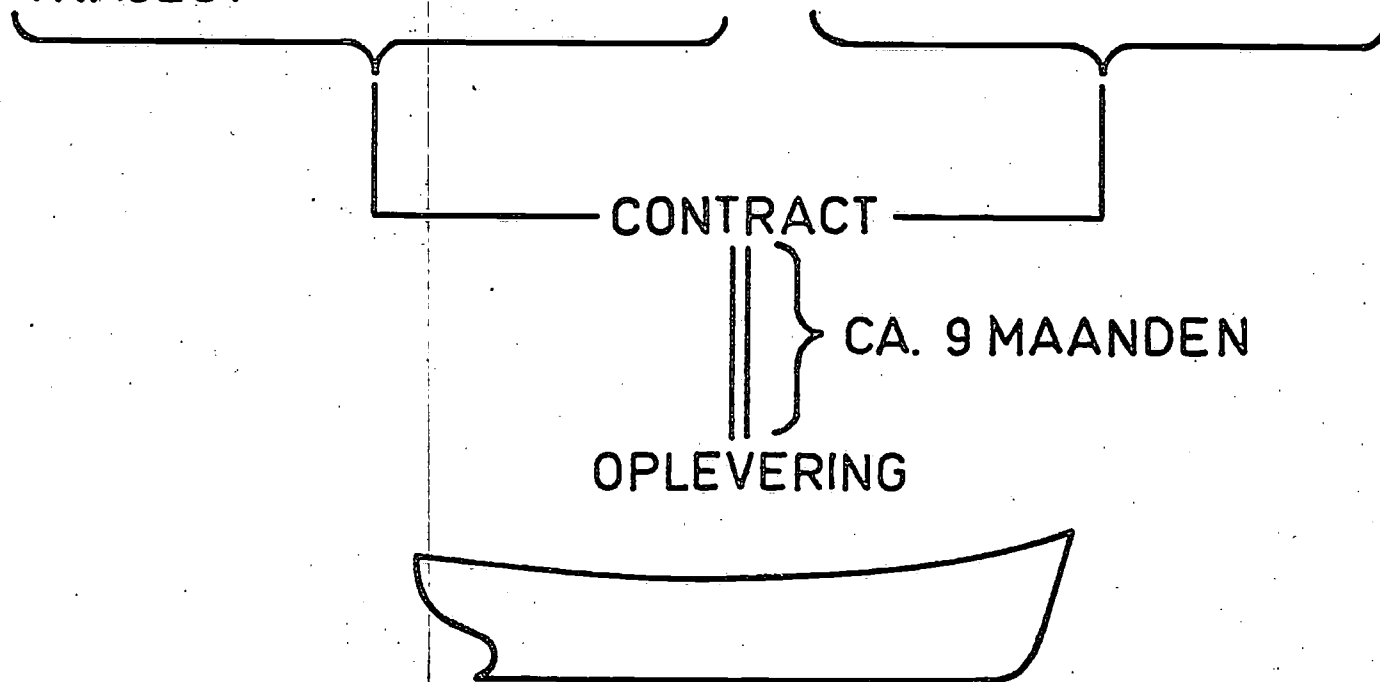


FIG. 4

VOORBEELD m.b.t. ÉÉN PARAMETER: SNELHEID

APK $\approx V^3$ \longrightarrow 15 KNOOP : 10 000 PK
20 KNOOP : 25 000 PK

\longrightarrow PER REIS: 2 MAAL BRANDSTOF
(VOOR GELIJKE AFMETINGEN)

MINDER DAN 25% MEER REIZEN
(HAVENTJIDEN, GEVOELIGER VOOR
SLECHT WEER)

MINDER LADING PER REIS
(ZWAARDERE MACHINE, MEER
BRANDSTOF)

TOTAAL 10% MEER LADING VERVOERD TEGEN
100% MEER BRANDSTOF EN 10% DUURDER SCHIP.

FIG. 5

SCHEEPSVORM AANPASSEN AAN SNELHEID GEEFT:

A. LANGER EN SLANKER SCHIP →
GROTER BUIGEND MOMENT →
DUURDERE CONSTRUCTIE

B. 20 000 PK EN 1,5 MAAL BRANDSTOF
(i.p.v. 25 000 PK EN 2 MAAL BRANDSTOF)

15% MEER LADING TEGEN 50% MEER BRANDSTOF
EN 10% DUURDER SCHIP
(VOOR VERSCHIL 15 KNOOP EN 20 KNOOP)

BELANGRIJK: - HAVENTJIDEN -
- HOUDBAARHEID LADING (KOELING) -
- WAARDE LADING EN VERPAKKING
(CONTAINERS) i.v.m. KAPITAALSKOSTEN -
- BRANDSTOFKOSTEN -

FIG. 6

SYSTEEM SCHIP-MACHINE-ASLEIDING-SCHROEF-ROER
MOET OPTIMAAL ZIJN I.V.M. :

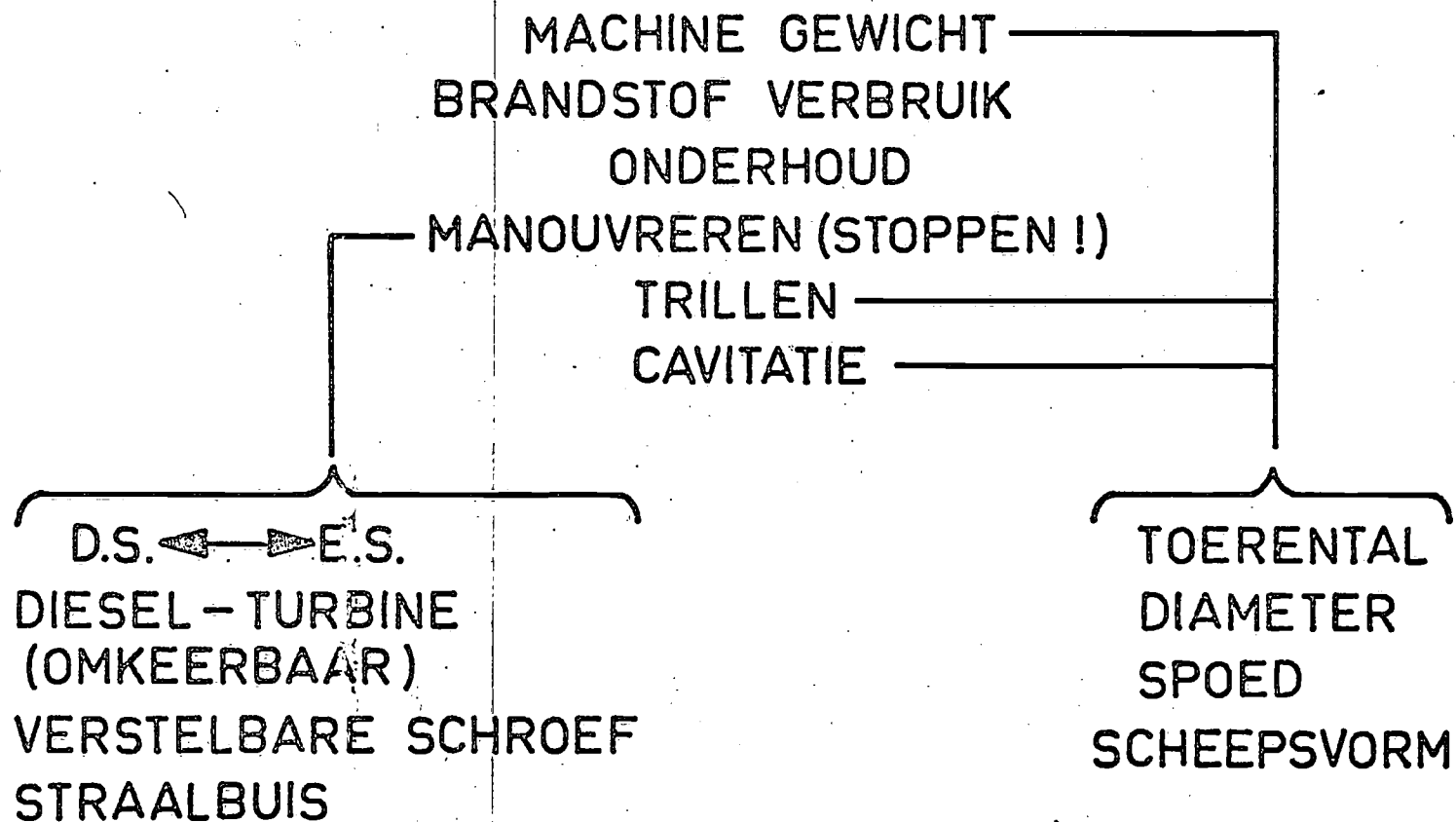


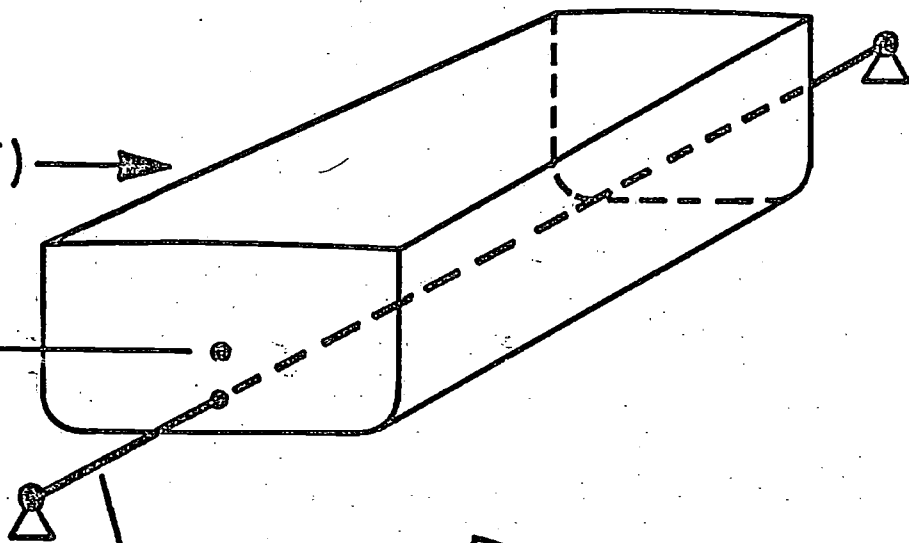
FIG. 7

LABEL EVENWICHT

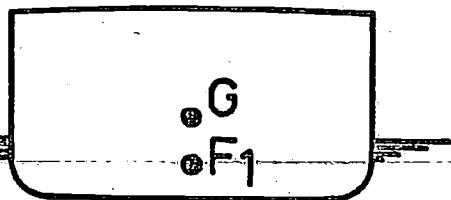
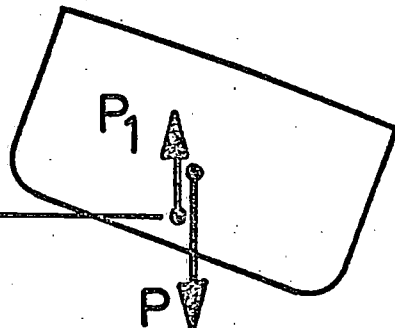
STABILITEIT

STATISCH (IN LUCHT) →

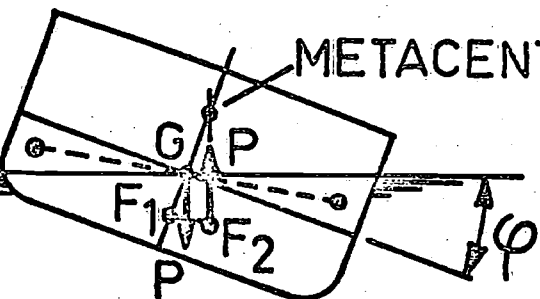
ZWAARTEPUNT →



DRAAIAS →



METACENTER



$$\text{MOM} \curvearrowright = P \cdot MG \sin \varphi$$

FIG.9

WEERSTAND = WRJVINGS- + VORM(GOLF) WEERSTAND



SCHAAL PROBLEEM: REYNOLDS
 $V.L=c$

FROUDE
 $V/\sqrt{L}=c$

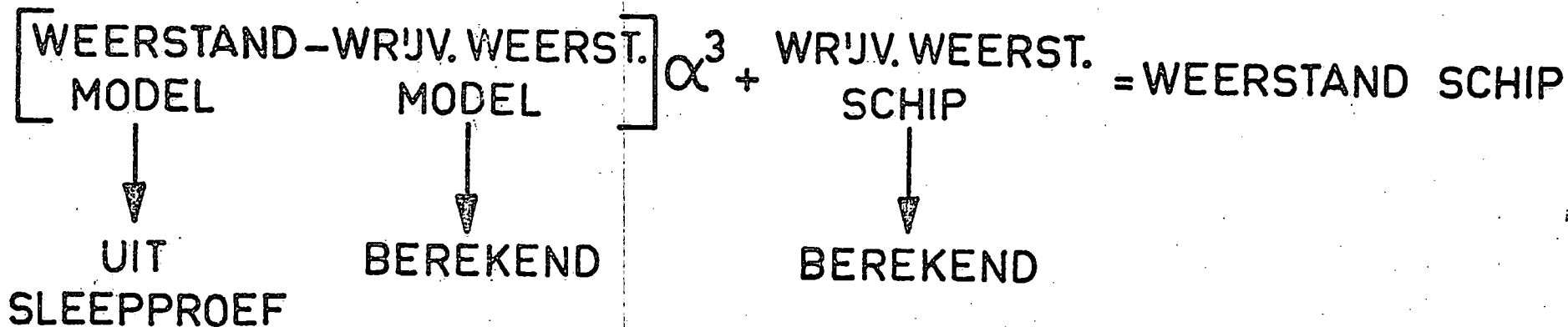


FIG. 10

SCHEEPSVORM EN SCHROEF

A. M.B.V. GEGEVENS VERKREGEN UIT SLEEPTANKPROEVEN, WAARBIJ VORMPARAMETERS EN SNELHEID SYSTEMATISCH GEVARIEERD ZIJN (DIAGRAMMEN, FORMULES, COMPUTER PROGRAMMA'S).

VEROUDERT SNEL (VLAK WATER)

B. TANKPROEVEN IN GOLVEN MET MODELLEN MET EIGEN VOORTSTUWING.

FIG. 11

BELASTINGEN

I LANGSSCHEEPSE BUIGING

A. IN VLAK WATER

VOORBEELD: BAK MET RECHTHOEKIGE
DWARS- EN LANGSDOORSNEDE

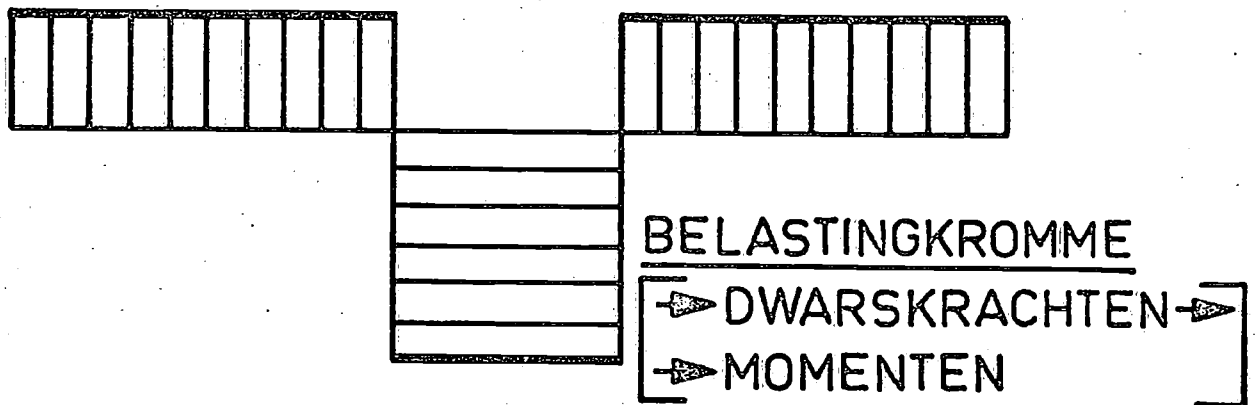
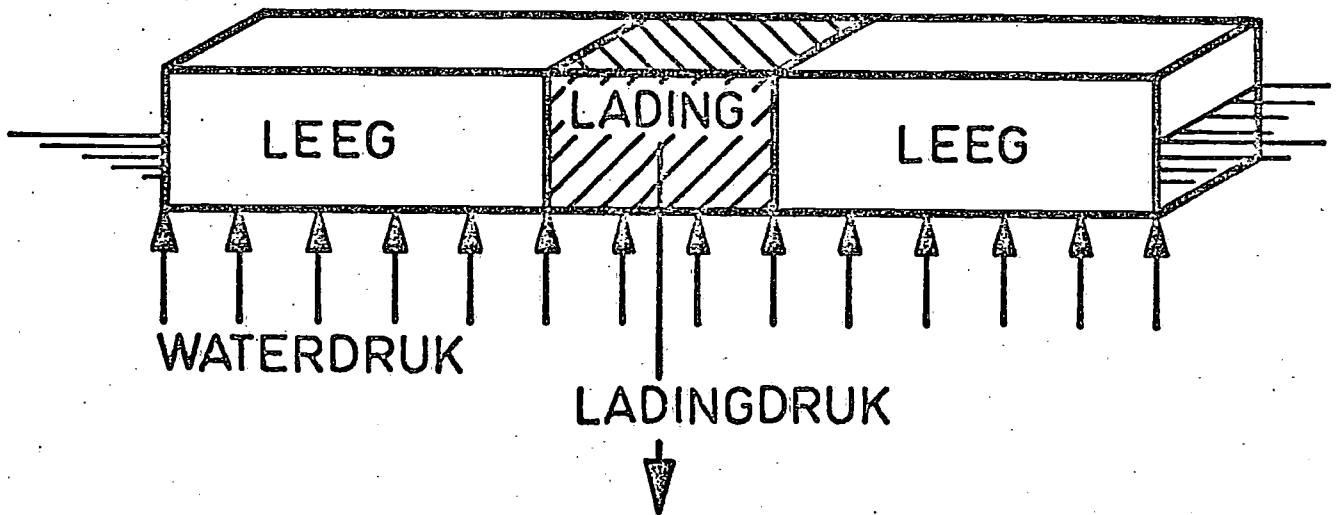
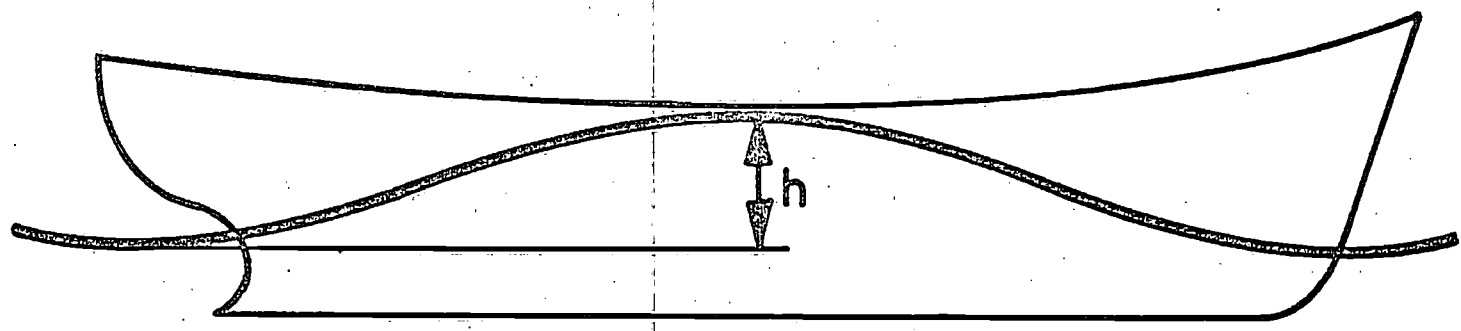
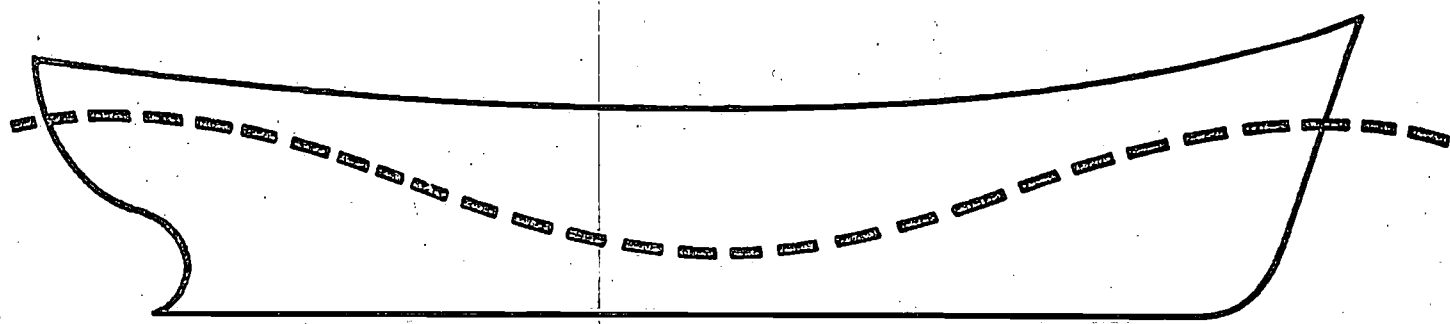


FIG.12

B. IN "BEVROREN" GOLF.



HOGGING.



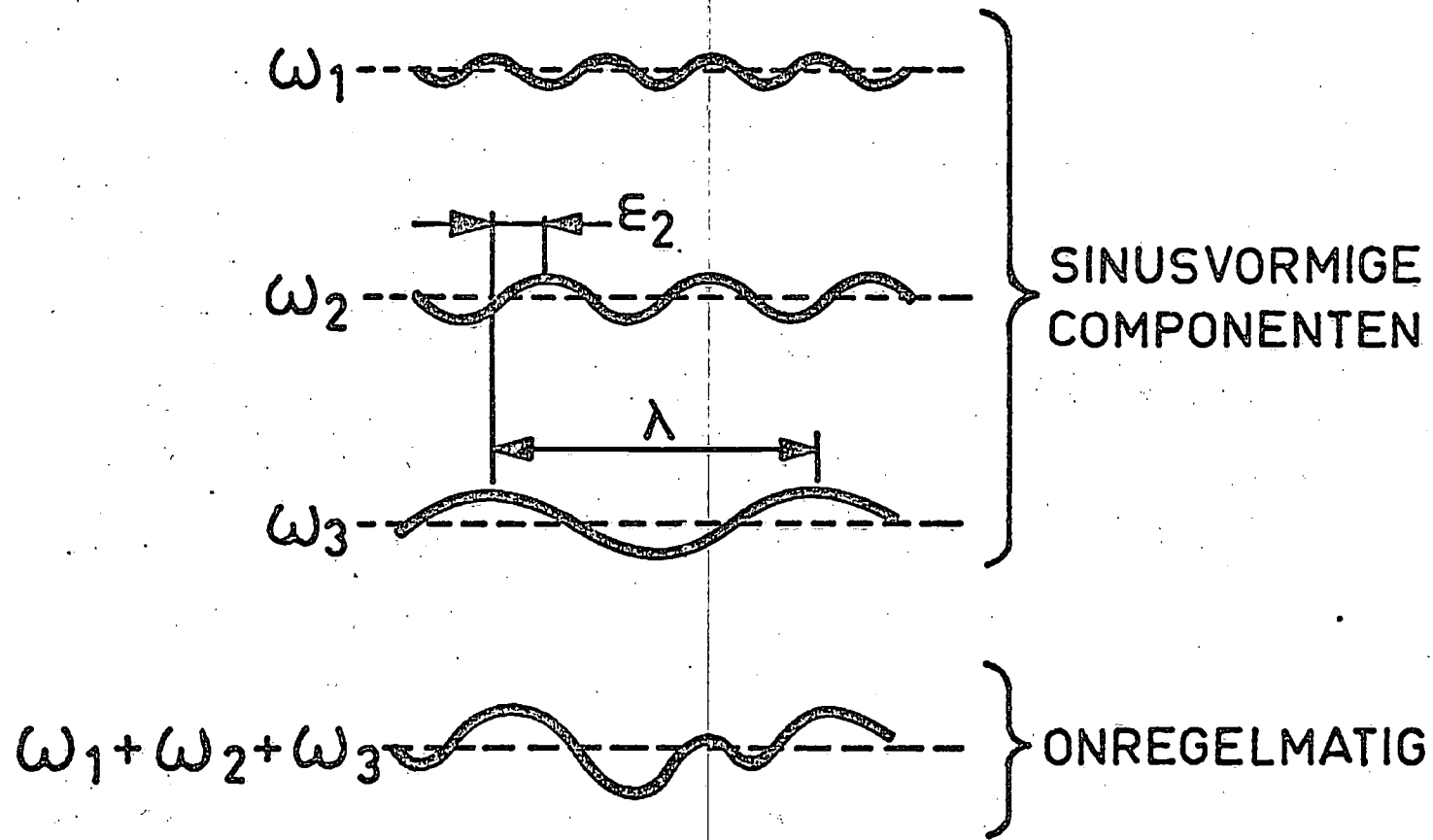
SAGGING.

KLASSIEK: STANDAARDGOLF $h = \frac{L}{20}$ OF $0,6\sqrt{L_m}$

SCHEEPSSNELHEID = GOLFSNELHEID \longrightarrow GEEN BEWEGINGEN EN
GEEN TRAAGHEIDS-
KRACHTEN.

FIG. 13

C. IN ZEEGANG (ONREGELMATIGE GOLVEN)

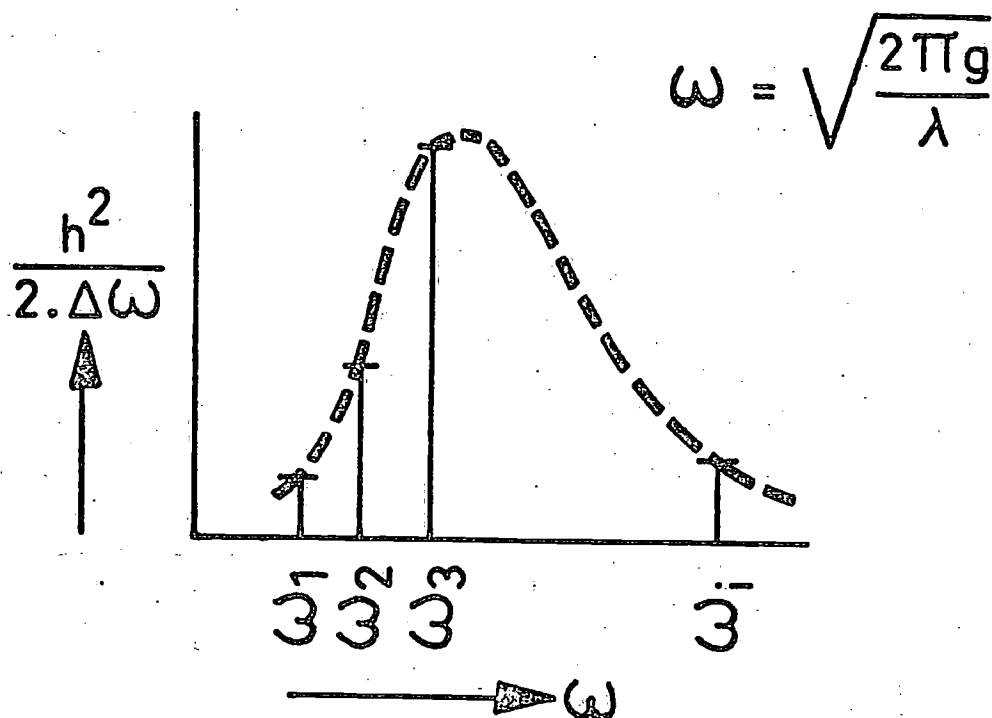


DE PHASEHOEKEN ZIJN WILLEKEURIG (RANDOM)

DE ENERGIE - INHOUD
EENHEID VAN ZEEOPPERVLAK IS BEPAALD.

FIG. 14^A

ENERGIESPECTRUM VAN DE ZEE.



MODEL BEPROEVEN IN REGELMATIGE GOLVEN ω_1 , ω_2 ETC.

DIT GEEFT: MOMENT PER GOLFHOOGTE = R.A.O. ω_i
 (R.A.O. = RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR)

DE RESPONSIE VOOR HET BOVENSTAAND GOLFENERGIESPECTRUM IS DAN TE BEREKENEN DOOR DE INDIVIDUELE RESPONSIES (R.A.O. x GOLFHOOGTE) TE SUPERPONEREN.

FIG. 14^B

- I LANGSSCHEEPSE BUIGING
- II WRINGING ("OPEN SCHEPEN")
- III DWARSSCHEEPSE BELASTINGEN
- IV LOKALE BELASTINGEN
- V TRILLINGEN [SCHROEF, MACHINES,
KORTE GOLVEN (SPRINGING),
PAALTJES PIKKEN (SLAMMING)]

INCIDENTEEL : TEWATERLATEN, DOKKEN,
AANVARINGEN, LEKKAGE.

REGELMATIG : LADEN - LOSSEN
TEMPERATUUR WISSELINGEN
(DAG-NACHT ; L.N.G.)
SLEPEN, DUWEN, 'JSVAART.

FIG. 15

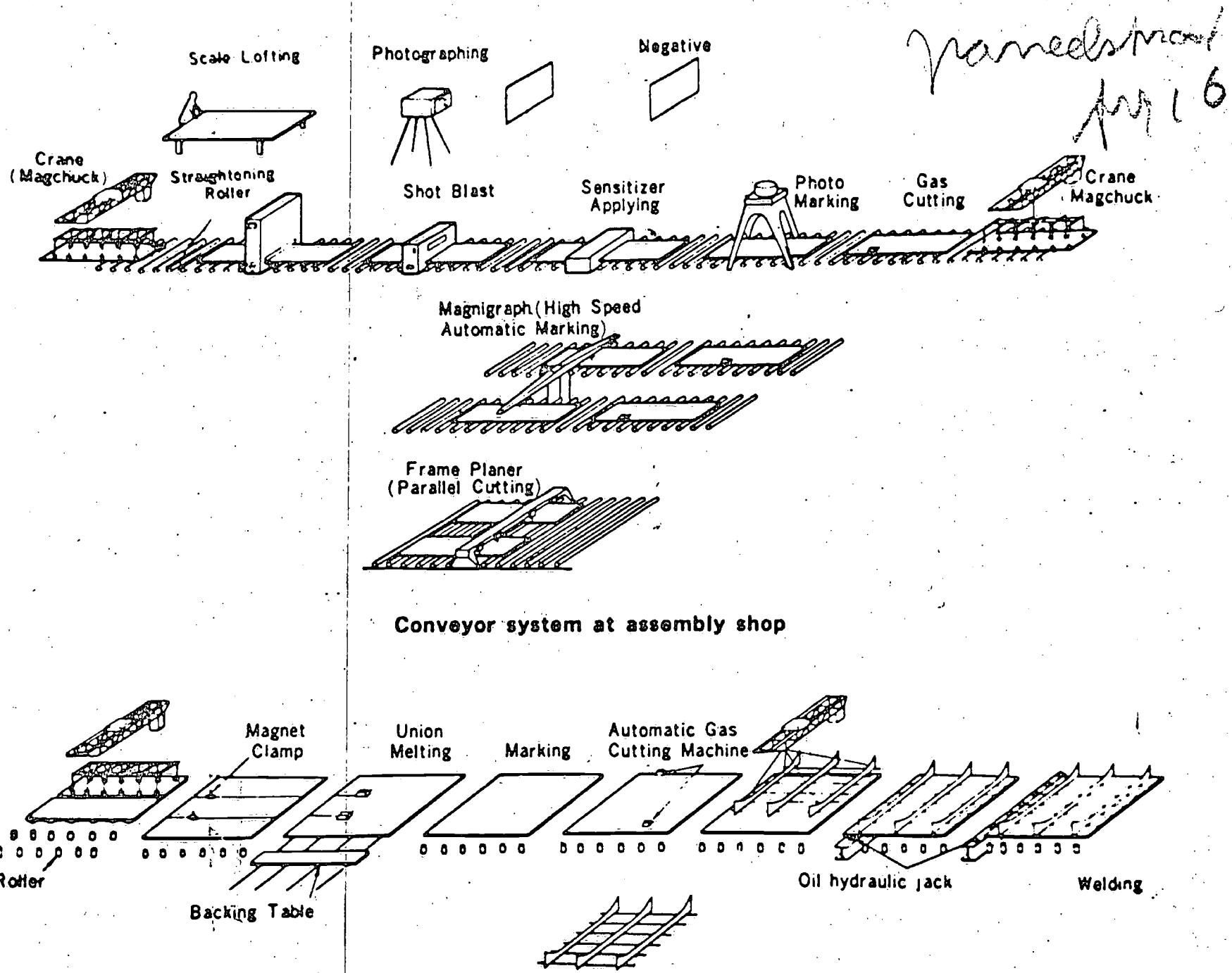


Fig. 16 . Materialbewerkingsschema en schema panelenstraat Mitsubishi-Nagasaki.

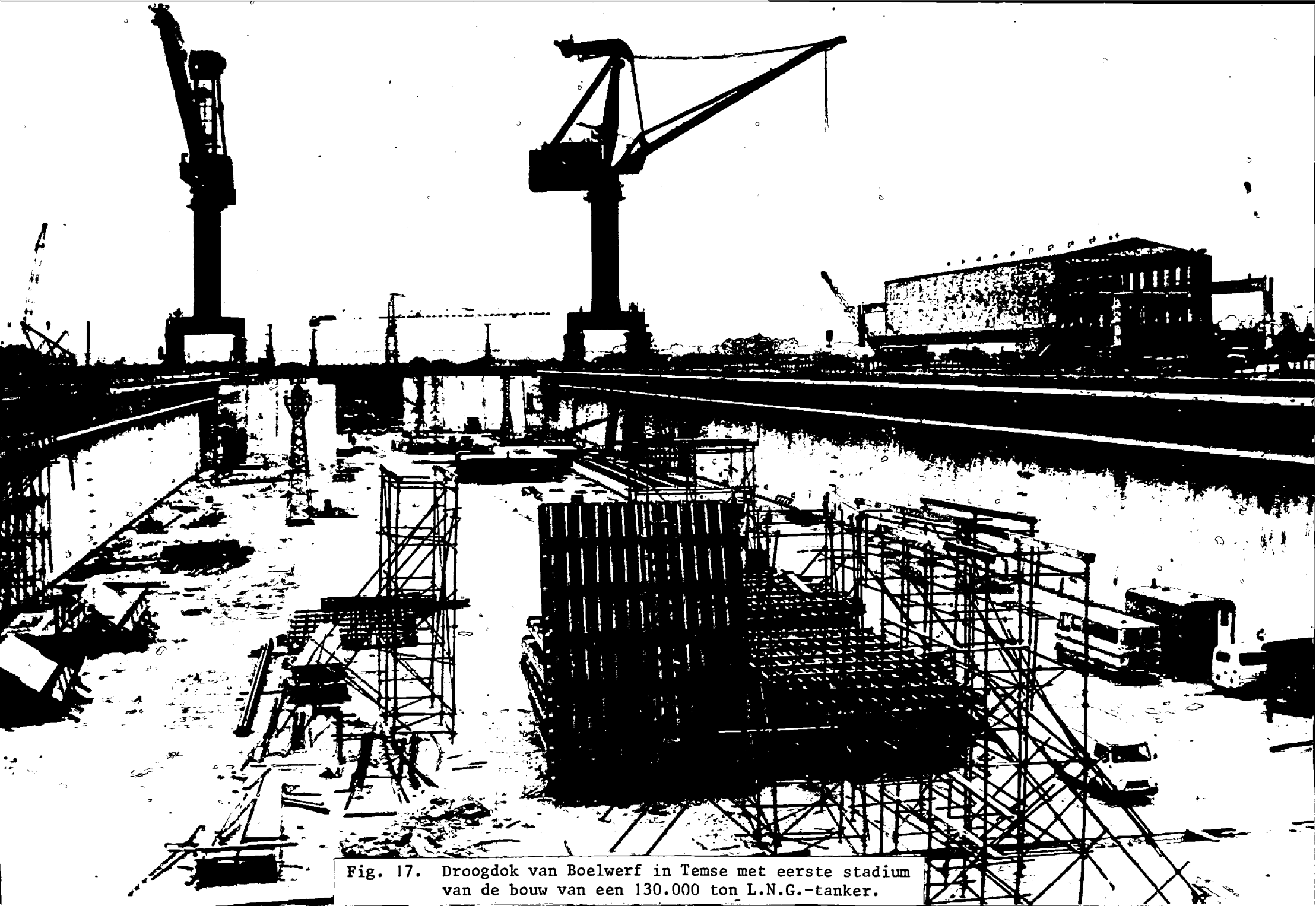


Fig. 17. Droogdok van Boelwerf in Temse met eerste stadium van de bouw van een 130.000 ton L.N.G.-tanker.

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

*Ingalls
Aug 18*

FABRICATION SHOPS
INCLUDING PANEL SHOP
AND SHELL ASSEMBLY SHOP

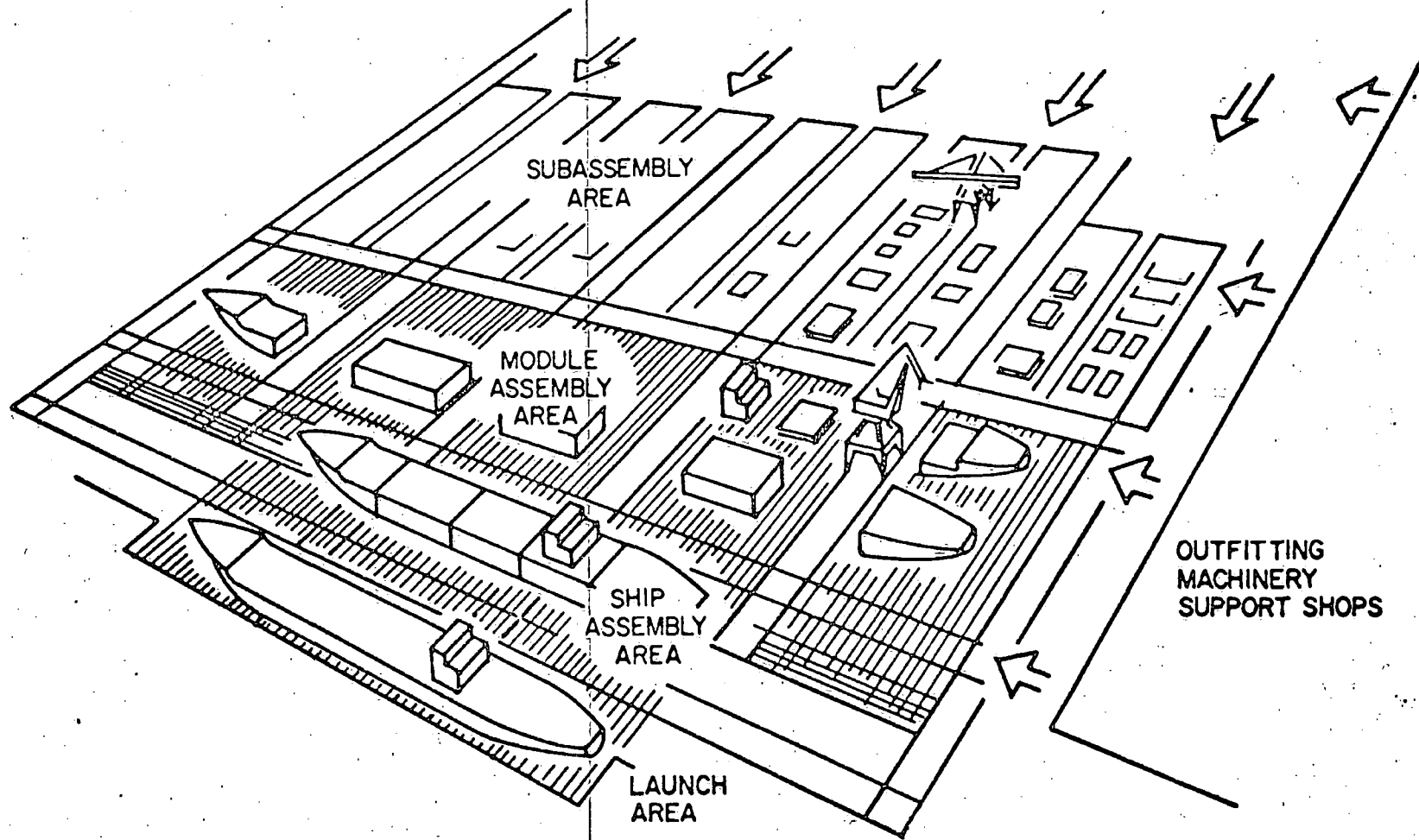


Fig. 18 Principal elements in assembly line flow at Ingall's new Pascagoula Yard

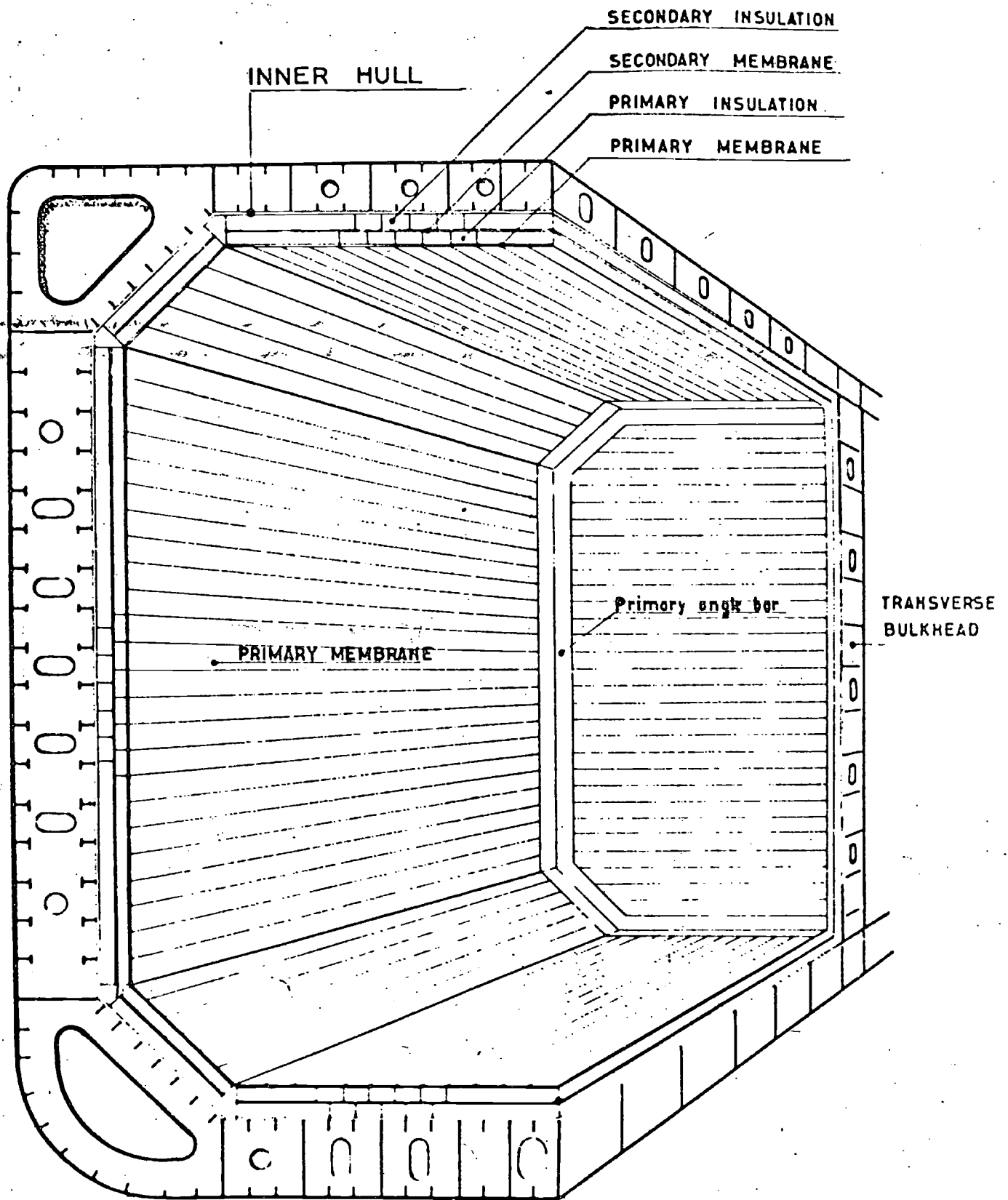


Fig. 19

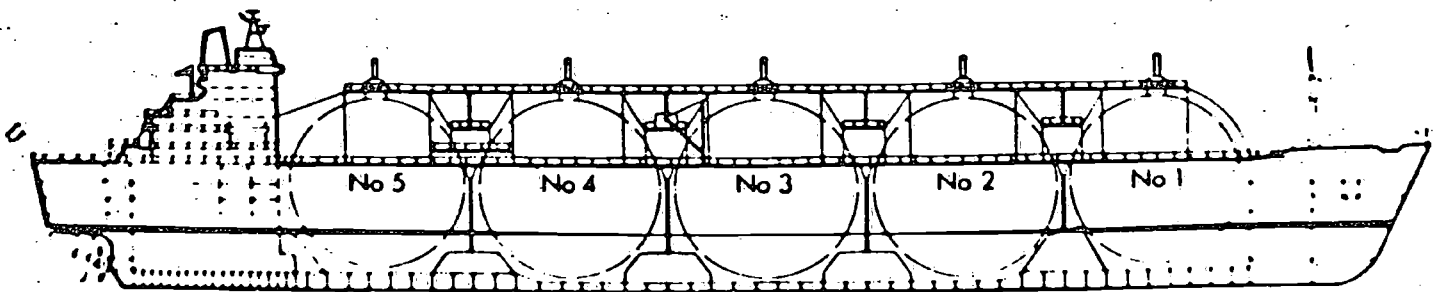
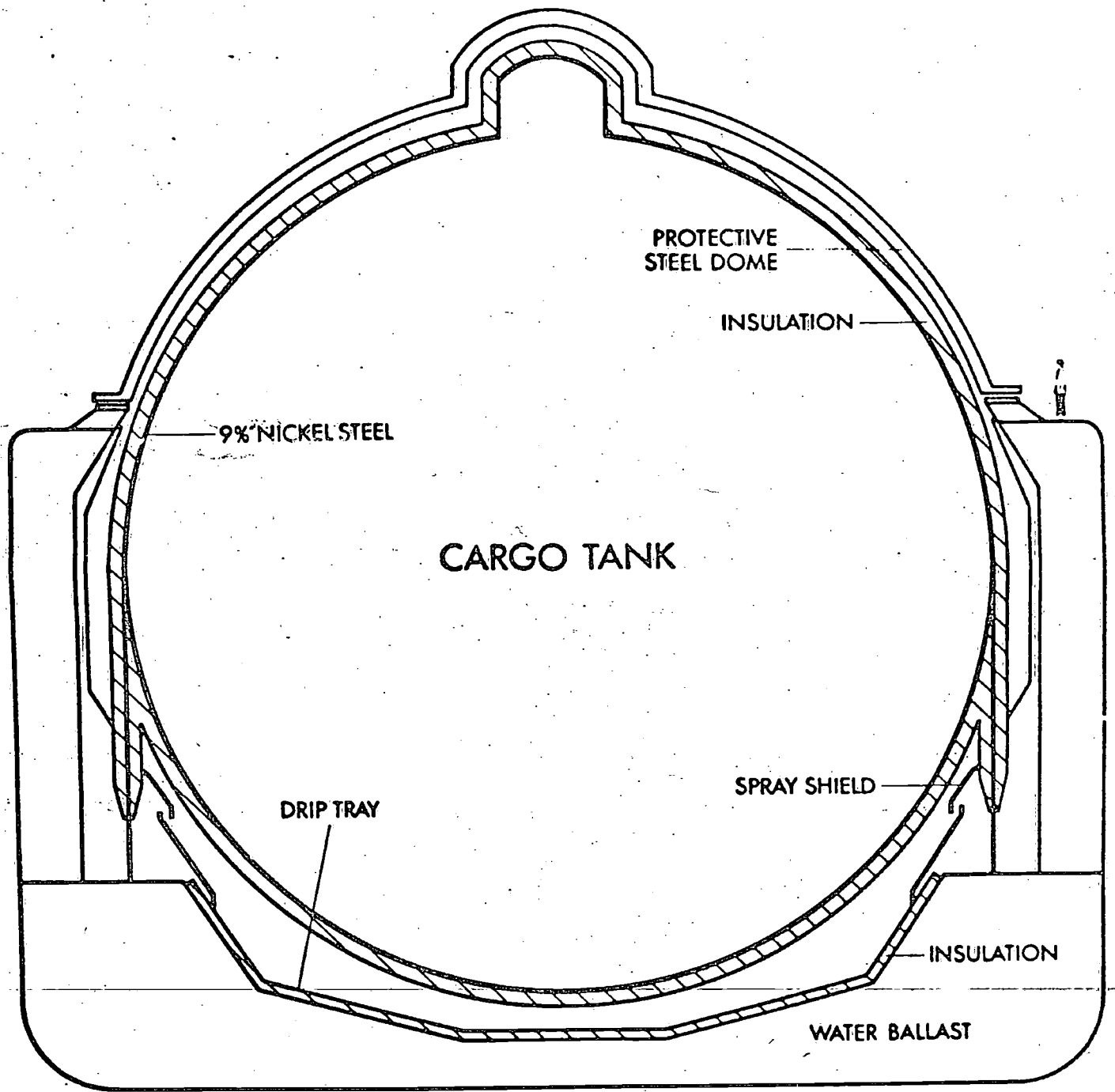


Fig. 20