DI 329345

LABORATORIUM VOOR SCHEEPSCONSTRUCTIES

TECHNISCHE HOGESCHOOL – DELFT

RAPPORT Nr. 150

BETREFFENDE:

Beschouwing over de gevolgen van een aanvaring tussen een op drift geraakt zeeschip en een vaste oeververbinding.

door

Ir. P.A. van Katwijk.

Z4181

Technische Hogeschool Delft.
LABORATORIUM VOOR SCHEEPSCONSTRUCTIES.
Mekelweg 2 - Delft.

Intern rapport nr. 180.

BIBLIOTHEEK
Bouwdienst Rijkswaterstaat
Postbus 20.000
3502 LA Utrecht

BIBLIOTHEEK BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT
NR. 24181 BDU

BESCHOUWING OVER DE GEVOLGEN VAN EEN AANVARING TUSSEN EEN OP DRIFT GERAAKT ZEESCHIP EN EEN VASTE OEVERVERBINDING.

door

Ir. P.A. van Katwijk

Augustus 1970.

Inhoud.

Samenvatting. Pagina 3.

Inleiding. " 3.

§ 1. Grootte van de betrokken zeeschepen. " 3.

a. Diepgang.
b. Hoogtematen.
c. Uitwaaien van het voorschip.

§ 2. Aanvaring met een brugoverspanning. (Kwalitatieve beschouwing). " 5.

a. Opbouwen en scheepsromp.
b. Masten en laadgerei.
c. Speciale schepen.

§ 3. Aanvaring met een pijler. (Kwalitatieve beschouwing.) " 9.

a. Verticale huid.
b. Overhangend dek.
Voor- of achterschip.

§ 4. Enkele cijfers. " 11.

a. Dekhuis frontaal.
b. Opdrijvende krachten.
c. Zwaar laadgerei.

§ 5. Modelonderzoek. " 15.

§ 6. Conclusies. " 15.

Literatuurverwijzing. " 16.

Bijlage 1.

Bijlage 2.

Bijlage 3.

Samenvatting.

Een kwalitatieve beschouwing van de gevolgen van een aanvaring tussen een op drift geraakt zeeschip en de geprojecteerde vaste oeververbinding in de Westerschelde voert tot de conclusie dat dergelijke gebeurtenissen voorkomen moeten worden.

Inleiding.

Het gekozen tracée van een in studie genomen vaste oeververbinding kruist, onder de noordelijke oever, een uitloper van de Schaar van Waarde, waarvan het meer zeewaarts gelegen deel wel eens als een natuurlijke vluchthaven benut wordt. Wanneer in zo'n geval een zeeschip, door welke oorzaak ook, in dit gebied op drift raakt en door getijdestromen in de richting van de brug gestuwd wordt is het gevaar voor een aanvaring aanwezig.
In het hiernavolgende zal nagegaan worden wat de technische consequenties van een dergelijke gebeurtenis kunnen zijn. De beschouwingen zullen hoofdzakelijk kwalitatief zijn, doordat in de meeste gevallen het aantal onafhankelijke parameters te groot is om tot kwantitatieve gegevens te komen.
Dat deze beschouwingen verder gaan dan het gevraagde in Bijlage 1 komt doordat de formulering van het oorspronkelijk gevraagde bij de schrijver van dit stuk het vermoeden opriep dat niet alle consequenties van een aanvaring door de vragensteller voorzien waren.

---

§ 1. Grootte van de betrokken zeeschepen.

Uit bijlage 1 blijkt dat de grootte van de betrokken schepen gesteld is tussen 15.000 en 60.000 ton waterverplaatsing. Deze getallen kunnen beschouwd worden als begrenzingen voor de scheepsmassa die bij een aanvaring betrokken kunnen zijn. Er bestaan echter meer criteria waarmee in de beschouwingen rekening gehouden moet worden. De belangrijkste zijn wel een aantal significante hoogtematen die betrekking hebben op de scheepsromp, de opbouwen en obstakels aan dek zoals masten en laadgerei, lading en speciale uitrustingsstukken. Onder laatstgenoemde post vallen b.v. hulpgastanks aan dek van schepen ingericht voor vervoer van vloeibaar gas (propaan, butaan, enz.).
In bijlage 2 zijn een aantal van deze maten gegeven, waarbij opgemerkt moet worden dat de getalwaarden voor schepen van gelijke grootte en type een aanzienlijke spreiding vertonen. De gegeven maten hebben daardoor slechts een indicatieve waarde.

a. Diepgang.

De diepgangswaarden zijn verkregen door opmetingen uit beschikbare, gepubliceerde plannen van schepen; de ballastdiepgang vóór (T_v) is

bepaald met behulp van een vuistregel: $T_v = 0{,}027\ L_{ll}$ voor tankers en $T_v = 0{,}030\ L_{ll}$ voor andere schepen. Waar deze regel tot onwaarschijnlijke waarden leidde is er van afgeweken, terwijl de overeenkomstige waarde achter (T_a) gebaseerd is op het gebruik om de schroef voor 80% van zijn diameter ondergedompeld te hebben. In het algemeen worden deplacementen in de publicaties niet vaak vermeld en ze komen in de bijlagen dan ook niet voor; wel wordt het draagvermogen vermeld. Overigens zijn de bewuste grootheden nauwelijks van belang doordat de meeste schepen slechts in ballasttoestand of in gedeeltelijk geladen toestand (maximum diepgang 7.- m.) van het vluchtgebied gebruik zouden kunnen maken. Informatie betreffende deze grootheden kan slechts door de reders gegeven worden.

b. Hoogtematen.

In een aantal gevallen blijkt dat de hoogte van het navigatiebrugdek boven de stilwaterlijn aanzienlijk groter is dan de +20.- m. N.A.P. die als gemiddelde doorvaarthoogte gegeven is (aantekening op bijlage 1). Hierdoor zullen meerdere verdiepingen van een bovenbouw bij een aanvaring met een overspanning van de brug betrokken kunnen worden.
In het algemeen kan met een tussendekshoogte van 2.60 m. (8'6") gerekend worden, waarmee het aantal betrokken verdiepingen voor afzonderlijke gevallen te bepalen is.
Met dekhuizen te vergelijken zijn dekladingen; in dit geval containers. De hoogte van een standaard-container bedraagt 2,44 m. of 2,60 m. (8' of 8'6") en o.a. op de transatlantische routes worden ze driehoog op de laadhoofden vervoerd waardoor de ladinghoogte boven dek ongeveer 9,50 m. bedraagt. Bij de grotere containerschepen kan daardoor de bovenkant van de lading op 20,00 m. of meer boven de waterlijn komen te liggen.
De deklading containers kan zich vóór en achter de opbouw bevinden en er zijn containerschepen in de vaart die op het voorschip ook nog een opbouw hebben waarvan de hoogte royaal boven die van de deklading uitkomt. Dit laatste type doet, voor zover bekend, nog geen dienst in de Europese wateren; de ontwikkelingen kunnen echter wel in deze richting gaan. De ontwikkeling van dit type schepen is nog in volle gang en hun afmetingen nemen nog steeds toe, draagvermogens van 30.000 ton komen in de praktijk al voor.

Andere obstakels aan dek zijn masten en laadgerei in alle mogelijke soorten. Het enige dat hierover met zekerheid te zeggen is, is dat de toppen van masten en van zware laadbomen in ruststand boven de dekopbouwen uitsteken.
Op tankers en bulkcarriers komen eveneens nog masten op het dek voor die hoger zijn dan de opbouw, terwijl bij tankers in bepaalde gevallen nog ontgassingsleidingen langs deze masten geleid worden met bovenin vlamkerende roosters.

c. Uitwaaien van het voorschip.

Het laatste prentje uit bijlage 2 geeft een mogelijke situatie voor het aanvaren van een pijler door een scherp schip. Bij containerschepen kan de overhang van het dek ter plaatse van ordinaat 20 (voorloodlijn) oplopen tot ± 25% van de totale breedte midscheeps. Bij een containerschip van 29.000 ton draagvermogen /1/ bedraagt de overhang ongeveer 8.- m. + uitwaaiende plaatverschansing op een hoogte van 17.- m. boven de waterlijn bij een diepgang $T_v = 5{,}25$ m.

§ 2. Aanvaring met een brugoverspanning.

(Kwalitatieve beschouwing).

a. Opbouwen en scheepsromp.

In het algemeen moet er op gerekend worden dat de grootte van de aanvaringsimpulsbelasting in de eerste ogenblikken weinig af zal nemen doordat de krachten die nodig zijn om de eerste plastische vervorming (plastische scharnier en knik) van de betrokken scheepsconstructie te veroorzaken relatief klein zijn. Na dit stadium zal het constructiemateriaal afgescheurd, gevouwen en geplet worden, een soort "schrootpers" effect waarvoor een snel groter wordende kracht nodig is, zodat de momentane impulsbelasting sterk af zal nemen tot de nulwaarde (zie figuur 1). Het volledig "afsnijden" van een bovenbouw zal normaal gesproken niet voorkomen. Verondersteld is dat de aanvaring plaats heeft met een star of als star te beschouwen lichaam.

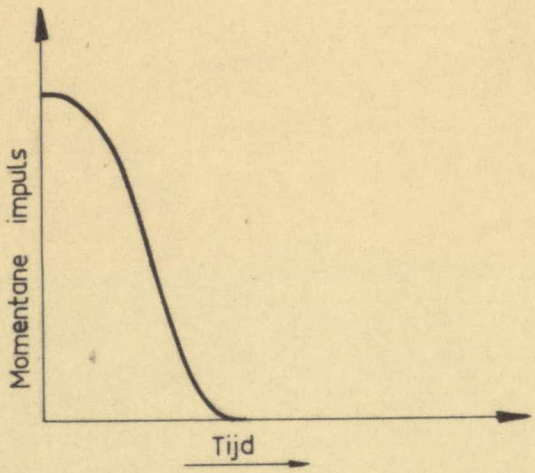


FIG. 1. VERLOOP MOMENTANE IMPULS-BELASTING MET DE TIJD.

Uit bijlage 1 blijkt dat informatie omtrent de krachten, als bovengenoemd, verlangd wordt. Waarden hiervoor zijn niet te geven omdat het aantal onafhankelijke variabelen te groot is. In § 4.a is echter een grootteorde-bepaling uitgevoerd.
Opbouwen vertonen onderlinge verschillen in lengte, breedte, hoogte, inwendige onderverdeling en constructie. Een norm opbouw zelfs voor één scheepstype en -grootte is niet te geven. Bovendien kan de aanvaring in principe onder zeer veel hoeken plaatsvinden. Gezien de grote hoeveelheid electrische èn electronische apparatuur die zich boven in dekhuizen bevindt, is afhankelijk van aanvaringshoek en plaats,de kans op kortsluitbranden en daardoor bij tankschepen ook op explosies, reëel. Afgaande op de waarden uit bijlage 2 voor hoogte voorschip boven ballastwaterlijn zou geconcludeerd kunnen worden dat de kans op aanvaring van een brugoverspanning door het voorschip niet groot is. Zoals eerder reeds gezegd is, zijn deze waarden indicatief en er moet mee gerekend worden dat de grootte-ordes vanaf 18,50 m. hoogte aanvaringsrisico's inhouden. Het voorste deel van het voorschip is zwaar geconstrueerd en het dek ter plaatse is voorzien van velerlei extra versterkingen voor anker- en meer-

gerei.
Het vervormingsproces van t_0 tot $t_0 + t_1$ in het voorschip zal hetzelfde verloop hebben als dat voor opbouwen. De mate van verschil in benodigde kritische krachten tussen dekhuis en voorschip wordt bepaald door verschil in vorm en door de aanvaringshoek α. De laatste is te definiëren als de hoek tussen de lengteassen van schip en brug. (Zie figuur 2.)

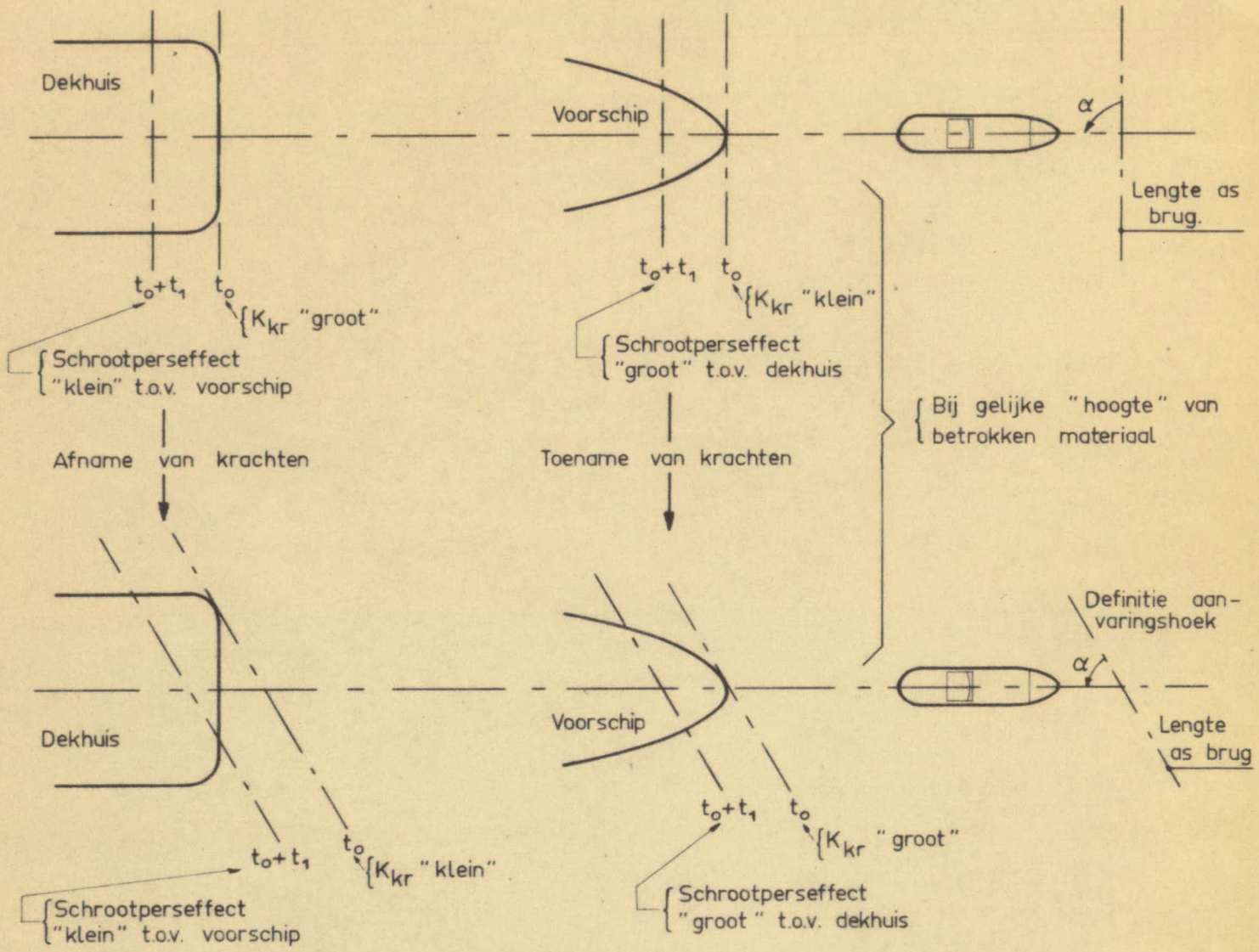


FIG. 2. KWALITATIEVE VERGELIJKING K_{kr} IN VERSCHILLENDE SITUATIES.

Bij kleine tot zeer kleine aanvaringshoeken zal de dwarsscheepse component van de "aanvaringskracht" groot zijn. Doordat het aangrijpingspunt van deze kracht boven het dwarsmetacentrum van het schip ligt, wordt er op het schip een kenterend moment uitgeoefend. De consequenties hiervan zijn het meest duidelijk wanneer een geval beschouwd wordt waarbij een schip met de dekopbouw midscheeps met de brug in aanvaring komt onder een hoek $\alpha = 0$.
In figuur 3-a is het punt A het onderste aanvaringspunt; zou het schip vrij zijn in zijn bewegingen dan ontstaat de situatie die in figuur 3-b is voorgesteld, waarin het onderste aanvaringspunt in B terechtgekomen is doordat de hoogte boven de waterspiegel van het onderste aanvaringspunt onveranderlijk is.
De brugoverspanning belemmert het schip in zijn kenterbeweging, een belemmering die toe zal nemen naarmate de horizontaal gerichte krachten, nodig

om de opbouw in die richting te vervormen, toenemen. Er zal dus op het schip ter plaatse van de opbouw een verticale neerwaarts gerichte kracht moeten gaan werken die een moment uitoefent tegengesteld aan dat van de horizontale kracht, waardoor het schip geen slagzij krijgt. De grootte van deze kracht volgt direct uit de eis dat de werklijn van de resultante van de horizontale en verticale kracht door het dwarsmetacentrum M (slingerpunt) van het schip moet gaan (figuur 3-c). Het verloop van de grootte van H_A met het binnendringen van de brug in de opbouw is reeds beschreven. De grootte van V_A zal in eerste instantie groeien overeenkomstig het schema uit figuur 3-c, totdat een kritische waarde is bereikt en het dekhuis in verticale zin plaatselijk bezwijkt en er ruimte komt voor enige slagzij. De orde van grootte van V_A kan variëren van ongeveer honderd tonf tot ruim duizend tonf. Dit hangt af van de lengte van het dekhuis en de plaats van het aanvaringspunt A met betrekking tot de tussendekshoogte. De kans dat het schip klem komt te zitten onder de brug is hier wat minder groot dan in een geval waarbij de aanvaringshoek groter is. Op dit laatste is de hierna volgende beschouwing van toepassing.

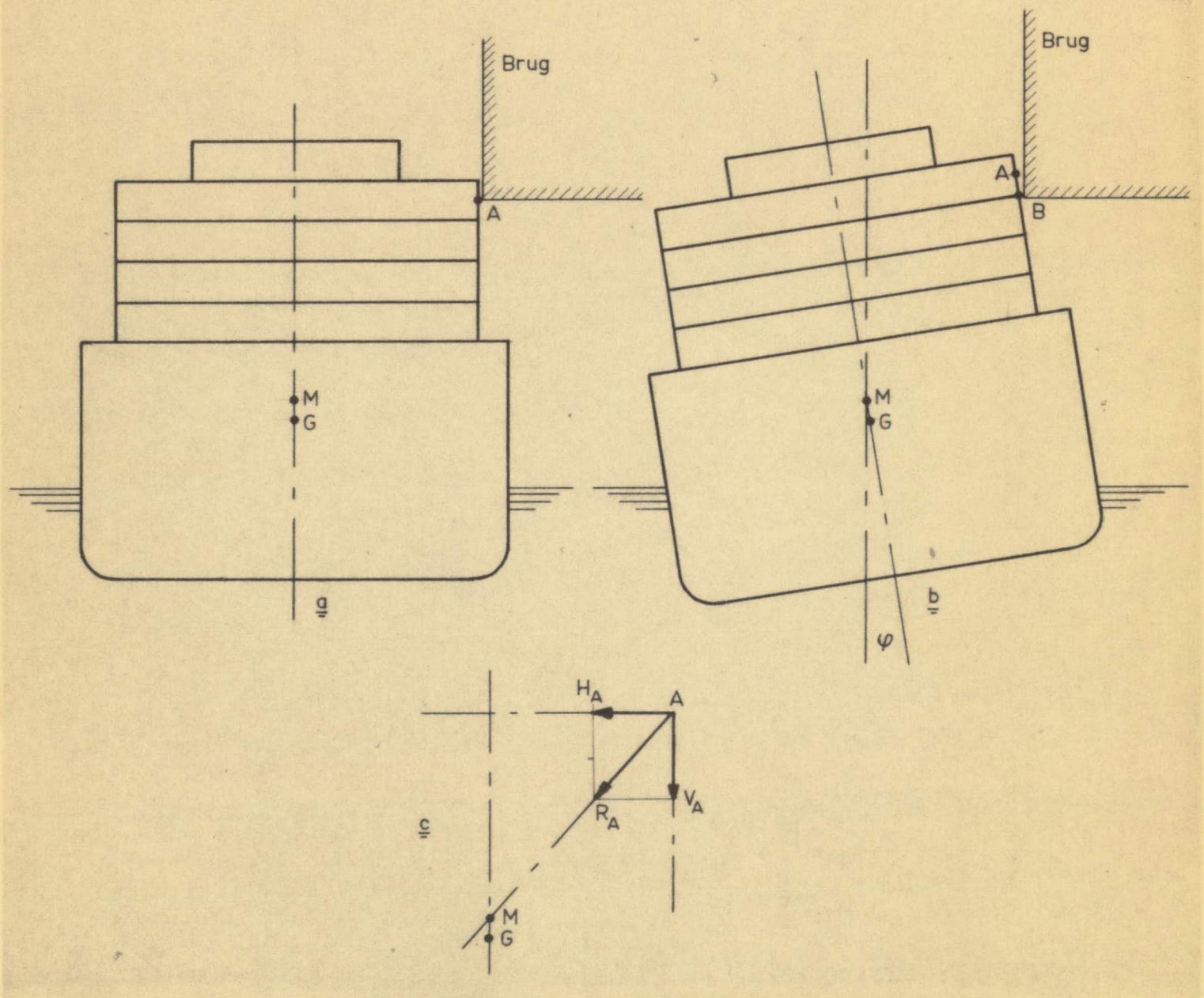


FIG. 3. VERLAGING VAN AANVARINGSPUNT TEN GEVOLGE VAN SLAGZIJ MAKEN EN HET KRACHTENSPEL NODIG TER VOORKOMING VAN SLAGZIJ.

Als het vervormingsproces beëindigd is en het schip tot stilstand is gekomen, zal het klem zitten onder de overspanning doordat het vervormde materiaal gedeeltelijk terugveert onder invloed van de elastische component van de totale vervorming. Doordat een aanvaring alleen kan plaatsvinden bij opkomend tij moet er mee gerekend worden dat het schip een verticale, omhoog gerichte kracht op de brugoverspanning zal gaan uitoefenen.
Wanneer een dekhuis bij de aanvaring betrokken is, zal een relatief kleine kracht voldoende zijn om het dekhuis in verticale zin enigszins te vervormen. Is echter het voorschip het aanvarende scheepsdeel dan zullen relatief grote krachten voor de vervorming nodig zijn (zie figuur 4).

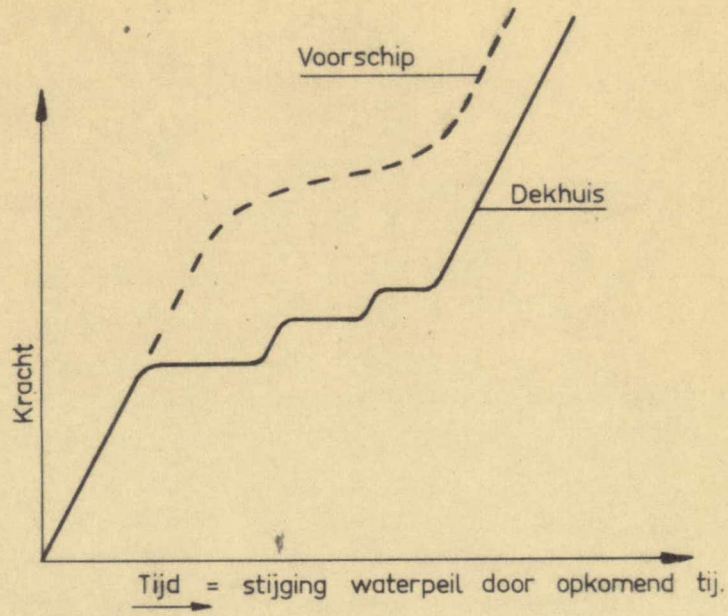


FIG. 4. VERLOOP VERTICALE KRACHT OP DE OVERSPANNING.

Worden de verticale krachten op vóór- of achterschip uitgeoefend dan zal het schip bovendien gaan vertrimmen d.w.z. de diepgangen voor en achter zullen veranderen en er wordt een extra buigend moment op de scheepsromp uitgeoefend.
Bij aanbrengen van verticale krachten ter plaatse van ongeveer de halve scheepslengte zal nauwelijks vertrimmen van het schip optreden, wel wordt een extra langsscheeps buigend moment aangebracht.

b. Masten en laadgerei.

De krachten die nodig kunnen zijn om masten en/of laadgerei grote vervormingen op te leggen kunnen variëren van verwaarloosbaar klein tot een orde van grootte die vergelijkbaar is met die, welke voor een opbouw of een voorschipdeel nodig zijn.
Grote krachten zullen met name optreden bij het vervormen van zwaar laadgerei waarvan de hefvermogens tegenwoordig 250 ton kunnen bedragen.
Dergelijk gerei wordt gesteund door ongestaagde masten, soms als tweeling-

masten uitgevoerd, die in staat moeten zijn om de statische en dynamische krachten tijdens het bedrijf te kunnen verwerken op aangrijpingspunten die b.v. 14 meter boven dek liggen. De laadboom zelf zal in zo'n geval een lengte hebben van ca. 20.- m. met een bevestiging op 3.- m. boven dek. Is bij dit soort constructies de kracht gestegen tot een kritische waarde, b.v. die waarbij voldoende plastische scharnieren zijn gevormd of knik is opgetreden dan mag verwacht worden dat de constructie verder relatief weinig weerstand zal bieden.
Bij licht laadgerei of enkele masten zullen de benodigde krachten klein tot zeer klein zijn, maar in bepaalde gevallen zijn er gevaren van geheel andere aard aan een aanvaring verbonden.
Als een lichte mast met ontgassingsleiding op een niet ontgast, geballast tankschip op of boven dek afbreekt, is het gevaar voor brand en explosie reëel, immers de vlamkering in de ontgassingsleiding zit bovenin.
Wanneer, eveneens bij een tanker, een afgebroken mast of mastdeel naar beneden komt, kunnen laad- en losleidingen en hun afsluiters beschadigd of vernield worden. Verder kan een harde klap op het dek oorzaak zijn van het losspringen en naar beneden vallen van onder aan dat dek (in de tanks dus) gelaste delen van de tankwasinstallatie of andere hulpconstructies. Ook dan is er een reële kans op explosies en brand.

c. Speciale schepen.

Hieronder vallen alle schepen voor het vervoer van vloeibare gassen (kookpunt $\pm$ -45°C) en speciale chemicaliën (vloeibare zwavel b.v. op +60°C). Deze scheepstypen bevinden zich in een stadium van grote ontwikkeling zowel met betrekking tot het type lading als tot de grootte van het laadvermogen.
Bij de tankers voor vervoer van vloeibaar gas worden speciale, geautomatiseerde laad- en lossystemen gebruikt waarbij een inert gas (stikstof) als voorkoelings- resp. verdringingsmiddel wordt toegepast. Het kan voorkomen dat de hulptanks voor opslag van het inerte gas aan dek staan en dat de besturing van de benodigde geautomatiseerde systemen in een apart dekhuis zijn ondergebracht. Een dergelijk type tanker is besproken in /1/ op pag. 407 en 408. Schade aan regelsystemen, hulptanks, of leidingen aan dek als gevolg van aanvaring mag hier niet voorkomen.

---

§ 3. Aanvaring met een pijler.

(Kwalitatieve beschouwing).

a. Verticale huid d.w.z. evenwijdig middenschip.

Verondersteld wordt dat de pijler bestaat uit een zware fundatie waarvan de top boven maximum hoogwaterniveau uitkomt en waarop de veel lichter gedimensioneerde steunen voor de brugoverspanning staan. De kans op scheuren van de scheepshuid is reëel, zeker wanneer de aanvaring onder een hoek met de as van de pijlervoet plaats vindt. (Figuur 5.)
Bij tankers zullen explosie en brand volgen tenzij het schip grondig ontgast is.
Lek gevaren schepen kunnen water gaan maken en slagzij krijgen waardoor ze als het ware op de pijlervoet hangend zichzelf verder zullen beschadigen totdat alle vaart uit het schip is. De kans op vrijdrijven kort nà de aan-

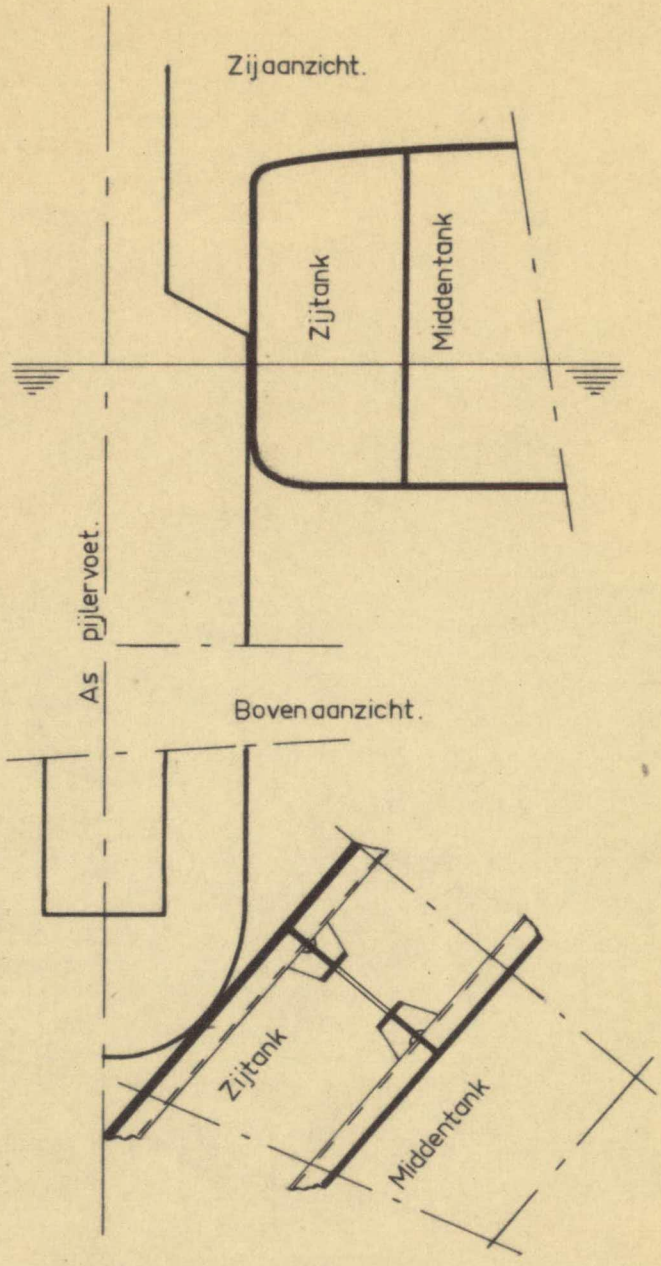


FIG. 5. MOGELIJKE AANVARINGS SITUATIE BIJ PIJLER.

varing is klein doordat het schip pas na enige tijd zal reageren op de koersveranderende impuls opgeroepen door de aanvaring en doordat de mate van koersverandering afhangt van het aangrijpingspunt van de impuls met betrekking tot de lengte van het schip.
Wanneer scheurvorming bij tankers niet optreedt is er toch een grote kans op explosie en brand als gevolg van losspringende, neervallende appendages in de wingtanks.
Ook wanneer de top van de pijlervoet een speciale vorm zou hebben door welvingen in alle richtingen, blijft de kans op scheuren van de scheepshuid groot, doordat niet voorkomen kan worden dat ter plaatse scherpe uitsteeksels zullen ontstaan door de botsing. Deze uitsteeksels kunnen komen van een uitwendig aangebrachte scheurende bescherming of door blootgekomen en beschadigde wapening.

b. Overhangend dek. Voor- of achterschip.

Komt een containerschip zoals genoemd in § 1.c met het voorschip in aanraking met een pijler dan grijpt de impulsbelasting op de pijler ver boven de voet aan. Als de pijler niet meegeeft zal hij zich in het schip "bijten" totdat de optredende krachten groot genoeg zijn om de pijler weg te drukken. De ontwikkeling van de vervormingskrachten zal analoog verlopen aan de in § 2.a geschetste, zij het dat de voor de allereerste grote vervorming benodigde kracht relatief klein is als gevolg van het beperkte contactvlak.

---

§ 4. Enkele cijfers.

De hierna volgende berekeningen zijn alleen bedoeld als een orde van grootte bepaling en ze berusten op sterk vereenvoudigde modellen en bezwijkmechanismen. De uitkomsten hebben betrekking op het in § 2.a genoemde eerste stadium dat verondersteld wordt te eindigen op het moment dat de bezwijklast bereikt is. De bezwijklast is gedefinieerd als de belasting die nodig is om het volledige bezwijkmechanisme (voldoende aantal plastische scharnieren) te formeren.

a. Dekhuis frontaal.

Dekhuizen bestaan uit samengebouwde plaatvelden verstijfd door profielen of in de plaat geperste plooien (lichte wanden). De verstijvingen van de dekhuiswanden lopen verticaal, die van de dekken in breedterichting, dus van zijwand tot zijwand. Deze dekbalken worden gesteund door dragers en wanden in langsrichting. De afmetingen van de buitenwandverstijvingen zullen, per verdieping, naar beneden toe stijgen. Een doorsnede van een willekeurig dekhuis ter plaatse van het navigatiebrugdek is gegeven op pagina 1 van bijlage 2.
Aangenomen wordt dat het dekhuisfront vlak is en over anderhalve verdieping bij de aanvaring betrokken is. De hoeveelheid materiaal wordt voor beide niveaus gelijk verondersteld en er wordt gerekend dat het voorste opbouwdeel zodanig aan de rest bevestigd is dat van een inklemming gesproken kan worden. (Zie figuur 6.)
De langsdragers onder de dekken worden op knik belast. De afmetingen van de dragers zijn echter zodanig dat knik volgens Euler niet voorkomt; bezwijken treedt op doordat de vloeigrens van het materiaal bereikt wordt,

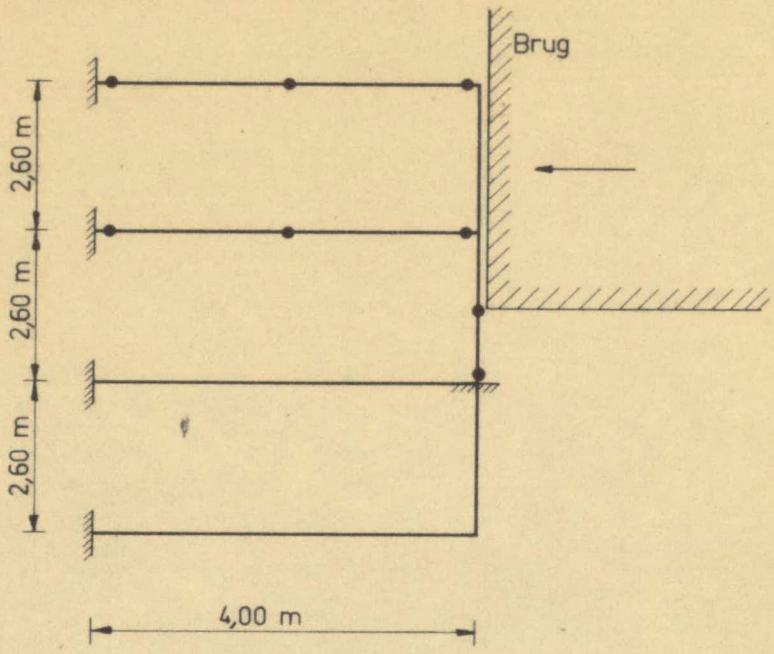


FIG. 6. LANGSDOORSNEDE DEKHUISMODEL MET BEZWIJKMECHANISME.

hier op drie plaatsen per drager tegelijk.
Aangenomen wordt dat het frontdeel langs de zijkant van de brug vlak blijft, dus oneindig stijf is. Een plastisch scharnier (bij buiging) in een plaat-stijl combinatie wordt geacht volledig te zijn wanneer in de beplating de vloeispanning bereikt is. (Zie figuur 7.) Dwarskrachten worden verwaarloosd.

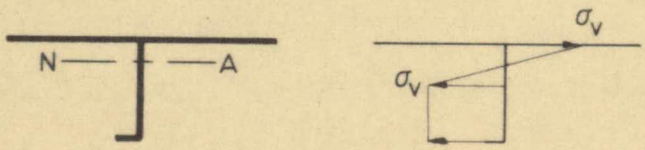


FIG. 7. SPANNINGSVERDELING BIJ PLASTISCH SCHARNIER.

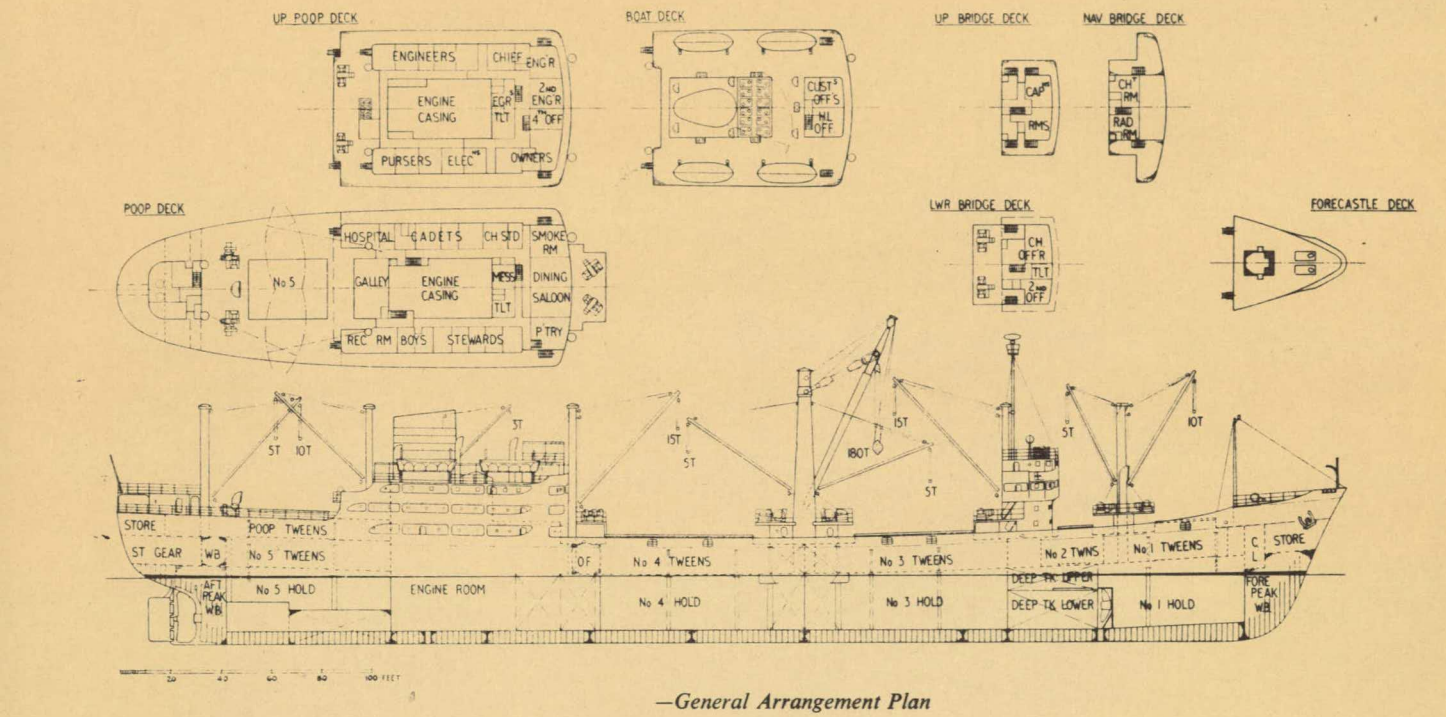
In bijlage 3 zijn de berekeningen uitgevoerd waaruit blijkt dat de belasting nodig voor het eerste stadium van vervormen in dit geval ligt tussen 1000 en 1500 tonf.
Men zou, bij frontale aanvaring kunnen rekenen met 500 tot 1200 tonf per dek, afhankelijk van de plaats van het dek in de opbouw.
Gezien de geringe kracht die nodig is om de plastische scharnieren in de frontstijlen te veroorzaken (5,45 tonf/stijl) en de grote krachten nodig om de dekdragers en gelijkgestelde delen tot bezwijken te brengen (600 tonf/dek) ligt het voor de hand om te veronderstellen dat het dekhuis toch afgeschoven wordt doordat de achterwanden minstens even makkelijk bezwijken als het front.
Dit zou juist zijn wanneer er geen inwendige constructies waren als de machinekamerschacht en langswanden. Deze delen echter zouden in langsrichting zeer grote vervormingen in hun vlak moeten ondergaan voordat de achterwanden van de opbouw aan bezwijken toe waren en het is niet te verwachten dat zoiets gebeurt.
Bij aanvaring onder een hoek (dus niet frontaal) zal de benodigde kracht in eerste instantie kleiner zijn.
In alle gevallen blijft echter gelden dat na het eerste stadium de krachten sterk zullen stijgen door het "schrootpers" effect.

b. Opdrijvende krachten.

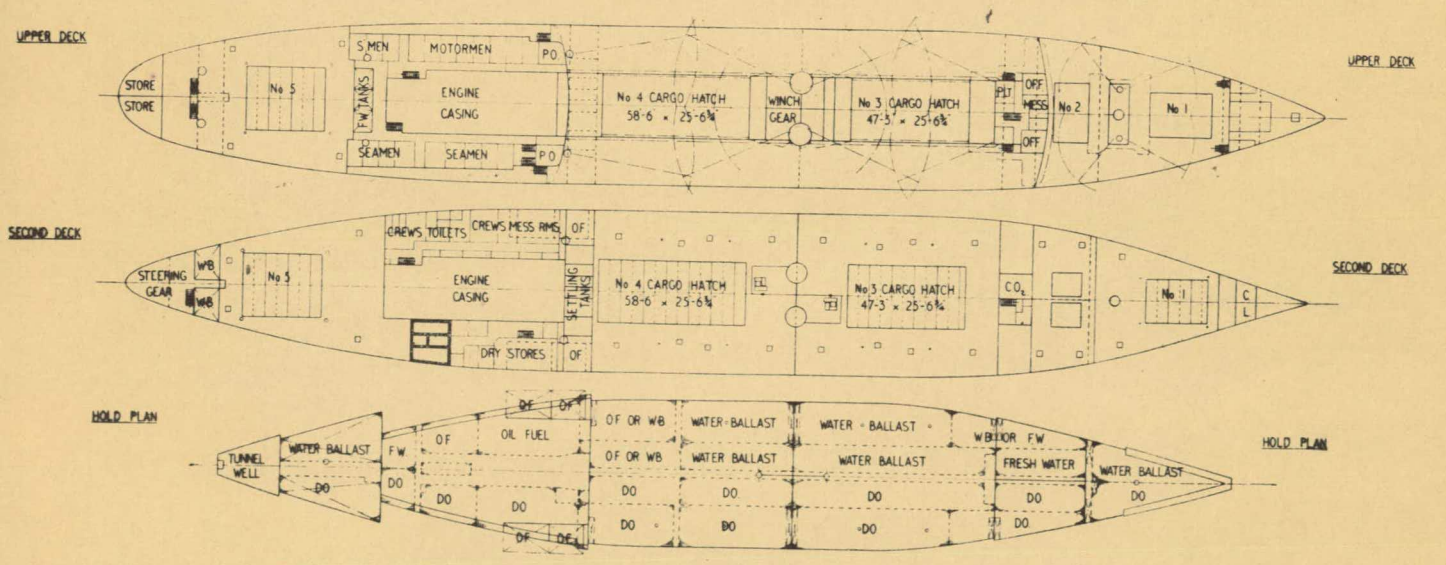
Zoals reeds gezegd zal het schip met het dekhuis klem komen te zitten onder de brug. Als gevolg van het verder opkomen van de vloed, zal het schip mee willen rijzen maar de brug zal dat in eerste instantie verhinderen. Globaal gerekend neemt het draagvermogen per cm extra diepgang (gelijklastige indompeling) voor de betrokken schepen toe met 10 tot 35 ton. Deze getallen groeien met de toeneming van de diepgang. Reken gemakshalve dat ze constant blijven, dan geeft één meter extra diepgang een extra opdrijvende kracht van 1000 tot 3500 tonf. (Exacte gegevens voor elk schip zijn te vinden in de kromme van "tonf/cm indompeling" die voorkomen in het bijbehorende carènediagram.) Een deel van deze kracht zal verdwijnen doordat het dekhuis ingedrukt wordt, maar dat kan nooit zo veel zijn.
Het blijft verder een open vraag of het innemen van ballastwater waardoor het schip dieper komt te liggen mogelijk zal zijn. Aangenomen is dat het dekhuis ongeveer midscheeps ligt en dat het schip niet vertrimt. Voor het geval dat het schip achter of voor klem zit zijn geen cijfers te geven, omdat ze alleen te bepalen zijn met behulp van de kromme "moment/cm trimverandering" uit de carènediagrammen.

c. Zwaar laadgerei.

Een voorbeeld van de opstelling van een zwaar laadgerei is ontleend aan /2/ (figuur 8). Uit de verdere gegevens blijkt dat per mast ongeveer 300 tonf nodig kan zijn om tot omknikken te komen. Dit betreft een schip met 9.250 ton draagvermogen bij maximum toelaatbare diepgang.
Laadgerei op een wat groter schip /3/ met hetzelfde hefvermogen en van hetzelfde type, zal zwaarder uitgevoerd zijn en zal een grotere "bezwijk"-kracht eisen. Er bestaat overigens ook zwaar laadgerei met één enkele mast die natuurlijk aanzienlijk forser gedimensioneerd moet zijn dan de twee masten van het patentsysteem uit ref. /2/.
In het algemeen kan gesteld worden dat de kritische krachten in het geval dat masten en laadgerei in aanvaring met de brug komen, kunnen variëren van enkele tonnen tot ca. 1250 tonf. Hierbij moet nog opgemerkt worden dat de schade aan het schip aanzienlijk zal zijn; niet alleen doordat het neerstorten op dek van masten en laadbomen grote vernielingen kan aan-



—General Arrangement Plan



—continued

Figuur 8.

richten, maar ook doordat ter plaatse van de bevestiging en fundering van de masten alles ontzet zal worden.

---

§ 5. Modelonderzoek.

De moeilijkheden die gepaard gaan aan het opzetten van een modelonderzoek betreffende krachten en vervormingen bij aanvaringen worden uitgebreid besproken door Woisin /3/ die voor zijn beschouwing gebruik gemaakt heeft van 25 literatuurbronnen.

---

§ 6. Conclusies.

Op grond van het voorgaande kan geconcludeerd worden dat, in geval een op drift geraakt zeeschip in aanvaring komt met de brug, de kans op het voorkomen van één of meer van de ondergenoemde gevolgen reëel is.

1) Explosies, branden en verontreiniging van het vaarwater.
2) Kortsluitbranden in dekhuizen.
3) Klemvaren van het schip onder de brug met als gevolg verticale omhoog gerichte krachten op de overspanning bij verder opkomend tij.
4) Ernstig ontzetten of vernielen van een pijler door aanvaring met een sterk uitwaaiend voorschip.

Op grond van het bovenstaande moet dan ook geconcludeerd worden dat een aanvaring tussen een schip en de vaste oeververbinding niet mag kunnen plaatsvinden.

Delft, augustus 1970

Ir. P.A. van Katwijk.

Literatuurverwijzing.

/1/ "Die OCL Containerschiffe der "Bay"-klasse".
Schiff und Hafen, Heft 5/1969, 21e jaarg., pp. 369 + algemeen plan t.o. pag. 372.

/2/ "The Heavy Lift Vessel "Adventurer".
C. Stephenson.
Trans. North East Coast Inst. of Eng. and Shipbuilders, vol. 77.

/3/ "Eine Untersuchung der Ähnlichkeitsgesetze bei Stosschäden, besonders Schiffskollisionen und Kollisionsmodellversuchen".
G. Woisin.
Schiff und Hafen, Heft 11/1968, 20e jaarg., pp. 740 t/m 747.

BIJLAGE 1.

RIJKSWATERSTAAT DIRECTIE BRUGGEN

Voorburg, Kon. Julianalaan 372
Postbus 285
Telefoon Nr. 694131*
Telegramadres: Rijksbruggen
Telex Nr. 31267 rws bruggen, gv.

Aan Prof.ir.J.H.Krietemeijer,
afd. Scheepsbouwkunde,
Technische Hogeschool,
D e l f t.

Uw kenmerk:	Uw brief van:	Ons kenmerk: Nr.: 18117 Afd.: I Bijlagen Terug/Nieuw	VOORBURG, 27 mei 1970

Onderwerp: Oeververbinding Westerschelde.

Hooggeleerde Heer,

Zoals u wellicht bekend is wordt door de overheid een studie gemaakt van de mogelijkheid betreffende een oeververbinding over de Westerschelde.

Een uitvoeringsvorm die hierbij wordt bestudeerd, is de toepassing van een hooggelegen hangbrug over de hoofdvaargeul met in aansluiting daarop toeleidende bruggen over de resterende breedte van de Westerschelde.

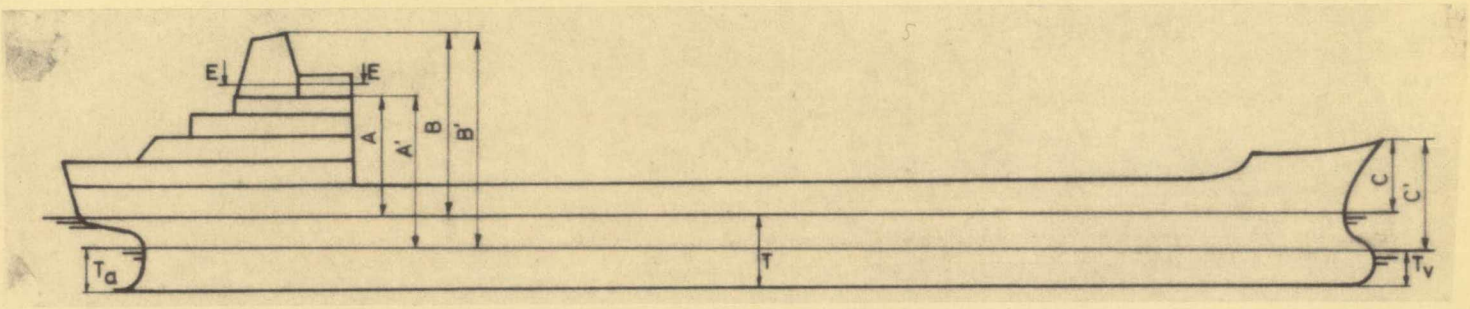
Een probleem dat hierbij moet worden bezien zijn de gevolgen van een op drift geraakt zeeschip, dat via een voldoend diepe nevengeul met de bovenbouw tegen een toeleidende brug zou varen.

De vraag die hierbij rijst betreft de sterkte van de bovenbouw van een zeeschip waarbij gedacht wordt aan schepen met een waterverplaatsing van 15.000 ton tot 60.000 ton in de categorie tankers, bulkcarriers, containerschepen enz.
Gedacht wordt hierbij onder andere aan de kracht, benodigd om zeer grote deformaties aan de bovenbouw van een dergelijk schip te doen ontstaan.

Gaarne zou ik van u vernemen of u mogelijkheden ziet om tot een redelijke benadering van dit probleem te komen.
Indien dit het geval is, verzoek ik u om een en ander met ir. Ypey van mijn dienst te bespreken.

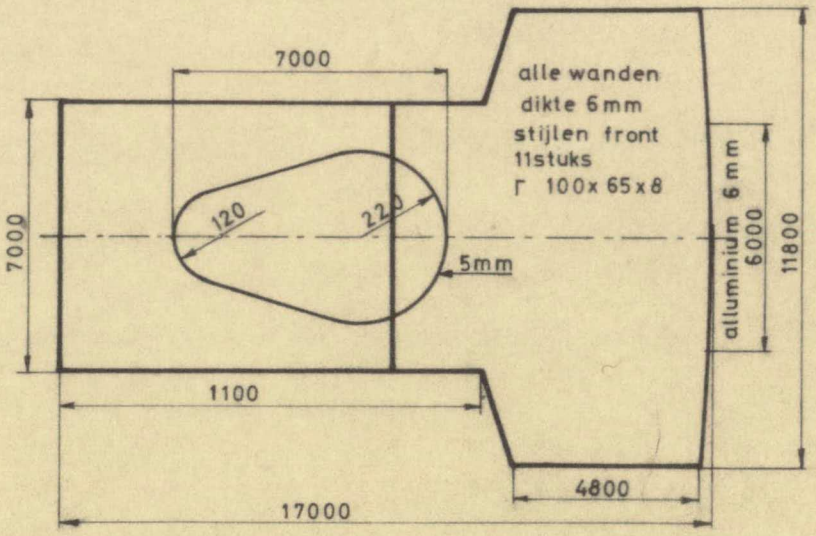
Hoogachtend,

T A N K E R S

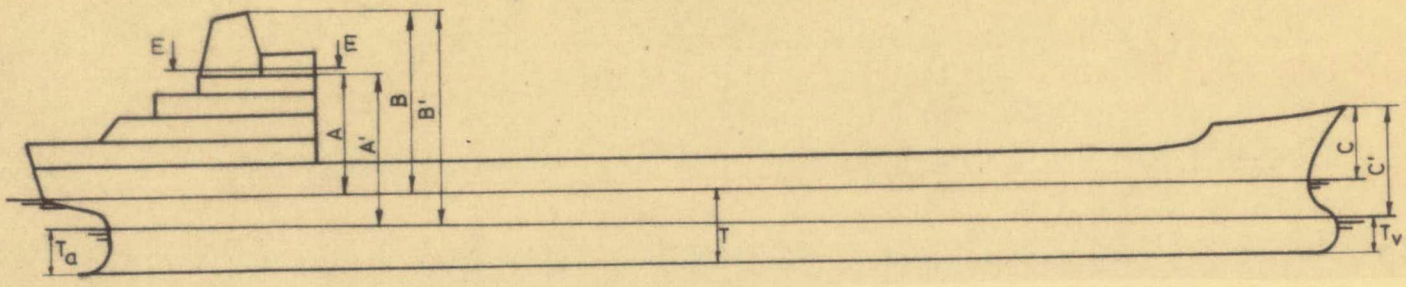


DEADWEIGHT	LENGTE	GELADEN		IN BALLAST	
22.500 ton	164,00 m	A	19 m	A'	24 m
		B	30 m	B'	35 m
		C	10 m	C'	16 m
		T	10,05 m	T_v	4,05 m
				T_a	5 m
56.690 ton	228,00 m	A	16 m	A'	21 m
		B	24 m	B'	29 m
		C	10 m	C'	16,5 m
		T	12,65 m	T_v	6,15 m
				T_a	7 m
91.523 ton	245,00 m	A	18 m	A'	24 m
		B	26 m	B'	32 m
		C	13 m	C'	20 m
		T	14,50 m	T_v	7,5 m
				T_a	8,5 m
146.300 ton	286,50 m	A	22 m	A'	30 m
		B	29 m	B'	37 m
		C	15 m	C'	25 m
		T	17,75 m	T_v	7,75 m
				T_a	8,5 m
210.000 ton	305,00 m	A	25 m	A'	32 m
		B	34 m	B'	41 m
		C	13 m	C'	21 m
		T	16 m	T_v	8 m
				T_a	9 m

DOORSNEDE E-E



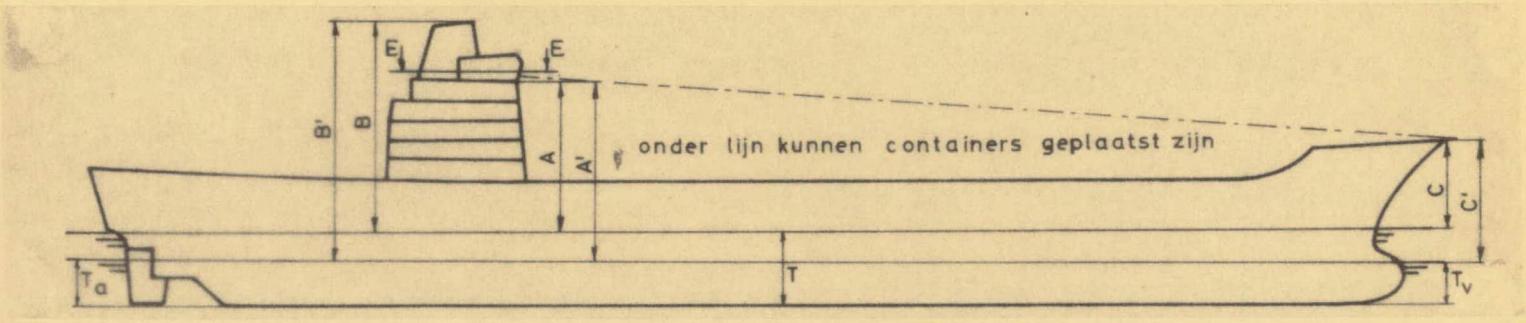
B U L K C A R R I E R S



DEADWEIGHT	LENGTE l.l.	GELADEN		IN BALLAST	
27.890 ton	161,54 m	A	16,5 m	A'	21 m
		B	24 m	B'	28,5 m
		C	10 m	C'	15,5 m
		T	10,5 m	T_v	5 m
				T_a	6 m
33.480 ton	180,02 m	A	15,5 m	A'	19,5 m
		B	23 m	B'	27 m
		C	11 m	C'	16,5 m
		T	10,6 m	T_v	5,1 m
				T_a	6,6 m
54.200 ton	208,18 m	A	20 m	A'	27,5 m
		B	28 m	B'	35,5 m
		C	13 m	C'	21 m
		T	12,92 m	T_v	4,92 m
				T_a	5,42 m
69.250 ton	242,75 m	A	20 m	A'	25 m
		B	27,5 m	B'	32,5 m
		C	13 m	C'	19 m
		T	12,84 m	T_v	6,84 m
				T_a	7,84 m
82.445 m	240,05 m	A	16,5 m	A'	23 m
		B	24 m	B'	30,5 m
		C	12 m	C'	19 m
		T	12,49 m	T_v	5,49 m
				T_a	6 m

* Doorsnede E - E als op blz. 1 "Tankers".

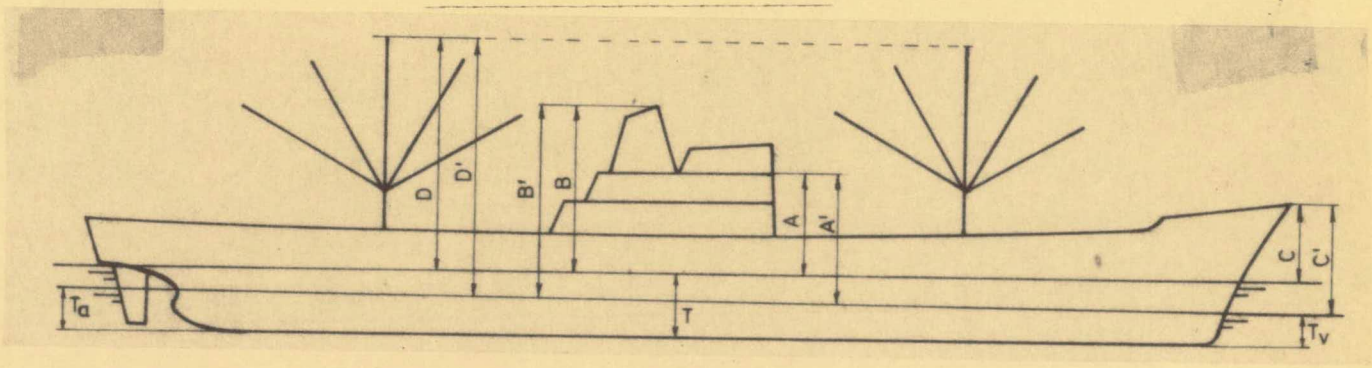
C O N T A I N E R S C H E P E N



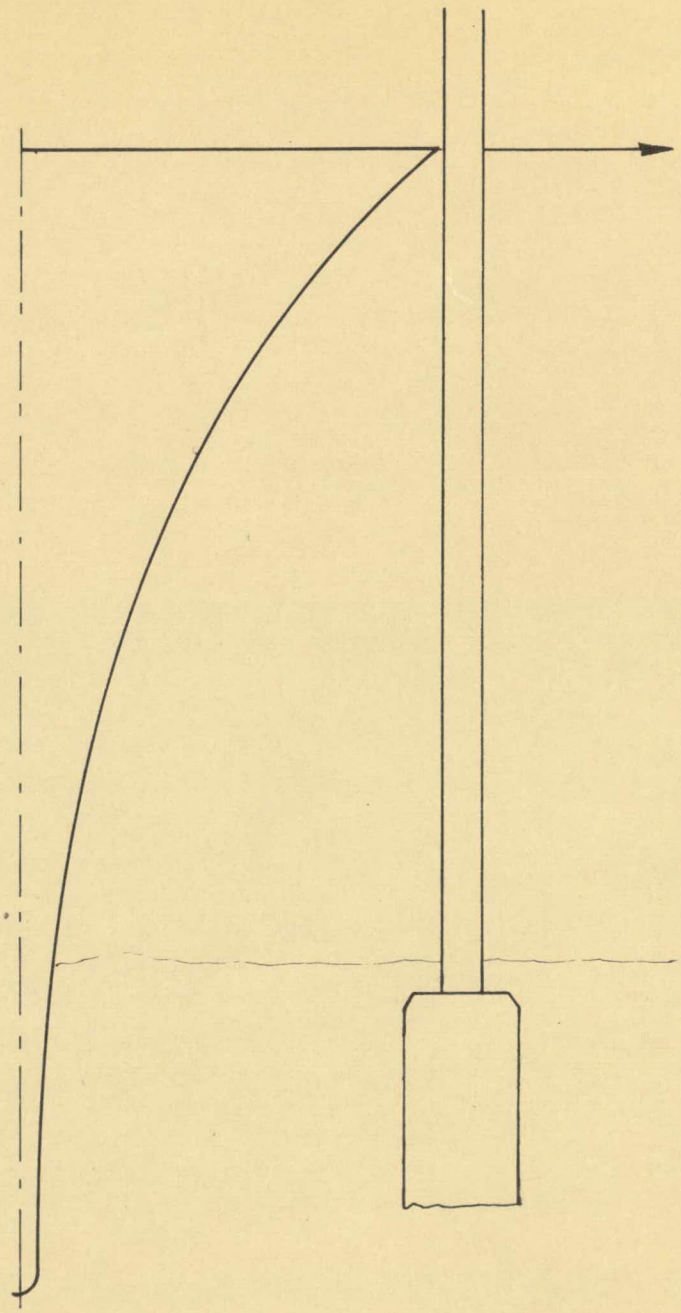
DEADWEIGHT	LENGTE l.l.	GELADEN		IN BALLAST	
11.350 ton	155,00 m	A	17 m	A'	20 m
		B	27,5 m	B'	30,5 m
		C	14 m	C'	18 m
		T	8 m	T_v	4 m
				T_a	5 m
14,700 ton	157,20 m	A*	17 m	A'	21 m
		B	26 m	B'	30 m
		C	10 m	C'	15 m
		T	10,06 m	T_v	5,06 m
				T_a	6,06 m
15.000 ton	183,00 m	A	23 m	A'	26 m
		B	30 m	B'	33 m
		C	13 m	C'	18 m
		T	9,04 m	T_v	4,04 m
				T_a	6,06 m

* Doorsnede E - E als op blz. 1 "Tankers".

V R A C H T S C H E P E N



DEADWEIGHT	LENGTE l.l.	GELADEN		IN BALLAST	
7.950 ton	133,00 m	A	8,5 m	A'	12,5 m
		B	15 m	B'	19 m
		C	6 m	C'	10 m
		D	16 m	D'	20 m
		T	8,22 m	T_v	4,22 m
				T_a	4,22 m
12.500 ton	138,00 m	A	13 m	A'	17 m
		B	20 m	B'	24 m
		C	10 m	C'	14 m
		D	21 m	D'	25 m
		T	9 m	T_v	5 m
				T_a	5 m
16.500 ton	152,38 m	A	14 m	A'	18 m
		B	20 m	B'	24 m
		C	8 m	C'	13 m
		D	22 m	D'	26 m
		T	8,63 m	T_v	3,63 m
				T_a	4,63 m



SPANTVORM ORD.20 V.L.L. (kan nog veel sterker uitwaaien)

Bijlage 3.

Vereenvoudigde berekening van de kritische belasting op een dekhuis.

De afmetingen van het dekhuis zijn ontleend aan de gegevens, vermeld op pag. 1 van Bijlage 2 en de aanvaringssituatie is gegeven in figuur 1 waarin een model van langsdoorsnede is gegeven ter plaatse van een langsdrager onder dek. Aangenomen is dat de langsdragers (2 stuks) in het verlengde liggen van de zijwanden van de machinekamerschacht.
Als langsdrager fungeert ook de hoekverbinding tussen dek en buitenzijwand van het dekhuis, waarvan aangenomen is dat de effectiviteit even groot is als die van de eigenlijke langsdragers.

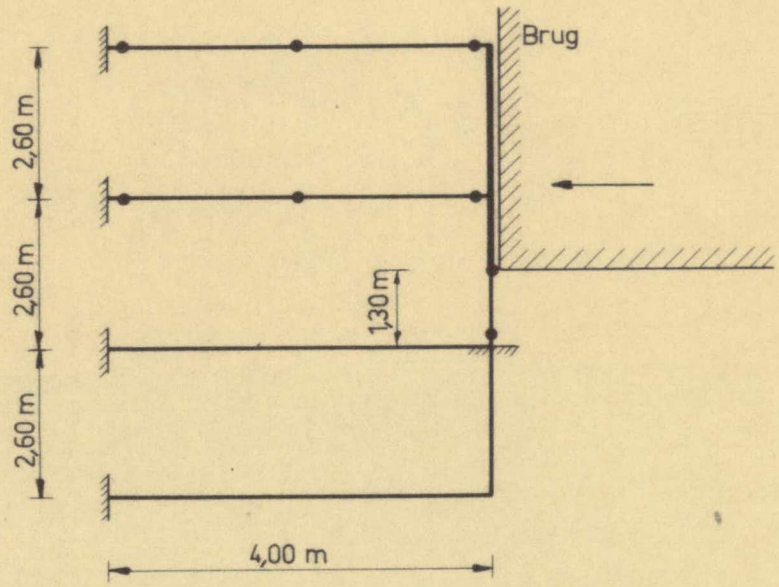
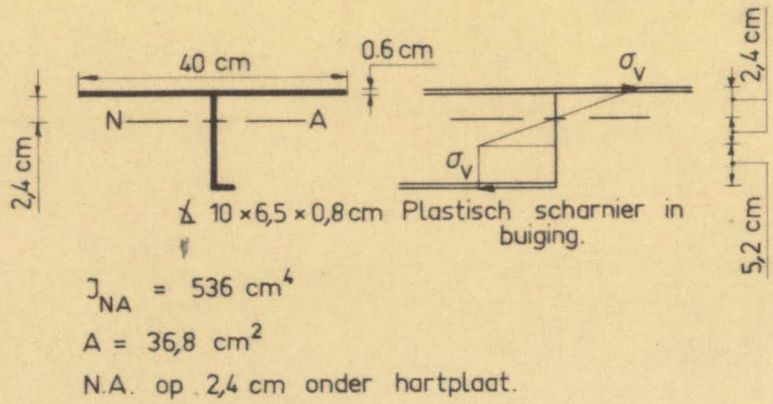


FIG. 1. AANVARINGS SITUATIE VOOR EEN LANGSDOORSNEDE-MODEL VAN EEN OPBOUW.

Van het zwaar gelijnde deel van het dekhuisfront dat langs de flank van de overspanning ligt, wordt verondersteld dat het vlak blijft. (Dus oneindig stijf is.)
Aangenomen is dat er geen ruiten of deuropeningen in het front zijn, dat alles uitgevoerd is in staal met een vloeigrens van 3000 kgf/cm^2 en dat langsdragers en stijlen aan hun einden ingeklemd zijn.
Verder is verondersteld dat de twee betrokken verdiepingen identiek gedimensioneerde verbanddelen hebben.
Het bezwijken van de langsdragers en daarmee gelijkgestelde delen gebeurt door gelijktijdig vloeien over de hele doorsnede. De voor het bezwijken nodige plastische scharnieren ontstaan gelijktijdig.
Het totale oppervlak van doorsnede van de langsdragers kan begroot worden op 200 cm^2 per dek. Voor het bezwijken is dan nodig 600 tonf. per dek.

Wat de frontstijlen betreft, er staan er 11 verdeeld over een breedte van 1180 cm. De stijlafstand bedraagt ongeveer 98 cm, maar van de beplating zal niet meer dan 40 cm effectief zijn als flens voor de stijl als buigbalk.



J_{NA} = 536 cm^4

A = 36,8 cm^2

N.A. op 2,4 cm onder hartplaat.

FIG. 2. PLAAT - PROFIEL KARAKTERISTIEKEN, DEFINITIE PLASTISCH SCHARNIER.

In figuur 2 zijn de relevante gegevens opgenomen en is ook het plastisch scharnier gedefinieerd. Deze definitie geeft een bovengrens voor de maximum belasting doordat de verwaarloosde schuifspanning nog net opgenomen zal kunnen worden.
Op het moment dat de plastische scharnieren gevormd zijn heerst er nog net evenwicht tussen de krachten en de momenten in een frontstijl en de kracht nodig om deze toestand te veroorzaken kan eenvoudig bepaald worden uit de evenwichtsvoorwaarden, nadat het plastisch buigend moment M_p berekend is uit figuur 2.
Het momentenevenwicht eist dat: $\Sigma M = 0$
of

$$P_{kr} \cdot \frac{l}{2} = 2\,M_p \rightarrow P_{kr} = \frac{4\,M_p}{l} \quad . \qquad \text{(Zie figuur 3.)}$$

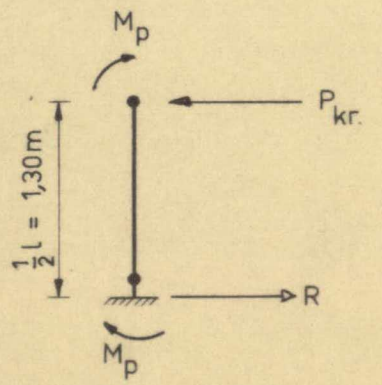


FIG. 3. BELASTINGEN OP EEN FRONTSTIJL.

De berekening van M_p levert M_p = 3,54 m.tonf. en daarmee wordt P_{kr} = 5,45 tonf.

Worden de hoeken van het dekhuis gelijk gesteld aan de stijlen, dan is de totale kracht nodig om het front tot bezwijken te brengen

$$P_{t\ kr} = 13 \times 5.45 = 71 \text{ tonf.}$$

In totaal is dan nodig: 1271 tonf voor het hele voorste dekhuisdeel.

Gezien het grote verschil tussen $P_{t\ kr}$ voor het dekhuisfront en voor één dek, zou de vraag gesteld kunnen worden: Waarom schuift het betrokken deel er niet volledig af? (Zie figuur 4.)

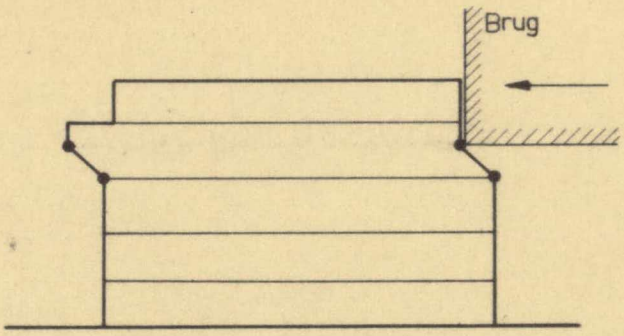


FIG. 4. MOGELIJKE BEZWIJKVORM VAN EEN OPBOUW ZONDER INWENDIGE STIJFHEID.

Deze wijze van bezwijken zou kunnen voorkomen wanneer de opbouw het karakter had van een serie gestapelde dozen.
In werkelijkheid zijn deze "dozen" onderverdeeld door een soort netwerk van wanden en ze bezitten een "ruggegraat" in de vorm van de machinekamerschacht. De totale inwendige stijfheid van de opbouw is groot vergeleken met de stijfheid van de samenstellende panelen. De bezwijkvorm uit figuur 4 zal dan ook, normaal gesproken, niet voorkomen.

Uit figuur 1 blijkt dat de vervormde zone scherp begrensd is verondersteld; in werkelijkheid is daar natuurlijk geen sprake van doordat de aangrenzende constructies niet volledig star zijn en gedeeltelijk mee zullen moeten vervormen waardoor de kritische belasting een hogere waarde zal krijgen. Verder kan de opbouwbreedte naar beneden toe stijgen terwijl ook de afmetingen van de constructiedelen dan zwaarder worden. Omgekeerd kan een opbouw ook lichter uitgevoerd zijn en smaller.
Concluderend kan gesteld worden dat de bezwijkkracht per dek kan variëren van enkele tientallen tonnen tot 1200 tonf al naar gelang de grootte van het dekhuis en de aanvaringshoek.