

INTERNATIONALE PERMANENTE VEREENIGING
VOOR
SCHEEPVAARTCONGRESSEN

XVI^{de} Internationaal Scheepvaartcongres

BRUSSEL 1935

2^o AFDEELING : ZEESCHEEPVAART

3^o MEDEDEELING

Nieuwere voorbeelden van fundeeringen van werken als
kasmuren en sluismuren op slechten ondergrond, invloed
van den grondwaterspiegel en zijne wisselingen. Onderzoek.
Uitslag hiervan.

RAPPORT

DOOR

J. P. Josephus Jitta,

Hoofdingenieur van den Rijkswaterstaat, Utrecht (Holland).



Uitvoerend Bureau-Algemeen Secretariaat
38, Leuvensche Weg, 38
BRUSSEL

**Nieuwere voorbeelden van fundeeringen van werken als
kaaimuren en sluismuren op slechten ondergrond; in-
vloed van den grondwaterspiegel en zijne wisselingen.
Onderzoek. Uitslag hiervan.**

DOOR

J. P. Josephus Jitta,

Hoofdingenieur van den Rijkswaterstaat, Utrecht (Holland).

De benaming « slechte fundeeringsgrond » is relatief. Over het algemeen is men geneigd daartoe alleen maar klei of veen te rekenen, maar ook andere grondsoorten, zooals fijn zand, kunnen beschouwd worden als slechte fundeeringsgrond voor bepaalde bouwwerken. Voor lichte bouwwerken, zooals huizen, zijn zelfs klei of een veenachtige bodem dikwijls voldoende goede fundeeringsgrond als men ten minste zorg draagt, dat de zetting ervan gelijkmatig is, b. v. door ze te fundeeren op een doorgaande betonplaat. Daarentegen is fijne zandgrond wel eens onvoldoende voor fundatie van zware bouwwerken, als ten minste ongelijke zettingen zijn te vermijden. Tot deze groep bouwwerken behooren sluis-
hoofden van groote zeesluizen, die men weliswaar op een doorgaande betonplaat zou kunnen fundeeren, welke tevens de sluisvloer vormt, maar de groote uitgestrektheid van deze platen en de zeer uiteenloopende belastingen, welke een groot plaatdikte zouden vereischen, zou moeilijkheden kunnen veroorzaken. Men zou dan genoodzaakt zijn de sluishoofden door voegen in gedeelten te verdeelen, waaronder sommige licht zullen zijn (de vloeren) en andere zwaar (de muren). Deze elementen zouden ongelijk zet-

ten, hetgeen schadelijk zou kunnen zijn voor de functionneering der sluisdeuren, vooral wanneer deze rol- of schuifdeuren zijn. Er zijn voorbeelden van bouwwerken, welke wat de goede werking der deuren betreft, mislukt zijn door de ongelijke zetting (b. v. een droogdok in het buitenland, waarvan de roldeur niet als zoodanig kon worden gebruikt, omdat de vloer minder was gezet dan de muren en deurkas).

De zettingen zijn vooral veroorzaakt door de stijging van het grondwater in den drooggelegden bouwput, waardoor zich drijfzand kan vormen in de bovenste, wellicht omgewoelde, grondlaag op den putbodem. Zoo is geconstateerd, dat de binnenscheepvaartsluis, onlangs te Zutphens (Eefde) gebouwd aan den ingang van het Twenthe-Rijnkanaal, waarvan de muren op een doorgaande plaat zijn gefundeerd, 5 cm is gezakt ⁽¹⁾ door het opkomen van het grondwater in den werkput na het beëindigen van de bemaling, zulks ondanks het feit dat de ondergrond gemiddeld met niet meer dan 1 kg/cm² werd belast. Men heeft bij het opmaken van de plannen steeds op die zetting gerekend en er bijgevolg maatregelen tegen genomen. Zoo heeft men er tegen gewaakt, dat beton op den damwand rust (men heeft een spleet gemaakt tusschen den damwand en den beton er boven) of er aan vastkleeft (men heeft den damwand, vóór het storten van beton er tegen aan, ingevet).

A. — **Bouwwerken waarvoor ongelijke zettingen niet toelaatbaar zijn**

Paalfundeering. — Indien schadelijke ongelijke zettingen zijn te verwachten, moet fijn zand niet als goede fundeeringgrond worden aangemerkt voor een bouwwerk, dat in een drogen put wordt opgetrokken en het is dan aanbevelenswaardig er een paalfundeering voor toe te passen. Men bereikt daarmee dat het gewicht van het bouwwerk wordt overgebracht naar diepere lagen, welke zich steeds onder dezelfde omstandigheden zullen bevinden, d.w.z. doortrokken met water vóór, gedurende en na

⁽¹⁾ Volgens inlichtingen verstrekt door den ingenieur van den Rijkswaterstaat Ir. A. Eggink.

het bouwen van het kunstwerk en welke niet zullen zetten, vooropgesteld dat de palen niet overbelast zijn.

Voordeelen van paalfundeeringen. — Paalfundeeringen onder sluishoofden kunnen zelfs ook voordeelig zijn indien een fundeering op staal er voor gewettigd zou zijn, en wel om de fundatie-plaat te kunnen verdunnen en daardoor de diepte van den bouwput te verkleinen.

Ter toelichting diene het volgende :

Tegenwoordig bestaat de neiging een fundatieplaat te beschouwen als opgelegd op een elastische onderlaag of om ten minste aan te nemen, dat de reactie van den ondergrond niet gelijkmatig is verdeeld en het grootst is ongeveer ter plaatse waar de doorbuiging het grootst is. Het spreekt vanzelf, dat deze veronderstelling niet gestand kan worden gedaan als het bouwwerk zet door het opkomen van het grondwater in den tijdelijk drooggelegden bouwput. Daarom is het beter de fundatieplaat te beschouwen als oneindig stijf, hetgeen bovendien gemotiveerd is, wanneer men bedenkt, dat de berekening aanwijst, dat het dikteverschil niet groot zal zijn (een groot gedeelte van den opwaartschen druk tegen het bouwwerk wordt veroorzaakt door dien van water, welke wel gelijkmatig is verdeeld).

Indien een paalfundeering wordt toegepast, kunnen de paalreacties zoodanig worden geconcentreerd, dat er gemiddeld onder de muren, die zwaar zijn, meer palen per m² staan, dan onder de vloeren, die licht zijn. Het buigingsmoment van de fundatieplaat is zoodanig door de plaats der palen beïnvloed, dat de voordeeeligste vloerdikte kan worden verkregen door de palen doelmatig te plaatsen.

De sluizen van het nieuwe kanaal, dat Amsterdam met den Rijn zal verbinden (het Amsterdam-Rijnkanaal), waarvoor een paalfundeering is ontworpen, en waarvan de hoofden en schutkolk-muren op doorlopende platen zijn gefundeerd, zijn volgens genoemd bezinsel ontworpen.

Het aantal palen en de juiste plaats ervan zijn berekend onder beschouwing van de voorwaarden van het evenwicht. De daarbij gemaakte veronderstelling, dat de vloerplaat oneindig stijf is, is des te verder van de waarheid verwijderd, des te dunner

zij is en dus des te slapper. De vervormingen van de plaat zullen zich ondertusschen vanzelf nivelleeren.

Indien de palen los onder den vloer staan, er dus niet met wapeningsijzer aan zijn verbonden, zal de dwarsdoorsnede over de sluis zijn als in fig. 12, rechts, geteekend voor het geval het water in de schutkolk laag staat en het grondwater achter de muren hoog. Het bouwwerk zou dan alleen rusten op de middelste palen, hetgeen toelaatbaar is, omdat in dit geval het gewicht ervan sterk is verminderd door den opwaartschen waterdruk onder den vloer, welke laatste correspondeert met den grondwaterstand in de omgeving (zie fig. 12, rechts). In dat geval zal het overwicht der muren en de wrijving daarvan met den grond er achter het oplichten van de vloeruiteinden tegenwerken.

Daarentegen zal de sluisvloer in het midden opbuigen. indien de grondwaterstand lager is dan het water in de sluis, hetgeen zal worden tegengewerkt door het gewicht van het water op den vloer, den verminderden opwaartschen waterdruk en den passieven gronddruk achter de muren.

Aangezien het bouwwerk niet steeds op dezelfde palen rust, is het aanbevelenswaardig deze niet aan den vloer te verbinden ten einde de zekerheid te hebben dat de palen onder het vloer-gedeelte, dat opbuigt, niet met den vloer omhoog gaan en misschien naderhand, bij omkeering van de belasting, niet weer in hun oorspronkelijken stand terugkomen. De palen van genoemde sluizen zijn niet door wapeningsijzer aan den vloer verbonden.

Behalve het voordeel, dat de vermindering van de vloerdikte en de voorkoming van ongelijke zettingen bieden, kan als voordeel worden genoemd, dat het bij paalfundeeringen niet noodig is den onderkant van het bouwwerk overal op hetzelfde niveau te leggen. Wanneer de overgang in hoogteligging van de fundeering plotseling is, moet een voeg in den beton worden ontworpen, tenzij bij de berekening rekening wordt gehouden met het verschil in elasticiteit van lange palen en korte.

Nadeelen van paalfundeeringen. — Het groote nadeel van paalfundeeringen is de vergroote mogelijkheid van onderloop-schheid, omdat zich tusschen den onderkant van het bouwwerk

en den ondergrond een spleet kan vormen door het inklinken van den ondergrond, vooral als deze uit zand bestaat en door het inspuiten van de palen is omgewoeld ⁽¹⁾.

Dit nadeel is onschadelijk te maken door korte houten damwanden aan te brengen als extra-voorziening tegen onderloop-schheid.

Maar er volgt uit een ander nadeel nl. dat men niet mag rekenen op de wrijving tusschen het bouwwerk en den ondergrond voor het opnemen van horizontale krachten. Men moet dus overstaande muren tegen elkander stempelen of gebruik maken van schoorpalen.

De fundeering op betonpalen van de onlangs voltooide groote schutsluis te Ijmuiden (de Noordersluis) is volgens bovenstaande beginselen ontworpen [zie fig. 1, de muren D en B, N, O₃ en R, O₁ en O₅ ⁽²⁾].

Schoorpalen heeft men moeten toepassen onder de muren, waartegen de deuren bij waterkeering steun vinden. De schoorpalen zijn ingeheid onder 3 : 1, zoodat het gewicht van de muren ten minste drie maal zoo groot moet zijn als de horizontale belasting om te vermijden dat de muren bij het naar voren komen door de palen worden opgelicht (altijd onder verwaarloozing van de wrijving met den grond achter de muren, waarop niet steeds is te vertrouwen).

Bij de toepassing van een paalfundeering met schoorpalen onder 3 : 1 is het niet noodig aan het bouwwerk een grooter gewicht te geven dan bij fundeering op staal, omdat het gewicht, na aftrek van den opwaartschen waterdruk, ook in het laatste geval driemaal zoo groot moet zijn als de er op uitgeoefende horizontale kracht, zulks in verband met de grootte van den wrijvingscoëfficiënt (1/3) tusschen den onderkant van het bouwwerk en den ondergrond (de wrijving met den grond achter het bouwwerk is weer verwaarloosd).

De hoofden van de sluisen van het in aanbouw zijnde Amsterdam-Rijnkanaal zijn ook zoodanig ontworpen, dat zij weer-

⁽¹⁾ In Ijmuiden zijn gedurende den bouw van de groote Schutsluis aldaar, spleten van ongeveer 8 mm geconstateerd.

⁽²⁾ Fig. 1 is overgenomen van *De Ingenieur*, n^o 1 van 1928.

stand kunnen bieden aan de horizontale krachten, welke er door de deuren op kunnen worden uitgeoefend. Men heeft de bovenhoofden gestempeld tegen de schutkolken en onder de binnenhoofden schoorpalen onder 3 : 1 ontworpen. Om te vermijden, dat de moten, waarin de schutkolken zijn verdeeld, zich onder invloed van den waterdruk tegen de bovendeuren verplaatsen, is zorggedragen, dat de verschillende moten nauw tegen elkander rusten, hetgeen wordt bereikt door ze om den ander te vervaardigen, de vloeren onmiddellijk na het storten onder water te zetten en te houden en door de voegen niet-elastisch te maken (dus geen asfaltlaag in de voegen).

De sluishoofden van de Noordersluis te Ijmuiden konden geen van beiden beschouwd worden als te zijn gestempeld tegen de schutkolkmuren, omdat deze laatste op een veel hooger peil zijn gefundeerd en men niet de zekerheid heeft, dat de moten, waarin die muren zijn verdeeld, zich niet als een harmonica ten opzichte van elkander zouden verplaatsen, waardoor voor de bovineinden der palen onder de hoofden ontoelaatbare verplaatsingen zouden ontstaan.

Toe te laten belasting op een paalfundeering. — Het is niet gemakkelijk te zeggen, welke belasting op een paalfundeering is toe te laten. Hetgeen volgt uit een proefbelasting van één paal, is geen maatstaf voor de toe te laten belasting op een palenbos, omdat hetzelfde gedeelte van den grond dat één paal zou hebben te dragen er de belasting van meerdere zou moeten opnemen. Op een palenbos mag men niet meer toelaten dan men op staal zou doen, in de veronderstelling dat de ondergrond zand is. Weliswaar is het peil nabij de paalpunten lager dan dat van den onderkant van het bouwwerk, en is de grond ter plaatse van nature altijd zwaarder belast geweest, maar men moet niet vergeten, dat die lager gelegen grondlagen behalve het bouwwerk ook de palen en den grond er tusschen hebben te dragen. De toegelaten belasting van den ondergrond is te Ijmuiden (Noordersluis) nergens grooter geweest dan 40 ton per m², terwijl de palen elk afzonderlijk bij uitzondering tot 60 ton zijn belast. Dezelfde grenzen zijn voor de sluisen van het Amsterdam-Rijnkanaal resp. 35 t en 45 t, dus lager en wel omdat de ondergrond

te Ijmuiden van nature zwaarder belast is geweest dan bij de sluizen van genoemd kanaal.

Indien een fundeering wordt toegepast op lange palen op een terrein, hetwelk kan inklinken (b. v. een grondverbetering of een aanaarding) moet er op worden gerekend, dat de samendrukbare grond aan de palen blijft hangen en deze de neiging zullen vertoonen met den grond mede te zakken (zoogenaamde « negatieve kleeft »). In dergelijke gevallen moet men voor de berekening der fundeering rekening houden met de belasting, door den klinkenden grond veroorzaakt. Heeft men met een palenbos te doen, dan weet men dat die belasting voor in de kern staande palen een weinig kleiner zal zijn dan het gewicht van den grond er tusschen, gedompeld in water (s. g. 0,9). Men heeft dan in die kern meer palen noodig, dan normaal en het is dan zeer goed mogelijk, dat men niet met houten palen uitkomt, omdat deze niet voldoende zwaar kunnen worden belast. Om te vermijden dat de palen langs den omtrek van het palenbos, waarvoor men de grootte van den negatieven kleeft niet bij benadering kent, worden overbelast, kan het aanbevelenswaardig zijn nog een rij palen om de groep heen te heien, uitsluitend om negatieven kleeft op te nemen. Deze palen zullen vermoedelijk gedeeltelijk buiten het kunstwerk zijn geplaatst, maar men bereikt er door dat alle palen onder het bouwwerk tot de « kern » van de groep zullen behooren.

Paallengten. — De toe te laten paalbelasting is ook van de paallengte afhankelijk. Men kan aannemen, dat korte palen alleen op hun punt dragen. Zij kunnen des te meer dragen des te compacter de ondergrond nabij het peil der paalpunten is samengeperst. Men moet vermijden, dat het zand ter plaatse bij het belasten der palen kan omhoogkomen, hetgeen kan worden bereikt door den grondlaag samengeperst te houden. Daarom moet die onderlaag voldoende zijn belast door den grond er boven, zoodat de palen niet al te kort mogen zijn om aan dien grond een voldoende gewicht te geven.

Kortere palen te gebruiken dan 5 à 6 m is niet aan te bevelen. Een een weinig toegespitste paalpunt [b. v. een punt van 0,50 m

lengte, gevormd door zijvlakken, onder 1 : 10 convergeerend ⁽¹⁾] kan de compressie van den ondergrond vergrooten.

Als de fundeeringsdiepte veranderlijk is, is het aan te bevelen de paalpunten alle op hetzelfde peil te houden of in elk geval geen grootere helling aan het vlak door de paalpunten te geven dan 1 : 8, afhankelijk van den afstand tusschen de palen, en wel om te voorkomen, dat de door den eerstgeheiden paal samengeperste grond door het inspuiten van den volgenden wordt ontlast.

In Nederland is de toe te laten belasting op betonpalen over het algemeen niet grooter dan 40 à 60 ton en op houten palen dan 10 à 12 ton (bij extra-zware houten palen 18 à 20 ton). Ten einde de toe te laten belasting op betonpalen te verhoogen, geeft men ze wel eens een gepatenteerde punt, welke een grootere doorsnede heeft dan de paal zelve.

Indien de paalpunten in een grove zandlaag staan, kan men er een grootere belasting op toelaten dan wanneer de paalpunt tot in fijn zand of leemachtig zand reikt.

De doorsnede van een betonpaal is over het algemeen berekend naar een betonspanning van 40 kg/cm² (zonder rekening te houden met het wapeningsijzer) en die van een houten paal naar een spanning van 40 à 50 kg/cm² aan de punt. Bovendien moet rekening worden gehouden met de transportmogelijkheden, met het oplichten van den paal vóór het inheien en moet men de knikzekerheid controleeren, welke vooral voor houten palen van belang kan zijn.

Peil van de paalpunten. — Over het algemeen is het verkieselijk palen tot in vaste grondlagen te heien, hetzij tot in grof zand of grindzand of grind en alleen rekening te houden met kleef, als de vaste grond niet is te bereiken. Er bestaat de neiging speciale palen te construeeren om den kleef te vergrooten (b. v. *De Ingenieur*, n^o B 49 van 1934, artikel van Ir. M. van Daalen). In elk geval moet men nimmer rekenen op puntweerstand, wanneer de palen tot in een kleilaag reiken, al is deze wellicht zeer hard, omdat klei niet in staat is b. v. 40 kg/cm² op te nemen, welke door de paalpunt er op zou worden overgebracht.

(¹) Toegepast in Ijmuiden en bij het Amsterdam-Rijnkanaal.

Een goede ondervinding is opgedaan met fundeeringen op palen, welke reiken in een ongeveer 1,50 m dikke zandlaag, die op haar beurt op een harde kleilaag rust (kademuur te Vlissingen en te Harlingen). De door de palen samengeperste zandlaag verdeelt den paalddruk in dat geval gelijkmatig over de geheele oppervlakte van de kleilaag.

B. — Bouwwerken, waarvoor ongelijke zettingen toelaatbaar zijn

Kademuren en schutkolkmuuren. — De keuze van de fundatie van kade- of schutkolkmuuren is niet afhankelijk van eventueel te verwachten ongelijke zettingen. Zand is voor zulke bouwwerken steeds goede fundeeringsgrond te achten. Toch worden kade- of schutkolkmuuren veelal ondanks de goede kwaliteit van den ondergrond op palen gefundeerd, b. v. om een diepen droog te houden bouwput te vermijden.

Indien de bouwgrond niet geschikt is voor fundeering op staal, zooals weke klei of veen, zou men de muren op palen kunnen fundeeren of op caissons van gewapend beton, welke voor het eerst te Rotterdam zijn toegepast. De laatste fundeeringswijze gaat meestal samen met het maken van een grondverbetering hetgeen voor een paalfundeering meestal kan worden gemist. In elk geval moet de ondergrond voor caissons voldoende vast zijn voor het dragen daarvan. Een grondverbetering geeft geen andere bezwaren, dan dat deze gedurende geruimen tijd inklinkt. Ten einde zoo min mogelijk van de ongelijke zettingen te bemerken, wordt de grondverbetering meestal voorbelast met zand. Deze methode is vrij kostbaar, omdat het ballastzand weer moet worden verwijderd voordat de caissons kunnen worden geplaatst (Rotterdam, voorheen). Daarom worden de caissons ook wel dadelijk op de grondverbetering geplaatst en worden zij zoo ongunstig mogelijk belast, b. v. door kunstmatige verhooging van den grondwaterstand er achter (Rotterdam, de laatst gebouwde kademuur). De muren worden na de eerste zetting op de caissons gebouwd, maar men moet toch gedurende meerdere jaren rekenen op nieuwe zettingen.

Keuze van fundatiemethode. — Of een fundeering op palen of op caissons moet worden toegepast hangt van meerdere omstandigheden af. De groote voordeelen van caissons zijn, dat geen drooge fundeeringsput wordt vereischt en dat de massa van de muren grooter wordt (geschikt tegen schokken van schepen). Het groote nadeel is dat men gebruik moet maken van een droogdok (of scheepshelling) om de caissons te bouwen, hetwelk soms op het ééne werk moet worden afgeschreven (zie Dordrecht).

Ten einde de massa der op palen gefundeerde muren te vergrooten is het aanbevelenswaardig de vloerplaat laag te plaatsen, hetgeen tevens de voordeelen geeft van een grooten passieven gronddruk achter den muur (grootere weerstand tegen schokken) en van een kleinere lengte van palen en damwanden.

Men bezigt caissons indien een muur moet worden gebouwd in open water en wanneer moeilijkheden zijn te verwachten met het drooghouden van een diepen fundeeringsput.

Indien een diepe fundeeringsput moet worden gebaggerd om de caissons te kunnen plaatsen, zullen de gevorderde grondwerken soms zoo omvangrijk zijn, dat een muur op palen goedkoper zal zijn (de schutkolk muren van de Noordersluis te Ijmuiden).

Berekening in verband met de constructie. — Wat de berekening van muren op palen betreft, b. v. volgens de methode van Nokkentved, moet worden opgemerkt, dat de vloerplaat als oneindig stijf wordt aangenomen. Indien zij dit niet is, normaal geval, zullen de werkelijke paaldrukken niet met de berekende overeenkomen. Een doorbuiging van de vloerplaat van één enkele millimeter zou verschil in paaldruk geven van ongeveer 18 ton (paaldoorsnede 1.000 cm², paallengte 12 m). Over het algemeen hindert dat geenszins. In het ergste geval zullen de overbelaste palen een weinig verder in den grond worden gedrukt, hetgeen over het algemeen zonder uit te knikken mogelijk is, of zullen zij iets uit den grond worden getrokken.

Het spreekt echter vanzelf, dat de vervormingen van de vloerplaat niet al te groot mogen zijn. Een groote stijfheid blijft geboden. De berekening zal uitwijzen of het noodig is de plaat met ruggen o. a. te verstijven, dan wel of de vloerplaat in de richting van het front van den muur steeds dikker zal moeten worden.

Plaats van den damwand. — De damwand wordt geplaatst hetzij aan de voorzijde van den muur, hetzij aan de achterzijde of daar tusschenin. De voordeelen van een plaatsing vóór de palen zijn, dat de grond tusschen de palen wordt vastgehouden en nimmer een schadelijken druk tegen de palen zullen geven, en dat deze voor zout water zijn beschermd (houten palen zijn dus tegen den paalworm beschermd, betonpalen tegen roestvorming ter plaatse van de nimmer geheel te vermijden scheurtjes) en ten slotte dat men den muur, door onder het achtergedeelte geplaatste trekpalen kan verankeren in den grond achter den muur. De nadeelen zijn, dat men gedwongen is aan de palen onder het voorste muurgedeelte een kleine helling te geven, zoodat deze niet in staat zijn een groote horizontale kracht op te nemen, terwijl zij juist door het kipmoment het zwaarst worden belast (de damwand moet vrijwel telood worden geheid om te voorkomen, dat hij door schepen wordt geraakt) en dat de lengte der damplanken maximaal zal zijn. Dit laatste nadeel kan worden verlicht door de vloerplaat ter plaatse naar onderen uit te bouwen (zie Ijmuiden en Vlissingen « schort »).

Wat de berekening van de damwanden betreft kan worden opgemerkt, dat de gronddruk er tegen aan veel kleiner blijkt te zijn, dan volgt uit de theorie van Coulomb (volgens Deutsche onderzoekingen $\frac{2}{5}$ van de waarde). Ir. Zweers (zie Amsterdam) zet uiteen, dat men moet rekenen op silodruk.

Draag- en trekpalen. — Voorts rijst de vraag of alleen draagpalen moeten worden toegepast, dan wel deze in combinatie met trekpalen.

Alvorens deze vraag te beantwoorden, moet men zich reenschap geven van de taak der palen.

De draagpalen ontleenen hun vermogen om horizontale krachten te kunnen opnemen aan hun verticale belasting. Als een schoorpaal helt onder 3 : 1, moet de verticale belasting ten minste 3 x de op te nemen horizontale kracht bedragen om te voorkomen, dat de paal op buiging wordt belast, waardoor de muur vooruit zou komen. Als de verticale belasting niet voldoende groot is, kan het naar voren komen van den muur worden tegengegaan door trekpalen te gebruiken, welke dan op trek zul-

len zijn belast. Daardoor kunnen zij rechtstreeks een horizontale kracht opnemen (de horizontale component van de trekkracht) en bovendien vergrooten zij de belasting van de draagpalen (de verticale component van de trekkracht), waardoor deze op hun beurt een grootere horizontale kracht kunnen opnemen.

Door de toepassing van trekpalen bereikt men dus :

- a) Dat de muur verankerd wordt in den achtergrond ;
- b) Dat het muurgewicht in verhouding tot de horizontale kracht, welke moet worden opgenomen, kleiner kan worden, hetgeen beteekent : vermindering van muurbreedte ;
- c) Dat de muur zich niet gedurende den bouw achterwaarts zet vóór de aanaarding onder het schadelijk op buiging belasten van de palen. In dit geval zijn de trekpalen tijdelijk draagpalen geworden.

Deze voordeelen geven een duidelijk antwoord op de hierboven gestelde vraag. Het voorbeeld van den muur op palen, hierna beschreven, welke geen trekpalen heeft gekregen, is gedurende den bouw geen succes geweest (zie fig. 4, muur te Rotterdam), omdat hij begonnen is met achterwaarts te zetten en daarna voorwaarts.

In verband met het kippmoment van den muur, waardoor de achterste palen het minst zullen worden belast, is het aan te bevelen den trekpaal juist onder het achterste muurgedeelte te plaatsen. Daardoor wordt bovendien het groote voordeel verkregen, dat de muur goed in den achtergrond wordt verankerd, welke grond niet met de andere palen mee naar voren zal komen, indien de muur daartoe de neiging zou vertoonen, en het ondergeschikte voordeel, dat de paalkruisingen plaats vinden in het bovenste paalgedeelte.

Aangezien men in Holland op gewone betonpalen ongeveer 50 t belasting toelaat en een trek van ongeveer de helft, kan in het algemeen worden gezegd, dat, indien de helling van alle palen dezelfde is, een trekpaal dezelfde capaciteit heeft om aan horizontale krachten weerstand te bieden als een draagpaal (in de eerste plaats, rechtstreeks, de horizontale component van de verticale belasting van den trekpaal en in de tweede plaats de horizontale component van den overdruk door hem op de draag-

palen gegeven). Trekpalen mogen niet te kort zijn. In Nederland neemt men wel eens aan, dat zij een trek kunnen opnemen van 2 ton per m² oppervlakte, zonder rekening te houden met een zekerheidscoëfficiënt ⁽¹⁾. Naar mijn meening geldt dit niet voor de bovenste meters, omdat aldaar de grond vrijwel geen druk op den paal zal uitoefenen en dus een te verwaarloozen wrijving zal veroorzaken.

Ten slotte moet worden opgemerkt dat het, wat betreft de toe te laten trek op trekpalen, een groot verschil maakt of sprake is van enkele trekpalen of van een bos (groep). In het laatste geval zal de kern van het bos nimmer een grooteren trek kunnen opnemen, dan het gewicht, onder aftrek van opwaartschen waterdruk, van den grond, welke aan de palen kan hangen en van deze palen zelve, zoo die zwaarder zijn dan water.

Bovenste muurgedeelte. — Het bovenste gedeelte van den muur moet worden gemaakt, nadat de grootste zettingen hebben plaats gehad, hetgeen alleen van belang is voor muren op caissons. Vroeger gaf men aan den bovenmuur een achterwaartsche helling van 20 : 1. Tegenwoordig wordt de voorkant verticaal gehouden of achterwaarts hellende onder 1.000 : 1, om te voorkomen, dat de schepen tegen het onderste muurgedeelte stooten (Rotterdam).

Veelal wordt de beton beschermd door houten balken, verankerd in den beton. Het is niet aan te bevelen uitsluitend verticale of uitsluitend horizontale balken te gebruiken. Men moet beide soorten combineeren om beschadiging door schepen te voorkomen. De horizontale balken moeten met den voorkant enkele cm's achter dien van de verticale blijven om te voorkomen, dat zij door de schepen worden uitgerukt, wanneer deze op of neer gaan door den wisselenden waterstand of door hun veranderlijke diepgang gedurende het laden of lossen (Terneuzen). Het is aan te bevelen de balken zoodanig in sponningen in het beton te plaatsen, dat zij er niet veel buiten steken, zulks om beschadiging tegen te gaan.

Soms maakt men gebruik van houten drijfvlotten (Ijmui-

⁽¹⁾ Zie *De Ingenieur*, b. 45 van 1934, artikel van Ir. C. FRONX.

den). Om beschadiging van den beton door uitschuring door de vlotten te voorkomen, laat men ze langs verticale balken van hard hout glijden. De vlotten worden door kettingen, waaraan een gewicht hangt, op hun plaats gehouden.

Te Rotterdam heeft men bij de laatst gebouwde muren gebruik gemaakt van verticale granieten banden om den beton te beschermen. Deze steken een weinig buiten den beton uit. Vroeger plaatste men voor de caissons met hellend voorvlak een houten remmingwerk, evenwijdig aan den voorkant. Maar deze werden begrijspelijkerwijze dikwijls beschadigd. Toch is het aan te bevelen om hout te gebruiken als tusschenschakel tusschen den muur en de schepen (bescherming van de schepen tegen beschadiging).

Grondwaterstand achter de muren. — Het essentiele verschil tusschen schutkolkmuur en gewone kademuren, wat betreft de grondwaterstand er achter, is, dat het peil van het water voor eerstgenoemde zich snel wijzigt (vulling of lediging van de kolk) en voor laatstgenoemde langzaam. Toch blijkt het grondwater, ook achter schutkolkmuur, het water voor de muren niet in belangrijke mate te volgen. In een publicatie in *Die Bau-technik* van 17 November 1933, waarin sprake is van een meting in het eb- en vloedgebied, toont de schrijver aan, dat de wijzigingen van den grondwaterstand veel kleiner zijn dan van den waterstand vóór den muur (zie ook fig. 5, Rotterdam, rechts).

Wanneer het terrein achter den muur van nature of kunstmatig, naar het achterland gedraineerd is, kan men er op rekenen, dat de grondwaterstand wisselt met dien van het langs den oever gelegen achterland. Dit geldt ook voor schutkolkmuur (b. v. Ijmuiden, zie fig. 2, rechts).

Indien men terreinen achter muren draineert, moet er op worden gerekend, dat de draineeringen verstopt kunnen geraken. Daarom moet men ze met zorg samenstellen en moet op de mogelijkheid ze te vernieuwen worden gerekend.

Bij het ontwerpen van de draineering van het terrein achter schutkolkmuur moet er op worden gerekend, dat er zich mogelijk schadelijke stroomingen door kunnen vormen (achterloopschheid). Daarom heeft men de draineering van de terreinen

achter de schutkolkmuuren van de Noordersluis te Ijmuiden samengesteld uit hoopen grind, op 23,80 m onderlingen afstand (dus één hoop achter elke muurmoot). Om te voorkomen dat het fijne duinzand van boven af in de draineeringen dringt en deze daardoor zullen verstopen, heeft men de grindhoopen eerst met een laag grindzand afgedekt en daaroverheen een laag grof zand aangebracht. Elke hoop is bij laag water in open verbinding met de kolk.

Ondertusschen schijnen draineeringen van muren niet bijzonder belangrijk.

C. — Voorbeelden van kademuren, welke in den laatsten tijd in Holland zijn gebouwd op een slechten fundeeringsgrond

Ijmuiden. De schutkolkmuuren van de Noordersluis te Ijmuiden. — Men heeft overwogen de muren te fundeeren op caissons. Een kleilaag, waaronder een veenlaag met den onderkant op maximaal 19 m — N.A.P. ⁽¹⁾ is oorzaak, dat de caissons nog lager zouden moeten reiken. Zulks zou een grooten bouwput en een enorme aanaarding met zich medebrengen. Daarom zijn in dit geval muren op palen minder kostbaar en bijgevolg tot uitvoering gebracht.

De muren, welke geen riolen, noch spruiten bevatten, zijn feitelijk gewone kademuren op palen (fig. 2). Om de paallengte te verminderen en de massa van den muur te vergrooten (schokken door schepen) heeft men de fundeeringsplaat gelegd op 7,50 m — N.A.P. Om de lengte van de betonnen damplanken te verminderen heeft men onder de vloerplaat een verdiept gedeelte gemaakt, dat « schort » genoemd is. Toch hebben de damplanken nog een dikte van 0,53 m verkregen en heeft men ze niet als dragend element kunnen beschouwen. Daarom reiken de damplanken minder diep dan de palen.

De palen hebben den doorsnede van $0,38 \times 0,30$ m, zulks in verband met hun helling (0,30 m in de lengterichting van den muur). De proefpalen waren voorzien van een punt, maar breken daardoor onder het heien. De punten zochten nl. een andere richting dan die van het spuitgat, zoodat zij braken omdat zij

⁽¹⁾ N.A.P. = 0 te Amsterdam.

door den paalmuts eenerzijds en de kleilaag anderzijds werden vastgehouden. Na de proefheing heeft men de paalpunten weg-gelaten en heeft men de spuiten door aan de palen bevestigde beugels in de richting van de paalas geleid.

Op de palen is 50 t belasting toegelaten.

De muur boven de 1 m dikke vloerplaat is door een dikken frontmuur gevormd, verstijfd door ruggen van 1,60 m dikte, voorkomende op 5,60 m h. o. h. De lengte der muurmoten is 23,80 m. Hoewel de frontmuur slechts licht is bewapend, zijn er geen scheuren in te constateeren.

De afdekking van de muren is gevormd door granieten dekzerken, aan den voorkant afgerond met een straal van 0,20 m, zulks om beschadiging van de scheepstrossen te voorkomen, en ook beschadiging van het graniet door die trossen.

Voor het oog zijn alle alignementfouten door de dekzerken geëlimineerd. De dekzerken zijn vóór de aanaarding gelegd en vertoonen thans geen fouten, ook niet t. o. v. de sluishoofden, zoodat de conclusie kan worden getrokken, dat geen zetting heeft plaats gehad.

Het front van de muren is beschermd door drijfvlotten van oregon-pine, welke geleid worden langs verticale groenharthouten balken, gesteund door horizontale. De balken steken slechts weinig buiten den beton uit.

De grondwaterstand achter de muren is door draineering laag gehouden (zie fig. 2). De buis is afgesloten met een Armco-Calco-klep. Achter de buis is een hoop van eenige m³ grind). Voor de berekening heeft men aangenomen, dat de grondwaterstand op N.A.P. ligt. Volgens de waarnemingen is hij vrij constant en ligt op 0,20 m — N.A.P. (fig. 2, rechts onder fig. 3).

De schutkolk kan niet worden drooggelegd ; de bodem is beschermd door zinkstukken.

De hoek van natuurlijk talud is voor droog zand aangenomen als zijnde 40° en voor nat zand als zijnde 24°.

In het midden van elke schutkolkmoet is op 3 m uit den dag een bolder aanwezig, berekend op 40 t. Andere bolders, berekend op 125 t, zijn geplaatst op 18 m uit den dag der muren.

Deze groote kracht wordt niet op de muren overgebracht, maar door ankers van gewapend beton opgenomen.

Amsterdam. Kademuur van de Coenhaven (fig. 3). — (Overzicht van een artikel van de hand van den ingenieur van gemeentewerken B. Zweers, gepubliceerd in *De Ingenieur* van 1935.)

De muur bestaat uit een betonplaat, breed 13,30 m, dik 0,50 m, rustende op houten palen. Aan de waterzijde van den muur rust een 0,16 m dikke houten damwand tegen een doorgaande richel, onder de vloerplaat uitgebouwd, met den onderkant op 4 m — N.A.P.

Per meter zijn er 16 zware palen, welke op 1 m van boven een middellijn hebben van 0,32 m en op 1 m van de punt van 0,17 m.

De draagpalen zijn met 20 t belast, de trekpalen met 10 t.

Vóór het berekenen van den muur heeft men het diagram vastgesteld van den actieven gronddruk, zooals geteekend in fig. 3. Men heeft aangenomen, dat de aanaarding van den muur (van 3,50 m — tot 1,50 m +) bestaat uit zand en dat de terreinbelasting 4 t per m² bedraagt. De wrijvingshoek voor den grond boven 3,50 m — is aangenomen als zijnde 30° en onder dat peil als zijnde 27°.

De waterstand voor den muur gaat slechts weinig op en neer en dan nog zeer langzaam, zoodat niet is gerekend op een horizontalen waterdruk tegen den muur.

De paalreacties zijn berekend volgens de methode van Nokkentved, waarbij is verondersteld dat de vloerplaat oneindig stijf is, dat alle palen dezelfde elasticiteit hebben en dat de damwand niet draagt.

Als verticale belasting is aangenomen het gewicht van den beton en van de aanaarding boven de fundatieplaat, benevens de terreinbelasting daarboven. Als horizontale kracht op de fundering is aangenomen die tegen den muur zelve, verhoogd met den horizontalen gronddruk tegen het gedeelte onder 3,50 m — N.A.P., op de vloerplaat overgebracht door de palen en den damwand, waarbij is verondersteld, dat deze stijf zijn ingeklemd op 12,50 m — N.A.P.

Wat de verdeeling betreft van den gronddruk over de palen, en over den damwand, heeft men aangenomen, dat de horizontale druk door den grond onder de vloerplaat gelijkelijk door alle palen wordt opgenomen. Daarna heeft men de doorbuiging der palen berekend. Indien men vervolgens de doorbuiging berekent van den damwand zonder rekening te houden met den gronddruk, maar alleen in de veronderstelling dat de grond geborgen is in een silo, gevormd door den damwand en de paalrij daar onmiddellijk achter, vindt men dat deze doorbuiging grooter is dan die der palen, veroorzaakt door den gronddruk. Bijgevolg wordt de damwand zeker niet zwaarder belast dan door den zoogen. silodruk en wordt de overige gronddruk opgenomen door de palen en den grond daartusschen in.

Indien de gronddruk in dwarsrichting van den muur niet gelijkelijk over de palen is verdeeld, hetgeen veroorzaakt zou kunnen zijn door de lage aanvangspanning van den grond tusschen de palen, zullen de achterste palen horizontaal zwaarder worden belast dan de andere, zoodat bovenstaande stelling des te meer geldt.

Rotterdam. — De onderdirecteur van Plaatselijke Werken te Rotterdam, de Hoofdingenieur Ir. L. J. van Dunné, deelt voor dit rapport ongeveer het volgende mede :

De schutkolkmuren van de Parksluizen

Men heeft 480 m muur gebouwd. De peilen zijn :

Diepte van de groote sluis	4,00 m — R.P. ⁽¹⁾
Diepte van de kleine sluis	3,00 m — R.P.
Dekzerhoogte	3,50 m + R.P.
Waterstand beneden de sluizen	0,20 m + R.P.
Schutpeil	3,20 m + R.P.
Terreinhoogte, oorspronkelijk	1,00 m + R.P.
Terreinhoogte, toekomstig	4,50 m + R.P.

De gevolgen van het opspuiten van zand op de terreinen achter de muren is aangegeven in fig. 4 ; het opgebrachte zand

⁽¹⁾ R.P. = 0,00 m te Rotterdam.

zakte weg tot op 12 m, en schoof de weeke grondlagen zijwaarts uit.

De goede fundeeringsgrond begint eerst op 16 m — R.P., zoodat een paalfundeering is aan te bevelen.

Men heeft twee fundatiemethoden onderzocht, nl. een met een vloerplaat welke gelijk ligt met den sluisbodem en een volgens fig. 4. Bij het eerste type kunnen de muren den er op uitgeoefenden horizontalen druk opnemen dank zij het feit, dat zij op elkander zijn gestempeld. Om de muren volgens het tweede type bestand te maken tegen de er op werkende horizontale krachten zijn vele schoorpalen noodig.

Het tweede type is goedkooper en is bijgevolg gekozen.

De berekening is gebaseerd op :

P = muurgewicht + aanaarding op den muur + bovenbelasting van het terrein + trek aan den damwand ;

H = horizontale grond- en waterdruk achter den muur ;

M = moment van P en H, genomen over den voorkant van de vloerplaat.

De verticale zetting van een muur (x), de horizontale zetting (y) en de verdraaiing (z) zijn functies van P, H en M. De verticale componenten van de paaldrukken zijn lineaire functies van x , y en z en dus ook lineaire functies van P, H en M.

Om H te verminderen is de muur door puin gedraineerd, welke draineering correspondeert met gaten in de vloerplaat. De gaten worden door gummiballen afgesloten als het water voor den muur hooger staat dan het grondwater. Niettemin heeft men gerekend op een waterdruk, welke correspondeert met een niveauverschil van 1,50 m en op een met water doortrokken zandlaag boven den grondwaterstand van 1,50 m dikte.

Volgens berekening waren de zettingen toelaatbaar en de paaldrukken overschreden 10 t niet.

Toen men bezig was den bouwput te graven in de omgeving van den muur, vertoonde de grond achter den muur neiging zich te verplaatsen. Er volgt niet, dat de theorie van Coulomb, volgens welke de muren waren berekend, niet opging. Een andere berekening, volgens de glijvlakken volgens Kreij, gaf grootere waarden voor H. Er volgde ook een grootere trekkracht aan

den damwand uit. De zettingen en paalreacties bleken ook grooter, zoodat men moest besluiten alle paalkoppen geschikt te maken voor het opnemen van trekkrachten, zoodat men Bulldogkramplaten heeft moeten gebruiken om den damwand aan den beton te verbinden.

Voorts heeft men de schoorpalen achterwaarts verplaatst. Ten slotte is het ontwerp geworden als geteekend in fig. 4.

Nadat de bouwput gegraven was tot op het peil van 0,50 m, begon men den muur te bouwen. Daarna traden de eerste zettingen, waartegen maatregelen moesten worden genomen, op.

Nauwelijks had men de schutkolk van de groote sluis met water gevuld, of de muren weken 1,5 à 2 cm naar achteren ; maar na eenigen tijd hield de beweging van de muren op.

De oostmuur van de kleine sluis is gedurende langen tijd vooruit gekomen onder invloed van de groote hoogte van de anaarding. De grootste verplaatsingen zijn 15 cm.

De ondervinding heeft geleerd, dat een grondverbetering, welke door opspuiten is aangebracht, integendeel met een grondverslechtering begint. Eerst nadat de grondaanvulling na vele jaren voldoende is geklonken, heeft de verbetering aan zijn doel beantwoord.

Kademuren, gefundeerd op caissons, langs de Merwehaven.

— Deze muren (fig. 5) zijn gebouwd tusschen 1928 en 1932. Zij bestaan uit :

1912 m muur met een diepte van 12 m onder laagwater (L. W.),

1125 m muur met een diepte van 10 m onder L. W.,

1225 m muur met een diepte van 8 m onder L. W.

De aard van den bouwgrond was zoodanig, dat een grondverbetering aan het plaatsen van de caissons moest voorafgaan. Vast zand bevindt zich eerst op 18 m — R. P.

Men is begonnen met de weeke grondlagen weg te baggeren en te vervangen door grof zand, gebaggerd in de rivieren. Fig. 5 toont het profiel van den muur van 12 m diepte, met de grondverbetering.

Wat de berekening betreft, kan het volgende worden opgemerkt.

De gronddruk is volgens de methode Coulomb berekend. De hoeken van natuurlijk talud zijn 30° voor nat zand en 40° voor droog zand. Hoewel aan de achterzijde van de caissons ribben zijn gemaakt om de wrijving met den grond er achter te verhoogen, is de gronddruk voor de berekening toch horizontaal aangenomen. De druk van de grondvulling van de caissons tegen haar wanden is berekend door haar vakken te beschouwen als silo's. De wrijvingshoek tusschen zand en beton is daarbij 15° aangenomen. Bovendien heeft men aangenomen, dat het terrein achter de muren door goederen belast kan worden met 4 t per m^2 en dat de beide bolders op elke caissoneenheid van 40 m lengte elk met 75 t loodrecht op den muur zijn belast.

De stabiliteit is voor twee gevallen onderzocht :

- a) het peil van het water vóór de muren is zeer laag, 0,50 m — R. P. (zelden is het peil lager) en de grondwaterstand achter de muren is dan 1 m + R. P.
- b) de waterstanden wederzijds van de muren zijn 4 m + R. P.

In het gewapend beton zijn betonspanningen toegelaten van 50 kg/cm^2 en ijzerspanningen van 1.200 kg/cm^2 . De betonsamenstelling van de caissons is 1 cement op 1 1/2 grof zand en 2 1/2 grind en van de muren boven de caissons 1 : 2 : 3.

De resultante van alle op de muren werkende krachten, inclusief het gewicht, blijft, volgens berekening, onder alle omstandigheden binnen de kern van het grondvlak en maakt een hoek van 20° met het verticale vlak. De grootste druk van de muren op den ondergrond is 40 t per m^2 .

De zettingen zijn sedert de voltooiing van de muren geregeld gecontroleerd. Er is uit de controle gebleken, dat de bovenkant van de muren gemiddeld 1,53 cm en maximaal 7 cm is vooruitgekomen, terwijl de zakking gemiddeld 3,25 cm bedraagt en maximaal 7 cm.

Fig. 5 toont tevens het verschil van de waterstanden, welke voor en achter de muren zijn waargenomen.

Dordrecht. Kademuur te Dordrecht (fig. 6). — Uittreksel uit een artikel van Ir. H. Versteeg in *De Ingenieur* n^o Bl. van 1929.)

Eenige jaren geleden heeft men te Dordrecht een zeehaven

aangelegd. Van de daarbij gebouwde kustwerken dienen de aanlegsteiger van gewapend beton en een kademuur te worden genoemd. Daar men te Dordrecht niet de beschikking heeft over een droogdok of scheepshelling voor het maken van de caissons, heeft men allereerst overwogen een aanlegsteiger te bouwen gefundeerd op betonpalen. Maar men is tot het maken van een fundeering op caissons overgegaan toen bleek, dat de gemeente Rotterdam, in de nabijheid gelegen, genegen bleek haar speciaal voor het maken van caissons gebouwde droogdok te verhuren.

De voordeelen van de toegepaste fundeeringwijze waren :

- a) de grootst mogelijke weerstand tegen schokken van schepen;
- b) de grootst mogelijke snelheid van uitvoering, want men kon beginnen te bouwen (in het dok) voordat de grondverbetering voltooid en voldoende geklonken was;
- c) de mogelijkheid de caissons later te verplaatsen, als gewijzigde omstandigheden zulks noodig zouden doen worden (secundair voordeel).

De caissonlengte is 40 m, de verstijvingen zijn 0,15 of 0,20 m dik en de frontwand 0,30 m.

De caissons zijn met zand gevuld. De bovenmuur is van stampbeton, bekleed met basalt en voorzien van verticale houten balken.

De zetting van den steiger was normaal (zie Rotterdam). Men heeft enkele malen het er op rustende kraanspoor moeten ophalen.

Dat de kademuur niet op palen maar op caissons is gefundeerd komt alleen, omdat hij toevallig door denzelfden aannemer is gebouwd.

Voor de berekening hebben de volgende aannamen en gegevens gediend :

terreinbelasting door opgeslagen goederen	5.000 kg/cm ²
hoek van natuurlijk talud voor vochtig zand	40° ;
en voor nat zand	27° ;
soortelijk gewicht van vochtig zand	1,6 ;

soortelijk gewicht van nat zand 1,9 ;
wateroverdruk : van 0,50 m + tot 1 m + N. A. P. (1).

Hoewel de terreinbelasting vaak sterk wordt overschreden, houdt de muur zich goed.

Vlissingen. Kademuur te Vlissingen (fig. 7). — (Uittreksel uit een publicatie van Ir. W. H. Brinkhorst, hoofdingenieur van den Rijkswaterstaat, in *De Ingenieur* n^r 36 van 1928).

Eenige jaren geleden is er te Vlissingen een kademuur gebouwd.

Men had voorprojecten gemaakt voor een fundatie met behulp van samengeperste lucht, op putten, op palen en op caissons. Die beide eerstgenoemde ontwerpen gaven een te kostbare oplossing. Caissons zijn niet toegepast omdat het aanwezige spoorwegemplacement het baggeren van een voldoende diepe sleuf verhinderde.

In beginsel is de muur gelijk aan dien besproken onder « IJmuiden ». De damwand wordt niet verticaal belast, hetgeen bereikt is door tusschen dezen en den beton er boven een spleet te maken. Bovendien zijn maatregelen genomen, dat de damwand, welke van beton is, niet overbelast raakt, wanneer de muur iets vooruit komt. Om scheuren van de damplanken te voorkomen is er voor gezorgd, dat er geen inklemmingsmoment van eenige beteekenis kan ontstaan.

De palen zijn achthoekig (ingeschreven cirkel met een middellijn van 0,40 m) en zijn van een korte punt voorzien. Er is 50 t belasting op toegelaten. De vloerplaat is 0,70 m dik en verstijfd door 0,50 m dikke ruggen, gelegen op 2,80 m h. o. h.

De vrees, dat de muur met palen en al over de kleilaag er onder zou gaan glijden, is oorzaak, dat de aanlegbreedte van den muur zeer groot is geworden (dus groot muurgewicht, waardoor een lage wrijvingscoëfficiënt wordt vereischt). Het was niet, zooals te IJmuiden, mogelijk de palen door de kleilaag heen te slaan.

Het front van den muur is door verticale groenharthouten balken, aangebracht op 3 m h. o. h., beschermd.

(1) N.A.P. = 0 te Amsterdam.

De muur is in het geheel niet gezet.

Terneuzen. Kademuuren te Terneuzen (fig. 8, 9, en 10). — (Ir. P. Stelling, ingenieur van den Rijkswaterstaat te Terneuzen deelt ongeveer hetgeen volgt mede) :

a) In 1930 heeft het Rijk een kademuur laten bouwen aan den oostoever van het kanaal Gent-Terneuzen. Zijn lengte was 205 m, en hij is gemaakt voor schepen met 7 m diepgang. De muur is gefundeerd op houten palen. De damwand, eveneens van hout, is achter den muur aangebracht. De muur is in moten van 26 m lengte verdeeld. De palen zijn 12 en 13 m lang en hebben een middellijn van 0,30 m van boven en 0,175 m van onderen. Er is te Terneuzen geen paalworm.

De bovenkant van den muur draagt een kraanspoor, dat geschikt is voor wioldrukken tot 21 t. De voormuur is verstijfd met ruggen van 0,10 m dikte, welke dikte aangroeit tot 0,60 m nabij den bovenkant van den muur.

In het midden van elke moot is een gegoten ijzeren bolder aangebracht. Ter plaatse is de rug 0,60 m dik.

De voorkant van den muur is beschermd door horizontale en verticale groenharthouten balken.

De muur is in een drogen bouwput gebouwd achter den voormaligen kanaaldijk. Na zijn voltooiing heeft men de grond voor den muur weggebaggerd, waarna de grond tusschen de palen vanzelf grootendeels verdween.

De muur heeft f. 700 per m gekost (1930).

De grondwaterstand van den polder naast het kanaal is ongeveer 2 m onder K. P. ⁽¹⁾.

Voor de berekening is de grondwaterstand achter den muur op K. P. aangenomen, maar men heeft waargenomen, dat dit peil is overschreden, te wijten aan het breede nietgedraineerde opgehoogde terrein ter plaatse.

De gronddruk is berekend volgens de theorie van Coulomb.

De toe te laten paalbelasting is 12 t.

b) In 1920 en 1921 heeft het Rijk in de zuiderhaven een 230 m lange kademuur laten bouwen, geschikt voor schepen met 8 m

⁽¹⁾ K.P. = kanaalpeil.

diepgang (fig. 9). De muurdoorsnede toont veel overeenkomst met die onder *a* beschreven. De mootlengte van den muur is 38 m. De grootste paallengte is 13 m, de paalmiddellijn als onder *a*. Het kraanspoor is achter de in betonblokken verankerde bolders gelegen.

Ook deze muur is in een droogen bouwput gebouwd.

c) In 1930 heeft « la Société Néerlandaise de l'Azote », gelegen aan een zijhaven van het kanaal Gent-Terneuzen, een kademuur laten bouwen, lang 250 m, geschikt voor schepen met een diepgang van 8 m (fig. 10).

De muur toont veel overeenkomst met die beschreven onder *a* en *b*. De lengte der moten, waarin hij is verdeeld, bedraagt 50 m. De grootste paallengte is 14 m (middellijn 0,29 m boven en 0,14 m onder).

De bovenkant van den muur draagt een kraanspoor, berekend op wioldrukken van 22,25 ton (de asafstand der wielen is 2,50 m). De bolders zijn op de verstijvingsruggen geplaatst.

De trekpalen zijn met 3,5 t belast ; de damwand neemt een verticale kracht van 2 t per m op. De draagpalen zijn met maximaal 10 t belast.

Harlingen. Kademuur te Harlingen (fig. 11). — Uittreksel uit een publicatie van Ir. J. Moll, hoofdingenieur v. d. Rijkswaterstaat, in *De Ingenieur* n^r 37 van 1933, waaraan ook fig. 11 is ontleend.)

Om een slecht gefundeerden ouden kademuur te vervangen, heeft het Rijk in 1932-1933 een nieuwen muur vóór den ouden gebouwd, geschikt voor schepen van 6 m diepgang.

Het ontwerp is door de aannemers, die daartoe waren uitgenoodigd, opgemaakt. Van de 13 ontwerpen was er één met caissons en één met houten palen. Alle andere waren gegrondvest op een fundeering van palen van gewapend beton. Van deze waren er vier met een damwand achter den muur en één zonder damwand. Het ontwerp met caissons is niet aanvaard, omdat de teendrukken te groot waren en omdat het niet mogelijk was een bouwdok of scheepshelling in te richten voor de vervaardiging

der caissons, zonder het aanwezige spoorwegemplacement te hinderen.

De muur-moten zijn 23 m lang.

Voor de berekening van den muur is een zekerheidscoëfficiënt van 1,4 aangenomen voor alle denkbare evenwichtstoornissen.

YMUIDEN NOORDERSLUIS.

FIG. 1A

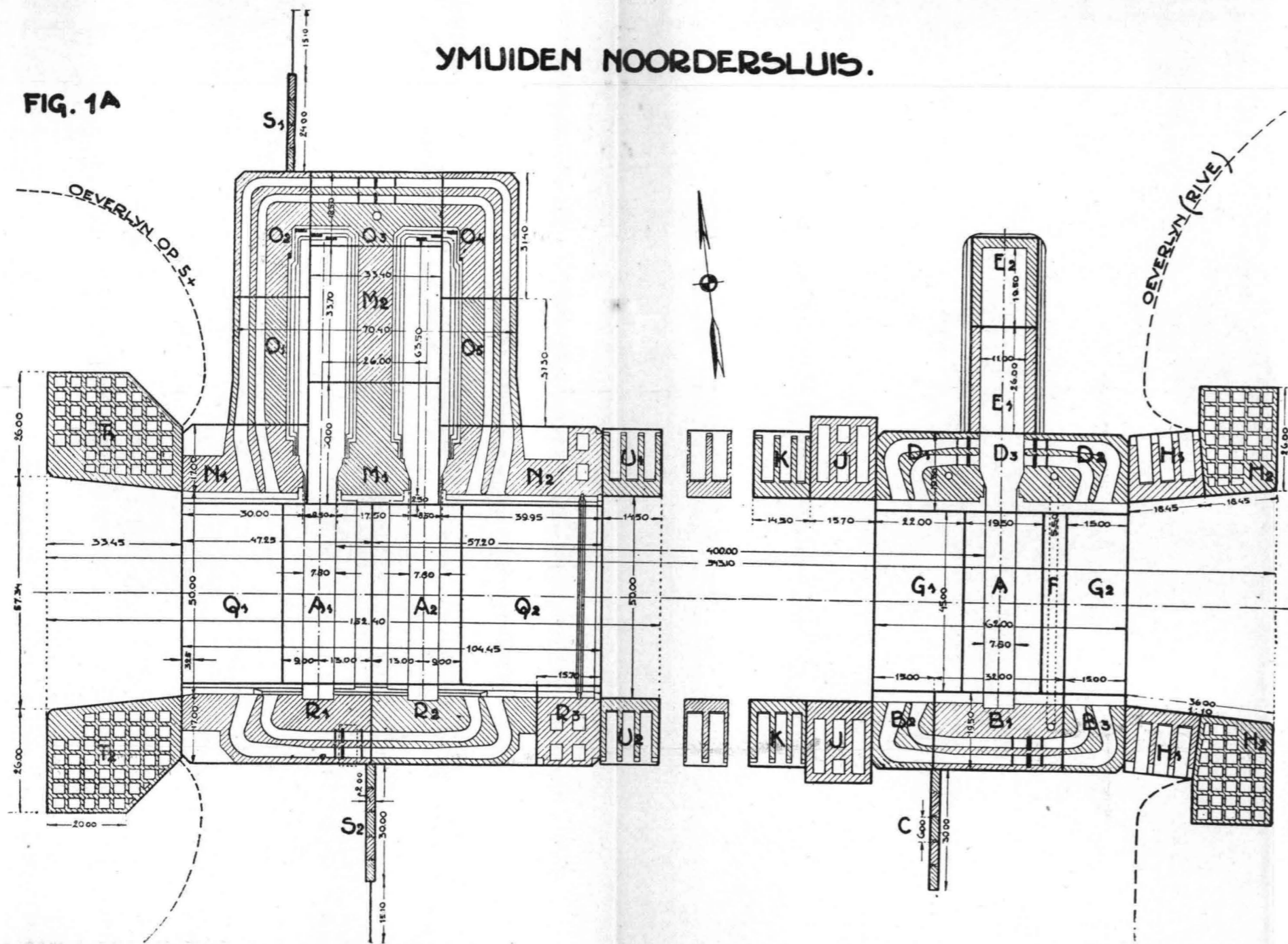


FIG. 1B

