

Vervormingsmetingen in een zinkerbuis onder de Nieuwe Maas

1. Doel van het onderzoek

De afgelopen jaren is de bodem van de Nieuwe Maas over vrijwel de gehele lengte van Rijksweg opgehoogd teneinde een barrière op te werpen tegen de tengevolge van haven-uitbreidingen en riviermondverdieping sterk toegenomen indringing van zeewater.

Het gevolg was, dat bestaande waterleidingzinkers van de Drinkwaterleiding Rotterdam veel dieper onder de rivierbodem kwamen te liggen, waardoor de oorspronkelijke belangstingssituatie sterk werd veranderd. Een aantal zinkers is dan ook door nieuwe vervangen; boven andere is in de opgehoogde rivierbodem een sleuf uitgespaard, die door regelmatig baggeren moet worden onderhouden.

Om een indruk van de belastingstoestand te verkrijgen bij een verhoogde grondlast zijn theoretische berekeningen gemaakt. De uitkomsten hiervan zijn echter tamelijk onzeker, omdat enkele materiaalconstanten van de grond rond de zinkers niet kunnen worden bepaald, waaronder die, welke de samendrukbaarheid van de grondlagen weergeven. Er moest daarom worden uitgegaan van veilig geschatte waarden. Bij de ongebruikelijk grote gronddekking heeft dit grote invloed op de berekende gronddruk op de zinkers.

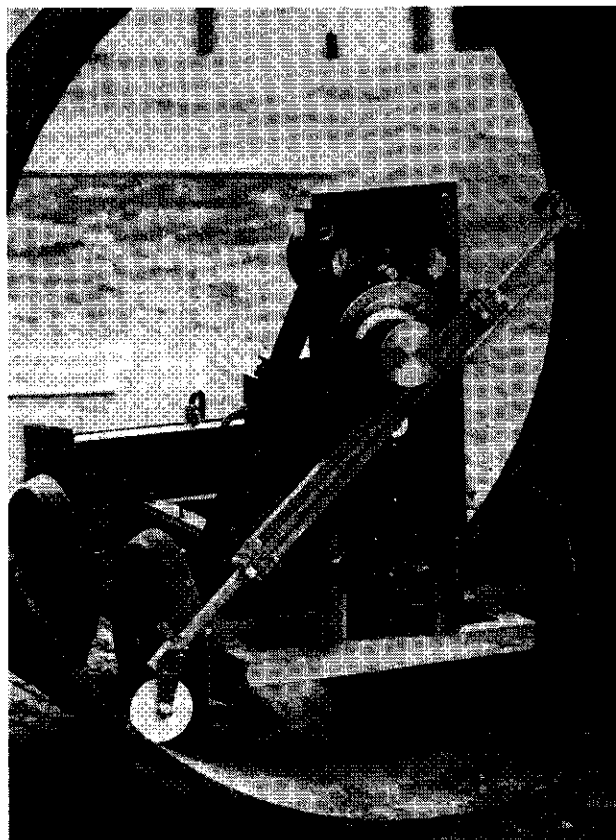
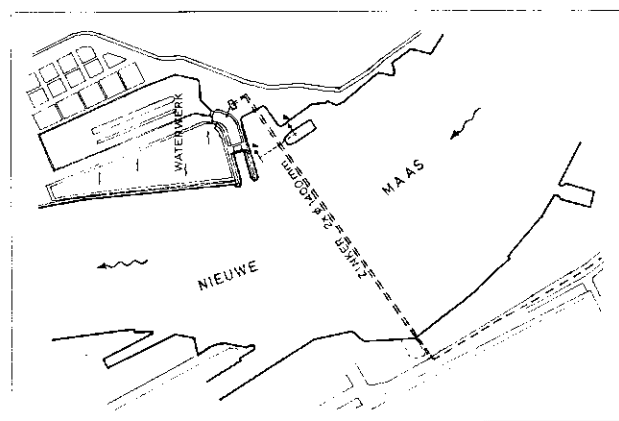
Om de berekeningen te kunnen toetsen aan de werkelijkheid is besloten tot meting van de vervormingen van een zinker. De gelegenheid daartoe deed zich voor bij de Mallegatzinker bij het drinkwaterproductiebedrijf Honingerdijk. Deze omvat twee zinkerbuizen, waarvan de ene deel uitmaakt van de ruwwaterkoppelleiding tussen het spaarbekken op de Berenplaat en het bedrijf Honingerdijk, en de andere, die bestemd is als aanvoerleiding van water dat vanuit de Biesbosch wordt geleverd, nog niet is aangesloten.

2. De onderzochte zinker

De niet aangesloten zinker waarin de metingen zijn uitgevoerd loopt van het terrein van het productiebedrijf Honingerdijk, bij het inlaatkanaal, naar het voormalige Mallegat op de linker oever (zie afb. 1). Nabij de rechteroever ligt de bovenkant van de vloerbuis van deze zinker op 12,60 m — NAP, op het diepste punt op 19,60 m —. In de rivierbodem, die tot tenminste 8,00 m — NAP is opgehoogd, is ter plaatse een sleuf opengelaten, waarvan de bodem, vóór het in 1972 verrichte baggerwerk, 3 tot 9½ m boven bovenkant zinker lag.

De twee zinkerbuizen, met een inwendige diameter van

Afb. 1.



Afb. 2.

1.400 mm en wanddikte 17 mm, zijn samengesteld uit secties van 10 m lengte, en onderling gekoppeld door stalen raamwerken op afstanden van 10 m, terwijl tussen beide vloerbuisen een derde buis is opgenomen welke tijdens de plaatsing als drijfbuis dienst heeft gedaan.

3. Apparatuur

Voor de metingen is een speciaal apparaat vervaardigd, waarmee de vervormingen van een zinkerbuis van binnenuit mechanisch worden opgemeten, in beginsel bestaande uit een ronddraaiende arm, bevestigd aan een wagen, die op afstand bediend door de buis kan rijden (zie afb. 2).

De meetwagen is binnen de Drinkwaterleiding ontworpen en gebouwd. De aandrijving geschiedt op de achterwielen, door 4 kleine gelijkstroomstroommotoren (6 V, 8 A) met vertragingkasten (1 : 38,6). Stroombron is een accubatterij van 2 x 6 V, die op de wagen is geplaatst, waardoor voedingslijnverlies in lange kabels wordt vermeden en die door een lage plaatsing tevens het zwaartepunt van het apparaat verlaagt. Daar de machine in de zinker onder water moet werken, is een en ander in waterdichte bakken ondergebracht.

De bediening vindt plaats buiten de zinker via een signaal-kabel, aanvankelijk 150 m lang, later verlengd tot 250 m. In noodgevallen is het mogelijk de aandrijving los te maken van de wielen. De kabel is met staaldraad gewapend om de wagen daaraan te kunnen optrekken in het opgaande eind van de zinker. Teneinde de sleepwrijving van deze kabel

te verminderen is daaraan een „drijf”slang vastgebonden, die het onderwatergewicht beperkt.

Het meetgedeelte is vervaardigd door de Technisch-Physische Dienst TNO-TH te Delft. Een meetarm is nabij het middelpunt van de buisdoorsnede draaibaar aan de wagen bevestigd en wordt door een elektromotor rondgedraaid in een vlak loodrecht op de as van de buis. Een zwenkwiel, dat op het eind van de in zijn lengterichting verende meetarm is bevestigd, tast de binnenwand af.

Door middel van potentiometers worden de verdraaiingshoek en de lengte van de arm omgezet in elektrische spanningen, die worden opgetekend door een X-Y-schrijver op de bedieningstafel. Ook de scheefstand van de wagen wordt op een dergelijke wijze doorgegeven.

4. Meetmethode

Metingen zijn uitgevoerd op 12 juli en 3 november 1972, voordat ter plaatse werd gebaggerd, en op 19 december na afloop van het baggerwerk.

In de vrijwel horizontale „vloerbuis” van de zinker zijn op onderlinge afstanden van meestal $2\frac{1}{2}$ m de dwarsdoorsneden opgemeten.

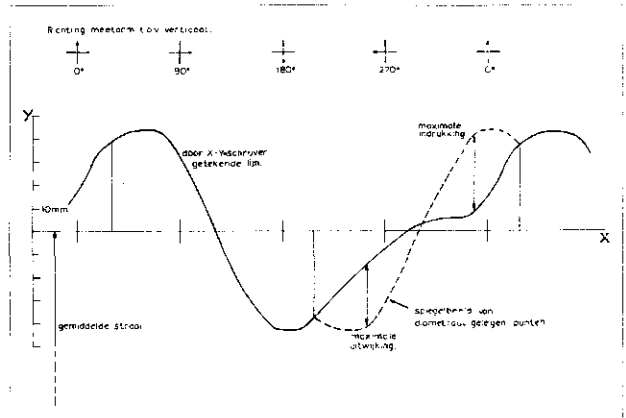
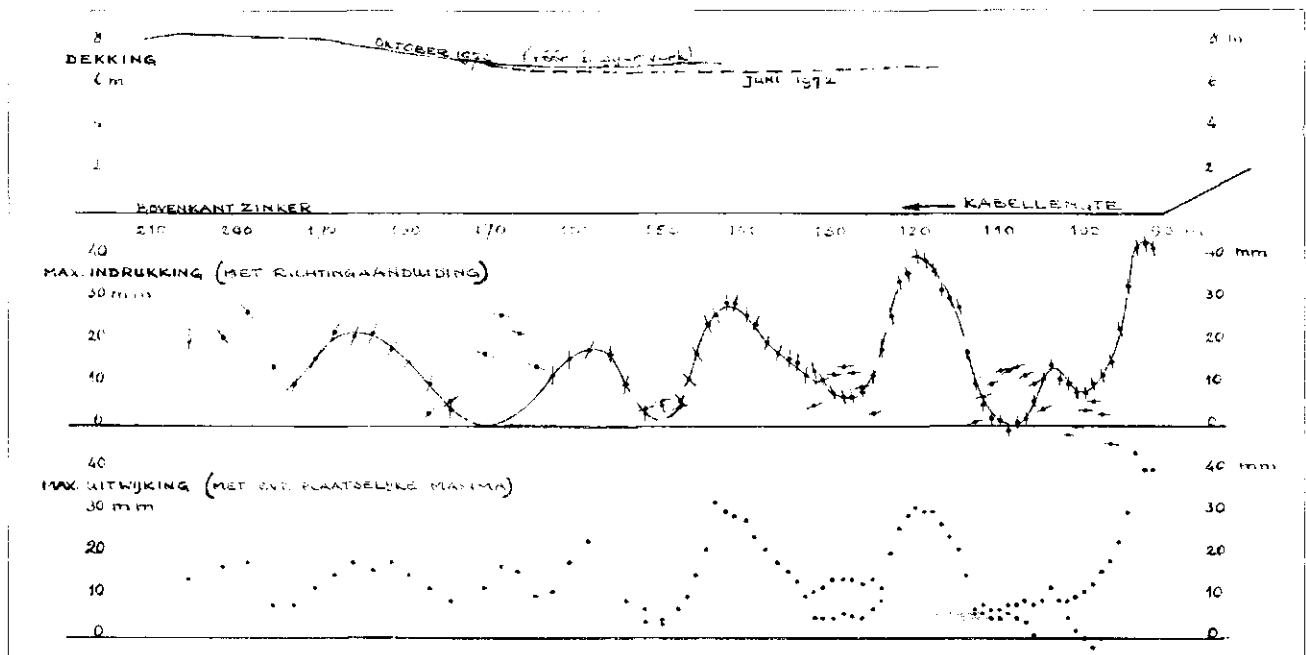
Met de metingen werd op de maximaal bereikbare afstand begonnen, aangezien het de voorkeur verdiende de meetwagen vooruit met volle accu's te laten rijden. Op de terugweg werd de wagen niet belast door de sleepwrijving van de signaalkabel.

De plaats van elke meting werd bepaald aan de hand van merkstrepen op de kabel; deze werden afgelezen ter plaatse van de eindflens van de zinkerbuis, nadat de kabel was strakgetrokken.

De onnauwkeurigheid in de plaatsbepaling, tengevolge van (kleine) afwijkingen van de kabel ten opzicht van de rechte lijn, kan maximaal enkele procenten van de gemeten afstand bedragen. Deze systematische fout kan over een afstand van enkele honderden meters dus tot enige meters oplopen; op de meting van de onderlinge afstanden van de meetplaatsen heeft deze geen invloed.

Voor elke gemeten dwarsdoorsnede ontstond met behulp van de X-Y-schrijver een diagram op millimeterpapier, waarin de X-coördinaat de richting van de meetarm weergaf, en de Y varieerde met de afstand van de wand tot het draaipunt van de arm (zie afb. 3). De horizontale schaal was zodanig ingesteld, dat 1 cm overeenkwam met 20° , de verticale schaal was 1 : 1.

Afb. 4.



Afb. 3.

5. Uitwerking van de meetgegevens

1. De hoekverdraaiing van de meetarm is in de diagrammen gegeven t.o.v. de wagen; de slagzij van de wagen was uit een afzonderlijke spanningsmeting af te leiden. Met behulp hiervan werden in elk meetdiagram de verticale en horizontale richtingen aangetekend.

2. Het draaipunt van de meetarm viel in het algemeen niet samen met de as van de buis. Bovendien is de oorspronkelijke diameter van elke buisdoorsnede niet bekend met dezelfde nauwkeurigheid als waarmee de metingen zijn uitgevoerd.

Aannemende, dat de omtrek van de buis onder de belasting nauwelijks zal veranderen (ofwel, dat de verkorting tengevolge van de tangenciale drukspanning te verwaarlozen is t.o.v. de buiging van de wand), is in elk diagram door planimetreren het gemiddelde van de Y-waarden bepaald, d.w.z. de gemiddelde straal van de buisdoorsnede, en deze als aslijn in de figuur gebracht.

De excentriciteit van de opstelling is geëlimineerd door van diametraal tegenover elkaar gelegen punten de verschillen van de afstand Y met dat gemiddelde samen te voegen.

3. Van de aldus bepaalde afwijkingen t.o.v. de diameter zijn van elke opgemeten doorsnede de grootste indrukkingen en uitwijkingen en hun richting bijeengebracht in de afb. 4 en 5. Tevens is de gronddekking boven bovenkant zinker

aangegeven, zoals afgeleid uit lodingen van Rijkswaterstaat en Gemeentewerken Rotterdam.

6. Bevindingen en gevolgtrekkingen

1. Vrijwel elke doorsnede heeft een grootste waarde van de indrukking in ongeveer verticale richting. De grootste uitwijking vertoont meestal een middellijn in de buurt van de horizontaal.

In enkele gedeelten van de zinkerbuis, over 4 tot 10 m lengte, is daarentegen ook een indrukking met maximum in een horizontale richting te onderscheiden. Op deze plaatsen is de verticale maximumindrukking overeenkomstig kleiner, vaak ook kleiner dan de maximale indrukking overdwars. De (twee) maximale uitwijkingen wijzen daar in schuine richtingen.

In alle gevallen zijn de maxima van de uitwijkingen ongeveer evenredig aan de maxima der indrukkingen; gewoonlijk zijn ze iets kleiner.

2. De lijnen van maximum indrukking en maximum uitwijking, uitgezet volgens de lengte-as van de zinker, vertonen een opvallend golfvormig verloop. De lengte van de golven, gemeten tussen de plaatsen met de grootste horizontale indrukkingen, is meest ongeveer 20 m, ook wel 30 of 10 m. De slingeringen van de maximale waarden worden groter in de richting van de overgang van vloerbuis in opgaande eind bij 90 m kabelenlengte.

De oorzaak hiervan is waarschijnlijk de fabricage-onrondheid van de buizen. Volgens de norm DIN 1626, Blatt 3, van januari 1965 is de tolerantie voor de diameter ± 6 mm en voor afwijking van de cirkelvorm 1 %, d.i. hier 14,3 mm. Het is bijv. niet mogelijk de plaat, waaruit de buis vervaardigd wordt, ook aan de kanten de vereiste kromming te geven; daardoor vertoont reeds de onbelaste buis bij de langslas een afwijking.

Bij de montage van een zinker worden buizen met een rechte langslasnaad met de langsnaden verspringend uitgelegd, als regel met een kwartslag verschil. Daardoor valt een initiële uitwijking bij die las afwisselend in richtingen die ongeveer loodrecht op elkaar staan.

Gezien de tamelijk regelmatige golfvorm van de gemeten afwijkingen, met als golflengte een veelvoud van de buislengte en een amplitude vergelijkbaar met 1 % van de diameter, geldt dit waarschijnlijk ook voor de aanvangs-ovaliteit als geheel.

De gevonden maximale indrukkingen en uitwijkingen moeten dus worden gecorrigeerd met de aanvankelijke ovaliteit van de betreffende doorsnede, waarvan de grootte niet bekend is en de ligging van de assen slechts kan worden vermoed.

Dit betekent, dat de maatgevende vormveranderingen slechts kunnen worden vastgesteld met een onnauwkeurigheid van niet minder dan 1 % van de diameter.

3. De gevonden resultaten wijzen wel overal op een duidelijke indrukking in verticale zin. Een maximaal toegelaten fabricage-onrondheid met de lange as horizontaal wordt ten gevolge van de belasting met eenzelfde bedrag vergroot. Waar het oorspronkelijke ovaal vermoedelijk vertikaal stond, werd een meer „vierkante” vorm gemeten. De aanvankelijke uitwijking onder en boven is vervangen door een kleine indrukking t.o.v. de theoretische cirkel. Opzij schijnt niet veel te zijn veranderd en uitwijkingen van $\frac{1}{2}$ tot 1 % worden aangetroffen onder hoeken van ongeveer 45° met de verticaal. Dit wijst erop, dat deze doorsneden niet zo zeer elliptisch zijn vervormd, maar in meer dan één richting enigszins zijn ingedrukt.

Ook andere doorsneden (met andere aanvangsvorm) kunnen op dezelfde wijze zijn vervormd, maar in de meetdiagrammen is dit niet op even eenvoudige wijze af te lezen.

Een en ander zou betekenen, dat de zijdelingse gronddruk tegen de buis meer dan voldoende is voor steun van de uitbuigende wand, hetgeen aannemelijk is aan de zijde waar de andere buizen van het zinkerpakket liggen.

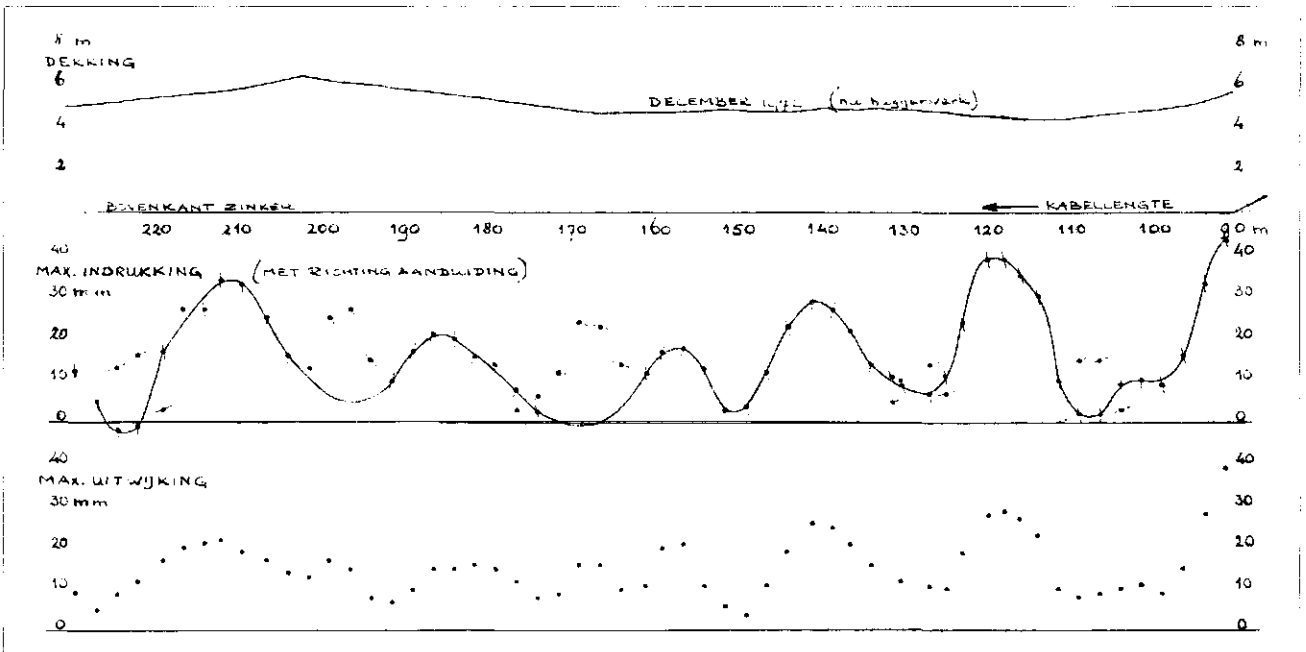
Dit is gunstig voor de buiswand, die in dit geval aanzienlijk meer bovenbelasting kan dragen dan bij de elliptische vervorming die bij berekeningen als uitgangspunt dient.

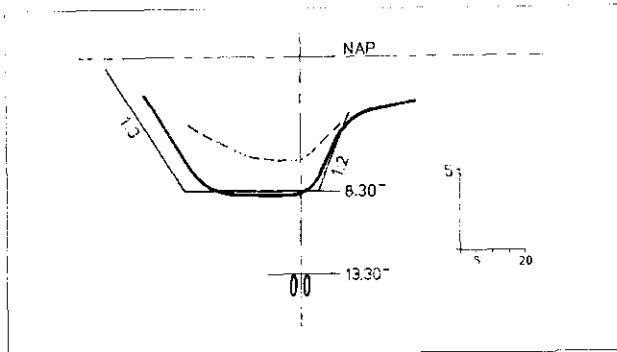
Hiermee komt overeen, dat bij vele doorsneden langs de gehele omtrek slechts geringe vervormingen zijn gemeten.

4. De gronddekking boven het opgemeten gedeelte van de zinker is niet overal dezelfde. Vóór het ter plaatse uitgevoerde baggerwerk bedroeg deze $6\frac{1}{2}$ tot $8\frac{1}{2}$ m, zeer geleidelijk verlopend; na afloop van het baggeren was de dekking teruggebracht tot $4\frac{1}{2}$ à $6\frac{1}{2}$ m, met vrijwel gelijk verloop.

De verondieping op de grens van het stroomvoerend profiel van de rivier kan zijn veroorzaakt door de stroom, maar ook door gemorst zand van het belendende zandoverslagbedrijf. Ter plaatse ligt de maximum-indrukking van de zinkerbuis ongeveer 45° uit het lood (zonder een tweede

Afb. 5.





Afb. 6.

maximum), hetgeen kan wijzen op eenzijdige grondbelasting. Een lodingsprofiel dwars op de zinker, 30 m meer naar de oever opgenomen (afb. 6), vertoont ook een scheve ligging, met een zeer steil onderwatertalud dichtbij de zinker. De betrekkelijk geringe verschillen in de (momentele) gronddekking ($6\frac{1}{2}$ m : $8\frac{1}{2}$ m) weerspiegelen zich niet in de gevonden vervormingen, ook niet als men in de afb. 4 en 5 de golven abstraheert. Ook de ontlasting door het baggeren (overal ongeveer 2 m) heeft niet geleid tot veranderingen die groter zijn dan de onnauwkeurigheid in de gevonden waarden. Alleen bij het einde van de vloerbuis (90-120 m kabellengte) zijn er aanwijzingen voor grotere vervorming. De gronddruk kan daar veel groter zijn dan met de vertikaal gemeten dekking overeenkomt door de aanwezigheid van hoge taluds aan weerskanten van de zinkersleuf.

De grondmechanica leert, dat de zetting van een grondlaag evenredig is met de logaritme van de belasting daarboven. Voor de verticale indrukking van de zinkerbuizen en de spanningen in de wand geldt dan hetzelfde. Dit is een gevolg van de omstandigheid, dat grond bij samendrukking merkbaar compacter wordt. Daarom wordt aangenomen, dat de elasticiteitsmodulus evenredig met de belasting toeneemt. Vooral als de grond niet verdicht is bij het aanbrengen (welk geval hier mag worden aangenomen), maakt wat meer bovenbelasting nauwelijks enig verschil, omdat de logaritmen van betrekkelijk grote getallen worden vergeleken en deze dus naar verhouding niet veel verschil zullen vertonen. Bij ontlasting is het verschil nog kleiner, omdat de grond terugkomt overeenkomstig de elasticiteitsmodulus, die eenmaal bereikt is onder de grootste voorgekomen belasting, zonder weer een lossere pakking aan te nemen. De uitkomsten van de metingen zijn in overeenstemming met deze theorie. Uit beide volgt, dat vergroting van de belasting betrekkelijk weinig uitwerking heeft op de constructie.

7. Vergelijking met berekeningen

Door ir. M. J. Bossen te Delft zijn berekeningen uitgevoerd voor verschillende diepliggende zinkers van de DWL, waaronder die bij het Mallegat. Deze berekeningen berusten op de volgende grondslagen:

- a. De gronddrukken op de buiswand worden afgeleid uit de gelijkstelling van de vormveranderingen van de buis en van de grond daaromheen.
- b. De zetting van een grondlaag verloopt logaritmisch met de verticale belasting.
- c. Ten opzichte van de, betrekkelijk kleine, vervorming van de buis wordt de grond beschouwd als een gewoon elastisch materiaal; alle veranderingen in de drukken op de buiswand zijn evenredig met de verplaatsingen.
- d. Op deze evenredigheid mag niet meer worden gerekend als de vervorming van de buis meer dan 5 % van de diameter gaat bedragen. De grond onmiddellijk boven de buis kan dan zijn evenwicht verliezen en een naar verhouding hogere belasting veroorzaken. Als ontwerpgrens wordt 3 % gesteld.

Voorts zijn, omdat de werkelijke waarden voor de grond ter plaatse niet bekend zijn, de volgende aannamen gedaan: e. de verhouding van elasticiteitsmodulus en verticale gronddruk (constante van Buisman) is gesteld op de minimumwaarde voor zand, $C = 50$.

f. Als minimum voor de elasticiteitsmodulus geldt de waarde behorend bij een belasting door een grondlaag ter dikte van $h_0 = 1$ m.

De toegepaste rekenwijze is veel fundamenteler dan de klassieke methode van Marston, die voor leidingen met een gronddekking tot enkele meters kan worden toegepast, maar die in gevallen als deze tot onwettelijk hoge berekende belastingen op de zinker zou leiden.

Voor de Mallegatzinker zijn de volgende waarden berekend:

dekking bovenkant zinker (in m)	6,3	7	8,8	10	12,4
maximale vervorming (in % van de diameter)	1,9	2,0	2,2	2,3	2,6
maximum spanning in de buiswand (in kgf/cm ²)	1575	1650	1825	1925	2100

Bij de meting zijn maximale indrukkingen gevonden (afb. 4), die, als men de golven in de lijn, toegeschreven aan de ovaliteit, rechttrekt, uiteenlopen van 0,5 tot 1,8 % van de diameter; brutowaarden van meer dan 2 % (28 mm) komen alleen voor bij de toppen van twee golven bij het einde van de „vloerbuis” onder een (netto) gronddekking van 7 mm of meer.

In het algemeen zijn de gemeten waarden dus veel lager dan de berekende vervorming.

Door de noodgedwongen ongunstige aannamen is ook de hier aangehaalde berekening aan de veilige kant. De C-waarde van de omgevende grond kan heel goed groter zijn dan de aangenomen 50.

Uit de proeven is echter bovendien gebleken, dat in het onderzochte geval (waarin de buis deel uitmaakt van een zinkerpakket) de vervorming van de dwarsdoorsnede gunstiger dan de aangenomen elliptische vervorming is, waardoor het draagvermogen in werkelijkheid groter zal zijn dan uit de berekening volgt.