

rijp rapport

1976 – 31 Bdo

Enige opmerkingen m.b.t.
het berekenen van het
draagvermogen van heipalen
en het toezicht op heiwerk

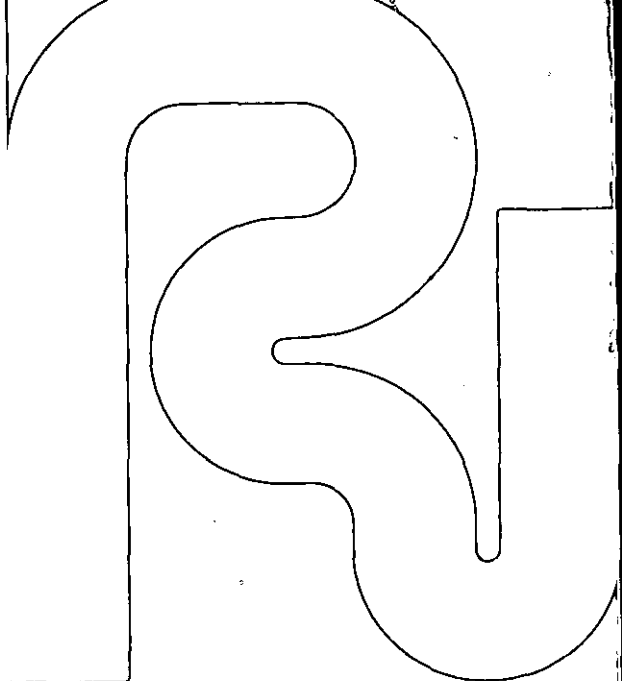
door
ir. R. J. Zee

R

9174

3130

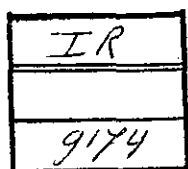
rijksdienst voor de ijsselmeerpolders



1976 – 31 Bdo

Enige opmerkingen m.b.t.
het berekenen van het
draagvermogen van heipalen
en het toezicht op heiwerk

door
ir. R. J. Zee.



3130

Inhoud

	pag.
1. Inleiding	1
2. Grondslagen voor de berekening	2
3. Berekening van een individuele paal	3
4. Overspannen grondwater tijdens het heien	6
5. Controle op de heiwerkzaamheden	8
6. Herleiden van het draagvermogen van een paal uit de kalender	9
7. Samenvatting en conclusies	11

1. Inleiding

Het maken van optimale paalfunderingen eist van alle betrokkenen een grote mate van deskundigheid; dit geldt niet in de laatste plaats voor diegenen die toezicht houden op het heiwerk.

Een technisch goede en afdoende controlemethode tijdens het heien is tot op heden niet beschikbaar. De enige tot nu toe gehanteerde controlemethode tijdens het heiwerk is het "kalenderen".

Kalenderen is het meten van de zakking van de paal t.g.v. een bepaald aantal slagen. Het aantal slagen kan wisselen, maar meestal is dit 30. Een enkele maal verstaat men onder een kalender het aantal slagen dat nodig is om de paal een bepaalde maat te laten zakken b.v. 30 cm. In de praktijk spreekt men in dit verband over "goede" en "slechte" kalenders. Een goede kalender duidt aan dat de paal onder het bepaalde aantal slagen weinig zakt. Een slechte kalender geeft aan dat de paal onder het bepaalde aantal slagen veel zakt.

Aan de hand van de gevonden kalender wordt besloten of de paal de hem toegedachte belasting kan dragen of niet. Het gevoel van de toezichthouder speelt bij deze beoordeling een min of meer grote rol. Immers bij het optreden van een slechte kalender is men snel geneigd te denken dat de paal de hem toegedachte belasting niet kan dragen. Ondanks deze bezwaren geeft deze methode in gebieden waar de draagkrachtige zandlaag van goede kwaliteit is redelijk goede resultaten.

De reden voor deze goede resultaten is gelegen in het feit dat het zand waarop gefundeerd wordt dan redelijk schoon, grof van kwaliteit en dichtgepakt is. Indien de paal in een dergelijk zandpakket geslagen wordt, zal al vrij snel een goede kalender gevonden worden m.a.w. de paal kan de hem toegedachte belasting dragen. Indien echter het zand verontreinigd is met wat klei en verder in de zelfde omstandigheden verkeert als hiervoor beschreven kan men tijdens het heien veel slechtere kalenders vinden. Men zou dan kunnen concluderen dat de paal zijn belasting niet kan dragen terwijl dit niet het geval hoeft te zijn. Tijdens het heien van een paal moet de paal behalve grond ook water verdringen. Indien het zand slecht doorlatend is voor water dan treden er hoge waterspanningen op, het gevolg hiervan is lage korrelspanning (of zelfs negatieve korrelspanningen). Indien het water de tijd krijgt om af te stromen zal blijken dat de paal zijn belasting wel degelijk kan dragen, echter tijdens het heien blijkt hier niets van. Tijdens het heien wordt dan vaak besloten om door te heien totdat de gewenste kalender bereikt is. De kans is dan zeer wel aanwezig dat de paalkop onder het maaiveld verdwijnt. Om deze paal toch te kunnen gebruiken voor de fundering zal het nodig zijn om hem te verlengen. Dit laatste is een arbeidsintensieve en dus dure handeling. De juiste oplossing voor dit geval zou zijn het op de uit de sondering berekende diepte heien van de paal en de kalender laten voor wat hij is.

Een slechte kalender hoeft echter niet altijd te duiden op grote waterspanningen tijdens het heien, het kan ook duiden op een slecht draagkrachtige laag. Het is dus erg moeilijk om aan de hand van kalenders te beslissen of een paal "goed" staat of niet.

Een goede kalender geeft altijd aan dat de paal zijn belasting kan dragen, een slechte kalender zegt echter nog niets over het draagvermogen van de paal.

In dit verband wordt ook gesproken over "stuit". De begrippen stuit en kalender worden vaak, overigens ten onrechte, door elkaar gebruikt. Men spreekt vaak van "deze paal heeft een goede stuit"; terwijl dan bedoeld wordt dat de paal een goede kalender heeft.

Funderen op stuit is een bepaalde methode van funderen en staat tegenover het funderen op "kleef".

Funderen op stuit wil zeggen dat de palen met de voet in een draagkrachtige laag worden geslagen, indien dan deze draagkrachtige laag bereikt is dan staat de paal op stuit.

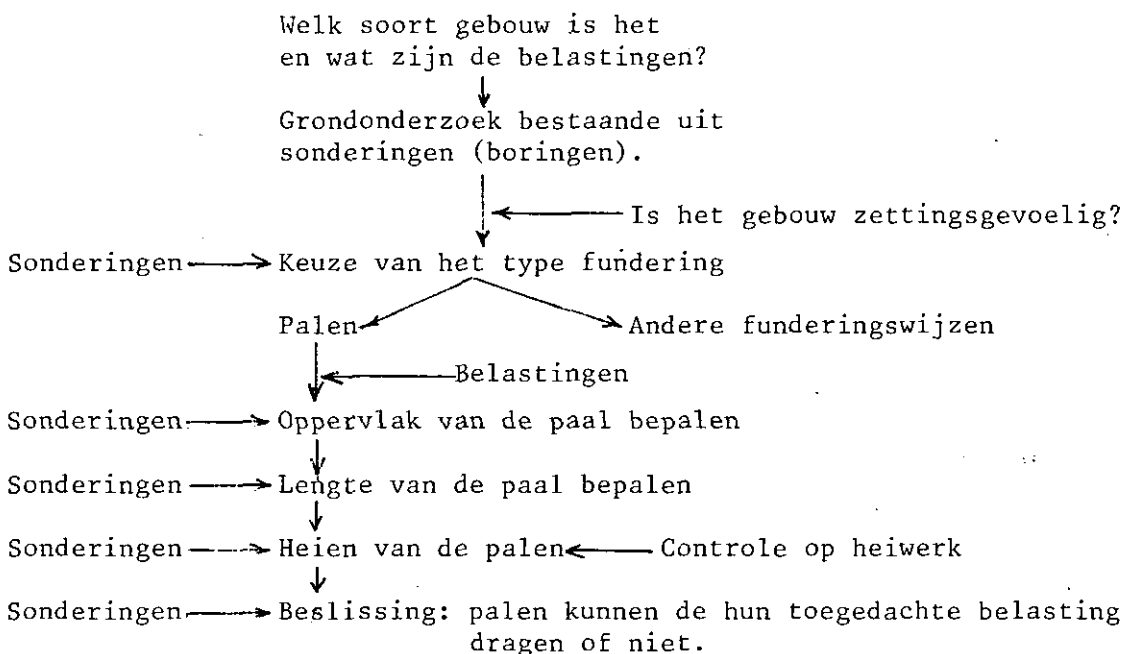
Funderen op kleef wil zeggen dat de paal niet met zijn voet in een draagkrachtige laag wordt geslagen, maar dat de paal zijn draagvermogen ontleent aan de positieve kleef (= wrijving) langs de paalschacht.

In Lelystad heeft men behoudens enkele uitzonderingen, steeds geheid in gebieden waar de draagkrachtige laag goed van kwaliteit is. Het interpreteren van de kalenders was in deze gebieden dan ook geen probleem. De laatste tijd worden er echter huizen gebouwd in gebieden waar de draagkrachtige laag minder van kwaliteit is. (Naar het zich laat aanzien zullen deze gebieden ook veel voorkomen in Almere.) Aan het toezicht houden op het heiwerk wordt voor deze gebieden nu een extra dimensie toegevoegd n.l. het juist interpreteren van de kalenders. In het voorliggende is een poging gedaan om hier de helpende hand te bieden.

2. Grondslagen voor de berekening

Om tot een bepaalde fundering te komen moeten een aantal vragen beantwoord en een aantal beslissingen genomen worden.

Onderstaand schema geeft globaal aan hoe dit in het algemeen zal gaan.



Uit bovenstaand schema blijkt duidelijk dat de sonderingen een zeer belangrijke rol spelen in het geheel van de beslissingen. De grondslag voor de berekening wordt dan ook gevormd door de sonderingen. Om uit de sondering het draagvermogen van een paal te berekenen zijn verschillende methoden in gebruik die echter principieel weinig verschillen. Eén van de methoden die hier nader toegelicht zal worden is de methode van Weele. Alle methoden, dus ook deze, vinden hun oorsprong in de methode Koppejan van Mierlo (zie o.a. "Lengte en draagvermogen van heipalen" door ir. W.C. van Mierlo c.i. en ir. A.W. Koppejan c.i. in Bouw 19-1-1952 nr. 3). Zie voor de methode van Weele bijlage 1.

Van Weele gaat uit van de volgende uitgangspunten:

- Een vierkante paal wordt omgerekend naar een ronde paal en wel zodanig dat de equivalente diameter van de ronde paal zo groot is dat de ronde paal eenzelfde oppervlak heeft als de vierkante; dus

$$d_{eq} = 2 \sqrt{\frac{F}{\eta}}$$

- b. Voor het basisniveau wordt dat niveau genomen waar de volle puntdoorsnede aanwezig is.
- c. Het gedeelte dat in de sondering meegerekend wordt bedraagt maximaal 12 maal de equivalente paaldiameter. Het gedeelte dat onder het basisniveau wordt meegerekend bedraagt 1 tot 4d en het gedeelte boven het basisniveau bedraagt 5 tot 8d.

3. Berekening van een individuele paal

Voor een berekening van een paal zijn een aantal dingen van belang, zoals:

- a. het soort fundering waar de betreffende paal deel van uit zal gaan maken
- b. de paalbelasting
- c. de paalafmetingen (doorsnede)
- d. de sondering
- e. de veiligheid.

ad a. Alvorens een berekening gemaakt wordt ter dimensionering van een paal is het van belang te weten of het gebouw dat op deze paal gefundeerd zal worden zettingsgevoelig is of niet. In het algemeen kan gesteld worden dat hoe zettingsgevoeliger het gebouw des te zwaarder en langer de palen voor de fundering moeten zijn.

ad b. Om een paalberekening te kunnen maken moet de paalbelasting bekend zijn of althans de orde van de grootte moet bekend zijn. Voor de volledigheid wordt vermeld dat een omgekeerde gang van zaken ook voorkomt nl. dat uit de sondering bepaald wordt hoe hoog de paalbelasting mag zijn. In dit laatste geval wordt het palenplan dus aangepast aan de sonderingen. Deze methode is noodzakelijk indien men de belastingen voortvloeiend uit het oorspronkelijke palenplan volgens de sonderingen niet over kan dragen aan de ondergrond. In de praktijk zal er tussen beide methoden een wisselwerking zijn om op deze manier een optimale paalfundering te krijgen.

ad c. Als de paalbelasting bekend is kan aan de hand van de sondering en de belasting vastgesteld worden hoe groot het oppervlak van de paal moet zijn. In de praktijk komt het er op neer dat dan uit een aantal gangbare handelsmaten gekozen wordt. In principe kan echter elke gewenste afmeting geleverd worden.

Indien uit de sondering blijkt dat de toelaatbare belasting per cm^2 laag is, zodat het oppervlak van de paal erg groot wordt, kan besloten worden om een paal met een verslankte schacht toe te passen. Het voordeel van dit soort palen is dat de paal minder beton behoeft te bevatten, daardoor lichter en dus gemakkelijker te hanteren en goedkoper is dan een paal met eenzelfde doorsnede over de volle hoogte. Nadeel van dit soort palen is dat ze wat gevoeliger zijn voor breuk.

ad d. Uit de sondering kan men met behulp van een bepaalde methode (b.v. de methode van Weele) en aan de hand van een gekozen inheinniveau berekenen hoe groot de bezwijkbelasting van een bepaalde paal zal zijn op dat niveau. Voor elk ander niveau wordt in principe een andere bezwijkbelasting gevonden, zodat met de keuze van de diepte van het inheinniveau met de bezwijkbelasting "gespeeld" kan worden.

ad e. De keuze van de veiligheidcoëfficiënt is afhankelijk van verschillende factoren en is in principe uit twee heel verschillende onderdelen opgebouwd, waarvan de ene de reële veiligheid is en de

andere een soort "onwetendheidsfactor". Indien alle omstandigheden precies bekend zijn is de onwetendheidsfactor laag. De veiligheidsfactor is dan nagenoeg geheel opgebouwd uit een reële veiligheid.

De onwetendheidsfactor is sterk afhankelijk van het aantal sonderingen en de bekendheid met de ondergrond en zal dus van geval tot geval verschillend zijn.

In de praktijk worden deze twee factoren niet gescheiden in beschouwing genomen; men spreekt over en hanteert altijd een veiligheidsfactor. Normaal gesproken varieert deze tussen 2 en 5.

De grootte van de gekozen veiligheidsfactor is ook afhankelijk van de mate waarin toezicht wordt uitgeoefend op het heikwerk. Bij intensief en deskundig toezicht zal elke onregelmatigheid tijdens het heien geconstateerd worden zodat er dan direct aangepaste maatregelen genomen kunnen worden. Bij geen of ondeskundig toezicht worden deze onregelmatigheden niet ontdekt en treden ze pas aan het daglicht als het gebouw klaar is, waarna het nemen van adequate maatregelen zeer moeilijk en bijna altijd zeer kostbaar is.

Met behulp van de hierboven omschreven grootheden kan nu bij elke sondering een berekening gemaakt worden. In het algemeen zal er uitgaande van een bepaalde paaldoorsnede en een bepaalde belasting voor elke sondering een andere paallengte berekend worden. Deze methode zou een veel te grote diversiteit van paallengten opleveren hetgeen de kans op vergissen tijdens het heien aanmerkelijk zou vergroten. In de praktijk bepaalt men dan ook een bepaalde paallengte voor een bepaalde gebied (woningblok e.d.).

Op deze manier wordt aan elke sondering een bepaald geldigheidsgebied toegekend. Het zal duidelijk zijn dat de verschillende geldigheidsgebieden van de verschillende sonderingen elkaar in het algemeen zullen overlappen. Indien er in deze grensgebieden niet duidelijk te interpreteren kalenders voorkomen, zal er extra gesondeerd moeten worden om op deze manier te bepalen hoe diep de palen in deze gebieden geheid moeten worden. Overigens kan men ook besluiten om het geldigheidsgebied met de langste palen wat groter te maken. De kans bestaat dan dat een gedeelte van de geheide paal boven het maaiveld blijft staan, dit is echter economischer dan een paal waarvan later een deel opgestort moet worden.

Voorbeeld van een berekening van een individuele paal:

Voor de berekening wordt gebruik gemaakt van de methode van Weele (zie bijlage 1). Zie voor de berekening ook bijlage 2.

Als paal wordt paal \varnothing 35 cm gekozen.

Inheinniveau: 23,5 Om \div (gekozen).

$$\text{Equivalente diameter } d = 2 \times 35 \sqrt{\frac{1}{4}} = 39,5 \text{ cm} = 40 \text{ cm}$$

$$4d = 160 \text{ cm} \quad 1d = 40 \text{ cm}$$

$$5d = 200 \text{ cm} \quad 8d = 320 \text{ cm.}$$

In de combinatie van het gedeelte onder de punt en het gedeelte boven de punt moet gestreefd worden naar een minimum.

Indien 4d onder de punt genomen wordt (= ca. 1,50 m) dan telt de teruggang in de sondering op 25 m \div nog mee en zal dit een minimum opleveren voor de toe te laten puntspanning. De ongunstigste combinatie is dus 4d onder de punt en 8d boven de punt. Bij waarnemingspunten om de 50 cm kunnen we de volgende puntspanning uitrekenen:

Gedeelte I onder de punt "heen":

$$I \rightarrow \frac{197,5 + 175 + 115}{3} = 162,5 \text{ kgf/cm}^2$$

Gedeelte II onder de punt "terug":

$$II \rightarrow \frac{75 + 75 + 75}{3} = 75 \text{ kgf/cm}^2$$

Gedeelte III boven de punt:

$$III \rightarrow \frac{75 + 50 + 40 + 40 + 37 + 30 + 25}{7} = 42,4 \text{ kgf/cm}^2$$

Volgens de formule op bijlage 1 is nu de paalpuntsbezwijkspanning:

$$\sigma = \frac{\frac{I + II}{2} + III}{2} = \frac{\frac{162,5 + 75}{2} + 42,4}{2} = 80,6 \text{ kgf/cm}^2$$

Indien de veiligheidsfactor $V = 2\frac{1}{2}$ wordt gesteld is de toelaatbare paalpuntsspanning:

$$\bar{\sigma} = \frac{80,6}{2,5} = 32,24 \text{ kgf/cm}^2$$

De beschouwde paal kan dus de volgende belasting dragen:

$$F = 35 \times 35 = 1225 \text{ cm}^2$$

$$P = F \times \bar{\sigma} = 1225 \times 32,24 = 39500 \text{ kgf} = 39,5 \text{ tf}$$

N.B. Van dit getal moet de negatieve kleef nog afgetrokken worden, en kan de eventuele positieve kleef bijgeteld worden.

Voorbeeld II (Zie ook bijlage 3.)

Zelfde gegevens als in het vorige voorbeeld maar nu met een paal \varnothing 60 cm.

Equivalentente diameter is nu: $d = 2 \times 60 \sqrt{\frac{1}{4}} = 67,7 \text{ cm}$

$$4d \approx 270 \text{ cm} \quad 1d \approx 70 \text{ cm}$$

$$5d \approx 340 \text{ cm} \quad 8d \approx 540 \text{ cm}$$

Bij waarnemingspunten om de 50 cm.

Gedeelte I onder de punt "heen":

$$I \rightarrow \frac{197,5 + 175 + 117,5 + 112,5 + 205 + 217}{6} = 170,75 \text{ kgf/cm}^2$$

Gedeelte II onder de punt "terug":

$$II \rightarrow \frac{175 + 175 + 112,5 + 75 + 75 + 75}{6} = 114,58 \text{ kgf/cm}^2$$

Gedeelte III boven de punt:

$$III \rightarrow \frac{75 + 50 + 40 + 40 + 35 + 30 + 19 + 4 \times 8}{11} = 29,2 \text{ kgf/cm}^2$$

De paalbezwijkbelasting wordt nu:

$$\sigma = \frac{\frac{I + II}{2} + III}{2} = \frac{\frac{170,75 + 114,58}{2} + 29,2}{2} = 85,9 \text{ kgf/cm}^2$$

Bij een veiligheid van $V = 2,5$ wordt de toelaatbare paalbelasting:

$$\bar{P} = F \times \bar{\sigma} = 60 \times 60 \times \frac{85,9}{2,5} = 123700 \text{ kgf} = 123,7 \text{ tf}$$

Voor de bepaling van het nuttig draagvermogen van de paal moet de negatieve kleef en kan de positieve kleef in rekening worden gebracht.

Voorbeeld III (Zie ook bijlage 4.)

Paalafmetingen: lengte 19,50 m

voet 1600 cm^2 (\varnothing 40 cm)

schacht 625 cm^2 (\varnothing 25 cm).

Veiligheidsfactor: 2,5

$$d_{eq} = 2 \times 40 \sqrt{\frac{1}{4}} = 45 \text{ cm}$$

$$4d = 180 \text{ cm} \quad 8d = 360 \text{ cm}$$

$$5d = 225 \text{ cm} \quad 12d = 540 \text{ cm}$$

Onder het inheinniveau (19,50 m-m.v.) loopt de sondeerwaarde alleen maar op. De ongunstige combinatie voor dit geval is dus 1d onder de punt en 8d er boven.

We nemen de waarnemingen weer om de 0,50 m.

Gedeelte I onder de punt "heen":

$$I \rightarrow 124 \text{ kgf/cm}^2$$

Gedeelte II onder de punt "terug":

$$II \rightarrow 124 \text{ kgf/cm}^2$$

Gedeelte III:

$$III \rightarrow \frac{115 + 100 + 85 + 60 + 40 + 37 + 21,5 + 13}{8} = 58,9 \text{ kgf/cm}^2$$

Paalpuntsbezwijkspanning:

$$\sigma = \frac{\frac{I + II}{2} + III}{2} = \frac{\frac{124 + 124}{2} + 58,9}{2} = 91,5 \text{ kgf/cm}^2$$

De toelaatbare paalbelasting is nu dus:

$$\bar{P} = 1600 \times \frac{91,5}{2,5} = 58500 \text{ kgf} = 58,5 \text{ tf}$$

Bovenstaande berekeningen geven aan dat t.p.v. een sondering de toe te laten paallast nauwkeurig berekend kan worden. Deze rekenmethoden zijn d.m.v. proefbelastingen tientallen keren getoetst en steeds juist bevonden, zodat ervan uitgegaan mag worden dat de rekenmethode goed is. In de praktijk wordt echter niet voor elke te heien paal gesondeerd, reden waarom uit de gegevens van één sondering vaak 8 à 10 (en soms nog meer) palen "berekend" worden.

Het zal duidelijk zijn dat bij het daadwerkelijke heierk controle op deze "berekening" noodzakelijk is.

De meest aangewezen controlemethode is die waarbij men begint te heien op een plaats waar een sondering is gemaakt. Over de laatste 2 meter, tot de diepte die uit de sondering berekend is, wordt de kalender opgenomen en genoteerd. De palen die in de omgeving van deze paal geheid worden, worden zo diep geheid totdat ze dezelfde kalender hebben als de paal die op de sondering is geheid.

4. Overspannen grondwater tijdens het heien

Uit de hiervoor beschreven controlemethode blijkt dat het opnemen van kalenders tijdens het heierk een belangrijke zaak is.

De kalenders kunnen inderdaad een indicatie geven over het draagvermogen van de paal, men moet daarbij echter altijd bedenken dat de kalenders gevonden worden uit een dynamische weerstand die niet gelijk aan of evenredig met de statische weerstand behoeft te zijn.

De uit de kalender verkregen gegevens kan men invoeren in een heiformule en met behulp daarvan kan men een bepaald draagvermogen uitrekenen. Gezien de hoeveelheid verschillende in het verleden ontwikkelde heiformules mag men van deze methode niet al te veel verwachten. Overigens is dit niet verwonderlijk daar men statische en dynamische werkingen met elkaar vergelijkt. Een gedeelte van de energie wordt in tril-

lingen en warmte omgezet in paal en grond, welk gedeelte dus geen invloed op de zakkings van de paal heeft. Ook de tijd heeft invloed op het draagvermogen. Op bijlage 5 zijn een aantal uitkomsten uit verschillende heiformules, overigens voor onder dezelfde condities verkerende palen, uitgezet. Deze grafiek geldt voor valblokken.

Bovenstaande controle methode gaat, ondanks de theoretische bezwaren die er aan kleven op, zolang de draagkrachtige laag bestaat uit grof, schoon en dichtgepakt zand en als de draagkrachtige laag van plaats tot plaats niet verschilt van samenstelling. In de praktijk voldoet de draagkrachtige laag in zijn geheel maar zelden aan deze voorwaarden, het geldigheidsgebied voor een sondering voldoet hier echter wel vaak aan.

Toch treden er tijdens het heien vaak veel slechtere kalenders op dan men zou (mogen?) verwachten. Voor deze slechte kalenders zijn in principe twee oorzaken aan te wijzen (afgezien van breuk in de paal):

- a. ter plaatse van de geheide paal is de ondergrond minder draagkrachtig dan uit de omringende sonderingen zou mogen worden verwacht en
- b. tijdens het heiproces treden grote wateroverspanningen op.

ad a. Indien tijdens het heien van palen voor b.v. een woningblok er plotseling één paal is die een veel slechtere kalender heeft dan de omringende palen, dan is de kans vrij groot dat t.p.v. deze paal de ondergrond inderdaad slechter is dan uit de omringende sonderingen zou mogen worden verwacht.

Om dit te kunnen controleren moet ter plaatse een extra sondering gemaakt worden. Voordat de extra sondering gemaakt is mag over het draagvermogen van deze paal geen beslissing genomen worden. Het plotseling optreden van een slechte kalender in een palenplan moet altijd aanleiding zijn voor het maken van een extra sondering en mag nooit aanleiding zijn tot het gebruik van de oplanger en wel om de volgende reden:

Stel dat uit de extra gemaakte sondering blijkt dat de ondergrond t.p.v. de paal met de slechte kalender inderdaad slechter is dan in de omgeving dan kan aan de hand van deze sondering uitgerekend worden hoe hoog de belasting van deze paal nog mag zijn en hoeveel dus de eventueel bij te heien paal zal moeten dragen. Had men nu besloten om de paal door middel van de oplanger dieper weg te slaan dan was de kans zeer groot geweest dat de paal zover onder het maaiveld was verdwenen dat hij zonder hoge kosten niet meer te gebruiken was geweest voor de fundering.

Indien uit de bijgemaakte sondering blijkt dat de paal wel degelijk zijn belasting kan dragen dan duidt het gedrag tijdens het heien op wateroverspanningen. Indien ook nu de paal door middel van een oplanger dieper weggeslagen was dan zou ook deze paal zonder hoge kosten niet meer te gebruiken zijn geweest voor de fundering. Uit het voorgaande blijkt dus dat een paal nooit zondermeer maar dieper weggeslagen mag worden door middel van de oplanger daar de paal voor de fundering niet meer gebruikt kan worden.

ad b. Zoals al eerder vermeld moet de paal behalve grond ook water verdringen als hij in de grond geslagen wordt. Om de paal in de grond te kunnen krijgen moeten er rond de punt wateroverspanningen ontstaan.

De korrelbezwijkspanning is nl. veel hoger dan de spanning die door de paal op de korrel uitgeoefend kan worden.

Voorbeeld: Een paal met een oppervlak van 1600 cm^2 ($\varnothing 40 \text{ cm}$) wordt door een laag geslagen waar de conusweerstand (\approx korrelbezwijkspanning) 100 kgf/cm^2 bedraagt. De paal zou dan, indien er geen wateroverspanningen waren met een kracht van $1600 \times 100 = 160.000 \text{ kgf}$ ingedrongen moeten worden.

Een dieselblok D 22 levert maximaal slechts 118.000 kg; volgens deze berekening kan de paal dan dus niet in de grond indringen. In de praktijk wordt echter dagelijks het bewijs geleverd dat dit wel kan. Er moet dus iets anders aan de hand zijn. Er moeten tijdens het heien dus zodanige waterspanningen optreden dat de korrelspanningen zo laag worden dat de paal weg degelijk in de grond kan indringen. Er moet dus sprake zijn van een waterspanning die hoger is dan de hydrostatisch ofwel van een wateroverspanning. Het verschijnsel wateroverspanning tijdens het heien is dus in feite heel normaal.

De vraag kan nu gesteld worden hoe het komt dat een paal op een gegeven moment toch zijn belasting kan dragen. De wateroverspanningen die tijdens het heiproces ontstaan zijn normaal gesproken zeer tijdelijk van aard. Hoe tijdelijk de wateroverspanningen zijn hangt af van de doorlatendheid van het zand m.a.w. hoe sneller het water af kan stromen des te sneller is de toestand van wateroverspanning voorbij. Indien echter het zand slecht doorlatend is dan wordt een wateroverspanning opgebouwd die, in de tijd die ligt tussen twee klappen van het heiblok, niet voldoende af kan nemen met andere woorden bij elke klap van het heiblok neemt de waterspanning toe en dus de korrelspanning af zodat de kalender van deze paal steeds slechter wordt. Indien nu de paal volgens de sondering op diepte staat en de kalender is zeer slecht t.g.v. de wateroverspanning en men besluit om de paal m.b.v. de oplanger nog wat dieper te slaan, is de kans groot dat de paal voor de fundering verloren gaat. Als men het water de tijd gunt om af te stromen dan zal blijken dat de paal wel degelijk zijn belasting kan dragen. Dit kan gecontroleerd worden door de paal na b.v. 1 dag nog een aantal klappen te geven, dan zal blijken dat de kalender aanzienlijk verbeterd is. Echter na een paar klappen treden de wateroverspanningen weer op zodat de kalender weer snel slechter wordt. Dit is bij het optreden van relatief lang blijvende wateroverspanningen een heel normaal verschijnsel. Een afdoende controlemethode voor dit soort verschijnselen is het doen van proefbelastingen. De mate waarin wateroverspanningen tijdens het heien optreden is zeer moeilijk te meten, hoewel er elektrische waterspanningsmeters bestaan die deze waarden kunnen meten. De moeilijkheid is nl. dat de wateroverspanningen behalve zeer tijdelijk ook zeer plaatselijk zijn. Bij een juiste uitvoering van de metingen zou het t.p.v. de paalpunt moeten meten, dit is praktisch niet uitvoerbaar. Een methode die praktisch wel mogelijk is, is de volgende: Men zoekt een terrein waarbij tijdens het heien slechter wordende kalenders optreden. Het vermoeden is dan zeer gerechtvaardigd dat er hinderlijk lang aanhoudende wateroverspanningen optreden. Men kan dan rondom een nog te heien paal een aantal elektrische waterspanningsmeters zetten die hoge spanningspieken kunnen meten. Tijdens het heien van de paal worden de waterspanningen gemeten. Men gunt het water enige tijd (een aantal dagen) om af te stromen en men begint dan met een proefbelasting. Uit de proefbelastingresultaten kan dan geconcludeerd worden of er sprake is geweest van "blijvende" wateroverspanningen tijdens het heien of niet. Dit probleem vergt nog nader onderzoek in de praktijk.

5. Controle op de heiwerkzaamheden

Tijdens het heiwerk van geprefabriceerde palen zijn er verschillende zaken die gecontroleerd dienen te worden, deze controles zijn:

1. Controle op breuk van palen
2. Controle op het gebruik van de juiste palen
3. Controle op de opslag van de palen op het werk
4. Controle op het juist ophijsen van de palen
5. Controle op de heil-apparatuur.

ad 1. Van elke paal die geheid wordt gecontroleerd worden of hij gaaf is. Breuk kan zowel voor als tijdens het heien optreden. Voor het heien is breuk te constateren door visuele controle. Tijdens het heien is breuk te constateren aan een plotseling optredende slechte kalender of plotseling weglopen van de paal.

ad 2. Dit spreekt haast voor zichzelf. Er moet nauwlettend toegezien worden dat de juiste paal op de juiste plaats komt.

ad 3. De palen dienen deugdelijk ondersteund op het werk opgeslagen te worden. Op de door een palenfabriek geleverde palen zijn altijd merktekens aangebracht waar de ondersteuning plaats moet vinden. Er dient op toegezien te worden dat dit ook inderdaad gebeurt.

ad 4. Ook voor het hijsen van de palen zijn merktekens aangebracht. Er dient op toegezien te worden dat de hijsstrop inderdaad bij deze tekens aangebracht wordt.

ad 5. De controle op de heil-apparatuur bestaat uit verschillende onderdelen zoals b.v.:

- a. controle op de zwaarte van het heiblok
- b. controle op de deugdelijkheid van de ladder
- c. controle op de werking van het blok.

- De zwaarte van het heiblok moet in overeenstemming met de paal gekozen worden. Een vuistregel voor het kiezen van het blok is de volgende:

Indien de paal op diepte staat moet de zetting per slag ongeveer 1 cm bedragen. Een te zwaar blok geeft een vergroting van de kans op paalbreuk en moeilijk te interpreteren kalenders. Een te licht blok geeft o.h.a. veel te goede kalenders daar er door het blok te weinig energie aan de paal wordt toegevoerd om deze te doen zakken.

- De ladder moet aangepast zijn aan de zwaarte en vooral aan de lengte van de te heien palen. Een te slappe ladder vergroot de kans op breuk en het "weglopen" van de paal tijdens het heien.

- Indien de kalenders opgenomen worden dan moet men weten hoe goed het blok werkt immers een "versleten" blok zal per slag minder energie produceren dan een goed blok. Een controlemethode hiervoor is het tellen van het aantal slagen per minuut. Vanwege de fabrikant wordt voor elk blok een slagkarakteristiek opgegeven. Deze karakteristiek geeft een minimaal en een maximaal aantal slagen per minuut. Indien nu een paal op stuit staat wordt het aantal slagen per minuut geteld, ligt het aantal in de buurt van het maximum aantal slagen dan kan met redelijke zekerheid aangenomen worden dat het blok versleten is, of om een andere reden niet goed werkt.

6. Herleiden van het draagvermogen van een paal uit de kalender

Ondanks het feit dat de dynamische gegevens bepaald uit de kalender niet zonder meer te vergelijken zijn met het statisch draagvermogen van een paal kan men voor een bepaald heiwerk toch wel enige indicatie uit de kalender krijgen voor het draagvermogen.

Het meer en meer toepassen van diesel heiblokken heeft ertoe geleid dat een bepaalde heiformule wat meer gebruikt ging worden. De reden waarom men beter gebruik kan gaan maken van deze formule is gelegen in het feit

dat de toegevoegde heil-energie nauwkeuriger bekend is dan bij valblokken en dat deze energie constanter is in de tijd.

Overigens geldt ook voor deze formule dat hij slechts een indicatie geeft over het draagvermogen van de paal. De grondslag voor de paalberekening is en blijft de sondering.

De tegenwoordig meest gebruikte formule is de zogenaamde Amsterdamse formule of Delmag heiformule, deze luidt:

$$P = \frac{E \times G_s}{(c.L. + z) (G_s + G)}$$

waarin:

P = bezwijklast in N

E = energie per slag van de heimachine in Nm

G_s = slaggewicht in N

G = gewicht van de paal + gewicht van de paalmuts in N

C = 0,0003: factor voor de elastische vervorming van de paal en de grond (voor de houten palen is deze factor 0,0005)

L = paallengte in m

z = gemiddelde blijvende zakking van de paal per slag gemeten over de laatste tocht (1 tocht = 10 slagen) in m

N.B.! 1 kgf = 10 N

1 tf = 10⁴ N.

Indien men in technische eenheden wil werken dan moet voor de factor C = 0,3 (0,5) genomen worden en z in mm; als dan de overige factoren in de technische eenheden ingevoerd worden dan vindt men P in tf.

Voorbeeld van het gebruik van de heiformule:

Een paal ~~z~~ 0,50 cm heeft in de laatste tocht van 10 slagen een gemiddelde zakking van 6 mm per slag.

Het heiblok is een D 44. Vraag is nu hoe groot is de toelaatbare belasting op de paal als de veiligheid op 3 wordt gesteld?

$$P = \frac{E \times G_s}{(c.L. + z) (G_s + G)}$$

waarin:

E_{D44} = 120000 Nm (maximaal werkende brandstofpomp)

G_{sD44} = 43000 N

c = 0,0003

L = 13 m

z = 6 x 10⁻³ m

G = 0,50 x 0,50 x 13 x 25000 + 5000 (mutsgegewicht) = 86250 N

$$P = \frac{120000 \times 43000}{(3 \times 10^{-4} \times 13 + 6 \times 10^{-3}) (43000 + 86250)} = 4,03 \times 10^6 \text{ N}$$

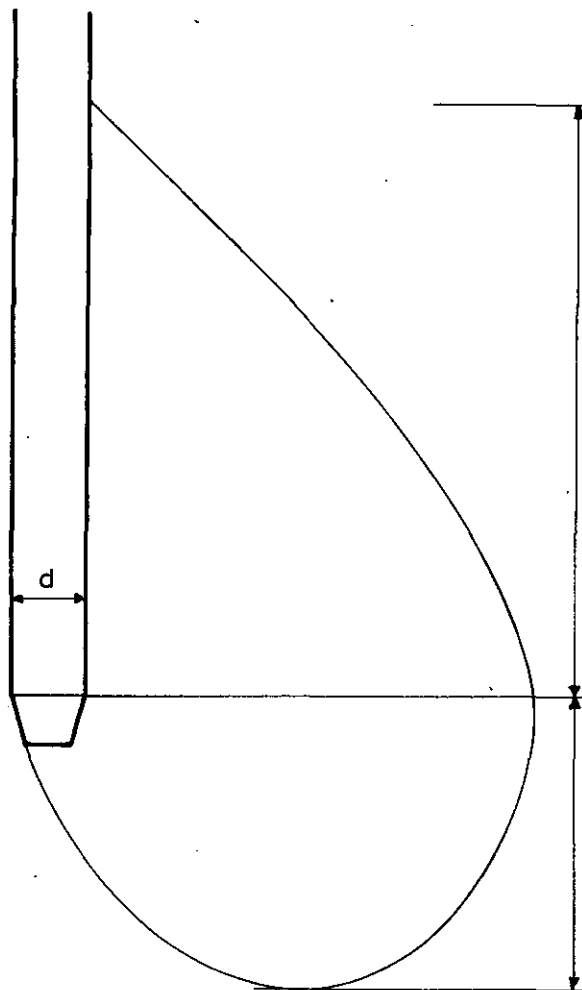
$$\text{Veiligheid } 3 \quad \bar{P} = \frac{4,03 \times 10^6}{3} = 1,34 \times 10^6 \text{ N (134 tf)}$$

Uit de gemeten zetting tijdens het heien wordt dus een indicatie gevonden voor de gebruiksbelasting van de paal.

De hierboven genoemde heiformule is op bijlage 5 ingetekend. Zoals reeds vermeld geldt bijlage 5 voor valblokken. Om nu toch de Delmag-formule in te kunnen tekenen is uitgegaan van een Delmag blok D 5 met een energie van 7500 x 2 = 15000 Nm terwijl bij het D 5 blok een energie van 12500 Nm hoort. De lijn in de grafiek zal dus niet geheel juist zijn, maar geeft wel de orde van grootte en de plaats in de grafiek juist aan.

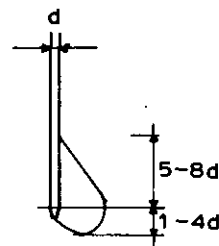
7. Samenvatting en conclusies

Bij het berekenen van paalfunderingen wordt de grondslag voor de berekening gevormd door de sonderingen. Met een bepaalde (beproefde) rekenwijze kan uit de sondering het draagvermogen van een paal worden berekend. Tijdens het heien kan uit de kalenders met behulp van heiformules een indicatie gekregen worden over het draagvermogen van de palen. In twijfelgevallen dienen de resultaten van de berekeningen uit de sondering te worden aangehouden en als er t.p.v. het twijfelgeval geen sondering gemaakt is, moet deze alsnog gemaakt worden.



min. 5d
max. 8d

min. 1d
max. 4d



sondeerconus

paalpunt

$d_{\text{aeg. paal}} = 40 \times 40 \text{ cm}$
 $\approx 45 \text{ cm}$

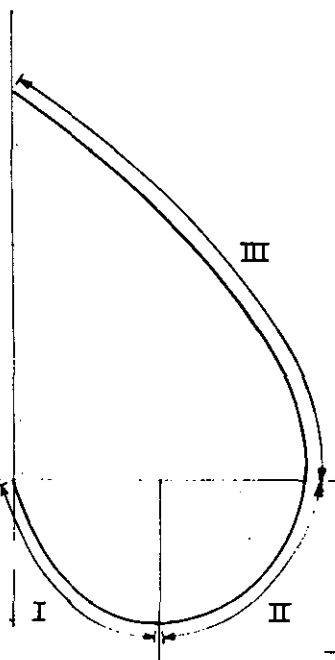
Zone max. $4d + 8d = 12d$
 $= 12 \cdot 0,45 = \underline{\underline{5,40 \text{ m}}}$

$d_{\text{conus}} = 3,6 \text{ cm}$

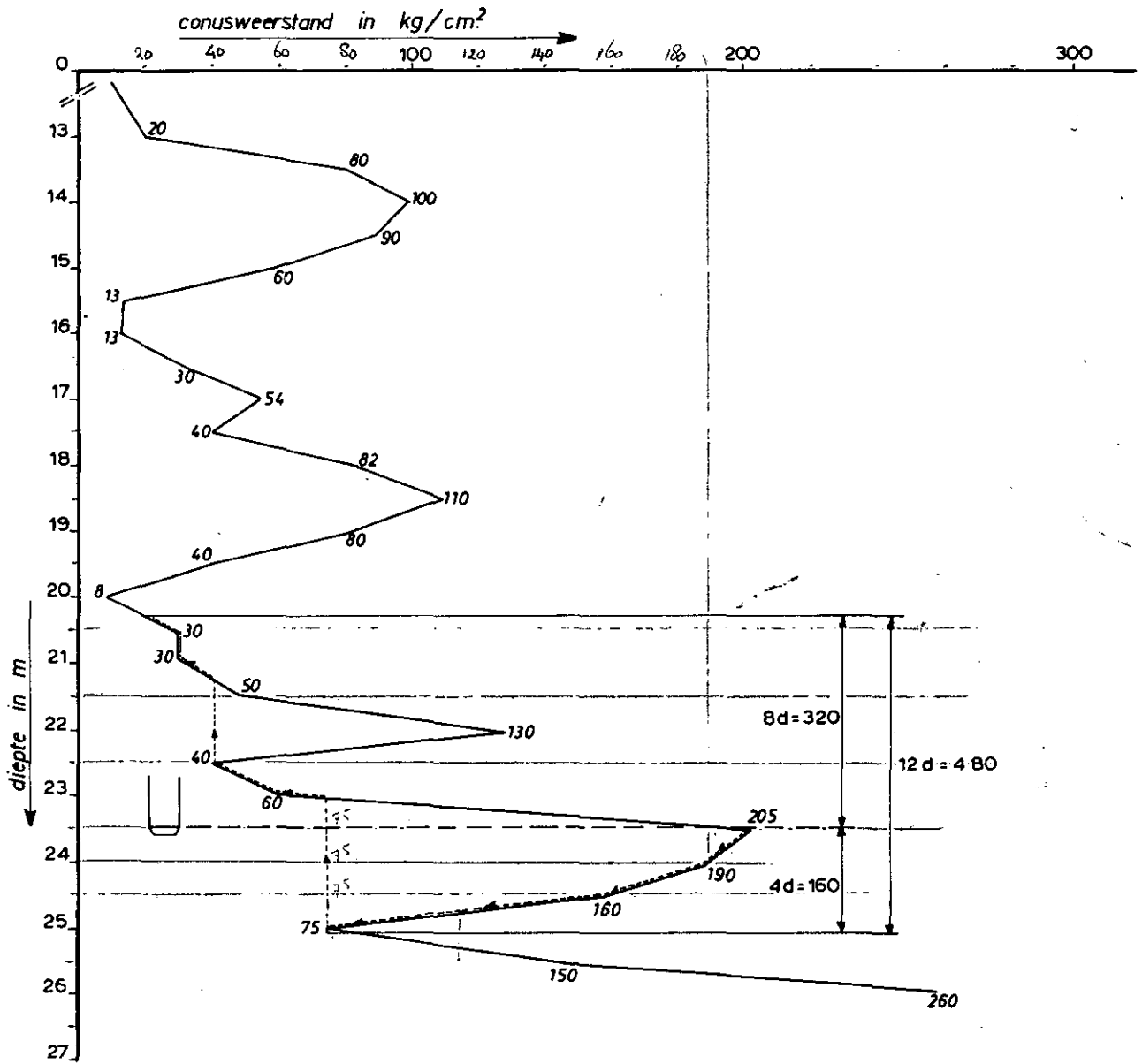
$4d + 8d = 12d$
 $= 12 \cdot 0,036 = \underline{\underline{0,43 \text{ m}}}$

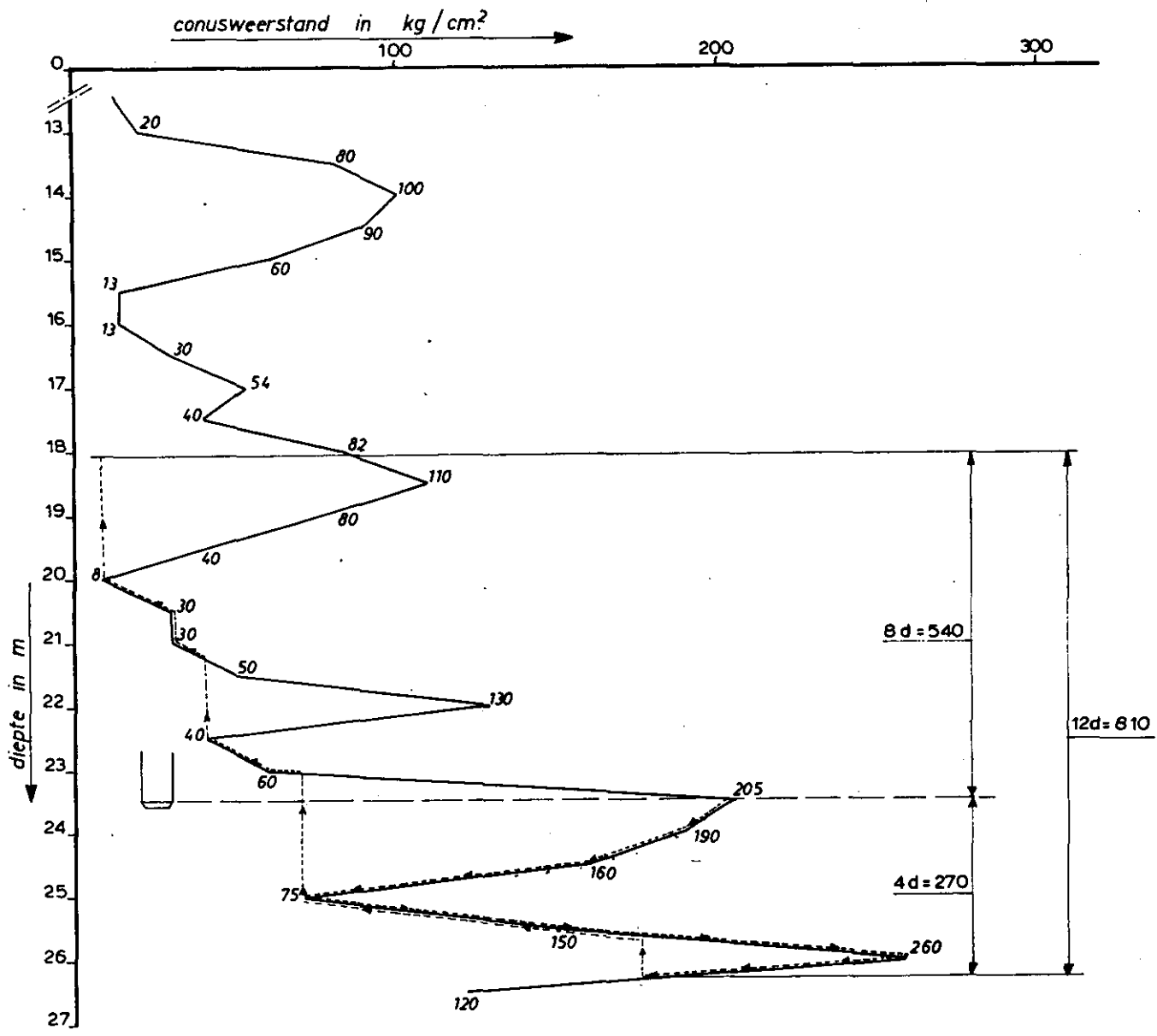
Aannamen:

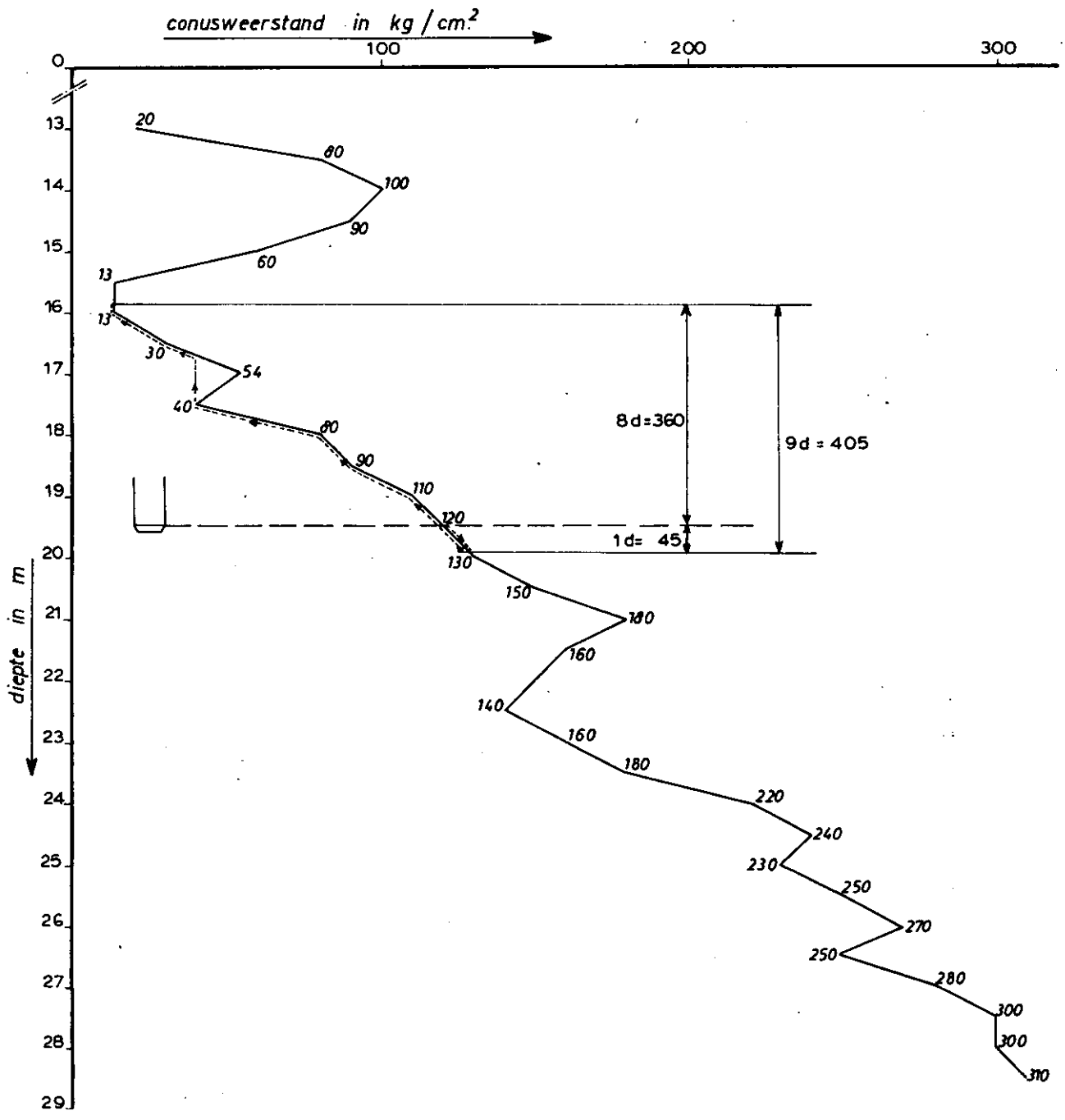
- Conusweerstand onder en boven de punt dragen even veel aan het draagvermogen bij
 $I + II = III$
- Conusweerstand in het schuifvlak onder de punt bestaat uit twee gelijke delen
 $I = II$
- Conusweerstand van I (d.w.z. "heen") geheel volgens sondering.
- Conusweerstand voor II en III (d.w.z. "terug") volgens minimale waarden in de sonderingen.



$$\text{paal} = \frac{\frac{I + II}{2} + III}{2}$$







zakking bij de laatste slag in cm

indringingsweerstand in tf

