

RAPPORTEN EN MEDEDEELINGEN VAN DEN RIJKSWATERSTAAT.

N^o. 10.

I

INHOUD:

NOTA, BETREFFENDE DE TOEPASSING VAN
GEWAPEND BETON VOOR HEIPALEN,
OPGEMAAKT DOOR DEN INGENIEUR VAN DEN
RIJKSWATERSTAAT J. J. CANTER CREMERS.

UITGEGEVEN DOOR HET MINISTERIE
VAN WATERSTAAT.



NOTA BETREFFENDE DE TOEPASSING VAN GEWAPEND BETON VOOR HEIPALEN.

§ 1. **Inleiding.** Hoewel het reeds nagenoeg vijftien jaren geleden is, dat in Nederland heipalen van gewapend beton zijn toegepast, zijn eerst in de laatste jaren werken gemaakt, waarbij dergelijke palen met dusdanig goeden uitslag zijn aangewend, dat een meer uitgebreide toepassing kan worden verwacht.

Inderdaad zijn bij de eerste toepassing, alsmede bij in het buitenland genomen proeven, teleurstellingen ondervonden, die afschrikwekkend gewerkt hebben.

Het veelvuldig gebruik van bewapend beton voor heipalen in het buitenland, alsmede het besef dat voor tal van werken het gebruik van dergelijke palen een belangrijk geldelijk voordeel met zich kan brengen, heeft geleid tot hervatting van de gestaakte proefnemingen en ten slotte tot nieuwe toepassingen.

Al spoedig bleek, dat bij de eerste toepassingen zowel in de samenstelling der palen als bij het heien zelve fouten gemaakt zijn.

§ 2. **Wapening.** Oorspronkelijk scheen het een voordeel van gewapend betonpalen, dat men dergelijke palen ten allen tijde zou kunnen verlengen, indien zij gedurende de uitvoering te kort bleken om een behoorlijke stuit te verkrijgen.

De ervaring heeft deze verwachting teleurgesteld; lasschen in de langswapening veroorzaken steeds meer of minder belangrijke beschadiging van de paal ter plaatse van de lasch.

Ook de secundaire wapening moet met zorg worden uitgevoerd. Deze moet òf bestaan uit eene spiraalvormige omwikkeling der langswapening met spiralen van geringen spoed, òf uit talrijke beugels.

Spiraalwapening is voornamelijk zeer geschikt voor veelhoekige of ronde palen, beugelwapening voor palen of damplanken van rechthoekige doorsnede.

In het laatste geval kan men dan nagenoeg vierkante beugels

aanbrengen om een deel der staven van de langswapening, of wel ter bevestiging van laatstgenoemde beugels aan tusschen de hoekstaven aan de lange zijden gelegen staven der langswapening.

Bij gebruik van vierkante palen is zoowel spiraalwapening als beugelwapening bruikbaar.

Bij niet te korte palen, bijv. bij eene lengte van minstens 10 M., wordt de zwaarte der langswapening bepaald door den eisch, dat de liggende paal zonder gevaar voor scheuren van de beton in vertikalen stand moet zijn te zetten.

Voor kortere palen zou de langswapening te licht worden, indien deze uitsluitend ter voldoening aan den in het voorafgaande genoemden eisch berekend werd.

§ 3. **Het heien.** Ook bij het heien zijn bijzondere voorzorgen te nemen.

In de eerste plaats dient beschadiging van den paalkop te worden voorkomen.

Om dit te bereiken wordt tusschen paalkop en blok een prop aangebracht van een of andere harde houtsoort en op de paalkop zelve een laag poetskatoen, een plaat lood, of een plaat zacht hout, voornamelijk dienende om den slag gelijkmatig over het oppervlak van den paalkop te verdeelen.

Aanvankelijk werd een en ander stevig op de paal bevestigd, zelfs werd het bovengedeelte van de paal omkneld in de meening, dat zulks de paal beter bestand zou maken tegen beschadiging.

Thans wordt gewoonlijk op de paal een muts met dwarsschot geplaatst, van gietstaal of van vloeijzer geconstrueerd, die ruim over den paalkop heenglijdt.

Tusschen paalkop en dwarsschot wordt bovengenoemde plastische laag aangebracht, boven het schot de prop van hard hout. Naar de inzichten van den gebruiker wordt deze prop met wiggen in de muts vastgezet dan wel er los ingeplaatst.

In de weinig uitvoerige, voornamelijk Duitsche, litteratuur over heien van betonpalen wordt aanbevolen het gebruik van een zeer zwaar heiblok.

Ook de aanvankelijke mislukking van het heien van betonpalen in ons land werd geweten aan het gebruik van lichte blokken.

Onder lichte blokken zijn hier te verstaan blokken waarvan het

gewicht belangrijk minder is dan het paalgewicht: een blok van 1000 K.G., dat voor het heien van houten palen onder de zware blokken gerekend wordt, is voor het heien van betonpalen over het algemeen te licht. Een blok-gewicht van 4000 K.G. is alsdan een bruikbaar gemiddelde te achten.

Het is niet de bedoeling van deze beschouwingen om nader in te gaan op de vernuftige inrichting van de heiblokken en stellingen, die speciaal voor het in den grond brengen van betonpalen worden gebouwd.

§ 4. **Beschadiging der palen** In de eerste plaats komt bij het heien **tengevolge van het heien** van betonpalen veelvuldig beschadiging van den paalkop voor. Op zich zelve is deze beschadiging van geen belang.

De paalkop moet nl. als regel toch vernield worden, teneinde de staven der langwapening over eene behoorlijke lengte van beton te ontdoen; deze vrijgemaakte einden worden dan op doelmatige wijze opgenomen in de gewapend-beton-constructie, waarvan de palen den onderbouw vormen.

In het navolgende zal worden toegelicht, dat met het oog op beschadiging van het verdere gedeelte van de paal, het gaaf blijven van den paalkop gewenscht is.

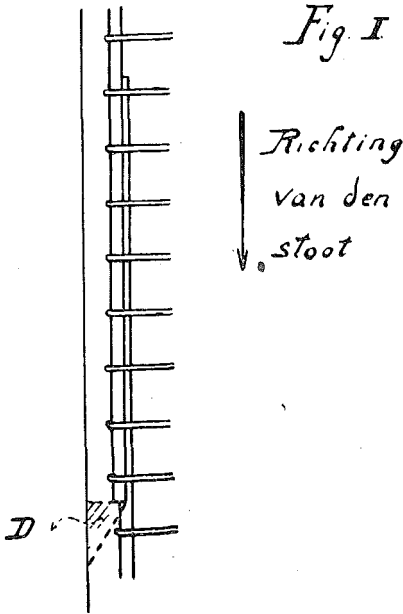
Ernstiger is de neiging van betonpalen om onder het heien ringscheuren te krijgen ter plaatse van de spiralen of beugels.

Somtijds vertoonen zich deze scheuren als uiterst fijne haarscheurtjes, in andere gevallen zijn zij zoo duidelijk zichtbaar dat de naam haarscheur een onjuiste voorstelling zou geven, het komt zelfs voor dat de scheuren afgebrokkelde randen vertoonen.

Voor zoover is waar te nemen, gaan deze scheuren gewoonlijk niet tot op de wapening; zeer zeker blijft zelfs bij ernstige beschadiging van de beton buiten de spiraalwapening, de kern binnen die wapening onbeschadigd. Bij het vernielen der koppen van damplanken en palen voor verbinding met het verdere werk is zulks steeds gebleken.

Hoewel het aanbrengen van lasschen in de langwapening is te vermijden, is het in verband met het navolgende gewenscht om te vermelden welke beschadiging door de aanwezigheid van dergelijke lasschen veroorzaakt wordt.

In fig. I is een zoodanige lasch voorgesteld met een gedeelte der spiraalwindingen van de secundaire wapening.



Worden nu door een vallend blok aan de paal stooten gegeven in de richting van de pijl, dan wordt ter plaatse van de lasch in de langswapening een deeltje D uit de beton gestooten.

De aanwezigheid van betrekkelijk onbetekenende scheuren in een betonpaal is desnoods toe te laten indien deze geheel in den grond staat en indien het grondwater geen bestanddeelen bevat, die gevaar opleveren voor de duurzaamheid van de beton of van de wapening.

Is dit laatste wel het geval, of staan de palen gedeeltelijk boven den grond in het water, met name in zee water onderworpen aan ge-

tijbeweging, dan is het van groot belang om de palen zoo gaaf mogelijk te houden.

In verband hiermede moge gewezen worden op de discussies opgenomen in «Minutes of Proceedings of the Institute of Civil Engineers» Vol. CXCIX, over de duurzaamheid van gewapend betonconstructies in zee water in de tropen.

Ingenieurs, die ter zake over ervaring beschikten, waren eenstemmig van oordeel, dat aantasting voornamelijk, misschien uitsluitend, doch althans het eerst, optreedt nabij het peil van normaal hoog water d. i. in het gedeelte, dat onderworpen is aan afwisselende inwerking van water en lucht en wel zoo, dat de beton na elke onderdompeling tijd heeft om te drogen.

§ 5. **Invloed van het gewicht van het blok.** Nu wordt het gebruik van een zwaar blok o. a. aanbevolen, omdat zulks beschadiging

der palen tot een minimum zou beperken, zelfs geheel kan vermijden.

Inderdaad zijn, o. a. bij eene in 1905 te IJmuiden genomen

proef, waarbij een blok gebezigd werd van het voor houten palen gebruikelijke gewicht, alle palen gescheurd, behoudens één paal die uitsluitend gespoten was.

Vóór dien waren bij het heien van betonpalen voor een loods van de Holland-Amerika lijn te Rotterdam soortgelijke ervaringen opgedaan.

Daartegenover staat, dat thans te IJmuiden ruim 600 gewapend betonpalen geheid zijn ten behoeve van den onderbouw van vischhallen, waarvan bij laag water 3 à 4 M. te zien is.

Deze palen zijn herhaaldelijk aan een nauwgezet onderzoek onderworpen, zonder dat aan het zichtbaar gedeelte een spoor van de in de vorige § genoemde ringscheuren te bespeuren is.

Al deze palen zijn geheid met een stoomblok van 4000 K.G.

Voor een aan de zuidwestzijde der Visschershaven in uitvoering zijnden steiger van gewapend beton zijn palen geheid en zware damplanken, eveneens met een blok van 4000 K.G.

In den beginne werd bij eenige palen last ondervonden van het stuk slaan der koppen, terwijl een getrokken paal fijne ringscheuren vertoonde.

Vermoedelijk is de verhardingstijd dezer palen, ongeveer 40 dagen, te kort geweest.

De damplanken, die in den beginne een enkele maal getrokken zijn wanneer hun stand teveel van den gewenschten afweek, vertoonden nimmer een spoor van scheuren; later bleken ook de paalkoppen goed bestand tegen het heien, terwijl een zwaar geheide paal, van dezelfde afmetingen en wapening, als die welke bij den aanvang van het werk beschadiging vertoonde, later bij trekking onbeschadigd bleek.

Nu kan van deze palen worden opgemerkt, dat niet gebleken is dat zij zich minder goed houden bij gebruik van een lichtheiblok.

Door de gemeente Rotterdam zijn echter proeven genomen met het heien van betonpalen, waarbij onder dezelfde omstandigheden lichte en zware blokken gebruikt zijn; bij deze proeven bleek op overtuigende wijze dat een paal beter bestand is tegen heien met een zwaar blok dan tegen heien met een licht blok.

Intusschen zijn in ons land slechts zeer weinig heistellingen met zware blokken beschikbaar.

Bovendien is het gebruik van deze stellingen voor kleine werken

zeer kostbaar, zoodat het geen verwondering behoeft te wekken, dat telkens weer heiwerven van betonpalen worden uitgevoerd met lichte blokken.

Het komt voor, dat dan werkelijk of oogenschijnlijk goede uitkomsten verkregen worden, doch in andere gevallen is als regel het ontstaan van scheuren in de palen aangetoond, evenals zulks bij de in het voorgaande aangehaalde proeven of werken, waarbij te lichte blokken gebruikt werden, het geval was.

Het is mij echter niet bekend, welke valhoogten zijn toegepast bij werken waar lichte blokken met goeden uitslag zijn gebezigd.

Wanneer het blokgewicht Q , de valhoogte H en de snelheid van het blok op het oogenblik der botsing V is, dan is de levende kracht van het blok op het oogenblik der botsing

$$\frac{Q}{2g} V^2 = Q \times H.$$

Om dus met een blok van 1000 K.G. hetzelfde arbeidsvermogen te verkrijgen als met een blok van 4000 K.G. moet de valhoogte viermaal zoo groot zijn.

Uit te IJmuiden genomen belastings-proeven van palen meen ik te mogen opmaken, dat althans in het fijne duinzand het geven van slagen met een groot arbeidsvermogen een gunstigen invloed heeft op het draagvermogen van de paal.

Bij heien in grof, scherp zand is zulks misschien niet, althans in veel mindere mate, het geval.

Wanneer het dus in fijn zand mogelijk moge zijn, om een paal, na voorspuiten, met een licht blok en met geringe valhoogten onbeschadigd in den grond te krijgen, dan is de kans groot dat het draagvermogen van de paal niet zeer groot zal zijn.

§ 6. Redenen, die gevoerd hebben tot het invoeren van zware blokken voor betonpalen.

Reeds werd er in het voorgaande op gewezen, dat de litteratuur over het heien van betonpalen verrassend weinig omvangrijk is.

Het is mij niet mogen gelukken in deze litteratuur eene aanwijzing te vinden omtrent de redenen die geleid hebben tot het gebruik van zeer zware blokken.

Vermoedelijk is men eenigszins bij intuïtie hiertoe overgegaan ;

het komt mij toch voor, dat van andere op theoretischen grondslag gevestigde overwegingen wel melding zou zijn gemaakt.

Misschien heeft bij de toepassing van het zware blok ook de overweging gegolden, dat het rendement van het aangewende arbeidsvermogen het grootst is, wanneer het gewicht van het blok ongeveer gelijk is aan dat van de paal.

Een bewijs voor deze stelling vindt men o. a: in eene verhandeling getiteld «Résistance des pieux» van den ingenieur M. J. BENABENCQ in de «Annales des Ponts et Chaussées» van 1911.

§ 7. **Theoretische beschouwingen, die op het vraagstuk van toepassing zijn.**

In laatstgenoemde verhandeling komt o. a. een overzicht voor van litteratuur, waarin de botsing volgens de lengte-as van staven behandeld wordt.

De meest algemeene oplossing voor eenvoudige gevallen is gevonden door den Franschen wiskundige BOUSSINESQ en van de door hem verkregen uitkomsten is een overzicht gegeven, toegelicht door grafische voorstellingen door DE SAINT-VENANT en FLAMANT, welk overzicht in den vorm van een nota is opgenomen in de «Comptes rendus de l'Académie des Sciences» van het jaar 1883.

In het navolgende is een en ander uit deze nota overgenomen en hier en daar uitgewerkt, hetgeen aanleiding kan geven tot beschouwingen, die voor het heien van betonpalen van belang zijn.

BOUSSINESQ heeft in zijn theorie twee gevallen behandeld, nl. de botsing van een lichaam Q , waarvan de elasticiteitsmodulus oneindig groot is, met eene snelheid V , met een elastische staaf in de richting der as van die staaf en wel voor het geval, dat de staaf vrij in de ruimte in rust is en voor het geval de staaf aan het ondereinde in een onwrikbaar steunpunt bevestigd is; het laatste geval is voor ons belangrijk.

De elementaire oplossing van het vraagstuk is de volgende.

Wanneer a de lengte van de staaf is, D de doorsnede, ρ de dichtheid van het materiaal en E de elasticiteitsmodulus daarvan, en dus het gewicht $P = \rho g a D$ en U_m de grootste verplaatsing van het vrije einde van de staaf, of de verkorting ten gevolge van de botsing, dan zou bij deze verkorting eene spanning behooren $= \frac{E U_m}{a}$ of in de geheele doorsnede $= \frac{E D U_m}{a}$.

$\tau = F \cdot$
 $\tau = E \frac{\Delta l}{l}$
 $g \cdot$

Voor het verkrijgen eener lengte-vermindering U_m is dan een arbeid besteed $= \frac{E D U_m^2}{a}$, die geleverd is door de levende kracht $\frac{Q V^2}{2g}$ van het vallende lichaam $Q =$.

Alsdan is:

$$\frac{U_m}{a} = \frac{V}{a} \sqrt{\frac{Q a}{g E D}} \text{ of } \frac{U_m}{a} = \frac{V}{w} \sqrt{\frac{Q}{P}} \text{ wanneer } w = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

De waarde w is de voortplantingssnelheid van trillingen en van het geluid in eene vaste stof met de elasticiteitsmodulus E en de dichtheid ρ .

De fout in deze oplossing is, dat zij uitgaat van de onderstelling, dat de verkorting U_m gelijkmatig verdeeld is over de geheele lengte van de staaf, m.a.w. dat de samendrukking per eenheid van lengte in elk punt van de staaf dezelfde is, wat alleen bij rustige belasting het geval is.

BOUSSINESQ heeft het vraagstuk opgevat als de voortplanting van een trillingsgolf in de staaf, met eene snelheid $w = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ welke golf in het vaste uiteinde van de staaf, alsmede door het gewicht Q , wordt teruggekaatst, zoolang althans het laatste met het vrije uiteinde van de staaf in aanraking blijft.

Bestaat laatstgenoemde aanraking niet meer dan verlopen de trillingen in de staaf als de geluidstrillingen in een open orgelpijp.

Voorts heeft BOUSSINESQ aangenomen, dat onmiddellijk na de botsing het uiterst dunne schijfje van de staaf, dat de stoot van het vallend gewicht Q ontvangt, met dat gewicht een snelheid V zal hebben; eene onderstelling tegen welker juistheid niets is in te brengen.

Voorts zijn, naast de reeds genoemde, de volgende letterteekens gebruikt.

$\frac{\varepsilon}{w}$ = het onmeetbaar tijdsverloop, waarin het zeer dunne bovenste schijfje van de staaf de snelheid V verkrijgt;

u = de verplaatsing, ten tijde t , van eene doorsnede D , gelegen op eene afstand X van den oorsprong, zijnde de oorspronkelijke hoogte van het getroffen uiteinde van de staaf;

$u_0 = u$ voor $x = 0$ ten tijde t

$u_{om} =$ maximum waarde van u_0

$\delta = \frac{du}{dx}$ = de betrekkelijke lengteverandering in een doorsnede op een afstand x van den oorsprong

$$\delta_0 = \frac{du}{dx} \text{ voor } x = 0$$

f = eene functie met eene veranderlijke ζ

$f \left(\zeta = \frac{2na}{2na} + 2 \right)$ de waarde van f tusschen de grenzen $\zeta = 2na$ en $\zeta = 2na + 2$.

$$r = \frac{P}{Q} = \frac{\text{gewicht paal}}{\text{gewicht blok}} \quad \eta = \frac{\zeta}{a}$$

Nu is de algemeene differentiaal-vergelijking voor de voortplanting van trillingen of golfbewegingen, die gelijdelijk te niet loopen:

$$w^2 \frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{d^2 u}{dt^2} + 2\chi \frac{du}{dt}$$

waarin $2\chi \frac{du}{dt}$ de vertragende kracht, die tengevolge heeft, dat de opgewekte trillingen te niet loopen.

Aangezien de waarde van de coëfficiënt χ moeilijk of niet te bepalen is, terwijl practisch bruikbare resultaten veel eenvoudiger verkregen worden, wanneer deze vertragende kracht verwaarloosd wordt, is BOUSSINESQ, evenals onderzoekers die hem voorafgingen, uitgegaan van de vergelijking:

$$w^2 \frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{d^2 u}{dt^2} \tag{I}$$

Voorts is gebruik gemaakt van de wetenschap dat eene trilling door het vallend gewicht Q in het boveinde ontwikkeld en door het vaste uiteinde van de staaf teruggekaatst, na een tijdsverloop $\frac{2a}{w}$ weer in het punt van uitgang is teruggekeerd, door den duur der botsing te verdeelen in perioden lang $\frac{2a}{w}$ en zijn dus als grenzen der veranderlijke $\zeta = wt$ aangenomen:

$$0, \varepsilon, 2a, 2a + \varepsilon, 4a, \dots, 2na, 2na + \varepsilon, 2(n + 1)a, \dots$$

De oplossing der differentiaal-vergelijking (I) is:

$$u = F(wt + x) + f(wt - x)$$

waarin: $F(wt + x) = f_1(wt + x - 2a)$

en $f_1 = -f$

Zoodat met de in het voorafgaande aangenomen letterteekens:

$$u = f(wt - x) - f(wt + x - 2a)$$

Voor de vormveranderingen per eenheid van lengte in de verschillende punten van de staaf is:

$$-\delta = -\frac{du}{dx} = f'(wt - x) + f'(wt + x - 2a)$$

De waarde

$$\frac{du}{dt} = w \{ f'(wt - x) - f'(wt + x - 2a) \}$$

Met behulp van gegevens afgeleid uit den begintoestand en uit bekende voorwaarden, waaraan de vergelijkingen moeten voldoen, vond BOUSSINESQ voor de waarden der functie f en voor de afgeleide f' de volgende vergelijkingen in de perioden waarvan de grenzen zijn aangegeven:

$$f(\zeta = 0 \text{ of } < 0) = 0, f'(\zeta = 0 \text{ of } < 0) = 0, f'(\zeta = \varepsilon) = \frac{V}{w}$$

$$f(\zeta = \frac{2a}{0}) = \frac{Qa}{P} \frac{V}{w} (1 - e^{-r\eta}), f'(\zeta = \frac{2a}{\varepsilon}) = \frac{V}{w} e^{-r\eta}$$

$$\left\{ \begin{aligned} f(\zeta = \frac{4a}{2a}) &= f(\zeta = \frac{2a}{0}) + \frac{Qa}{P} \frac{V}{w} [1 + 2r(\eta - 2)] e^{-r(\eta - 2)} \\ f'(\zeta = \frac{4a}{2a + \varepsilon}) &= f'(\zeta = \frac{2a}{\varepsilon}) + \frac{V}{w} [1 - 2r(\eta - 2)] e^{-r(\eta - 2)} \end{aligned} \right.$$

enz. voor $\zeta = \frac{6a}{4a}$ $\zeta = \frac{8a}{6a}$ en verder.

De waarde ε die telkens voorkomt in de grenswaarden der afgeleiden van functie f houdt verband met de uiterst kleine periode $\frac{\varepsilon}{w}$, waarin bij den aanvang der botsing de waarde $\frac{du}{dt}$ voor de bovenste schijf van de paal $= V$ wordt.

Door in de waarden f en f' voor de veranderlijke $\eta = \frac{\zeta}{a}$, de waarden $\frac{wt - x}{a}$ en $\frac{wt + x - 2a}{a}$ in te voeren kan men voor elk punt ten allen tijde de waarde u en de waarde $\frac{du}{dx}$ of δ vinden.

Voor ons doel zijn de waarden δ_0 en δ het meest belangrijk, aangezien het verloop van deze waarden in de staaf evenredig is met het verloop der spanningen, doch ook de waarden van u zijn van eenige beteekenis.

Op bijlage I zijn de waarden $d = -\delta \frac{w}{V}$, uit de formules voor δ_0 en voor δ berekend, als ordinaten uitgezet voor de punten van een staaf, waarvoor $x = 0$, $x = \frac{1}{4} a$, $x = \frac{1}{2} a$, $x = \frac{3}{4} a$, $x = a$, voor de waarden $r = 1$, $r = \frac{1}{2}$ en $r = \frac{1}{4}$ op vijf op onderling gelijke afstanden gelegen abscisassen, waarop de waarden $\frac{wt}{a}$ zijn uitgezet.

De bijlage is overgenomen uit de nota van DE SAINT-VENANT en FLAMENT; in de waarden van d voor $r = \frac{1}{2}$ is voor $x = 0$ en voor $x = \frac{1}{4} a$ eene vergissing ingeslopen tusschen $\frac{wt}{a} = 3$ en $\frac{wt}{a} = 5$, welke vergissing in bijlage IV hersteld is en die overigens voor het navolgende van geen beteekenis is.

Op bijlage Ia zijn de waarden van $U = \frac{w}{Va} u$ uitgezet in dezelfde punten van de staaf en op dezelfde wijze, als waarop in bijlage I de waarden van d zijn uitgezet.

Op bijlage II fig. I zijn op dergelijke wijze als op bijlage I de waarden δ_0 uitgezet vanaf het oogenblik $\frac{\varepsilon}{w}$ tot het oogenblik $\frac{3a}{w}$ voor de waarden $r = 1$, $r = 1\frac{1}{2}$, en $r = 2$ en tot het oogenblik $\frac{2a}{w}$ voor $r = \frac{1}{4}$, $r = \frac{1}{2}$ en $r = 3$.

§ 8. Nadere beschouwing der uitkomsten van Bousinesq voor de waarden van d .

In de eerste plaats is de uitkomst merkwaardig, dat $-\delta_0$ (voor $wt = \varepsilon$) = $\frac{V}{w}$ is, dus onafhankelijk van Q en van P .

Deze uitkomst, die in 1807 door den Engelschman YOUNG voorzien is, beteekent, dat de samendrukking per lengteëenheid, welke de eerste schijf van de staaf bij de botsing met het gewicht Q ondergaat, onafhankelijk is van het gewicht van Q , doch gelijk is aan de snelheid V van Q , gedeeld door de voortplantingssnelheid van het geluid w in het materiaal, waarvan de staaf gemaakt is.

Aangezien de bij die samendrukking optredende spanning daarmede evenredig is, zal ook deze onafhankelijk zijn van het gewicht Q .

Ter plaatse $x = 0$ neemt de waarde $d = -\delta \frac{w}{V}$ regelmatig af, naarmate de weerstand tegen vormverandering van de staaf de levende kracht van Q vermindert. Ten tijde $t = \frac{2a}{w}$ komt de bij den aanvang der botsing gevormde en in het bevestigde uiteinde weerkaatste trillings-golf in het punt $x = 0$ terug en wordt andermaal teruggekaast tegen het gewicht Q .

Uit het verloop der waarden $u_0 = u$ voor $x = 0$ op bijlage Ia blijkt, dat ondanks het onregelmatig verloop der waarden δ_0 , de snelheid $\left(\frac{du}{dt}\right)$ van Q zeer regelmatig tot 0 afneemt en daarna weer aangroeit tot het einde der botsing bereikt is.

Als einde der botsing wordt het oogenblik aangenomen, waarop $\delta_0 = 0$, of wel de betrekkelijke lengteverandering in het punt van aanraking tusschen blok en staaf $= 0$.

Wanneer n.l. δ_0 deze waarde krijgt, is dit een bewijs, dat de aanwezigheid van het blok niet langer eenigen invloed op de vormverandering van de staaf uitoefent.

Uit de formules voor δ_0 blijkt, dat het einde der botsing in elk geval na het tijdstip $t = \frac{2a + \varepsilon}{w}$ zal vallen.

De uitdrukkingen voor δ_0 zijn n.l. in de eerste perioden:

$$-\delta_0 \left(\zeta = \varepsilon \right) = \frac{V}{w}$$

$$-\delta_0 \left(\zeta = \frac{2a}{\varepsilon} \right) = \frac{V}{w} e^{-r\eta}$$

$$-\delta_0 \left(\zeta = \frac{4a}{2a + \varepsilon} \right) = -\delta_0 \left(\zeta = \frac{2a}{\varepsilon} \right) + \frac{V}{w} [2 - 2r(\eta - 2)] e^{-r(\eta - 2)}$$

Van deze uitdrukkingen kan alleen de derde $= 0$ worden.

Hoe lichter Q in verhouding tot P is, dus hoe grooter de waarde van r hoe meer het oogenblik van het einde der botsing de waarde $\frac{2a + \varepsilon}{w}$ zal naderen.

De maximum waarde van $-\delta$ zal optreden in het bevestigde uiteinde, wanneer de eerste trillingsgolf daarin voor de tweede maal weerkaast wordt.

In bijlage III zijn de maximum waarden van $d = \frac{zw}{V}$ ($-\delta$) als ordinaat uitgezet op een abcis waarop de waarden $\frac{Q}{P} = \frac{1}{r}$ zijn uitgezet;

de alsdan verkregen kromme is met een zware getrokken lijn aangegeven.

Met eene dunne getrokken lijn zijn de maximum waarden van δ aangegeven,

$$-\frac{zw}{V} \delta = \sqrt{\frac{Q}{P}}$$

gevonden uit de in § 7 aangegeven elementaire oplossing, waaruit blijkt dat deze oplossing uitkomsten geeft, die vooral bij groote waarden van r zeer misleidend zijn.

Door echter aan de ordinaten dezer kromme de eenheid toe te voegen, waardoor de met een bloklijn aangegeven kromme verkregen wordt, vindt men waarden voor

$$-\frac{zw}{V} \delta = \sqrt{\frac{Q}{P}} + 1$$

die voor $\frac{zw}{V} > 5$ de juiste waarden naderen.

Voor ons doel is het van belang om na te gaan op welke wijze de maximum waarde van $-\frac{zw}{V} \delta$ verandert voor verschillende waarden van $\frac{Q}{P}$ bij constante waarden van P en voor $Q \propto V^2$.

De lijn volgens welke alsdan de maximum waarden van δ veranderen, is op bijlage III met een zware bloklijn aangegeven.

Deze lijn, die de ordinaatas asymptotisch raakt, toont duidelijk aan van hoeveel invloed de verhouding $\frac{Q}{P}$ is op de maximum waarde van $-\delta$, alsmede dat zulks voornamelijk het geval is voor waarden van $\frac{Q}{P} < 3$.

Waar de spanningen, die met de vormveranderingen in de staaf optreden, daarmede evenredig zijn, volgt uit de theorie, dat bij eene constante waarde $Q \propto V^2$, de tengevolge der trillingen in de staaf optredende spanningen afnemen, naarmate de waarde $\frac{Q}{P}$ grooter wordt.

§ 9. **Toepassing der theorie op het heien van palen.** Bij het heien van een paal in de praktijk doen zich zeer groote afwijkingen voor van het door BOUSSINESQ theoretisch behandelde geval.

In de eerste plaats is BOUSSINESQ, door het verwaarloozen van de term $2 \chi \frac{d u}{d t}$ in de differentiaalvergelijking, van de onderstelling uitgegaan, dat de trillingen zich onverzwakt voortplanten in de staaf.

In werkelijkheid zal dit nimmer geschieden; de bij den aanvang der botsing verwekte samendrukking in de eerste lagen van de paal — $\delta_0 = \frac{V}{w}$, waarvan de voortplanting op bijlage I te volgen is, zal zich dus in werkelijkheid niet onverzwakt voortplanten.

In de tweede plaats is het uiteinde der paal niet onwrikbaar in den grond bevestigd en ook niet in één punt.

Zelfs indien de paal niet in den grond drong, tengevolge van het heien, zou er geen sprake zijn van volledige terugkaatsing van zich in de paal voortplantende trillingen.

De meeste grondsoorten zijn zelve veerkrachtig, zoodat een deel der aan de paal gegeven trillingen zich in den grond verder voortplanten; zij worden dan slechts gedeeltelijk teruggekaatst.

Wanneer bovendien de paal, tengevolge van den slag van het blok, in den grond doordringt, wordt een nog geringer gedeelte der trillingen door de punt teruggekaatst.

Ten slotte is de paal niet alleen met de laatste doorsnede aan den grond verbonden.

Zelfs een voorgespoten paal staat gewoonlijk wel één Meter in den vasten grond, wanneer de zwaarste slagen worden gegeven.

De weerstand tegen het in den bodem drijven van de paal wordt dus niet uitsluitend in de uiterste punt ondervonden, doch deze is over een zeker, moeilijk te benaderen, gedeelte der paallengte verdeeld.

Hoe minder is voorgespoten over des te grooter gedeelte der paallengte wordt ten slotte de weerstand tegen het inheien verdeeld.

In hoeverre zulks geschiedt wordt met de navolgende voorbeelden toegelicht.

Bij het afbreken van een op houten palen gefundeerd oever-

werk te Rotterdam bleek het meereendeel der palen, naar den aard der breuk te oordeelen, tengevolge van het heien gebroken.

Deze palen, gedeeltelijk door rijswerk geheid, waren niet voorgespotten en waren allen in de bovenste helft gebroken.

Voor den steiger aan de zuidwestzijde der haven te IJmuiden is een proefpaal ter lengte van 9 M. in den grond gespoten en vervolgens ruim 1 M. nageheid met een blok van 4000 K.G. gewicht en met eene maximum valhoogte van 0.80 M.; de stuit was ten slotte \pm 0.10 M. per tocht.

Eenige dagen later, toen dus de grond om de paal behoorlijk was bijgezakt, is deze paal andermaal nageheid; eerst eenige tochten met valhoogten van 0.40 M. waarbij geene zakking was waar te nemen; vervolgens werden de valhoogten geleidelijk opgevoerd, tot bij valhoogten van 0.80 M. weder zakking van beteekenis werd waargenomen.

Vervolgens werd de paal losgespoten en getrokken.

Bij onderzoek bleken alleen op een afstand van 2 M. van den paalkop eenige onbeteekenende ringscheuren aanwezig; voor het overige was de paal volkomen gaaf.

Hier bleek dus de aansluiting van den grond tegen de paal, evenals te Rotterdam, van zoodanigen invloed te zijn op de voortplanting der trillingen, dat spanningen, die tot beschadiging aanleiding geven, uitsluitend optraden in de bovenste paalhelft.

Bij de voorgespotten paal is ook de nawerking opmerkelijk, die blijkbaar in het zand heeft plaats gehad in de eerste dagen na het heien.

De wrijving tusschen grond en paalomtrek zal de reeds door de traagheid van het materiaal van de paal verzwakte trillingen, gedurende de voortplanting nog meer verzwakken, doch zal bovendien in het gedeelte van de paal, dat niet met den grond in aanraking komt, vroeger terugkaatsingsverschijnselen verwekken, dan het geval was bij een uitsluitend in het uiteinde bevestigde paal.

Op bijlage IV is in een bloklijn van bijlage I het verloop der trillingen overgenomen bij eene waarde $r = \frac{P}{Q} = \frac{1}{2}$, in een getrokken lijn het verloop dier trillingen, zooals het in verband met het voorafgaande ongeveer zal kunnen zijn, indien de paal voor

de helft der lengte in den grond staat en wanneer de trillingen zich niet onverzwakt voortplanten.

De eerste samendrukking zal in de kop de waarde $-\delta = \frac{V}{w}$ naderen, doch deze zal bij voortplanting in de paal minder worden.

In den paalkop zullen vanaf het tijdstip $t = \frac{a}{w}$ de invloed van gedeeltelijk teruggekaatste trillingen zijn waar te nemen; overigens zullen de minima der waarden van $-\delta$ grooter, de maxima kleiner zijn, dan in het geval, waarvoor BOUSSINESQ de theoretische oplossing heeft gevonden.

Dientengevolge zullen ook de na het einde der botsing in de paal optredende trekspanningen, tengevolge van het voortduren der trilling na den slag, veel kleiner zijn, dan uit de met behulp der theorie berekende uitrekkingen zou zijn af te leiden.

Hierbij valt nog op te merken dat in den paalpunt geen trekspanningen van beteekenis kunnen optreden.

Zulks zou alleen mogelijk zijn, wanneer de uiterste paalpunt weerstand tegen uit den grond trekken van de paal kan bieden, wat niet het geval is.

Voorts is een zeer belangrijk verschil tusschen het theoretisch behandeld geval en het heien van een paal in de praktijk, de wijze waarop de slag wordt toegebracht.

In de eerste plaats is de elasticiteitsmodulus van het heiblok niet oneindig groot, zoodat naast de bovenste laag van de paal ook de laag van het blok, die met de paal in aanraking komt, samendrukking zal ondervinden.

De waarde $\left(\frac{du}{dt}\right)$ voor $x = 0$ en voor $t = \frac{\varepsilon}{w}$ zal dus niet $= V$ zijn, als in § 7 werd ondersteld, doch zal vermenigvuldigd moeten worden met eene coëfficiënt < 1 , afhankelijk van de verhouding tusschen de waarden van de elasticiteitsmodulus van het materiaal van het blok en die van het materiaal van de paal.

Ook de verhouding der waarden van w in beide materialen zal een rol spelen.

In de tweede plaats komt, bij het heien van betonpalen, het blok niet onmiddellijk met de paal in aanraking; de door den slag verwekte trillingen worden voortgeplant door een houten prop

en door een dunne laag van plastisch materiaal, somtijds nog gescheiden door een schot van vloeijzer of van gietstaal, een en ander als omschreven in § 3.

Bij elken overgang tusschen deze lagen, die ieder afzonderlijk een verschillende waarde van E en van w hebben, wordt de trilling gedeeltelijk aan den volgenden laag medegedeeld, gedeeltelijk teruggekaatst.

Aan den paalkop zal dien tengevolge niet ééne zoo te noemen aanvangstrilling worden medegedeeld, waarbij behoort eene vormverandering per lengteëenheid — $\delta_0 = \frac{V}{w}$, doch eene trilling, waarbij eene veel kleinere vormverandering behoort, of wel, wegens de voortplanting der tusschen blok en paalkop in de schokbrekende lagen heen en weer gekaatste trillingen, een reeks trillingen, ongeveer als op fig. II van bijlage II is voorgesteld.

Het op bijlage IV voorgestelde verloop der trillingen is slechts eene zeer schematische voorstelling der in werkelijkheid optredende trillingen te achten: intusschen wettigen de beschouwingen, die tot de op bijlage IV gegeven voorstelling leiden, de volgende onderstelling.

Dat bij de trillingen, ontstaan in een gedeeltelijk in den grond gedreven paal, tengevolge van een slag met een heiblok, niet een aantal sprongen in de lengteverandering per lengteëenheid zullen optreden met de waarde — $\delta = \frac{2}{w} V$ in de beide uiteinden en met de waarde $\frac{V}{w}$ in de tusschen gelegen punten, doch dat een plotseling oploopen der waarde — δ bij den aanvang der botsing, zal worden gevolgd door een meer regelmatig golvend verloop dezer waarden gedurende de botsing, in golven waarvan de amplitude afneemt, naarmate men het einde der botsing nadert.

§ 10. **Beschadiging van gewapend betonpalen.** De vraag is nu, hoe kunnen de in § 4 beschreven beschadigingen ontstaan, tengevolge van het heien.

De ringscheuren, wijzen niet op het optreden van drukspanningen, waaraan de beton geen weerstand kan bieden.

De scheuren, die optreden bij belasting tot de breuk van

kolommen van gewapend beton, zijn over het algemeen geen ringscheuren, zooals is waar te nemen op de talrijke afbeeldingen van dergelijke proefstukken in de litteratuur over gewapend beton.

Bij kolommen met door spiraal-wapening omsnoerde hoofdwapening treedt wel de vernieling het eerst op buiten de omsnoering, doch deze vernieling bestaat in het afvallen van de beton buiten de wapening en begint niet met scheuren ter plaatse van de spiralen.

In verband met het verloop van de zware bloklijn op bijlage III valt echter op te merken, dat vernieling van de paal tengevolge van drukspanningen wel mogelijk zou zijn bij aanwending van een zeer licht blok met eene waarde $\frac{Q}{2g} V^2$, die bij gebruik van een zwaar blok geene aanleiding kan geven tot beschadiging.

Deze vernieling zou zich echter wegens verzwakking der amplitude van de trillingen gedurende de voortplanting tot den paalkop beperken.

Veeleer zouden de optredende scheuren als trekscheuren zijn te beschouwen, ontstaan tengevolge van de uitrekking gedurende de trilling van de paal na den eigenlijken slag van het blok.

Dat de scheuren juist ter plaatse van de beugels zouden ontstaan is wel aannemelijk, aangezien daar plaatselijk de continuïteit in de doorsneden van de paal verbroken wordt, wat voornamelijk bij trilling van invloed moet zijn.

Uit bijlage I volgt, dat in het theoretisch geval van trillingen, die zich onverzwakt blijven voortplanten, de maximum uitrekking per lengteeenheid en dientengevolge de daarmede overeenstemmende spanning vrij groot kan zijn in vergelyk met de maximum samendrukking.

Vermoedelijk zal bij het heien de demping der trillingsamplituden, tengevolge van verschillende omstandigheden wel zoo groot zijn, dat de maximum uitrekking zeer klein is in vergelyking met de maximum samendrukking. Ware dit niet het geval dan zou het uitblijven van haarscheuren tengevolge van het heien wel onbestaanbaar zijn te achten, om van nog ernstiger beschadiging niet te spreken.

Evenals voor de maximum samendrukking, gaat voor de maximum uitrekking de in bijlage III grafisch toegelichte stelling op,

dat bij aanwending van een zelfde hoeveelheid in het blok opgehoopte levende kracht, de vormverandering per lengteenheid, en dus de spanning in het materiaal, kleiner wordt, naarmate de verhouding $\frac{Q}{P}$ grooter is, als ook, dat de invloed dier verhouding het grootst is voor waarden van $\frac{Q}{P}$ kleiner dan 5. $\frac{Q}{P} < 5$

Wegens de gevolgen van het verzwakken der trillingen, gedurende de voortplanting zullen bij het einde van eene, naar verhouding kortstondige botsing, dus bij den slag van een licht blok de amplituden der trillingen grooter zijn dan bij het einde van de botsing van een zwaar blok.

Aangezien de trillingen, waarbij trekspanningen optreden, eerst na het einde der botsing voorkomen, is ook het optreden van trekspanningen eerder te verwachten bij gebruik van een licht blok, dan bij gebruik van een zwaar blok.

Voor de onderstelling, dat de ringscheuren aan trekspanningen zijn te wijten, pleit ook het feit, dat deze scheuren steeds op eenigen afstand van paalkop en paalpunt beginnen.

Uit de toelichting bij de bijlagen I en IV volgt, dat in paalkop en paalpunt ook geen trekspanningen kunnen optreden, zoodat uit dien hoofde de afwezigheid van scheuren aldaar zeer verklaarbaar is.

Er is nog een derde reden, die kan voeren tot het ontstaan van ringscheuren ter plaatse van de beugels tengevolge van het heien, die nader beschouwd dient te worden.

Gewapend beton bestaat uit twee in eigenschappen zeer uiteenloopende materialen, n.l. beton en ijzer.

Een gevolg van dit verschil in eigenschappen zal o.a. zijn dat de voortplantingssnelheid w van trillingen, die evenredig is met de waarde $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$, zooals in § 7 is vermeld, in ijzer grooter zal zijn dan in beton en wel ruim 1.3 maal zoo groot.

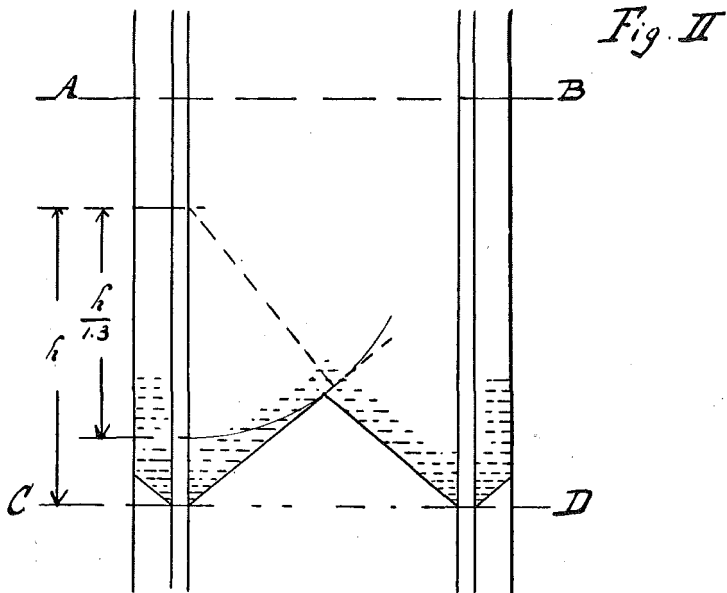
De aan de paal medegedeelde trillingen zullen zich dus in het ijzer der langswapening sneller trachten voort te planten dan in de omringende beton.

Eenerzijds zal de omringende beton de snellere voortplanting der trillingen in de langswapening trachten te vertragen en te

verzwakken, anderzijds neemt het ijzer, dat in trilling is, de omringende beton in trilling mede.

De trillingen in het ijzer zullen zich dus aan de omringende beton mededeelen, voor zoover die niet reeds direct in trilling gebracht is door voortplanting der trillingen in de beton zelve; deze trillingen zullen zich daarin vanaf het ijzer in alle richtingen voortplanten met eene snelheid $= \frac{1}{1.3} \times$ de voortplantingssnelheid in het ijzer.

Waar de trillingen in palen van gewapend beton in dit geval uitgaan van de langswapening en bij voortplanting steeds grootere hoeveelheden beton in trilling brengen, zullen de trillingen bij die voortplanting wel snel verminderen in intensiteit.



Indien in fig. II A B de doorsnede van een paal is tot waar de beton in trilling zou zijn gebracht, tengevolge van een slag met het heiblok, indien de paal uitsluitend van beton geweest ware en C D de doorsnede tot waar het ijzer der langswapening in trilling is, dan zal de beton in het gearceerde gedeelte aan de trilling deelnemen, waarbij men zich dan moet voorstellen, dat om de staven

der langswapening een kegel van beton in trilling geraakt, waarvan de sinus van den halven tophoek $= \frac{1}{1,3}$ is.

Het is duidelijk, dat bij het lasschen van langswapening op de gebruikelijke wijze, nl. door het over eene zekere lengte langs elkander leggen van de te lasschen staven, het volledig overbrengen van trillingen van de eene staaf in de andere onmogelijk is; de tweede staaf kan alleen de trilling overnemen van de beton waarmede deze omringd is, die op haar beurt hare trilling ontleent aan die van de eerste staaf, zoolang niet de direct in de beton voortgeplante trillingen het beschouwde paalgedeelte bereikt hebben.

De aanhechting tusschen ijzer en beton moet dienen tot overbrenging der spanningen en uit het voorafgaande blijkt dat deze overbrenging niet volledig kan geschieden, wanneer die spanningen veroorzaakt worden door voortplanting van trillingen ontstaan tengevolge van eene botsing.

Waar dus de trillingen tengevolge van den slag van een heiblok beginnen met een scherp geaccentueerden stoot, te onderscheiden als aanvangstrilling, gevolgd door eenige meer of minder geleidelijk veranderende spanningsgolven, als op bijlage IV is aangegeven, zal deze stoot aan het einde van een op de gebruikelijke wijze aan een volgende gelaschte staaf der langswapening, zij het dan ook niet ten volle, aan de beton worden overgedragen.

Wegens de grootere voortplantingssnelheid der trillingen in ijzer in vergelijking met die in de beton, zal de beton bij het aanbrengen van den stoot nog in rust zijn en het ligt voor de hand, dat een dergelijke stoot in staat zal zijn de beschadiging te veroorzaken, die in figuur I van § 4 schematisch is voorgesteld.

Misschien zou beschadiging te vermijden zijn, indien de lasch met een zuiver bewerkte wartel werd uitgevoerd.

Daartoe moeten echter de lascheinden van zuiver gesneden schroefdraad voorzien worden, terwijl zoo mogelijk de einden der te lasschen staven sluitend tegen elkander zijn te brengen, eene bewerking die, naar verhouding tot de in het algemeen voor het stellen van wapening noodige werkzaamheden, kostbaar is en die ook niet in de gewapend-beton-techniek thuis behoort.

Bovendien is het de vraag of de plaatselijke verdikking van de gelaschte staaf niet een stoot aan de beton zou toebrengen,

die soortgelijke gevolgen zou hebben, als die welke bij lassching op de gebruikelijke wijze geconstateerd zijn.

Voorts is het aannemelijk, dat om de langswapening gewonden beugels of spiralen op soortgelijke wijze trillingen op de beton kunnen overbrengen als de uiteinden van gelaschte staven der langswapening.

Aan deze zal, tengevolge van de trilling in de staven der langswapening, eene trilling worden medegedeeld loodrecht op de as in plaats van eene trilling volgens de as, als in de staven der langswapening optreedt.

Indien de amplitude van deze trillingen grooter is dan die van de omringende beton, zal de beton trachten het ontstaan en het voortplanten dezer trillingen te beletten.

Ook hier zijn de omstandigheden voor beschadiging van de beton het gunstigst, wanneer de aanvangstrilling in de staven der langswapening, op eenigen afstand van den paalkop, de rechtstreeks in de beton voortgeplante aanvangstrilling vóór is.

Het ontstaan van scheuren tengevolge van trekspanningen, op welke wijze die ook ontstaan zijn, kan bevorderd worden doordat in de beton om de wapening vermoedelijk reeds trekspanningen bestaan, wanneer de paal in rust is, tengevolge van de neiging tot krimpen van de beton tijdens de verharding, aan welke neiging door het wapeningsijzer weerstand wordt geboden.

Wanneer het ontstaan van scheuren in de paal in hoofdzaak geweten moet worden aan den invloed der aanvangstrilling en wel aan de verschillende snelheden, waarmede die trilling zich resp. in ijzer en in beton voortplant, dan is het ook van belang in welke verhouding het ijzer en de beton deelnemen aan de voortplanting van de door de botsing aan de paal medegedeelde levende kracht.

Indien nu de beton van den paalkop zoodanig wordt beschadigd, dat de slag direct wordt opgenomen door de blootgekomen staven der langswapening en door een laag tot gruis geslagen beton, dan zal vermoedelijk het ijzer een grooter rol spelen bij de voortplanting der trillingen dan wanneer de paalkop onbeschadigd blijft.

In verband met het voorafgaande is het van belang te achten, dat te IJmuiden van de enkele palen, waarin haarscheuren zijn

waargenomen, de koppen tengevolge van het heien geheel vernield waren. Hierbij dient echter te worden opgemerkt, dat van verschillende palen, die onder de hal zijn verwerkt, de koppen eveneens zwaar zijn beschadigd, zonder dat zich in het boven water uitstekende gedeelte dier palen waarneembare scheuren bevinden. Overigens neemt vermoedelijk, ook wanneer de paalkop niet beschadigd is, het ijzer een grooter aandeel in het opnemen en overbrengen van den aan den paalkop medegedeelden stoot, dan uit de verhouding tusschen betondoorsnede en ijzerdoorsnede zou volgen; dit zou o.a. op te maken zijn uit de beschadiging van de beton ter plaatse van lasschen in de langswapening welke beschadiging onvermijdelijk schijnt, welke voorzorgen ook bij het heien worden genomen.

Hoewel dus beschadiging van den paalkop op zich zelve geen nadeel is te achten, zooals in § 4 is opgemerkt, kunnen de gevolgen wel van dien aard zijn, dat aanwending van middelen tot voorkoming dier beschadiging aanbeveling verdient.

Welke verklaring men ook voor het ontstaan der scheuren de meest aannemelijke moge achten, het komt mij voor, dat de uiterst krachtige in een onmeetbaar korte periode tot haar maximum oploopende aanvangstrilling, veroorzaakt door de eerste aanraking tusschen blok en paal, daarin een rol speelt.

De amplitude van deze trilling, dus ook van de daardoor veroorzaakte spanningen, is uitsluitend afhankelijk van de snelheid van het blok op het oogenblik der botsing.

Uit dien hoofde zal het gebruik van een zwaar blok aanbeveling verdienen, wanneer voor het in den grond dringen van de paal aanwending van groot arbeidsvermogen noodig is.

Alsdan kan dit arbeidsvermogen met geringere valsnelheden verkregen worden dan bij het gebruik van een licht blok.

Het geringst is de invloed van de aanvangstrilling, indien het ontstaan van scheuren te wijten is aan trekspanningen, die ontstaan bij het trillen van de paal na afloop van de botsing.

De amplitude dezer trillingen zal het kleinst zijn wanneer de paal gemakkelijk in den grond doordringt.

Het is dus niet onmogelijk, dat het gebruik van een licht blok ook mogelijk is zonder beschadiging der palen, indien de paal over de volle lengte in een bodemsoort met gering draagvermogen

komt te staan; in dat geval kan trouwens ook volstaan worden met geringe valhoogten, ook al is het blok licht.

Ten slotte dienen nog eenige opmerkingen gewijd te worden aan het heien van schoorpalen.

Tengevolge van de neiging tot zijdelingsche verplaatsing van de punt van onder helling geheide palen treden in het algemeen in dergelijke palen onder het heien momenten op.

De grond, waarmede palen boven de punt omgeven zijn, verzet zich nl. tegen deze zijdelingsche verplaatsing.

Aangezien aan het optreden van momenten de aanwezigheid van trekspanningen verbonden is, terwijl er in het voorafgaande opgewezen is, dat aanwezigheid van trekspanningen het ontstaan van scheuren gedurende het heien kan bevorderen, is te verwachten dat in schoorpalen ook bij gebruik van een zwaar blok scheuren kunnen optreden.

Zulks is niet of in geringe mate het geval wanneer de grond zich leent tot het voorspuiten van palen, aangezien alsdan de weerstand van den grond tegen zijdelingsche verplaatsing zeer gering is en zich bovendien beperkt tot het gedeelte van de paal nabij de punt.

Bij het trekken van een schoorpaal onder de thans voltooide vischhal, geheid onder een helling van 1 : 3, werden inderdaad nabij de punt eenige haarscheuren waargenomen; voor zoover deze palen echter zichtbaar zijn, is geen beschadiging waargenomen.

Onder den in uitvoering zijnden betonsteiger zijn eveneens schoorpalen toegepast onder een helling van 1 : 3.

Deze ongeveer 9 M. lange palen werden grootendeels gespoten en over de laatste 1.50 M. zonder spuiten nageheid.

Van deze palen zijn er twee na het heien losgespoten en getrokken; in geen dezer palen kan eenig spoor van haarscheuren of van andere beschadiging ontdekt worden.

Onder omstandigheden, waarbij aanwezigheid van haarscheuren gevaarlijk is te achten, zal het wenschelijk zijn de helling der schoorpalen zooveel mogelijk te beperken, ook wanneer voorspuiten mogelijk is.

Van belang is in deze eene mij mondeling door een Duitschen Ingenieur gedane mededeeling, betreffende het heien van betonpalen voor een steiger te Cuxhafen.

Deze verklaarde, dat zijnerzijds het heien van schoorpalen van gewapend beton als eene mislukking beschouwd werd.

Bij deze verklaring dient echter te worden aangeteekend, dat de gesteldheid van den bodem te Cuxhafen, die groote overeenkomst vertoont met die te Delfzyl, zich niet leent tot voorspuiten.

Intusschen zal het in elk geval aanbeveling verdienen om schoorpalen zoo weinig mogelijk uit den loodrechten stand te zetten wanneer voorspuiten onmogelijk is; zoo noodig kan dan de vereischte schorende werking verkregen worden door vermeerdering van vertikale belasting en aantal der schoorpalen.

§ II. **Recapitulatie.** Betreffende het voorafgaande kan ongetwijfeld opgemerkt worden, dat de theorie slechts aanwijzingen geeft ter verklaring van de verschijnselen, die zich bij het heien van betonpalen voordoen.

Zelfs in het geval uit de praktijk dat de theorie het meest nabij komt, nl. het naheien van een voorgespotten paal waarbij het blok onmiddellijk op den paalkop valt, zou de toepassing der theorie, zonder omstandigheden in aanmerking te nemen die op de uitkomst van invloed zijn, tot het maken van belangrijke fouten aanleiding geven.

Ook de verklaring der beschadiging van deze palen, tengevolge van het verschil in voortplantingssnelheid van trillingen in ijzer en in beton, berust te veel op onderstellingen, dan dat deze verklaring niet met groote omzichtigheid aanvaard zou moeten worden.

Het is echter niet te loochenen, dat alle verzamelde gegevens overeenstemmen met de practisch bewezen stelling, dat het gebruik van een zeer zwaar heiblok gewenscht is om de beschadiging van betonpalen te voorkomen.

Waar onder andere in een gezaghebbend werk als «Hütte» voor gewapend betonpalen een heiblok wordt aanbevolen waarvan het gewicht ongeveer gelijk is aan dat van de paal, moet in verband met de in het voorafgaande gegeven beschouwingen worden opgemerkt, dat deze verhouding als een minimum is te beschouwen.

Met een blok dat eenige malen het gewicht van de paal heeft, zullen, bij aanwending van een bepaalde hoeveelheid levende kracht per slag, nog betere uitkomsten verkregen worden.

Waar dan ook voor het blokgewicht van B voor het heien van

betonpalen gebouwde heitoestellen, als regel 4000 K.G. schijnt te worden genomen, is er geen enkele reden om bijv. voor korte en dus lichte palen een minder zwaar blok te gebruiken.

Veeleer moet worden aangenomen, dat men zich gewoonlijk voor lange palen, waarvan het gewicht 4000 K.G. nadert of overtreft, om economische of practische redenen tevreden zal moeten stellen met een blok van het gebruikelijke gewicht van 4000 K.G., hoewel het gebruik van een nog zwaarder blok de voorkeur zou verdienen, indien althans de levende kracht der toegebrachte slagen een gunstigen invloed heeft op het draagvermogen der palen.

IJMUIDEN, 22 Februari 1917.

J. J. CANTER CREMERS.

Bijl. I

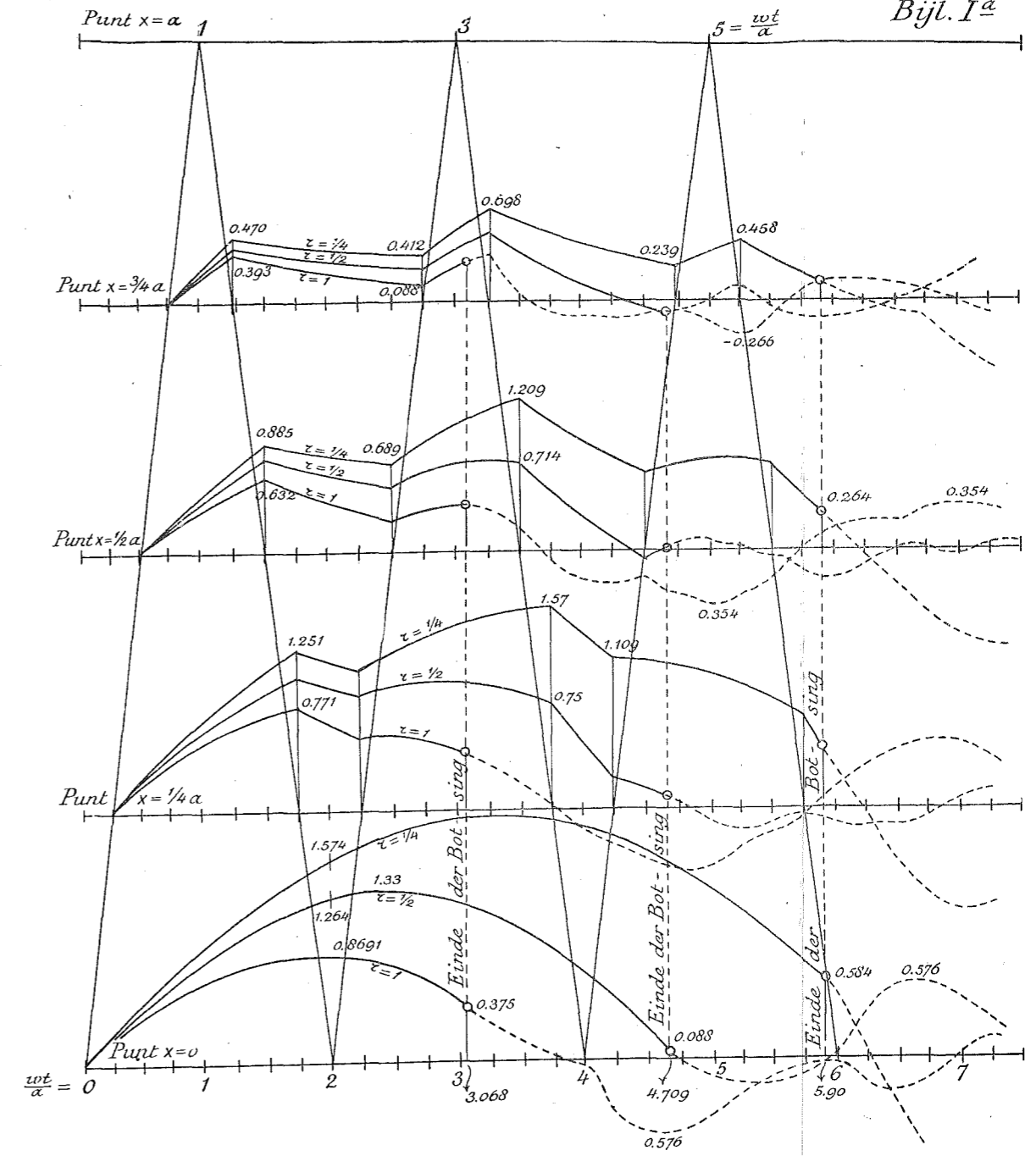
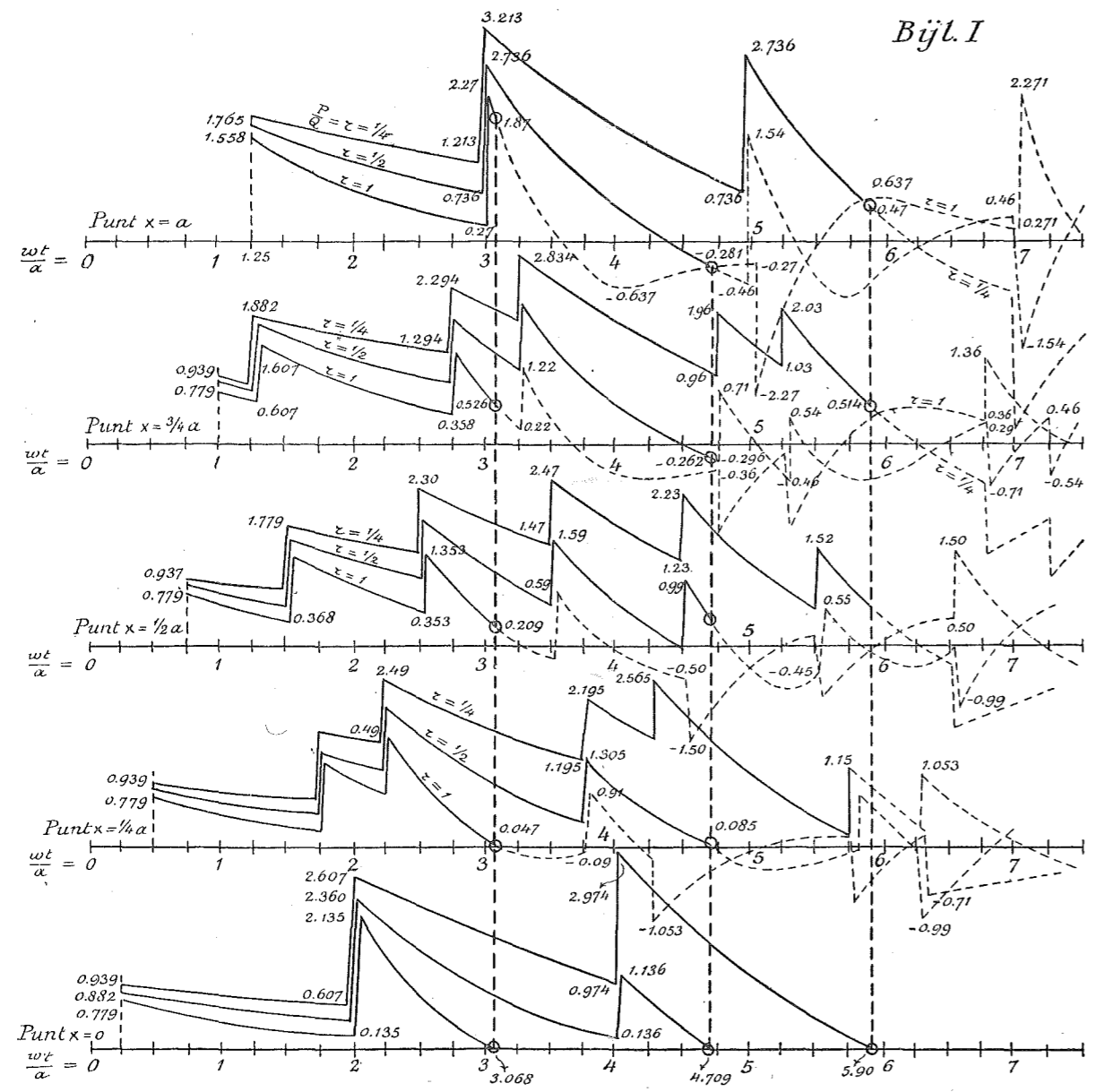


Fig. I

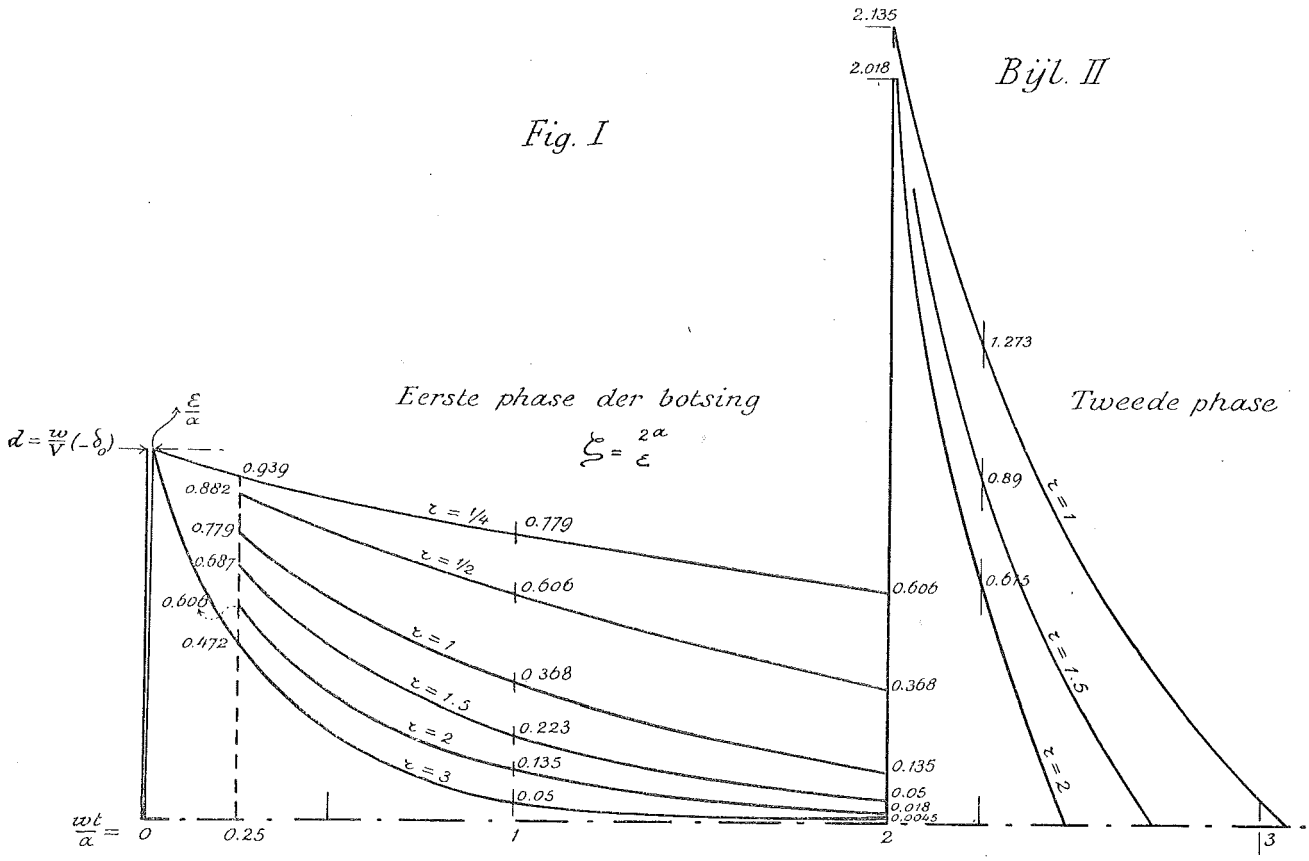
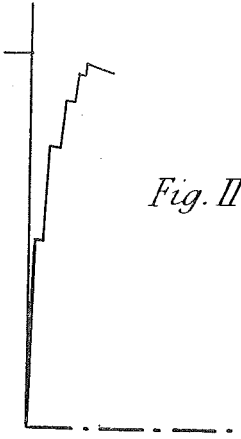
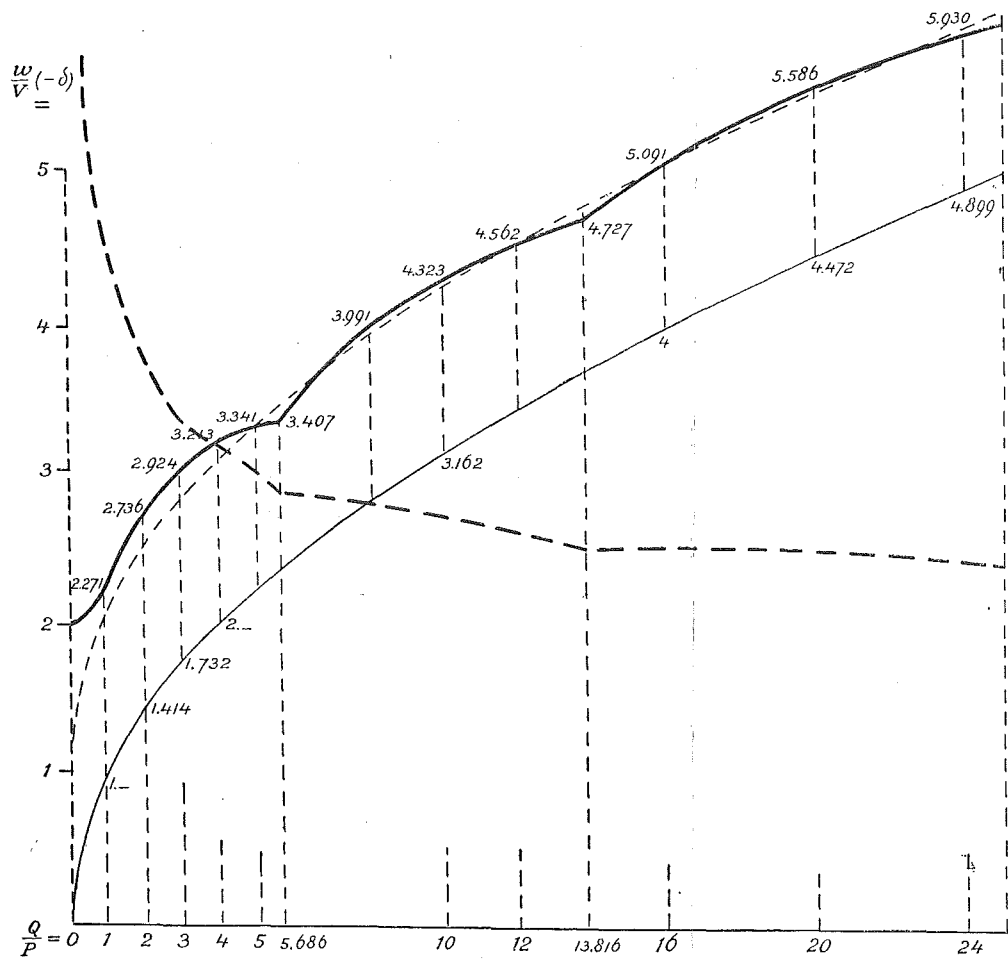


Fig. II



Bijl. III



Bijl. IV

