

4

RAADGEVEND INGENIEURSBUREAU *Bish & Partners n.v.*

---

KONINGINNEGRACHT 84 — TELEFOON (070) 60 98 06\* (4 lijnen) — 's-GRAVENHAGE

VERBETERDE en OVERGETYPEDE Blz.

Doorgaand No.

Hoofdst. No.

Voorblad = 0

~~PS~~

~~30000~~  
~~5000~~  
60

- 1
- 2
- 3
- 8
- 53
- 54
- 55
- 56
- 59
- 60
- 67
- 68
- 70
- 71
- 75
- 77
- 78
- 88
- 89
- 90
- 94
- 100

- 
- A.1 -
- A.2
- B.1 -
- B.6 -
- C.4
- C.5 -
- C.6 -
- C.7
- C.10
- C.11
- C.18
- C.19 -
- C.21 -
- C.22
- C.26 <sup>23</sup>/<sub>24</sub>
- C.28 -
- C.29 <sup>D50</sup>
- E.1 -
- F.1 -
- F.2
- F.6 -
- F.12 -

101 t/m.

G.1 t/m.

107

G.7

~~Opdringen~~  
~~9/13~~  
~~9/125~~

95.6,2

~~Schuingplaatje A.~~  
~~pipel in de~~  
~~code~~  
~~alles primaal.~~

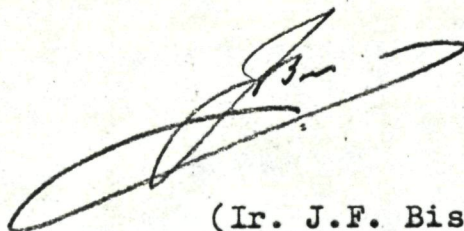
STERKTEBEREKENINGEN VAN DE KRUISING VAN  
DE PRIMAIRE GASLEIDING Ø 36" MET  
DE DUBBELE WIERICKE.

---

Inhoudsopgave:

- A. Veiligheidseisen.
- B. Rekencode en conclusies.
- C. Sterkteberekening van de buis.
- D. Berekening ondersteuning.
- E. Berekening damwanden.
- F. Berekening ontlastvloer.
- G. Uitvoering.

BISH & PARTNERS N.V.,



(Ir. J.F. Bish).

A = Veiligheidseisen.

De Provinciale Waterstaat stelt ten aanzien van leidingen welke boezemwateren binnen zijn ressort kruisen, 2 eisen.

Eis 1 : De Veiligheid tegen breuk met en zonder gasdruk  $n_{br} \geq 2.3$ .

De toegepaste staalsoort is:  $\frac{\sigma_{v1}}{\sigma_{br}} = \frac{4000 \text{ kg/cm}^2}{5600 \text{ kg/cm}^2}$

Voor hogere staalsoorten is volgens de T.G.B.-1955, Art. 20 en 36 lid a :  $\bar{\sigma} = 1,15 \times \frac{\sigma_{v1}}{2400} \times 1400$ , waarbij voor  $\sigma_{v1}$  niet meer dan  $0,65 \times$  de voorgeschreven treksterkte in rekening mag worden gebracht (noot 6 bij tabel III).

Daar  $\sigma_{v1} = 4000 \text{ kg/cm}^2 > 0,65 \times 5600 = 3640 \text{ kg/cm}^2$ , is de toegelaten trekspanning:

$$\bar{\sigma} = 1,15 \times \frac{3640}{2400} \times 1400 = \underline{2440 \text{ kg/cm}^2}$$

Bij  $\bar{\sigma} = 2440 \text{ kg/cm}^2$  is  $n_{br} = \frac{5600}{2440} = 2,3$ , zodat aan de gestelde eis is voldaan.

De veiligheid tegen vloeien  $n_{v1} = \frac{4000}{2440} = 1,64$ .

Eis 2 : Die buisklasse dient te worden toegepast, waarbij de vloeigrens nog niet is bereikt als een buis van de klasse A reeds is bezweken ten gevolge van breuk.

Berekent men de inwendige druk  $p_{A.br}$  waarbij een leiding  $\emptyset 36''$  van de buisklasse A ten gevolge van breuk is bezweken, dan voldoet die buisklasse, indien de bij  $p_{A.br}$  optredende maximum spanning  $\sigma_{max} \leq 4000 \text{ kg/cm}^2$ .

Bepaling van de buisklasse voor de aardgastransportleiding  $\phi = 36''$   
ter plaatse van de kruising met de Dubbele Wiericke.

$\phi = 36''$ , klasse A :  $\phi$  uitw. = 91,44 cm  
 $\phi$  inw. = 89,2036 cm, wanddikte  $t_A = \frac{2,2364}{2} = 1,1182$  cm.

Bij volledig vloeien zal  $\phi$  inw. vergroten tot :  
 $1,18 \times 89,2036 = 105,26$  cm.

Bij breuk is de ringspanning volgens de ketelformule :

$$\sigma_{br} = 5600 = \frac{p_{A.br} \times 105,26}{2 t_A}, \text{ waarin } t_A \text{ de oorspronkelijke wanddikte is.}$$

Aldus is  $p_{A.br} = \frac{5600 \times 2,2364}{105,26} = 119$  kg/cm<sup>2</sup>.

Bij het begin van vloeien is  $\sigma_{max} = 4000$  kg/cm<sup>2</sup>.

$\sigma_{max}$  treedt aan de binnenzijde van de buis op en is volgens Lamé

$$\sigma_{max} = p \times \frac{r_u^2 + r_i^2}{r_u^2 - r_i^2}$$

$\phi = 36''$ , klasse B:  $\phi$  uitw. = 91,44 cm;  $r_u = 45,72$  cm  
 $\phi$  inw. = 88,868 cm;  $r_i = 44,434$  cm

Bij het optreden van  $p_{A.br} = 119$  kg/cm<sup>2</sup> is.

$$\sigma_{B.max} = 119 \times \frac{45,72^2 + 44,434^2}{45,72^2 - 44,434^2} = 119 \times 35 = 4155 \text{ kg/cm}^2 > 4000 \text{ kg/cm}^2.$$

Buisklasse B voldoet niet.

$\phi = 36''$ , klasse C:  $\phi$  uitw. = 91,44 cm;  $r_u = 45,72$  cm.  
 $\phi$  inw. = 88,353 cm;  $r_i = 44,1765$  cm.

Bij het optreden van  $p_{A.br} = 119$  kg/cm<sup>2</sup> is;

$$\sigma_{C.max} = 119 \times \frac{45,72^2 + 44,1765^2}{45,72^2 - 44,1765^2} = 119 \times 29,1 = 3463 \text{ kg/cm}^2 < 4000 \text{ kg/cm}^2.$$

Buis  $\phi = 36''$ , klasse C voldoet.

Op grond van de 2 genoemde eisen is:

1° = de toegelaten staalspanning  $\bar{\sigma} = 2440$  kg/cm<sup>2</sup>

en 2° = voor het onderhavige geval toegepast : buis  $\phi 36''$ , klasse C.

B = Rekencode en conclusies:

Van een buisleiding op meerdere steunpunten, welke zowel door een inwendige druk  $p$  als een uitwendige gelijkmatig verdeelde belasting  $Q$  is belast, worden van normaaldoorsneden de tangentiële en axiale spanningen, resp.  $\sigma_y$  en  $\sigma_x$  berekend.

Voor de ondersteunde buisgedeelten is voor de berekening der tangentiële spanningen t.g.v. directe belastingen de methode van Spangler gevolgd, welke is aangevuld met de berekening van evengenoemde spanningen t.g.v. indirecte belastingen, welke via dwarskrachten op het steunpunt worden overgebracht.

Voor de niet ondersteunde buisgedeelten zijn de tangentiële momenten in een normaal doorsnede t.g.v.  $Q$  berekend.

Deze momenten blijken kleiner te zijn dan de momenten welke t.g.v. dezelfde belasting  $Q$  zouden optreden bij ondersteunde buizen, met de meest gunstige vorm van ondersteuning ( $\varphi_B = 180^\circ$ ).

Voor de berekening van axiale spanningen in bochten, uitsluitend t.g.v. de inwendige druk  $p$ , is de methode van Wilbur gevolgd, en aangevuld met de berekening dier spanningen in de binnen- en buiten-bocht, e.e.a. met gebruikmaking van het z.g. Poisson effect.

De invloed van verplaatsingen en hoekverdraaiingen van onder verschillende hellingen geplaatste en op elkaar aansluitende overspanningen t.g.v.  $p$ , op de axiale spanningen, is berekend.

In beide richtingen overheerst de spanning t.g.v. de inwendige druk  $p$ , zodat de hoogste spanningen in die normaal doorsnede zullen optreden, waar de invloed van de uitwendige belasting  $Q$  bij een constante invloed van  $p$ , het grootst is.

Middels de spanningscombinatie van Mohr, worden ~~en~~ voor een normaal doorsnede de maatgevende spanning bepaald.

I = Berekening van  $\sigma_y$ 

Deze spanningen worden veroorzaakt door zowel de inwendige druk  $p$  in de vorm van ringspanningen, als door uitwendige belasting  $Q$ , als buigspanningen. Beiden werken in hetzelfde vlak en kunnen dus op elkaar gesuperponeerd worden.

$$\sigma_y = \sigma_{yp} + \sigma_{yQ} .$$

1 = T.g.v. de inwendige druk  $p$ .

a) In rechte strekkingen.

De gemiddelde ringspanning volgens de ketelformule is

$$\sigma_{yp} = \frac{r_i}{t} \times p$$

De max. waarde treedt volgens Lamé op aan de binnenzijde der ring.

$$\begin{aligned} \sigma_{y.p.max.} &= \sigma_{y.p'} = \frac{r_u^2 + r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} \times p = \frac{r_u^2 + r_i^2}{(r_u + r_i)} \times \frac{p}{t} = \\ &= \frac{r_i}{t} \times \frac{r_u^2 + r_i^2}{(r_u + r_i)r_i} \times p = \frac{r_i}{t} \times p' \end{aligned}$$

Deze maximum waarde van  $\sigma_{yp}$  wordt in de berekeningen verder aangehouden als de gemiddelde ringspanning.

b) in bochten:

Geraadpleegd is het art. van William E. Wilbur in Piping Design Fundamentals, "Analyzing Pipe Line Stresses", No. 3, Stresses in circular bends, February 1963,

Indien  $r$  de gemiddelde straal der buis is, en  $R$  de straal van de bocht, dan geldt voor buisgedeelten:

$$1. \text{ in de buitenbocht: } \sigma_{yIII} = \frac{R + \frac{1}{3}r}{R + r} \times \sigma_{yp'} < \sigma_{yp'}$$

$$2. \text{ " " binnenbocht: } \sigma_{yII} = \frac{R - \frac{1}{3}r}{R - r} \times \sigma_{y.p'} > \sigma_{yp'} \quad \text{en}$$

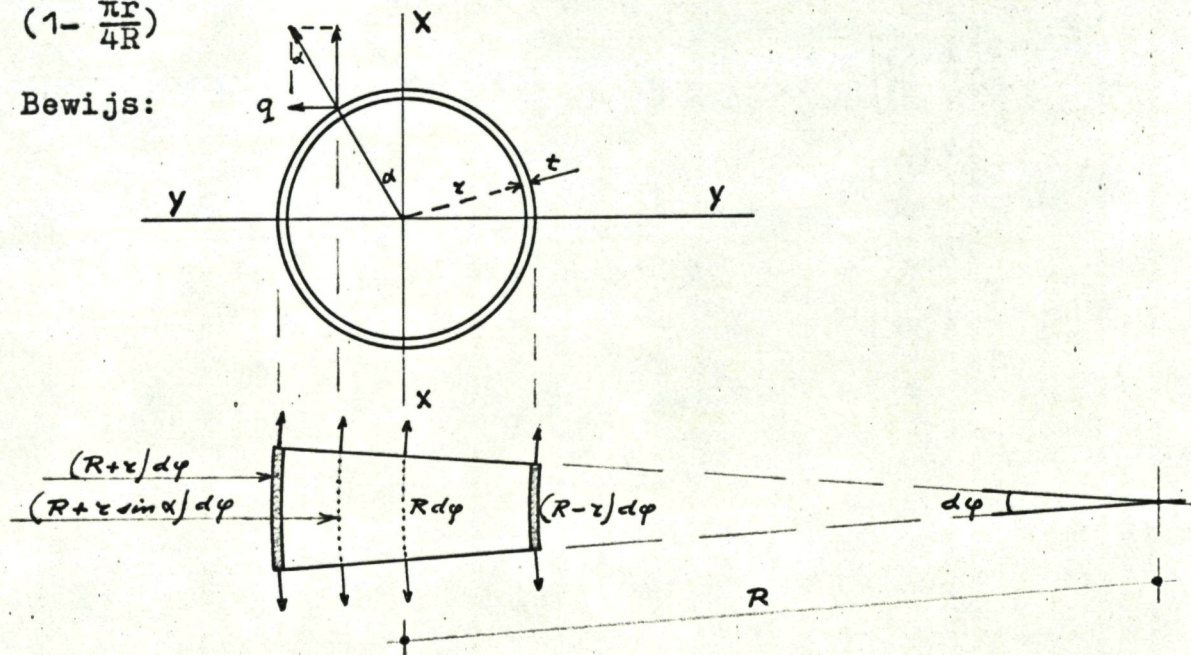
$$3. \text{ " " as van de bocht } \sigma_{yI} = \sigma_{y.p'}$$

$$\text{Voor de buitenbocht is de reductie factor } f_r = \frac{3R + r}{3R + 3r}$$

$$\text{" " binnenbocht is de toeslag factor } f_t = \frac{3R - r}{3R - 3r}$$

Hieronder moge het bewijs volgen, dat  $\sigma_{yI} = \sigma_{yp'}$ , in tegenstelling met de door Wilbur berekende waarde van  $\sigma_{yI} = \sigma_{yp'} \times (1 - \frac{\pi r}{4R})$

Bewijs:



$$q = \frac{p' r}{2} \times (2x \sin \frac{d\phi}{2}) \times r d\alpha = \frac{p' r}{2} (2x \frac{d\phi}{2}) \times r d\alpha = \frac{p' r}{2} d\phi \cdot d\alpha,$$

$$\int_0^\pi q = \frac{p' \cdot \pi \cdot r^2}{2} d\phi, \text{ verdeeld over 2 drsn. bij } x-x.$$

De trekkracht rechts van x-x wordt totaal:

$$p' r d\phi (2R - \frac{\pi r}{2}) + \frac{p' \pi r^2}{2} d\phi = p' r d\phi (2R - \frac{\pi r}{2} + \frac{\pi r}{2}) = p' r d\phi \times 2R.$$

De ringsspanning in de as x-x van de bocht is dan:

$$\sigma_{y.I} = \frac{2p' r d\phi R}{2t \times R d\phi} = \frac{p' r}{t} \text{ of gelijk aan de ringsspanning}$$

in een rechte strekking bij een inwendige druk p'.



2 = t.g.v. zowel p als Q.

Onderscheiden worden wel- en niet - ondersteunde buisgedeelten.

a = Ondersteunde buisgedeelten:

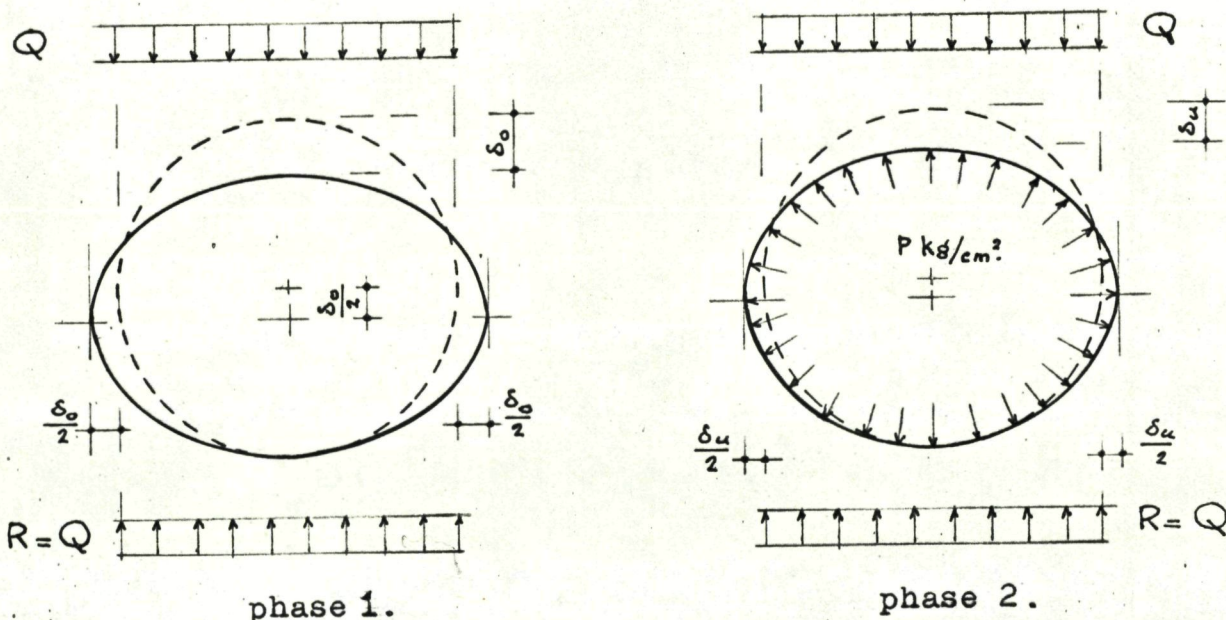
a1= uitwendig direct belast door Q en inwendig door p.

Aangehouden is de door Merlin G. Spangler ontwikkelde berekening, in "Pipeline Crossings under Railroads" Journal American Water Works Association (A.W.W.A) Aug., 1964 No,56 "Pipe Line Crossings".

De gevolgde methode gaat uit van 2 belastingsfasen.

phase 1: De belasting is uitsluitend, uitwendig door Q ;

phase 2: De belasting is uitwendig door Q `en inwendig door p.



In de phase 1 zal t.g.v. Q ontstaan:

een moment  $M_o = k_B \times Qr$  \_\_\_\_\_ (1)

en een zakking  $\delta_o = k_y \times \frac{Qr^3}{EI}$  \_\_\_\_\_ (2)

Hierbij zal de horizontale diameter  $2\delta_o$  langer zijn geworden dan de verticale, immers is  $(2r + \delta_o) - (2r - \delta_o) = 2\delta_o$ .

Wordt met phase 2 een inwendige druk p geïntroduceerd, dan zal de uiteindelijke evenwichtstoestand de verplaatsing  $\delta_u < \delta_o$ . Horizontale- en verticale verplaatsingen zijn in deze toestand weer gelijk. De verticale kracht is dan  $2 p\delta_u$  groter dan de horizontale. De inwendige druk p heeft het z.g. wederrond makend (=rerounding) effect op de in de 1ste phase vervormde buis.

Daar de verplaatsingen recht evenredig zijn met de belasting  $Q$  bestaat de volgende gelijkheid :

$$Q - 2p\delta_u = \frac{\delta_u}{\delta_o} \times Q \text{ of } \delta_u = \frac{Q}{\frac{Q}{\delta_o} + 2p} \text{ -----(3)}$$

Substitutie van  $\delta_o = k_y \times \frac{Qr^3}{EI}$  in verg. 3 geeft:-----

$$\delta_u = \frac{Q}{\frac{EI}{k_y r^3} + 2p} = k_y r^3 \times \frac{Q}{EI + 2pk_y r^3} \text{ -----(4)}$$

In de uiteindelijke toestand is het buigend moment :

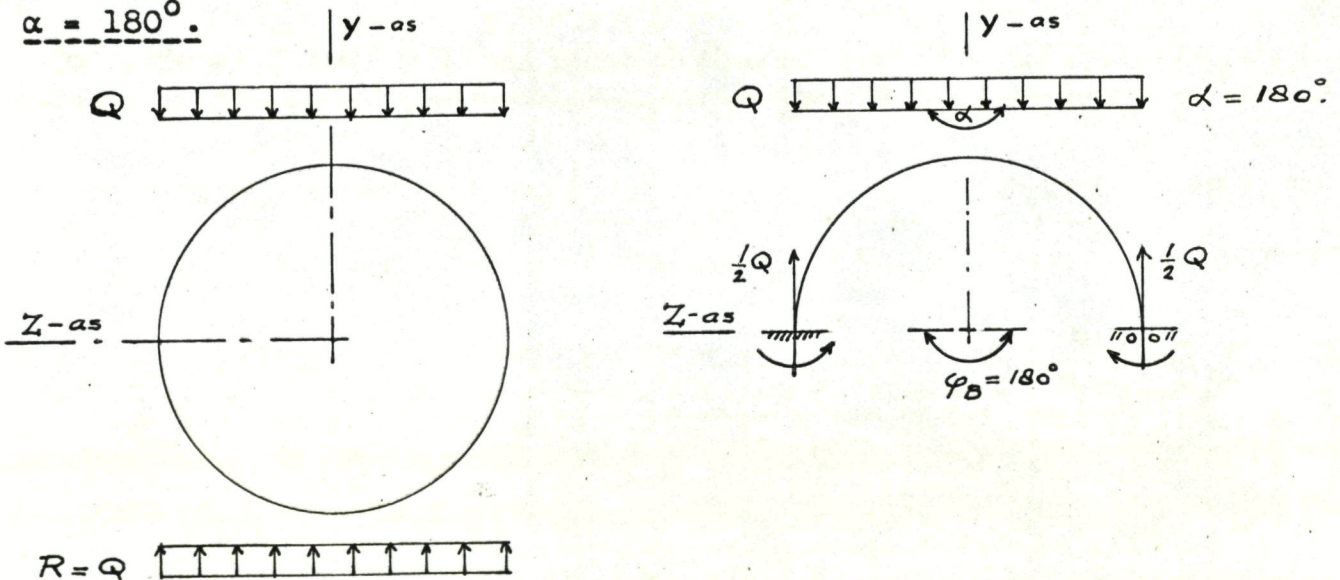
$$\begin{aligned} M_{Q+p} &= k_B \times \frac{\delta_u}{\delta_o} \times Q \cdot r = k_B \times k_y \frac{Qr^3}{EI + 2pr^3 k_y} \times \frac{EI}{k_y Qr^3} \times Qr = \\ &= \frac{EI}{EI + 2pr^3 k_y} \times k_B \times Qr = f_{r.r} \times k_B \times Qr \text{ -----(5)} \end{aligned}$$

waarin  $f_{r.r} = \frac{EI}{EI + 2pr^3 k_y}$  = de reductie factor t.g.v. het rerounding

effect van  $p$ . Bij een gegeven waarde van  $p$  en  $r$  is  $f_{r.r}$  afhankelijk van  $k_y$ , behorende bij een bepaalde opleggingshoek  $\varphi_B$ .

Is  $W_2$  het weerstandsmoment per lengteenheid van buiswand, dan is t.g.v.  $p$  en  $Q$ ,  $\sigma_y = \frac{1}{W_2} \times f_{r.r} \times k_B \times Qr$ .

De wijze van oplegging bij een gelijkm. verd. belasting  $Q$  met  $\alpha = 180^\circ$ .



Een in een dichte sleuf geplaatste buis wordt aangenomen belast te zijn door een gelijkm. verd. belasting  $Q$  met een spiegelbeeldige reactie  $R = Q$ .

Denkt men de buis in de middenas doorgesneden, dan verkrijgt men 2 identiek belaste constructies. Uit symmetrie overwegingen blijven de sneden horizontaal, en kunnen dus als inklemmingen worden opgevat, die zich uitsluitend horizontaal kunnen verplaatsen. In de sneden treden gelijke verticale reacties op, elk ter grootte van  $\frac{1}{2} Q$ .

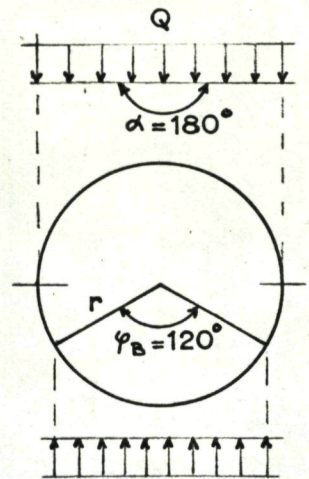
Voor de berekening heeft dus slechts één van de 2 spiegelbeeldig belaste helften in beschouwing te worden genomen.

Spangler noemt bij dit belastingsgeval de hoek van belasting  $\alpha = 180^\circ$  en de hoek van oplegging  $\varphi_B = 180^\circ$ .

Bij  $\alpha = 180^\circ$  en verschillende waarden van  $\varphi_B$  zijn de momenten en verplaatsingen in de bodem, de top en de middens van een normaal drsn. berekend. De bij deze momenten en verplaatsingen behorende coëfficiënten zijn in onderstaande tabel weergegeven.

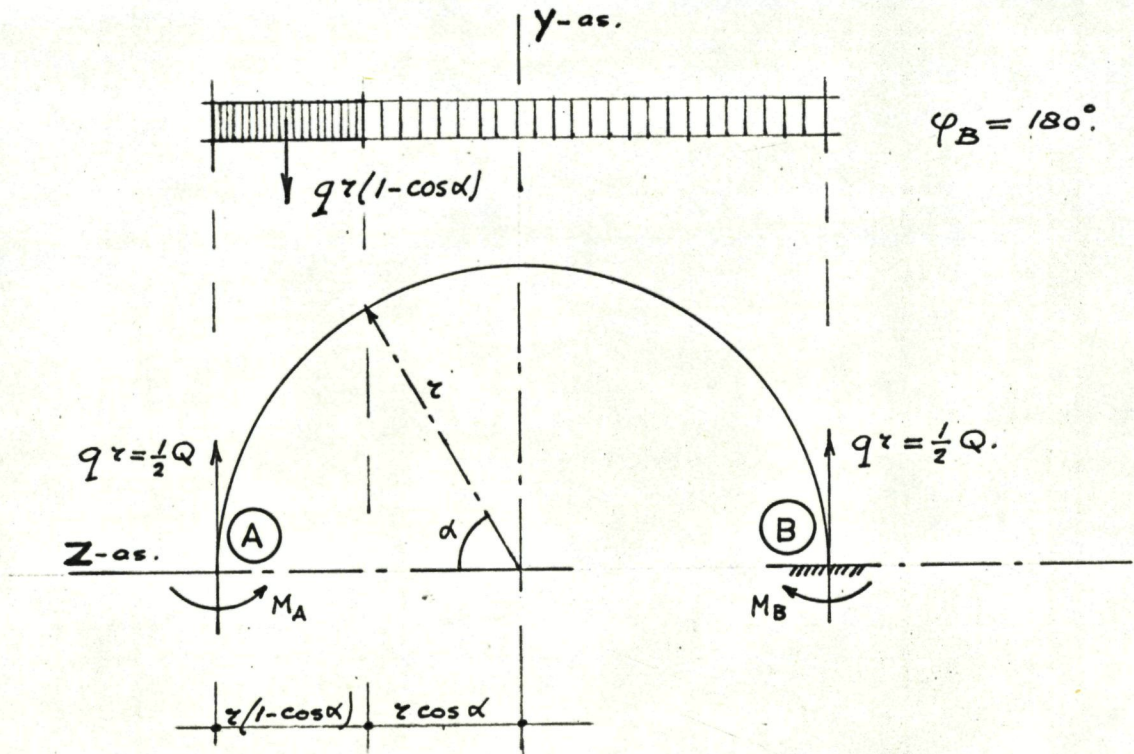
Tabel van Spangler voor  $\alpha = 180^\circ$  en verschillende  $\varphi_B$ -waarden.

$\alpha$ in graden	$\varphi_B$ in graden	Momenten coëff.			verpl.coëff.	
		Bodem $k_B$	Top $k_T$	Middens $k_S$	hor. $k_z$	vert. $k_y$
180	0	0,294	0,150	0,153	0,110	0,116
"	30	0,235	0,148	0,152	0,108	0,113
"	60	0,189	0,143	0,147	0,103	0,105
"	90	0,157	0,137	0,140	0,096	0,096
"	120	0,138	0,131	0,133	0,089	0,089
"	150	0,128	0,126	0,127	0,085	0,085
"	180	0,125	0,125	0,125	0,083	0,083



Noot: In afwijking van Spangler is hier de horizontale verplaatsing  $k_z$ , i.pl.v.  $k_y$ , en de verticale verplaatsing  $k_y$  i.pl.v.  $k_x$  genoemd.

Berekening der moments- en verplaatsingscoëfficiënten  
voor  $\alpha = \varphi_B = 180^\circ$ .



Is de bovenlast =  $Q$ , dan is  $q = \frac{Q}{2r}$

Uit symmetrie overwegingen is:

$$R_A = R_B = \frac{1}{2} Q = q \cdot r$$

$$M_A = M_B$$

In de volle normaal drsn. der buis blijven de drsn. A en B horizontaal. De hoek verdraaiing van A t.o.v. B is dus 0.

Bij vastgehouden st.pt. B geeft de verplaatsing van A de totale horizontale verplaatsing  $z$ .

Het moment in een drsn.  $\alpha$  is:

$$\begin{aligned} M_\alpha &= qr^2 (1 - \cos \alpha) - qr^2 \times \frac{(1 - \cos \alpha)^2}{2} + M_A = \frac{1}{2} qr^2 (1 - \cos^2 \alpha) + M_A = \\ &= \frac{1}{2} qr^2 \sin^2 \alpha + M_A \end{aligned}$$

Bepaling van  $M_A$ .

$$EI \varphi_A = 0 \text{ of } \int_0^\pi M_\alpha r d\alpha = 0. \quad \text{of} \quad \int_0^\pi M_\alpha d\alpha = 0.$$

$$\frac{1}{2} qr^2 \int_0^\pi \sin^2 \alpha d\alpha + M_A \int_0^\pi d\alpha = 0.$$

$$\frac{1}{2} qr^2 \left[ \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right]_0^\pi + M_A \left[ \alpha \right]_0^\pi = 0.$$

$$\frac{1}{2} qr^2 \times \frac{\pi}{2} + M_A \pi = 0, \text{ waaruit: } M_A = -\frac{1}{4} qr^2 = -\frac{1}{8} Qr = -0,125 Qr.$$

zodat:  $k_S = 0,125$

Overeenkomstig het gevonden teken is de richting van  $M_A$  op de tekening aangegeven.

De waarde van  $M_A$  in de verg. voor  $M_\alpha$  substituerend geeft dit:

$$M_\alpha = \frac{1}{2} qr^2 \sin^2 \alpha - \frac{1}{4} qr^2 = \frac{1}{4} qr^2 (2 \sin^2 \alpha - 1)$$

de top drsn.:  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ .

$$M = \frac{1}{4} qr^2 (2-1) = \frac{1}{4} qr^2 = 0,125 Qr, \text{ zodat } k_T = 0,125.$$

De horizontale verplaatsing en de coefficient  $k_z$ .

$$EI \Delta Z = d\varphi r \sin \alpha = M_\alpha ds r \sin \alpha = r^2 M_\alpha \sin \alpha d\alpha.$$

$$EI z_A = \frac{1}{4} qr^4 \int_0^\pi (2 \sin^2 \alpha - 1) \sin \alpha d\alpha = \frac{1}{4} qr^4 \int_0^\pi (2 \cos^2 \alpha - 1) \times$$

$$\times d \cos \alpha = \frac{1}{4} qr^4 \left[ \frac{2}{3} \cos^3 \alpha - \cos \alpha \right]_0^\pi =$$

$$= \frac{1}{4} qr^4 \times \left( -\frac{4}{3} + 2 \right) = \frac{1}{6} qr^4 = \frac{1}{12} Q r^3.$$

$$z_A = \frac{1}{12} \frac{Qr^3}{EI} = 0,083 \frac{Qr^3}{EI}, \text{ zodat } k_z = 0,083.$$

De verticale verplaatsing en de coefficient  $k_y$ .

Bij vastgehouden top is de zakking van A t.o.v. de top:

$$EI y_A = \int_0^{\frac{\pi}{2}} d\varphi \cdot r \cos \alpha = \frac{1}{4} qr^4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (2 \sin^2 \alpha - 1) \cos \alpha d\alpha =$$

$$= \frac{1}{4} qr^4 \left[ \frac{2}{3} \sin^3 \alpha - \sin \alpha \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{1}{4} qr^4 \times \left( \frac{2}{3} - 1 \right) = -\frac{1}{12} qr^4 =$$

$$= -\frac{1}{24} Qr^3.$$

T.o.v. het punt A is de top dus gezakt  $y_A = \frac{1}{24} \frac{Qr^3}{EI}$ .

Op dezelfde wijze berekent men voor de bodem van de spiegelbeeldig belaste onderhelft een verticale verplaatsing in tegengestelde richting:

$$y_{\text{bodem}} = \frac{1}{24} \times \frac{Qr^3}{EI}$$

$$\text{De totale verticale verplaatsing } y = \frac{1}{12} \frac{Qr^3}{EI} = 0,083 \frac{Qr^3}{EI} :$$

$$\text{zodat } k_y = 0,083.$$

De berekende coëfficiënten komen dus allen overeen met de door Spangler opgegeven waarden (zie tabel).

3 = Uitsluitend t.g.v. Q met  $\alpha = 180^\circ$

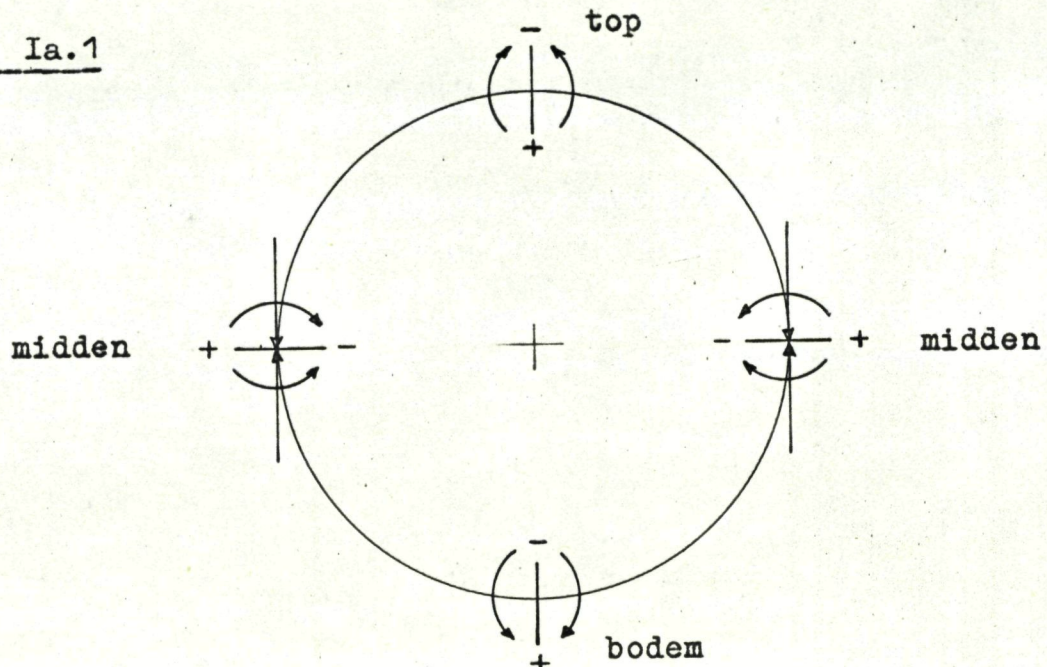
Bij toepassing van  $\varphi_B = 120^\circ$  zijn de momenten en spanningen in een normaal drsn.:

$$\text{in de top : } M = 0,131 Qr ; \quad \sigma_y = \pm \frac{1}{w^2} \times 0,131 Qr$$

$$\text{in de middens : } M = 0,133 Qr ; \quad \sigma_y = \pm \frac{1}{w^2} \times 0,133 Qr$$

$$\text{in de bodem : } M = 0,138 Qr ; \quad \sigma_y = \pm \frac{1}{w^2} \times 0,138 Qr$$

Resumé Ia.1



A = belast door p en Q met  $\alpha = 180^\circ$  ;  $\varphi_B = 120^\circ$

$$\sigma_y = \sigma_{yp'} \pm f_{r.r} \times \frac{1}{w_2} + \frac{N}{F.2}$$

In normaal drsn. van rechte strekkingen.

In de top :  $\sigma_y = \frac{r_u^2 + r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} p \pm \frac{0.131 EI}{EI + 2p \times r^3 \times 0.089} \times \frac{1}{w_2} \times Q r$

In de middens:  $\sigma_y = \text{idem} \pm \frac{0.133 EI}{EI + 2p \times r^3 \times 0.089} \times \frac{1}{w_2} \times Q r - \frac{0.5 Q}{F.2}$

In de bodem:  $\sigma_y = \text{idem} \pm \frac{0.138 EI}{EI + 2p \times r^3 \times 0.089} \times \frac{1}{w_2} \times Q r$

In bochten met straal R

In de top :  $\sigma_y = \frac{3R \pm r_i}{3R \pm 3r_i} \times \frac{r_u^2 + r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} p \pm \frac{0.131 EI}{EI + 2p \times r^3 \times 0.089} \times \frac{1}{w_2} \times Q r.$

In de middens:  $\sigma_y = \text{als in rechte strekkingen.}$

In de bodem:  $\sigma_y = \frac{3R + r_i}{3R + 3r_i} \times \frac{r_u^2 + r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} p + \frac{0.138 EI}{EI + 2p \times r^3 \times 0.089} \times \frac{1}{w_2} \times Q r.$

B. = uitsluitend belast door Q met  $\alpha = 180^\circ$  en  $\varphi_B = 120^\circ$

In rechte strekkingen en in bochten met straal R

$$\text{In de top} \quad : \quad \sigma_y = \pm \frac{1}{W} \times 0.131 \times Qr$$

$$\text{In de middens} \quad : \quad \sigma_y = \pm \frac{1}{W} \times 0.133 \times Qr$$

$$\text{In de bodem} \quad : \quad \sigma_y = \pm \frac{1}{W} \times 0.138 \times Qr$$



a.2 = Uitwendig anders dan direct belast, en inwendig door een druk p.

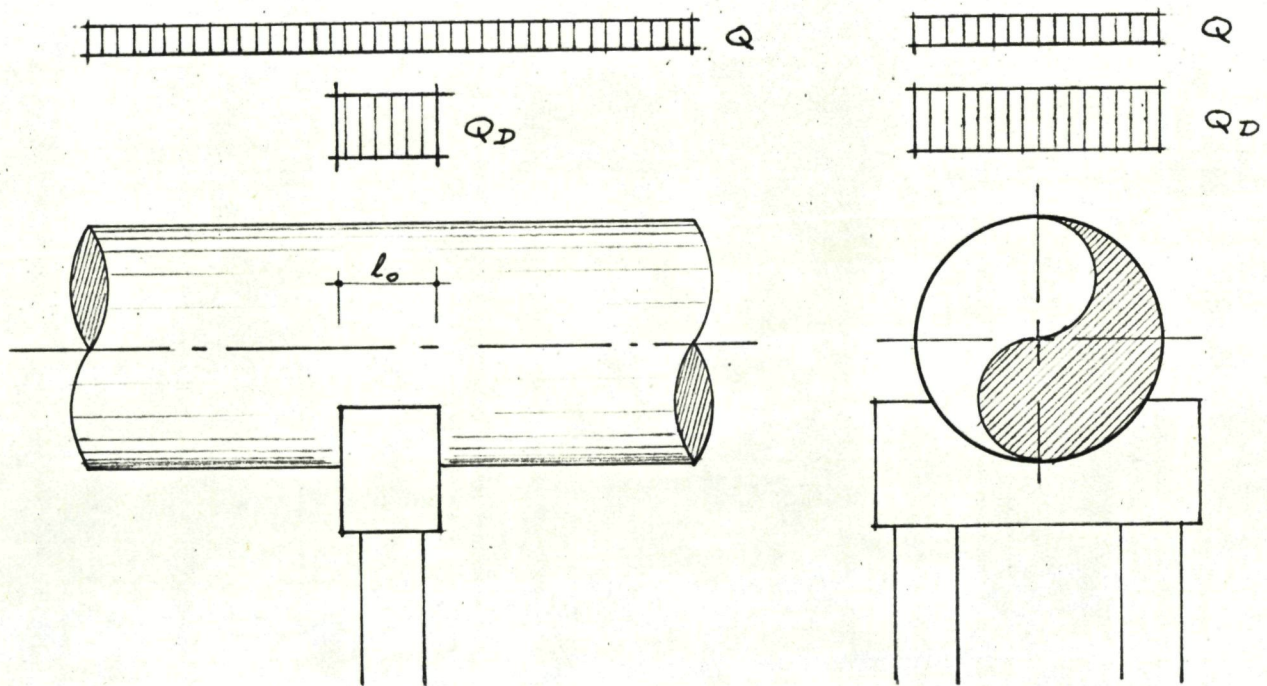
Deze berekening geldt uitsluitend voor een tussen st.pt. van een strekking op meerdere st.ptn.,.

Behalve de direct boven een st.pt. werkende belasting moeten de belastingen derhalve velden aan weerszijden van het steunpunt hierop worden overgebracht. Deze transmissie van belastingen heeft plaats via dwarskrachten.

Evenals  $Q$  veroorzaakt deze overgebrachte belasting momenten in het beschouwde buisgedeelte.

Is het voorlopig nog onbekende moment  $M_{Q.D}$ , dan geldt voor het buisgedeelte boven het st.pt.:

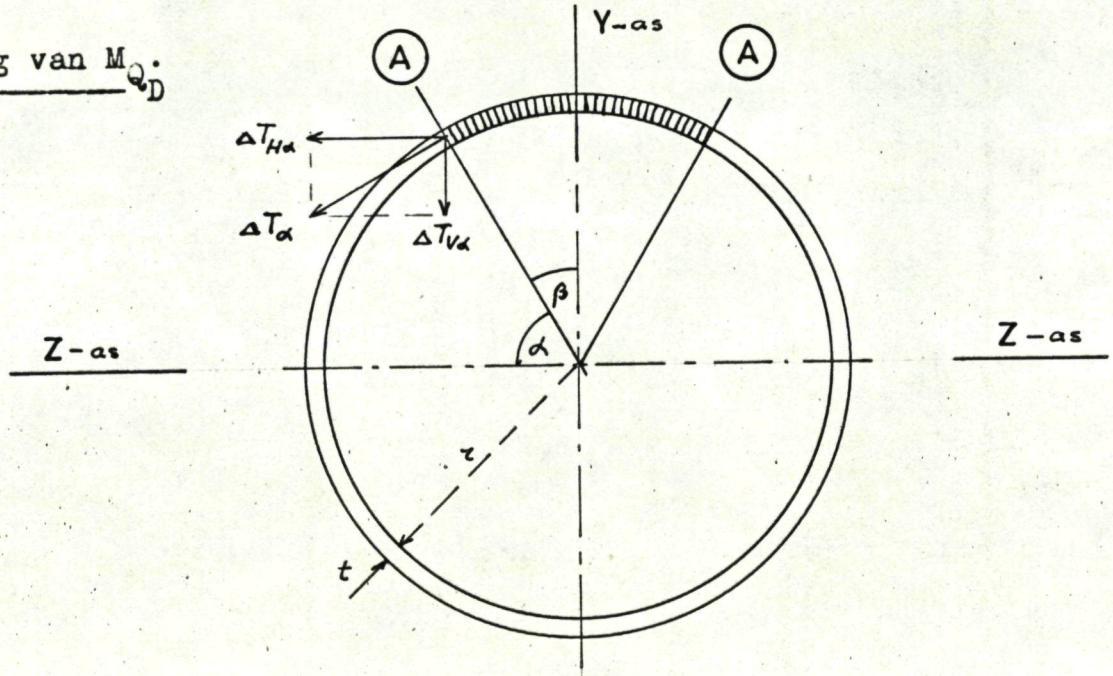
$$M_{\text{st.pt.}} = M_Q + M_{Q.D}$$



Is  $L$  de h.o.h. afstand der st.ptn.,  $l_0$  de lengte van oplegging van een tussen st.pt. en  $Q$  de per m' gelijkm. verd. bovenlast, dan is de door dwarskracht over te brengen belasting per lengte eenheid van st.pt.:

$$Q_D = \frac{L-l_0}{l_0} Q = \text{de per opleggingsdrsn. optredende indirecte belasting.}$$

Bepaling van  $M_{Q_D}$



$Q_D$  verdeelt zich over een normaal doorsnede als schuifkrachten.

Is  $t$  = de wanddikte,

$r$  = de gemidd. straal

en  $Q_D$  = de belasting per drsn. van oplegging,

dan is de grootte van de schuifspanning  $\tau_\alpha$  in een punt te berekenen uit het evenwicht van het buisgedeelte, dat ligt tussen 2 vlakken A en 2 normaal drsn. op afstand  $dx$ .

Doordat  $t$  gering is t.o.v.  $r$ , is  $\tau_\alpha$  gericht volgens de raaklijn in het punt  $\alpha$  aan de cirkel (zie Klopper II blz. 175).

$$2 t \tau_\alpha dx = \frac{MS}{I} = Q_D dx \cdot \frac{S}{I} \text{ of } \tau_\alpha = \frac{S}{I} \cdot \frac{1}{2t} \cdot Q_D$$

$$S = 2 \int_0^\beta r dF \cos \beta = 2 r^2 t \int_0^\beta \cos \beta d\beta = 2 r^2 t \left[ \sin \beta \right]_0^\beta = 2 r^2 t \sin \beta = 2 r^2 t \cos \alpha$$

$$I = \int_0^{2\pi} dF \cdot r^2 \sin^2 \alpha = r^3 t \int_0^{2\pi} \sin^2 \alpha d\alpha = r^3 t \left[ \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right]_0^{2\pi} = \pi r^3 t.$$

$$\tau_\alpha = \frac{2 r^2 t \cos \alpha}{\pi r^3 t} \cdot \frac{1}{2t} \cdot Q_D = \frac{\cos \alpha}{\pi r t} \cdot Q_D$$

$$\tau_{\max.} = \frac{1}{\pi r t} \cdot Q_D = \frac{2}{F} \cdot Q_D$$

Een oppervlak  $dF$  levert een kracht

$$\Delta T_{\alpha} = \tau_{\alpha} \cdot dF = \frac{\cos \alpha}{\pi r t} \cdot Q_D \times t r d\alpha = \frac{\cos \alpha d\alpha}{\pi} \cdot Q_D,$$

waarvan de componenten zijn:

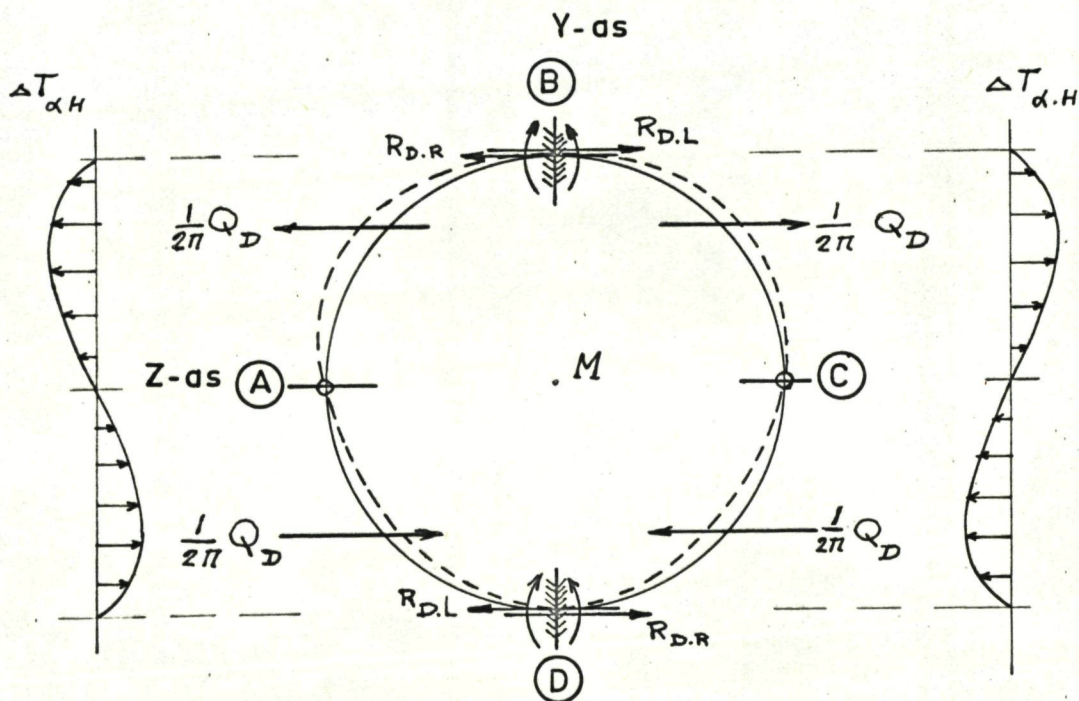
$$\text{verticaal: } \Delta T_{\alpha.v.} = \Delta T_{\alpha} \cdot \cos \alpha = \frac{\cos^2 \alpha d\alpha}{\pi} \cdot Q_D$$

$$\text{horizontaal: } \Delta T_{\alpha.H} = \Delta T_{\alpha} \sin \alpha = \frac{\sin \alpha \cos \alpha d\alpha}{\pi} \cdot Q_D$$

Berekening van  $M_{QD}$

$M_{QD}$  = de algebraïsche som der afzonderlijke momenten t.g.v. de horizontale en verticale ontbondenen van  $Q_D$ .

a. De invloed der horizontale ontbondenen.



Belastingen:  $\Delta T_{\alpha H} = \frac{1}{\pi} Q_D \sin \alpha \cos \alpha d\alpha$

Van  $\alpha_1$  tot  $\alpha_2$  is  $T_H = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{1}{\pi} Q_D \sin \alpha \cos \alpha d\alpha = \frac{1}{\pi} Q_D \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d \sin \alpha$ .

Per kwadrant is dus de resultante R en hun positie t.o.v. de z-as te bepalen.

Het 1e kwadrant:

$$R_1 = \frac{1}{\pi} Q_D \int_0^{0.5 \pi} \sin \alpha d \sin \alpha = \frac{1}{\pi} Q_D \left[ \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \right]_0^{0.5 \pi} = \frac{1}{\pi} Q_D \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2\pi} Q_D$$

Positie van  $R_1$  t.o.v. het middelpunt M

$$y_1 = \frac{2\pi}{Q_D} \times \frac{1}{\pi} \times Q_D r \int_0^{0.5 \pi} \sin^2 \alpha d \sin \alpha = 2 r \left[ \frac{\sin^3 \alpha}{3} \right]_0^{0.5 \pi} = \frac{2}{3} r$$

Het 2<sup>e</sup> kwadrant:

$$R_2 = \frac{1}{\pi} Q_D \left[ \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \right]_{0.5\pi}^{\pi} = -\frac{1}{2\pi} Q_D ; y_2 = -2r \left[ \frac{\sin^3 \alpha}{3} \right]_{0.5\pi}^{\pi} = -\frac{2}{3} r$$

het 3<sup>e</sup> kwadrant:

$$R_3 = \frac{1}{\pi} Q_D \left[ \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \right]_{\pi}^{1.5\pi} = \frac{1}{2\pi} Q_D ; y_3 = 2r \left[ \frac{\sin^3 \alpha}{3} \right]_{\pi}^{1.5\pi} = -\frac{2}{3} r$$

Het 4<sup>e</sup> kwadrant:

$$R_4 = \frac{1}{\pi} Q_D \left[ \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \right]_{1.5\pi}^{2\pi} = -\frac{1}{2\pi} Q_D ; y_4 = -2r \left[ \frac{\sin^3 \alpha}{3} \right]_{1.5\pi}^{2\pi} = -\frac{2}{3} r$$

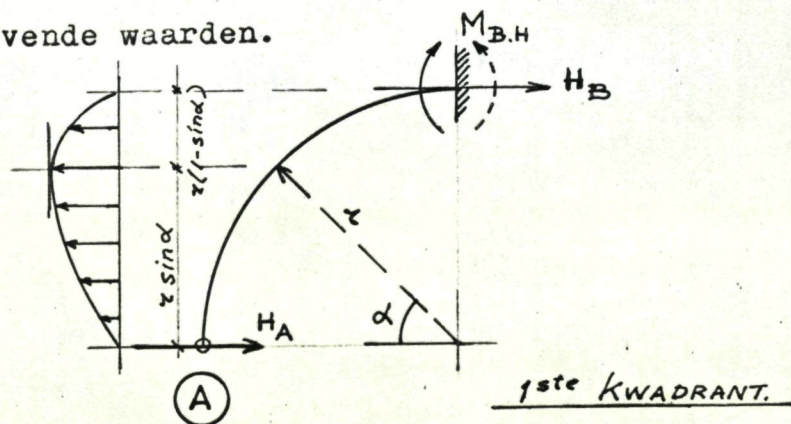
Voor de punten A, B, C en D is  $\Delta T_H = 0$ . De max. waarden treden op voor  $\alpha = 1 \times \frac{\pi}{4}$ ,  $\alpha = 3 \times \frac{\pi}{4}$ ,  $\alpha = 5 \times \frac{\pi}{4}$ , resp.  $\alpha = 7 \times \frac{\pi}{4}$ , in het 1ste, 2de, 3de, resp. 4de kwadrant.

De y- resp. z-as is voor de belastingen symmetrie-, resp. spiegel-as. Op grond hiervan is te concluderen:

- 1ste. dat in A en C moment-nulpunten optreden. Op elk der punten afzonderlijk worden door de boven-, resp. onder-helft gelijke doch tegengesteld gerichte horizontale krachten uitgeoefend, zodat de horizontale verplaatsingen dezer punten = 0,
- 2de dat de verticale drsn. B en D verticaal blijven, zodat deze als inklemmingen kunnen worden opgevat,
- 3de dat voor de berekening der maatgevende waarden, in de boven-of onder-helft, slechts één der kwadranten van zo'n helft in beschouwing behoeft te worden genomen.

Berekening der maatgevende waarden.

In de bovenhelft:



$$\text{Belasting: } \Delta T_\alpha = \frac{1}{\pi} Q_D \sin \alpha \, d \sin \alpha ; \quad R_1 = \frac{1}{2\pi} Q_D r$$

Van de 1-voudig statisch onbepaalde kwart cirkel, wordt het scharnier in A vervangen door de statisch onbepaalde  $H_A$ .

De grootte van  $H_A$  volgt dan uit de voorwaarde dat de horizontale verplaatsing van A = 0.

Het moment in een willekeurige drsn.  $\alpha$ .

$$\begin{aligned} M_\alpha &= -H_A r \sin \alpha + \frac{1}{\pi} Q_D r \int_0^\alpha (1 - \sin \alpha) \sin \alpha \, d \sin \alpha - \frac{1}{\pi} Q_D r \times \\ &\quad \times (1 - \sin \alpha) \int_0^\alpha \sin \alpha \, d \sin \alpha = \\ &= -H_A r \sin \alpha + \frac{1}{\pi} Q_D r \left[ \frac{\sin^2 \alpha}{2} - \frac{\sin^3 \alpha}{3} \right]_0^\alpha - \frac{1}{\pi} Q_D r (1 - \sin \alpha) \times \\ &\quad \times \left[ \frac{\sin^2 \alpha}{2} \right]_0^\alpha = -H_A r \sin \alpha + \frac{1}{6\pi} Q_D r \sin^3 \alpha. \end{aligned}$$

De horizontale verplaatsing van A = 0, of  $\int_0^{\frac{\pi}{2}} M_\alpha \sin \alpha \, d\alpha = 0$ .

$$\int_0^{0.5\pi} M_\alpha \sin \alpha \, d\alpha = -H_A r \int_0^{0.5\pi} \sin^2 \alpha \, d\alpha + \frac{1}{6\pi} Q_D r \int_0^{0.5\pi} \sin^4 \alpha \, d\alpha = 0.$$

$$\begin{aligned} -H_A r \left[ \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right]_0^{0.5\pi} + \frac{1}{6\pi} Q_D r \left[ -\frac{1}{4} \sin^3 \alpha \cos \alpha + \frac{3}{8} \alpha - \right. \\ \left. - \frac{3}{16} \sin 2\alpha \right]_0^{0.5\pi} = 0 \end{aligned}$$

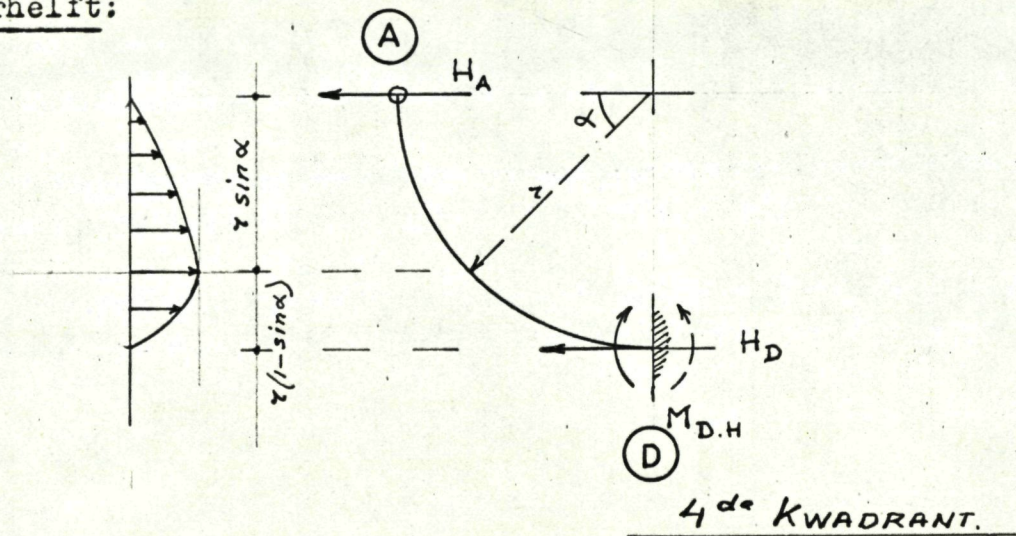
$$-\frac{1}{4} \pi H_A r + \frac{3}{16} \pi \times \frac{1}{6\pi} Q_D r = 0, \text{ waaruit men oplost:}$$

$$H_A = \frac{4}{\pi} \times \frac{1}{32} Q_D = \frac{1}{8\pi} Q_D = 0.040 Q_D \text{ (schuif)}$$

$$H_B = \left( \frac{1}{2\pi} - \frac{1}{8\pi} \right) \times Q_D = \frac{3}{8\pi} Q_D = 0.119 Q_D \text{ (trek)}$$

$$M_{B.H} = -\frac{1}{8\pi} Q_D r + \frac{1}{6\pi} Q_D r = + \frac{1}{24\pi} Q_D r = + 0.013 Q_D r \text{ (rechtsdraaiend).}$$

In de onderhelft:



Belasting :  $\Delta T_{\alpha} = \frac{1}{\pi} Q_D \sin \alpha d \sin \alpha$  ;  $R_4 = \frac{1}{2\pi} Q_D$ .

Analoog aan de berekening voor het 1<sup>e</sup> kwadrant is:

$$M_{\alpha} = -H_A r \sin \alpha + \frac{1}{6\pi} Q_D r \sin^3 \alpha.$$

Met de voorwaarde dat de horizontale verplaatsing van A = 0, lost men op:

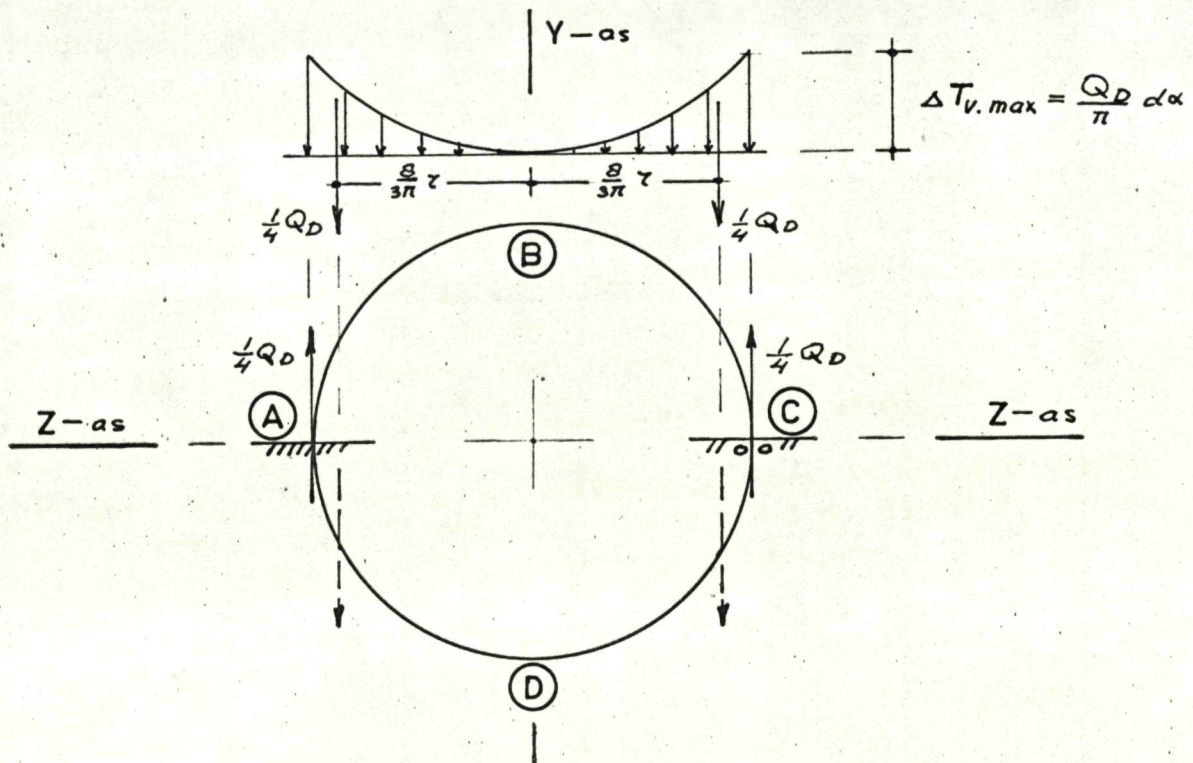
$$H_A = 0.040 Q_D \quad (\text{schuif})$$

$$H_D = -0.119 Q_D \quad (\text{druk})$$

$$M_{D.H} = +0.013 Q_D \cdot r \quad (\text{rechtsdraaiend}).$$

De richtingen der reacties in D zijn op de tekening aangegeven.

b. De invloed der verticale ontbondenen.



Belastingen:  $\Delta T_{v.\alpha} = \frac{1}{\pi} Q_D \cos^2 \alpha \, d\alpha$

voor  $0 \leq \alpha \leq 0.5 \pi$ :

$$T_V = \frac{1}{\pi} Q_D \int_0^{0.5 \pi} \cos^2 \alpha \, d\alpha = \frac{1}{\pi} Q_D \left[ \frac{1}{2} \alpha + \frac{1}{4} \sin 2 \alpha \right]_0^{0.5 \pi} = \frac{1}{4} Q_D$$

Positie t.o.v. de verticale as:

$$z = \frac{4}{Q_D} \times \frac{1}{\pi} Q_D r \int_0^{0.5 \pi} \cos^3 \alpha \, d\alpha = \frac{4}{\pi} r \left[ \sin \alpha - \frac{\sin^3 \alpha}{3} \right]_0^{0.5 \pi} = \frac{4}{\pi} r \times \frac{2}{3} = \frac{8}{3\pi} r$$

Voor  $0.5 \pi \leq \alpha \leq \pi$ ,  $\pi \leq \alpha \leq 1.5 \pi$ , en  $1.5 \pi \leq \alpha \leq 2\pi$ .

Op dezelfde wijze als voor het 1e kwadrant vindt men voor elk der overige kwadranten:

$$T_V = \frac{1}{4} Q_D ; \quad z = \frac{8}{3\pi} r$$

Voor de punten A en C, waarvoor  $\cos^2 \alpha$  max. is, is  $\Delta T_V$  max.  
 " " " B " D "  $\cos^2 \alpha = 0$ , is  $\Delta T_V = 0$ .

De totale verticale belasting =  $4 \times \frac{1}{4} Q_D = Q_D$



Voor deze belastingen is de y-as symmetrie as.

Bij verplaatsing van B in de y-richting zullen A en C zich in de z-richting verplaatsen, waarbij uit symmetrie overwegingen B en D verticaal, en A en C horizontaal zullen blijven.

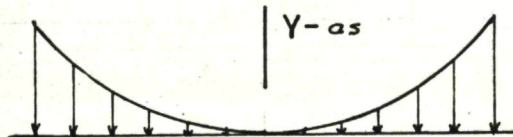
Bij een oplegglengte  $\varphi_B = 180^\circ$ , en een symmetrische reactie, kunnen A en C als verplaatsbare inklemmingen worden beschouwd. Denkt men de ring ter hoogte van A en C horizontaal doorgesneden, dan zullen in deze punten de reacties, door de symmetrie behalve verticaal, ook aan elkaar gelijk moeten zijn.

$$R_A = R_C = \frac{1}{4} Q_D$$

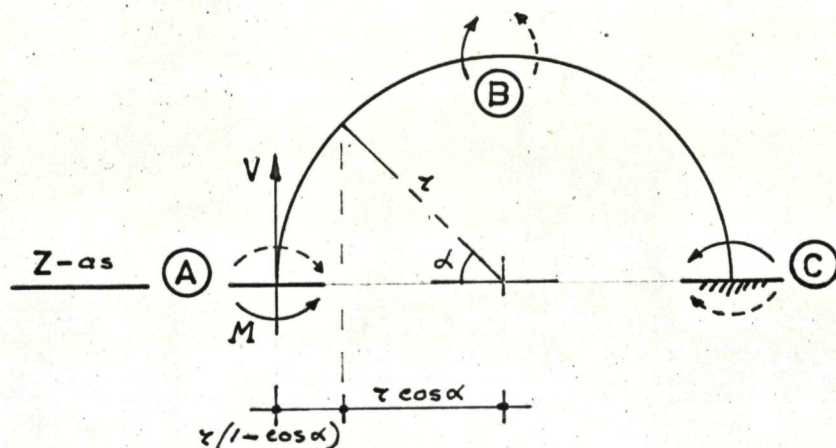
Dit geldt voor beide helften, waarbij dan de reactie der ondersteuning als belasting fungeert.

Boven- en onderhelft zijn dus spiegelbeeldig belast, zodat de berekening slechts voor één van de helften behoeft te worden uitgevoerd.

Berekening der momenten.



$$T_{v.\max.} = \frac{1}{\pi} Q_D$$



Belasting:  $\Delta T_v = \frac{1}{\pi} Q_D \cos^2 \alpha d\alpha :$

$$\begin{aligned} \text{Totale belasting} &= \frac{1}{\pi} Q_D \int_0^\pi \cos^2 \alpha d\alpha = \frac{1}{\pi} Q_D \left[ \frac{1}{2} \alpha + \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right]_0^\pi = \\ &= \frac{1}{2} Q_D. \end{aligned}$$

De statisch onbepaalden:

Van de in A en C ingeklemde, 3-voudig statisch onbepaalde ring wordt de inklemming in A vervangen door de statisch onbepaalden V, M en H. Daar de dwarskracht in de verplaatsbare sneden A en C uit symmetrie overwegingen = 0, is H = 0.

De 2 op te stellen vergelijkingen ter oplossing van V en M zijn:

1: de hoekverdraaiing in A = 0.

2: " verticale verplaatsing in A = 0.

Het moment in een drsn.  $\alpha$

$$M_{\alpha} = Vr (1 - \cos \alpha) + M + \frac{1}{\pi} Q_D r \int_0^{\alpha} \cos^3 \alpha \, d\alpha + \frac{1}{\pi} Q_D r \cos \alpha \int_0^{\pi} \cos^2 \alpha \, d\alpha.$$

$$\frac{1}{\pi} Q_D r \int_0^{\alpha} \cos^3 \alpha \, d\alpha + \frac{1}{\pi} Q_D r \cos \alpha \int_0^{\alpha} \cos^2 \alpha \, d\alpha =$$

$$= -\frac{1}{\pi} Q_D r \left[ \sin \alpha - \frac{\sin^3 \alpha}{3} \right]_0^{\alpha} + \frac{1}{\pi} Q_D r \cos \alpha \left[ \frac{1}{2} \alpha + \frac{1}{2} \sin \alpha \cos \alpha \right]_0^{\alpha} =$$

$$= -\frac{1}{\pi} Q_D r \left( \sin \alpha - \frac{\sin^3 \alpha}{3} - \frac{1}{2} \alpha \cos \alpha - \frac{1}{2} \sin \alpha \cos^2 \alpha \right) =$$

$$= -\frac{1}{\pi} Q_D r \left( \sin \alpha - \frac{\sin^3 \alpha}{3} - \frac{1}{2} \alpha \cos \alpha - \frac{1}{2} \sin \alpha + \frac{1}{2} \sin^3 \alpha \right) =$$

$$= -\frac{1}{6\pi} Q_D r (3 \sin \alpha + \sin^3 \alpha - 3 \alpha \cos \alpha)$$

$$M_{\alpha} = Vr (1 - \cos \alpha) + M - \frac{1}{6\pi} Q_D r (3 \sin \alpha + \sin^3 \alpha - 3 \alpha \cos \alpha).$$

Opstelling verg. 1:  $EI \cdot \varphi_A = 0$ . of  $\int_0^{\pi} M_{\alpha} \, ds = 0$ . of  $\int_0^{\pi} M_{\alpha} \, d\alpha = 0$ .

$$Vr \int_0^{\pi} (1 - \cos \alpha) \, d\alpha + M \int_0^{\pi} d\alpha - \frac{1}{6\pi} Q_D r \int_0^{\pi} (3 \sin \alpha + \sin^3 \alpha - 3 \alpha \cos \alpha) \, d\alpha = 0.$$

$$Vr \int_0^{\pi} (1 - \cos \alpha) \, d\alpha + M \int_0^{\pi} d\alpha = Vr \left[ \alpha - \sin \alpha \right]_0^{\pi} + M \left[ \alpha \right]_0^{\pi} = \pi Vr + \pi M.$$

$$- \frac{1}{6\pi} Q_D r \int_0^{\pi} (3 \sin \alpha + \sin^3 \alpha - 3 \alpha \cos \alpha) \, d\alpha =$$

$$= -\frac{1}{6\pi} Q_D r \left\{ \left[ -3 \cos \alpha \right]_0^{\pi} - \left[ \cos \alpha - \frac{\cos^3 \alpha}{3} \right]_0^{\pi} - 3 \left[ \alpha \sin \alpha + \cos \alpha \right]_0^{\pi} \right\}$$

$$= -\frac{1}{6\pi} Q_D r (3 \times 2 + \frac{2}{3} \times 2 + 3 \times 2) = -\frac{20}{9\pi} Q_D r.$$

Verg. 1 is dus:  $\pi V r + \pi M - \frac{20}{9\pi} Q_D r = 0.$

Opstelling verg. 2:  $E I_{y_A} = 0.$  of  $\int_0^\pi M_\alpha r (1 - \cos \alpha) ds = 0.$  of

$$\int_0^\pi M_\alpha d\alpha - \int_0^\pi M_\alpha \cos \alpha d\alpha = 0, \text{ of } \int_0^\pi M_\alpha \cos \alpha d\alpha = 0.$$

$$\int_0^\pi M_\alpha \cos \alpha d\alpha = V r \int_0^\pi (\cos \alpha - \cos^2 \alpha) d\alpha + M \int_0^\pi \cos \alpha d\alpha -$$

$$- \frac{1}{6\pi} Q_D r \int_0^\pi (3 \sin \alpha \cos \alpha + \sin^3 \alpha \cos \alpha - 3\alpha \cos^2 \alpha) d\alpha = 0$$

$$V r \int_0^\pi (\cos \alpha - \cos^2 \alpha) d\alpha + M \int_0^\pi \cos \alpha d\alpha = V r \left[ \sin \alpha - \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right]_0^\pi + M \left[ \sin \alpha \right]_0^\pi = -\frac{1}{2} \pi V r + 0 = -\frac{1}{2} \pi V r.$$

$$\int_0^\pi (3 \sin \alpha \cos \alpha + \sin^3 \alpha \cos \alpha) d\alpha = \left[ 3 \frac{\sin^2 \alpha}{2} + \frac{\sin^4 \alpha}{4} \right]_0^\pi = 0$$

$$- \int_0^\pi 3 \alpha \cos^2 \alpha d\alpha = - \int_0^\pi 3 \alpha \times \frac{\cos 2\alpha + 1}{2} d\alpha = - \frac{3}{2} \int_0^\pi (\alpha + \alpha \cos 2\alpha) d\alpha =$$

$$= - \frac{3}{2} \left[ \frac{\alpha^2}{2} + \frac{1}{2} \alpha \sin 2\alpha + \frac{1}{2} \cos 2\alpha \right]_0^\pi = - \frac{3}{2} \times \frac{\pi^2}{2} = - \frac{3}{4} \pi^2.$$

Verg. 2 is dus:  $-\frac{1}{2} \pi V r + \frac{1}{8} \pi Q_D r = 0,$  waaruit  $V = \frac{1}{4} Q_D.$

Deze uitkomst was uit symmetrie overwegingen al bekend.

$V = \frac{1}{4} Q_D$  gesubstitueerd in verg. 1 geeft :

$$M = \frac{1}{\pi} \left( \frac{20}{9\pi} - \frac{\pi}{4} \right) Q_D r = \frac{80 - 9\pi^2}{36 \pi^2} Q_D r = (0,225 - 0,250) Q_D r = -0,025 Q_D r$$

Overeenkomstig deze uitkomst is de draairichting van M op tekening aangegeven (negatief = tegen de richting der uurwijzers in).

Met de verg. voor  $M_\alpha$  lost men op:

$$M_A = M_{\text{midden}} = M = -0.025 Q_D r.$$

$$M_B = M_{\text{top}} = V r + M - 4 \times \frac{1}{6\pi} Q_D r = (0.250 - 0.025 - 0.212) Q_D r = +0.013 Q_D r.$$

$$M_C = M_{\text{midden}} = 2 V r + M - 3\pi \times \frac{1}{6\pi} Q_D r = (0.500 - 0.025 + 0.500) \times \\ \times Q_D r = -0.025 Q_D r.$$

$$M_D = M_{\text{bodem}} = M_{\text{top}} = +0.013 Q_D r.$$

Superpositie.

Dit is de algebraïsche som der afzonderlijke waarden t.g.v. de horizontale- en verticale- componenten van  $Q_D$ .

$$Q_D = \frac{L-l_0}{l_0} \times Q ; \quad r = \text{de gemiddelde straal}$$

+N = trekkracht : -N = drukkracht -

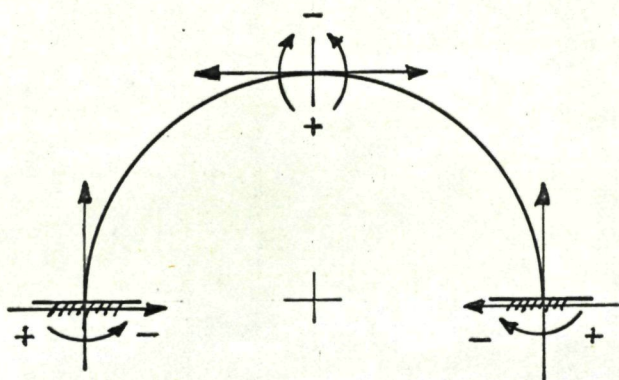
+M geeft trek aan de binnenzijde der ring

-M " " " " buitenzijde " "

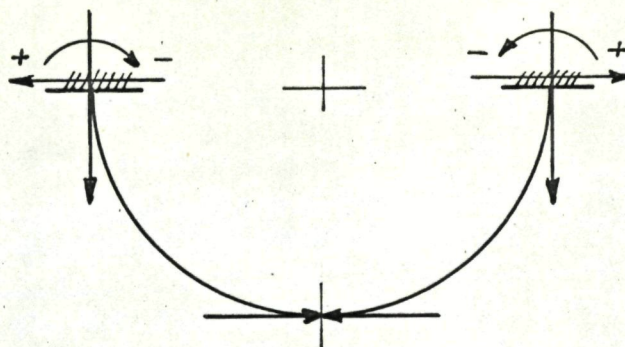
In de top:	$M = (0.013+0.013)Q_D r$	= +0.026 $Q_D r$
	$N = 0.119 Q_D + 0$	= +0.119 $Q_D$ (trek)
	$D = 0$	

In de middens:	$M = 0 - 0.025 Q_D r$	= -0.025 $Q_D r$
	$N = 0 - 0.250 Q_D$	= -0.250 $Q_D$ (druk)
	$D = 0.035 Q_D + 0$	= 0.035 $Q_D$ (schuif)

In de bodem:	$M = (-0.013+0.013)Q_D r$	= 0
	$N = -0.119 Q_D + 0$	= -0.119 $Q_D$
	$D = 0$	



Top en Middens



Bodem en Middens

Resumé Ia.2

Spanningen in normaal drsn. boven en tussen st.pt.  $\varphi_B = 120^\circ$

A = Bij belasting, inwendig door p, en uitwendig door Q, met  $\alpha = 180^\circ$

De som der momenten t.g.v. Q en  $Q_D$  worden middels de rerounding factoren gereduceerd.

In rechte strekkingen:

De top

$$\sigma_y = \frac{r_u^2 + r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} \times p \pm \frac{EI}{EI + 2p \times r^3 \times 0.089} \times (0.131 + 0.026 \times \frac{L-l_0}{l_0}) \frac{Qr}{W.2} + 0.119 \times \frac{L-l_0}{l_0} \times \frac{Q}{F.2}$$

De middens:

$$\sigma_y = \frac{r_u^2 + r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} \times p \pm \frac{EI}{EI + 2p \times r^3 \times 0.089} \times (0.133 + 0.025 \times \frac{L-l_0}{l_0}) \frac{Qr}{W.2} - (0.5 + 0.25 \times \frac{L-l_0}{l_0}) \times \frac{Q}{F.2}$$

De bodem:

$$\sigma_y = \frac{r_u^2 + r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} \times p \pm \frac{EI}{EI + 2p \times r^3 \times 0.089} \times 0.138 \times \frac{Qr}{W.2} - 0.119 \times \frac{L-l_0}{l_0} \times \frac{Q}{F.2}$$

In bochten met straal R

De top

$$\sigma_y = \frac{3R \pm r_i}{3R \mp r_i} \times \frac{r_u^2 + r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} \times p \pm \frac{EI}{EI + 2p \times r^3 \times 0.089} (0.131 + 0.026 \times \frac{L-l_0}{l_0}) \times \frac{Qr}{W.2} + 0.119 \times \frac{L-l_0}{l_0} \times \frac{Q}{F.2}$$

De middens:

$\sigma_y =$  als in rechte strekkingen.

De bodem

$$\sigma_y = \frac{3R \pm r_i}{3R \mp r_i} \times \frac{r_u^2 + r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} \times p \pm \frac{EI}{EI + 2p \times r^3 \times 0.089} \times 0.138 \times \frac{Qr}{W.2} - 0.119 \times \frac{L-l_0}{l_0} \times \frac{Q}{F.2}$$

B. Bij belasting uitsluitend door Q met  $\alpha = 180^\circ$

In rechte strekkingen en in bochten met straal R.

In de top : 
$$\sigma_y = \pm (0.131 + 0.026 \frac{L-l_0}{l_0}) \times \frac{1}{W.2} \times Qr + 0.119 \times$$

$$\times \frac{L-l_0}{l_0} \times \frac{Q}{F.2}$$

In de middens: 
$$\sigma_y = \pm (0.133 + 0.025 \times \frac{L-l_0}{l_0}) \times \frac{1}{W.2} \times Qr - (0.5 + 0.25 \times$$

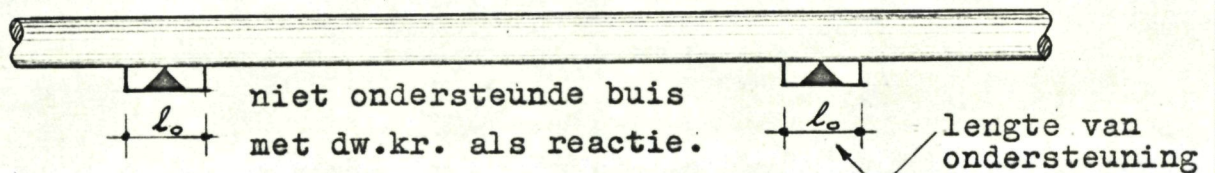
$$\times \frac{L-l_0}{l_0}) \times \frac{Q}{F.2}$$

In de bodem : 
$$\sigma_y = \pm 0.138 \times \frac{Q \cdot r}{W.2} - 0.119 \times \frac{L-l_0}{l_0} \times \frac{Q}{F.2}$$

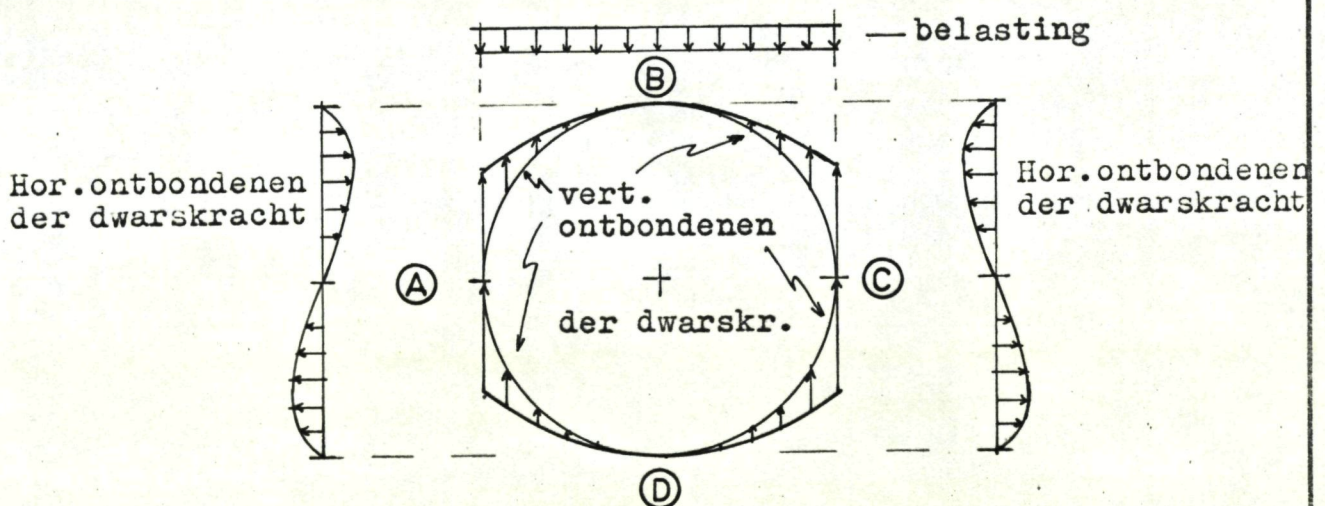
b = Niet ondersteunde gedeelten

Uitwendig direct belast door een gelijkm. verd. belasting Q  
met  $\varphi_B = 180^\circ$ , en inwendig door een druk p.

Doordat voor deze doorsneden de reacties t.g.v. Q door de buis zelf worden geleverd als dwarskrachten, en het verloop hiervan een andere is dan dat der belasting, kunnen de coëfficiënten van Spangler hier niet worden toegepast.



Schema van belasting en reacties.



Voor de belastingen en reacties is de verticaal BD symmetrie as, zodat volstaan kan worden met de uitvoering der berekeningen voor één van de 2 spiegelbeeldig belaste helften.

De halve ring is dan in B en D ingeklemd.

Voor de berekening wordt de inklemming in B vervangen door de 3 statisch onbepaalden  $V$ ,  $H$  en  $M$ . Hiervan is de dwarskracht  $V=0$ , omdat verticale verplaatsingen links en rechts van de as gelijk zijn.

Uit de voorwaarden, dat in B

1<sup>e</sup> de hoekverdraaiing  $\varphi_B = 0$  en

2<sup>e</sup> de horizontale verplaatsing  $z_B = 0$ ,

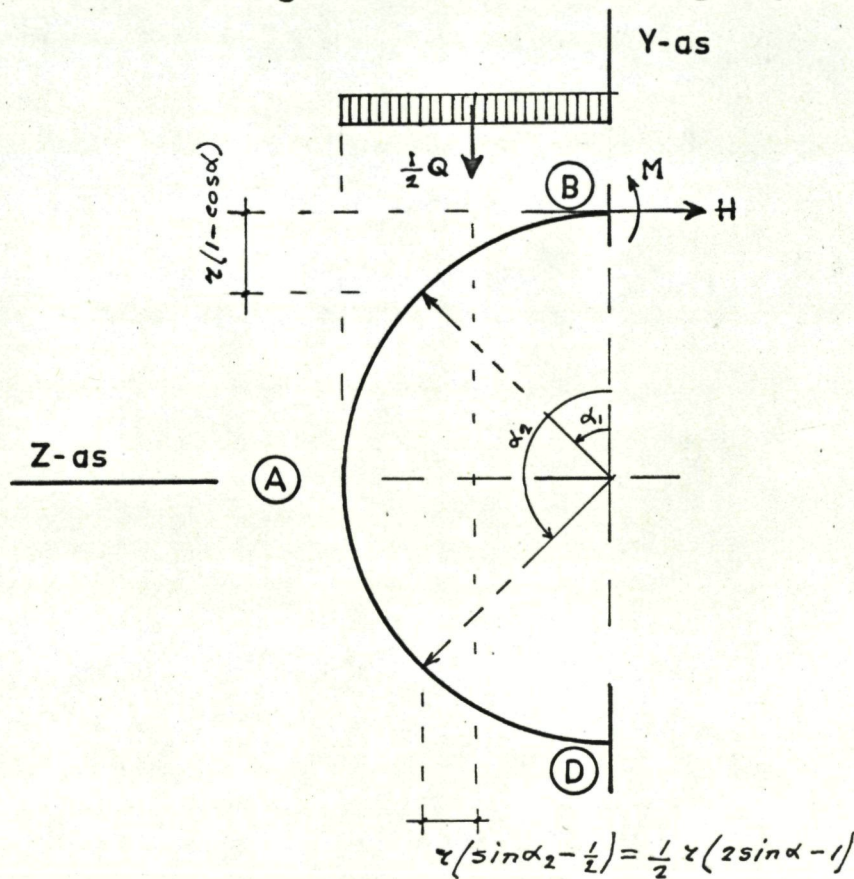
worden de 2 vergelijkingen opgesteld, waaruit  $H$  en  $M$  kunnen worden opgelost.

Het belastingsgeval is een superpositie van 3 gevallen, waarin voor elk geval afzonderlijk  $H$  en  $M$  worden berekend, waarna de maatgevende waarden in de top-, midden- en bodem ener normaal doorsnede kunnen worden bepaald.

De algebraïsche som der afzonderlijke uitkomsten levert in genoemde punten der normaal drsn. de eindwaarden op.



Geval 1 = de ring is belast door een gelijkmatige bovenlast Q.



Het moment in een drsn.:

voor  $0 \leq \alpha_1 \leq 0.5 \pi$  is  $M_{\alpha.1} = Hr (1 - \cos \alpha_1) + M + \frac{1}{4} Q r \sin^2 \alpha_1 -$

"  $0.5 \pi \leq \alpha_2 \leq \pi$  is  $M_{\alpha.2} = Hr (1 - \cos \alpha_2) + M + \frac{1}{4} Q r (2 \sin \alpha_2 - 1)$

Voorwaarde 1:  $EI \cdot \varphi_B = 0$  of  $\int_0^\pi M_\alpha d\alpha = 0.$

Voorwaarde 2:  $EI_{z_B} = 0$  of  $\int_0^\pi M_\alpha (1 - \cos \alpha) d\alpha = 0$  of  $\int_0^\pi M_\alpha \cos \alpha = 0.$

Hoekverdraaiing  $\varphi_B = 0$

$$\int_0^\pi M_\alpha d\alpha = Hr \int_0^\pi (1 - \cos \alpha) d\alpha + M \int_0^\pi d\alpha + \frac{1}{4} Qr \left[ \int_0^{0.5 \pi} \sin^2 \alpha d\alpha + \int_{0.5 \pi}^\pi (2 \sin \alpha - 1) d\alpha \right].$$

Uitwerking der integralen:

$$a) \int_0^{\pi} (1 - \cos \alpha) d\alpha = (\alpha - \sin \alpha) \Big|_0^{\pi} = \pi ; \quad b) \int_0^{\pi} d\alpha = (\alpha) \Big|_0^{\pi} = \pi.$$

$$c) \int_0^{0.5\pi} \sin^2 \alpha d\alpha + \int_{0.5\pi}^{\pi} (2 \sin \alpha - 1) d\alpha = \left( \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right) \Big|_0^{0.5\pi} + (-2 \cos \alpha - \alpha) \Big|_{0.5\pi}^{\pi} = \frac{\pi}{4} + 2 - \frac{\pi}{2} = \frac{8-\pi}{4}.$$

$$\text{Verg. 1 is: } \pi H r + \pi M + \frac{8-\pi}{16} Qr = 0.$$

De horizontale verplaatsing  $Z_B = 0$

$$\int_0^{\pi} M_{\alpha} \cos \alpha d\alpha = Hr \int_0^{\pi} (\cos \alpha - \cos^2 \alpha) d\alpha + M \int_0^{\pi} d \sin \alpha + \frac{1}{4} Qr \left\{ \int_0^{0.5\pi} \sin^2 \alpha d \sin \alpha + \int_{0.5\pi}^{\pi} (2 \sin \alpha - 1) d \sin \alpha \right\}$$

Uitwerking der integralen.

$$Hr \int_0^{\pi} (\cos \alpha - \cos^2 \alpha) d\alpha + M \int_0^{\pi} d \sin \alpha = Hr \left[ \sin \alpha - \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right]_0^{\pi} + M \left[ \sin \alpha \right]_0^{\pi} = -\frac{1}{2} \pi Hr.$$

$$\frac{1}{4} Qr \left\{ \int_0^{0.5\pi} \sin^2 \alpha d \sin \alpha + \int_{0.5\pi}^{\pi} (2 \sin \alpha - 1) d \sin \alpha \right\} = \frac{1}{4} Qr \left\{ \left[ \frac{\sin^3 \alpha}{3} \right]_0^{0.5\pi} + \left[ \sin^2 \alpha - \sin \alpha \right]_{0.5\pi}^{\pi} \right\} = \frac{1}{4} Qr \times \frac{1}{3} = \frac{1}{12} Qr.$$

$$\text{Verg. 2 is: } -\frac{1}{2} \pi Hr + \frac{1}{12} Qr = 0. \text{ waaruit } H = \frac{1}{6\pi} Q = 0.053 Q \text{ (trek)}$$

H in verg. 1 gesubstitueerd geeft:

$$\frac{1}{6} Qr + \pi M + \frac{8-\pi}{16} Qr = 0, \text{ waaruit } M = -\frac{32-3\pi}{48\pi} = -0.150 Qr$$

Momenten, normaal- en dwarskrachten in een normaal drsn.

In de top :  $M_1 = M = -0.150 Qr$   
 $N_1 = H = +0.053 Q$  (trek)  
 $D_1 = 0$

In de middens:  $M_1 = Hr + M + \frac{1}{4} Qr = (0.053 - 0.150 + 0.250)Qr = +0.153 Qr$   
 $N_1 = 0$   
 $D_1 = 0$

In de bodem :  $M_1 = 2 Hr + M - \frac{1}{4} Qr = (0.106 - 0.150 - 0.250)Qr = -0.294 Qr$   
 $N_1 = -H$  (horizontaal evenwicht) =  $-0.053 Q$  (druk)  
 $D = 0$

Opmerking bij geval 1.

Uit het verticale evenwicht volgt dat de verticale reactie in het punt D gelijk is aan  $V = \frac{1}{2} Q$ ; Voor de hele ring is de reactie  $V = Q$ .

Bij dit belastingsgeval is de reactie een puntlast, dus  $\varphi_0 = 0^\circ$ . De momentscoëfficiënten  $k_T = 0.150$ ,  $k_S = 0.153$  en  $k_B = 0.294$  komen overeen met de in de tabel van Spangler opgegeven waarden.

Volledigheidshalve worden de verticale en horizontale verplaatsingen berekend.

$$EI_{y_D} = \int_0^\pi M_\alpha ds r \sin \alpha = Hr^3 \int_0^\pi (1 - \cos \alpha) \sin \alpha d\alpha + Mr^2 \int_0^\pi \sin \alpha d\alpha + \frac{1}{4} Qr^3 \left\{ \int_0^{0.5\pi} \sin^3 \alpha d\alpha + \int_{0.5\pi}^\pi (2 \sin^2 \alpha - \sin \alpha) d\alpha \right\}$$

$$H = \frac{1}{6\pi} Q; \quad M = -\frac{32-3\pi}{48\pi} Qr.$$

$$\frac{1}{6\pi} Qr^3 \int_0^\pi (1 - \cos \alpha) \sin \alpha d\alpha = \frac{1}{6\pi} Qr^3 \left[ -\cos \alpha + \frac{\cos^2 \alpha}{2} \right]_0^\pi =$$

$$= \frac{1}{6\pi} Qr^3 \times 2 = \frac{1}{3\pi} Qr^3.$$

$$- \frac{32-3\pi}{48\pi} Qr^3 \int_0^\pi \sin \alpha d\alpha = - \frac{32-3\pi}{48\pi} \left[ -\cos \alpha \right]_0^\pi = - \frac{32-3\pi}{48\pi} Qr^3 \times 2 = - \frac{32-3\pi}{24\pi} Qr^3.$$

$$\frac{1}{4} Qr^3 \left\{ \int_0^{0.5\pi} \sin^3 \alpha \, d\alpha + \int_{0.5\pi}^{\pi} (2 \sin^2 \alpha - \sin \alpha) \, d\alpha \right\} =$$

$$= \frac{1}{4} Qr^3 \left\{ \left[ \frac{\cos^3 \alpha}{3} - \cos \alpha \right]_0^{0.5\pi} + \left[ \alpha - \frac{1}{2} \sin 2\alpha + \cos \alpha \right]_{0.5\pi}^{\pi} \right\} =$$

$$= \frac{1}{4} Qr^3 \left( -\frac{1}{3} + 1 + \frac{1}{2} \pi - 1 \right) = \frac{3\pi - 2}{24} \times Qr^3.$$

$$EI_{y_D} = \left( \frac{1}{3\pi} - \frac{32 - 3\pi}{24\pi} + \frac{3\pi - 2}{24} \right) Qr^3 = (0.106 - 0.299 + 0.309) \times Qr^3 =$$

$$= 0.116 Qr^3.$$

$$y_D = 0,116 \frac{Qr^3}{EI} \dots \text{ of } k_y = 0.116.$$

De horizontale verplaatsing Z.

Door de symmetrie is  $Z_A = Z_C$  en  $Z_A + Z_C = Z$ .

$$EI_{Z_A} = \int_{0.5\pi}^{\pi} M_{\alpha} ds r \cos \alpha = Hr^3 \int_{0.5\pi}^{\pi} (\cos \alpha - \cos^2 \alpha) d\alpha + Mr^2 \int_{0.5\pi}^{\pi} d \sin \alpha +$$

$$+ \frac{1}{4} Qr^3 \int_{0.5\pi}^{\pi} (2 \sin \alpha - 1) d \sin \alpha.$$

$$= Hr^3 \left[ \sin \alpha - \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right]_{0.5\pi}^{\pi} + M \left[ \sin \alpha \right]_{0.5\pi}^{\pi} +$$

$$+ \frac{1}{4} Qr^3 \left[ \sin^2 \alpha - \sin \alpha \right]_{0.5\pi}^{\pi} = Hr^3 (-1 - 0.25\pi) - M + 0 =$$

$$= -\frac{1.785}{6\pi} Qr^3 + 0.150 Qr^3 = (-0.095 + 0.150) Qr^3 = 0.055 Qr^3.$$

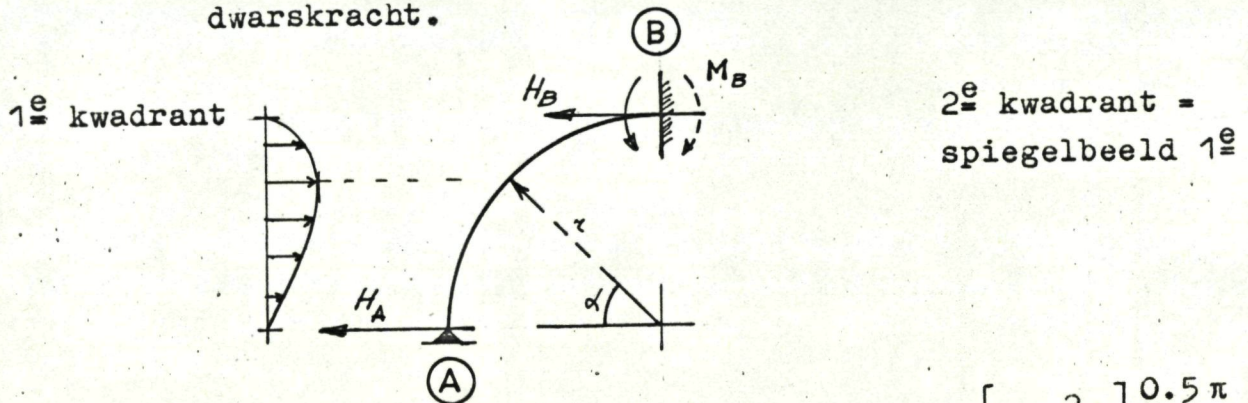
De totale horizontale verplaatsing:

$$Z = 2 \times 0.055 Qr^3 = 0.110 Qr^3 ; \text{ of } k_Z = 0.110.$$

Ook de in de door Spangler opgegeven waarden der verplaatsingscoëfficiënten  $k_y$  en  $k_z$  komen overeen met de berekende.

Bij een uitwendige belasting waarvoor  $\alpha = 180^\circ$ , blijken dus bij de uiterste gevallen van  $\varphi_B$ , n.l.  $\varphi_B = 180^\circ$  en  $\varphi_0 = 0^\circ$  de door Spangler opgegeven moments- en verplaatsingscoëfficiënten overeen te komen met de berekende.

Geval 2 = De ring is belast door de horizontale ontbondenen der dwarskracht.



Belasting:  $q_x = \frac{Q}{\pi} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha$ ; totaal =  $\frac{Q}{\pi} \left[ \frac{\sin^2 \alpha}{2} \right]_0^{0.5\pi} = \frac{Q}{2\pi}$

De in het voorgaande gevonden waarden voor  $H_A$ ,  $H_B$  en  $M$  krijgen het tegengestelde teken.

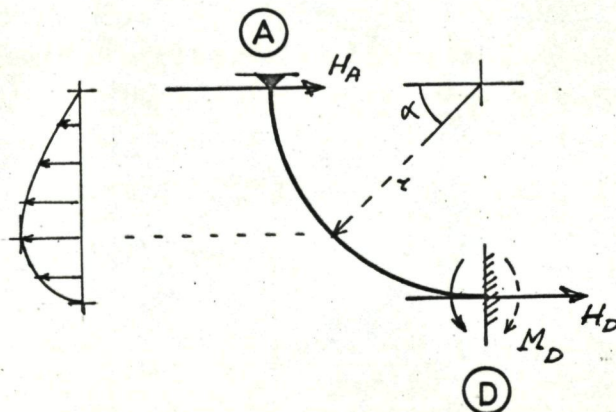
$H_A = \frac{1}{8\pi} Q$ ;  $H_B = \frac{3}{8\pi} Q$ ;  $M_B = \frac{1}{24\pi} Qr$ ; (de richtingen zijn op de tekening aangegeven)

Het moment in een drsn.  $\alpha$ .

$$M_\alpha = -H_A r \sin \alpha + \frac{1}{6\pi} Q r \sin^3 \alpha =$$

$$= \left( -\frac{1}{8\pi} \sin \alpha + \frac{1}{6\pi} \sin^3 \alpha \right) Q r = \left( H \sin^2 \alpha - 3 \right) \sin \alpha \times \frac{1}{24\pi} Qr.$$

4<sup>de</sup> kwadrant = spiegelbeeld 3<sup>de</sup> kwadrant

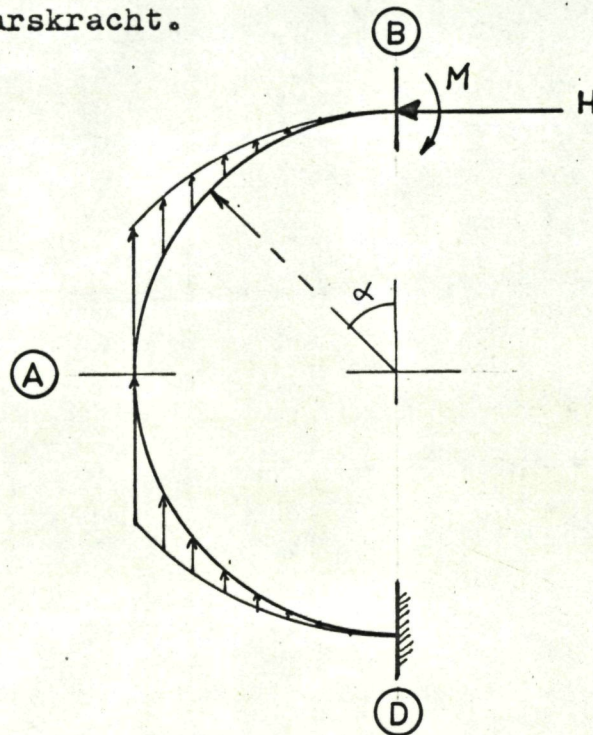


De belastingen zijn tegengesteld aan de vorige. De momenten zijn gelijk doch tegengesteld gericht.

Momenten, normaal- en dwarskrachten.

In de top	:	$M_2 = M_B =$	0.013 Qr
		$N_2 = -\frac{3}{8\pi} Q =$	-0.119 Q (druk)
		$D_2 = 0$	
In de middens	:	$M_2 = 0$	
		$N_2 = 0$	
		$D_2 = \frac{1}{8\pi} Q =$	0.040 Q (schuif)
In de bodem	:	$M_2 = M_D = -M_B =$	-0.013 Qr
		$N_2 = +\frac{3}{8\pi} Q =$	0.119 Q (trek)
		$D_2 = 0$	

Geval 3 = De ring is belast door de verticale ontbondenen der dwarskracht.



Belasting:  $q_\alpha = \frac{Q}{\pi} \sin^2 \alpha d\alpha$  ;

Totaal 1<sup>ste</sup> kwadrant =  $\frac{1}{\pi} Q \int_0^{0.5\pi} \sin^2 \alpha d\alpha = \frac{Q}{\pi} \left( \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right) = \frac{1}{4} Q$ .

positie t.o.v. de middenas =  $Z_1 = \frac{8}{3\pi} r$ .

Totaal 4<sup>de</sup> kwadrant = totaal 1<sup>ste</sup> kwadrant =  $\frac{1}{4} Q$ .

positie t.o.v. de middenas  $Z_4 = Z_1 = \frac{8}{3\pi} r$ .

Moment in een drsn.  $\alpha$  :

$$M_\alpha = -Hr (1 - \cos \alpha) + M - \frac{1}{\pi} Qr \int_0^\alpha \sin^2 \alpha (1 - \sin \alpha) d\alpha + \frac{1}{\pi} Qr (1 - \sin \alpha) x$$

$$x \int_0^\alpha \sin^2 \alpha d\alpha.$$

$$a = \int_0^\alpha (\sin^2 \alpha - \sin^3 \alpha) d\alpha = \left[ \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha + \cos \alpha - \frac{\cos^3 \alpha}{3} \right]_0^\alpha =$$

$$= \left( \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha + \cos \alpha - 1 - \frac{\cos^3 \alpha}{3} + \frac{1}{3} \right) =$$

$$= \left( \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha + \cos \alpha - \frac{\cos^3 \alpha}{3} - \frac{2}{3} \right).$$

$$b = (1 - \sin \alpha) \int_0^\alpha \sin^2 \alpha \, d\alpha = (1 - \sin \alpha) \left[ \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right]_0^\alpha =$$

$$= (1 - \sin \alpha) \left( \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right) = \left( \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha - \frac{1}{2} \alpha \sin \alpha + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{4} \sin \alpha \sin 2\alpha \right).$$

$$a - b = \left( \cos \alpha - \frac{\cos^3 \alpha}{3} + \frac{1}{2} \alpha \sin \alpha - \frac{1}{4} \sin \alpha \sin 2\alpha - \frac{2}{3} \right)$$

$$M_\alpha = -Hr (1 - \cos \alpha) + M - \frac{1}{\pi} Qr \left( \cos \alpha - \frac{\cos^3 \alpha}{3} + \frac{1}{2} \alpha \sin \alpha - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{4} \sin \alpha \sin 2\alpha - \frac{2}{3} \right).$$

Voorwaarde 1 :  $\frac{EI}{r} \varphi_B = 0$ . of  $\int_0^\pi M_\alpha \, d\alpha = 0$ .

$$\int_0^\pi M_\alpha \, d\alpha = -Hr \int_0^\pi (1 - \cos \alpha) \, d\alpha + M \int_0^\pi d\alpha -$$

$$- \frac{1}{\pi} Qr \int_0^\pi \left( \cos \alpha - \frac{\cos^3 \alpha}{3} + \frac{1}{2} \alpha \sin \alpha - \frac{1}{2} \sin^2 \cos \alpha - \frac{2}{3} \right) d\alpha = 0.$$

$$-Hr \left[ \alpha - \sin \alpha \right]_0^\pi + M \left[ \alpha \right]_0^\pi = -\pi Hr + \pi M.$$

$$- \frac{1}{\pi} Qr \left[ \sin \alpha - \frac{1}{3} \sin \alpha + \frac{1}{9} \sin^3 \alpha - \frac{1}{2} \alpha \cos \alpha + \frac{1}{2} \sin \alpha - \frac{1}{6} \alpha \right.$$

$$\left. \times \sin^3 \alpha - \frac{2}{3} \alpha \right]_0^\pi = - \frac{1}{\pi} Qr \left[ \frac{5}{6} \sin \alpha + \frac{1}{6} \sin \alpha - \frac{1}{18} \sin^3 \alpha - \right.$$

$$\left. \frac{1}{2} \alpha \cos \alpha - \frac{2}{3} \alpha \right]_0^\pi = - \frac{1}{\pi} Qr \left( \frac{1}{2} \pi - \frac{2}{3} \pi \right) = + \frac{1}{6} Qr.$$

Verg. 1 is dus :  $-\pi Hr + \pi M + \frac{1}{6} Qr = 0$ .

Voorwaarde 2 :  $\frac{EI}{r^2} Z = 0$  of  $\int_0^\pi M_\alpha (1 - \cos \alpha) \, d\alpha = 0$ , of

$$\int_0^\pi M_\alpha \, d\alpha - \int_0^\pi M_\alpha \cos \alpha \, d\alpha = 0.$$

Daar  $\int_0^\pi M_\alpha \, d\alpha = 0$  moet dus  $\int_0^\pi M_\alpha \cos \alpha \, d\alpha = 0$ .

$$\int_0^\pi M_\alpha \cos \alpha \, d\alpha = -Hr \int_0^\pi (\cos \alpha - \cos^2 \alpha) \, d\alpha + M \int_0^\pi \cos \alpha \, d\alpha -$$

$$- \frac{1}{4} Qr \int_0^\pi \left( \cos^2 \alpha - \frac{\cos^4 \alpha}{3} + \frac{1}{4} \alpha \sin 2\alpha - \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha - \frac{2}{3} \cos \alpha \right) d\alpha$$



$$-Hr \int_0^{\pi} (\cos \alpha - \cos^2 \alpha) d\alpha = -Hr \left[ \sin \alpha - \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right]_0^{\pi} =$$

$$= \frac{1}{2} \pi Hr.$$

$$M \int_0^{\pi} \cos \alpha d\alpha = M \left[ \sin \alpha \right]_0^{\pi} = 0.$$

$$- \frac{1}{\pi} Qr \int_0^{\pi} \left( \cos^2 \alpha - \frac{\cos^4 \alpha}{3} + \frac{1}{4} \alpha \cos 2\alpha - \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha - \frac{2}{3} \cos \alpha \right) d\alpha$$

Uitwerking:

$$a = \int_0^{\pi} \left( \cos^2 \alpha - \frac{1}{3} \cos^4 \alpha - \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha - \frac{2}{3} \cos \alpha \right) d\alpha =$$

$$\int_0^{\pi} \left( \frac{1}{2} \cos^2 \alpha + \frac{1}{6} \cos^4 \alpha - \frac{2}{3} \cos \alpha \right) d\alpha =$$

$$= \left[ \frac{1}{4} \alpha + \frac{1}{8} \sin 2\alpha + \frac{1}{24} \cos^3 \alpha \sin \alpha + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} \sin 2\alpha - \frac{2}{3} \sin \alpha \right]_0^{\pi} =$$

$$= \left[ \frac{5}{16} \alpha + \frac{5}{32} \sin 2\alpha + \frac{1}{24} \cos^3 \alpha \sin \alpha - \frac{2}{3} \sin \alpha \right]_0^{\pi} = \frac{5}{16} \pi.$$

$$b = \frac{1}{4} \int_0^{\pi} \alpha \sin 2\alpha d\alpha = -\frac{1}{8} \int_0^{\pi} \alpha d \cos 2\alpha = -\frac{1}{8} \left\{ \left[ \alpha \cos 2\alpha \right]_0^{\pi} - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2} \int_0^{\pi} \cos 2\alpha d 2\alpha \right\} = -\frac{1}{8} \left\{ \pi - \frac{1}{2} \left[ \sin 2\alpha \right]_0^{\pi} \right\} = -\frac{1}{8} \pi.$$

$$- \frac{1}{\pi} Qr (a+b) = -\frac{1}{\pi} Qr \left( \frac{5}{16} \pi - \frac{1}{8} \pi \right) = -\frac{3}{16} Qr.$$

$$\int_0^{\pi} M_{\alpha} \cos \alpha = \frac{1}{2} \pi Hr + 0 - \frac{3}{16} Qr, \text{ waaruit } H = \frac{3}{8\pi} Q = \underline{0.119 Q}$$

Gesubstitueerd in verg. 1 geeft dit:

$$- \frac{3}{8} Qr + \pi M + \frac{1}{6} Q.r = 0, \text{ waaruit } M = -\frac{5}{24\pi} Qr = \underline{-0.066 Qr}$$

In de top :

$$M_3 = M = + 0.066 Qr$$

$$N_3 = H = - 0.119 Q \text{ (druk)}$$

$$D_3 = 0$$

In de middens:

$$M_3 = (-0.119 + 0.066 - 0.038) Qr = - 0.091 Qr$$

$$N_3 = 0$$

$$D_3 = 0$$

In de bodem :

$$M_3 = (2 \times -0.119 + 0.066 + \frac{4}{3} \pi) Qr =$$

$$= (-0.238 + 0.066 + 0.424) Qr = + 0.252 Qr$$

$$N_3 = -H = + 0.119 Q \text{ (Trek)}$$

$$D_3 = 0$$

Superpositie der gevallen 1, 2 en 3.

In de top :

$$M = (-0.150 + 0.013 + 0.066) Qr = - 0.071 Qr$$

$$N = (0.053 - 2 \times 0.119) \times Q = - 0.185 Q \text{ (druk)}$$

$$D = 0$$

In de middens:

$$M = (0.153 + 0 - 0.091) Qr = + 0.062 Qr$$

$$N = 0$$

$$D = (0 + 0.040 + 0) \times Q = + 0.040 Q$$

In de bodem:

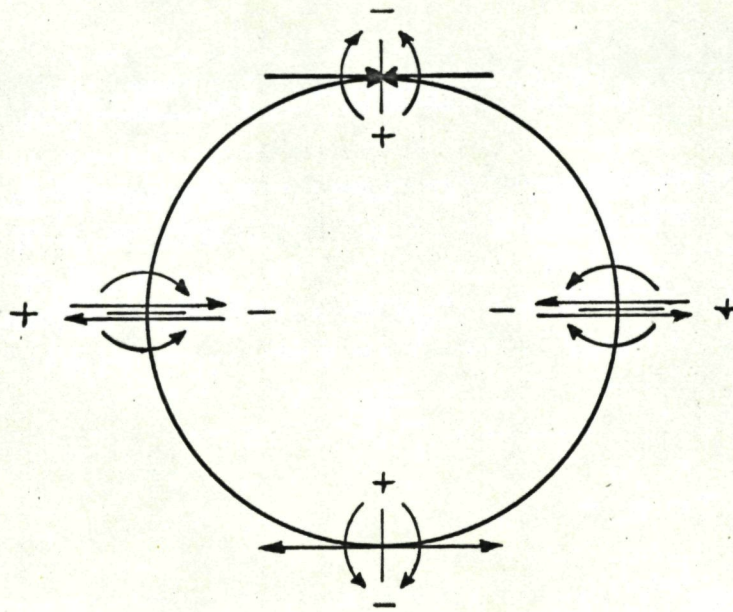
$$M = (-0.294 - 0.013 + 0.252) Qr = - 0.055 Qr$$

$$N = (-0.053 + 2 \times 0.119) Q = + 0.185 Q \text{ (trek)}$$

$$D = 0$$

Noot bij de tekens der momenten:

De momenten met dezelfde draairichtingen als behandeld onder de nummers I a.1 en I a.2 hebben hier het tegengestelde teken, hetgeen een gevolg is van de tegengesteld genomen richting van aangroeiing van  $\alpha$



Indien uit een numerieke becijfering blijkt, dat  $\frac{1}{W} \times 0.055 Qr + 0.185 \frac{Q}{F^2}$  kleiner is dan  $\frac{1}{W} \times 0.125 Qr$ , is men aan de veilige kant door in de top, middens en bodem de momenten aan te houden bij  $\alpha = \varphi_B = 180^\circ$ .

Conclusies met betrekking tot tangentiële spanningen.

In rechte strekkingen:

Bij een buis op meerdere st.ptn. treden in een normaal drsn. boven een tussen st.pt. grenzend aan den dag, de hoogste spanningen op, met de maatgevende waarde in de top.

Volstaan zou dus kunnen worden met de berekening van de spanningen in de top van evengenoemde normaal drsn. Volledigheids halve worden de spanningen in de middens en bodem echter ook berekend.

Strekkingen in een verticale bocht met straal R.

De toeslag en reductie hebben uitsluitend betrekking op de spanningen t.g.v. de inwendige druk p.

Maatgevend blijft dan ook de spanning in de top, indien deze in de binnenbocht ligt.

Ligt de bodem in de binnenbocht, dan zal een numerieke becijfering uitwijzen of:

$$\sigma_{y \text{ top}} = \frac{3R + r_i}{3R + 3r_i} \times \sigma_{yp'} + \frac{EI}{EI + 2pk_y r^3} \times (k_T + 0.026 \times \frac{L-l_0}{l_0}) \times \frac{Qr}{W2} + 0.119 \times \frac{L-l_0}{l_0} \times \frac{Q}{F2}$$

groter is dan

$$\sigma_{y \text{ bodem}} = \frac{3R - r_i}{3R - 3r_i} \times \sigma_{yp'} + \frac{EI}{EI + 2pk_y r^3} \times k_B \times \frac{Qr}{W2} - 0.119 \times \frac{L-l_0}{l_0} \times \frac{Q}{F2}$$

In beide vergelijkingen dienen de waarden van  $k_T$ ,  $k_B$  en  $k_y$  te worden gebruikt welke behoren bij  $\alpha = 180^\circ$  en de toegepaste  $\varphi_B$ .

II = De berekening van  $\sigma_x$

Berekend worden de spanningen t.g.v.

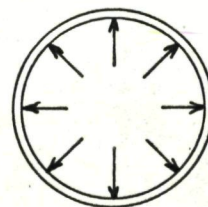
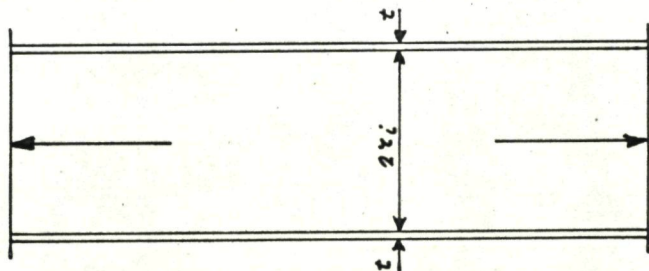
1. de inwendige druk p
2. " uitwendige belasting Q, en
3. verplaatsingen en hoekverdraaiingen van onder verschillende hellingen geplaatste, op elkaar aansluitende overspanningen.

1. T.g.v. de inwendige druk p.

1a = in rechte strekkingen:

Is de inwendige druk = p, de inwendige straal van de buis  $r_i$  en de wanddikte = t, dan zal bij gesloten einden van zo'n strekking op deze einden een kracht worden uitgeoefend:

$$T = \pi r_i^2 p.$$



De op de wand in axiale richting uitgeoefende kracht T wordt aangenomen zich regelmatig over de buiswand te verdelen, zodat

$$\sigma_{x.p} = \frac{T}{F} = \frac{\pi r_i^2 p}{2\pi r t} = \frac{r_i^2 p}{2 r t} = \frac{1}{2} \times \text{de gemidd. ringspanning}$$

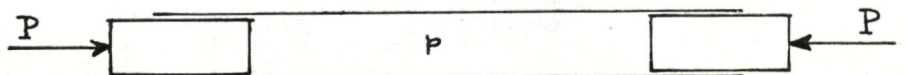
volgens de z.g. ketelformule.

Daar voor de gemiddelde ringspanning de maximum spanning volgens Lamé wordt aangehouden, wordt voor  $\sigma_{x.p}$  in rekening gebracht:

$$\sigma_{x.p} = \frac{1}{2} \times \frac{r_u^2 + r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} \times p$$

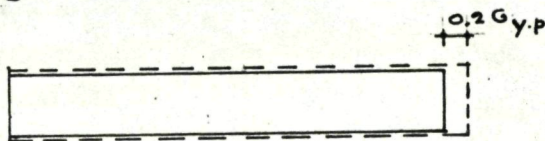
1.b = in een bocht:

Het Poisson effect:



Brengt men in een rechte buis de inwendige druk p aan middels uitwendige krachten P op pluniers aan de uiteinden der buis, dan zal door het Poisson-effect de buis een verkorting ondergaan, alsof aan de uitwinden der buis een drukspanning van  $0.3 \times$  de ringspanning is aangebracht.

Wordt deze vormverandering niet tegengehouden, dan blijft de buis in axiale richting spanningsloos. Er treden dus uitsluitend tangentiële spanningen op.



Wordt de buis aan de uiteinden afgesloten, dan ontstaat er een axiale trekspanning:

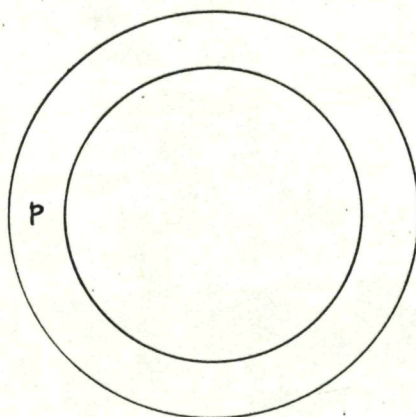
$$\sigma_{x.p} = \frac{1}{2} \times \text{de ringspanning} = 0.5 \sigma_{y.p}$$

De totale vormverandering is dus gelijk aan die t.g.v. een axiale trekspanning  $(0.5-0.3) \times \sigma_{yp} = 0.2 \sigma_{y.p}$

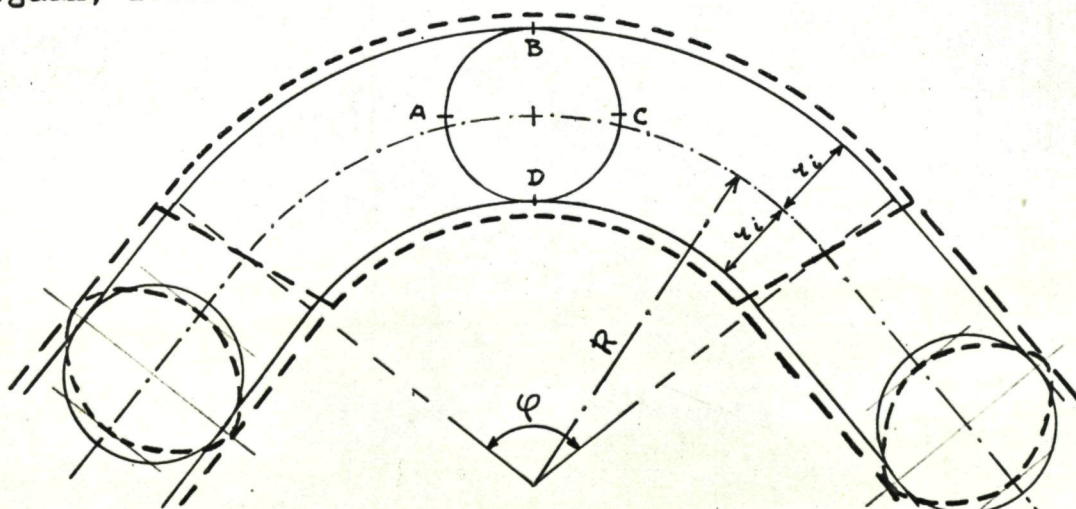
Stelling:

Indien het Poisson effect niet wordt tegengewerkt, worden geen spanningen in het materiaal opgewekt.

Wordt dit effect volledig tegengewerkt, dan ontstaat in het materiaal een spanning =  $0.3 \times$  de spanning, werkende in de tegengestelde richting.



Een cirkelvormig gebogen buis belast door een inwendige druk p, zou in zijn geheel een vormverandering t.g.v. het Poissoneffect ondergaan, zonder dat dit effect zou worden tegengewerkt.



Uit het voorgaande is bekend, dat

$$\text{bij B} \quad : \quad \sigma_{yB} = \frac{3R+r_i}{3R+3r_i} \times \sigma_{y.p}$$

$$\text{bij A en C:} \quad \sigma_{yA} = \sigma_{yC} = \sigma_{y.p}$$

$$\text{bij D} \quad : \quad \sigma_{yD} = \frac{3R-r_i}{3R-3r_i} \times \sigma_{y.p}$$

Is  $\varphi$  de middelpuntshoek der bocht, dan worden de verlengingen van de buitenbocht:

$$\varphi (R+r) \times \frac{3R+r_i}{3(R+r_i)} \times 0.2 \varepsilon = \varphi (R + \frac{1}{3} r_i) \times 0.2 \varepsilon$$

van de buismiddens:  $\varphi R \times 0.2 \varepsilon$

van de binnenbocht:  $\varphi (R-r) \times \frac{3R-r_i}{3(R-r_i)} \times 0.2 \varepsilon = \varphi (R - \frac{1}{3} r_i) \times 0.2 \varepsilon$

Verdeeld over 2 einden der bocht bij de overgangen in rechte strekkingen wordt de buitenbocht  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{3} \times 0.2 \varphi r \varepsilon = \frac{1}{30} \varphi r \varepsilon$

langer en de binnenbocht  $\frac{1}{30} \varphi r \varepsilon$  korter dan de buismiddens.

De normaal doorsneden blijven dus wel vlak, doch zijn t.o.v. hun oorspronkelijke stand gedraaid.

De gelijke verlengingen der rechte strekkingen zouden echter geen verdraaiing der doorsnede t.pl.v. de overgang ten gevolge hebben.

Beide werkingen op elkaar superponerend betekent dit:

1<sup>ste</sup> een extra drukspanning in de buitenbocht;

2<sup>de</sup> " " trekspanning " " binnenbocht.

Het resultaat dezer werkingen is dus in geval van volkomen stijve leidingen, dat de gedraaide doorsneden in hun oorspronkelijke stand terug komen.

Voor de gemiddelde ringspanning heeft het Poisson effect een vormverandering gegeven zonder weerstanden, daar immers de gehele buis groter kan worden.

Door het verschil met de gemiddelde ringspanning zal bij het volkomen vormvast blijven van de cirkel door het Poisson effect een toeslag komen op de gemiddelde axials spanning van maximum  $0.3 (\sigma_{y. \text{ plaatselijk}} - \sigma_{y. \text{ gemidd.}})$ .

2 = t.g.v. de uitwendige belasting Q.

De momenten en dwarskrachten in de op meerdere punten ondersteunde buis kunnen voor iedere overspanning berekend worden.

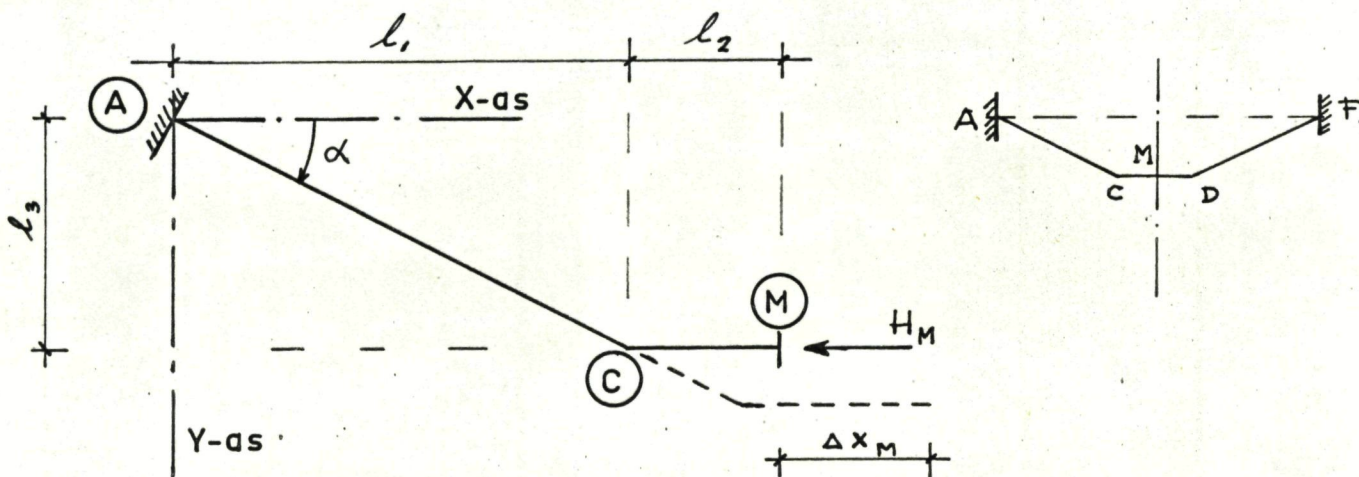
Van de gedeelten buiten de kruising zijn de doorgaande liggers ter plaatse der steunpunten volledig ingeklemd gedacht, zodat de maximum waarden voor de steunpuntsmomenten in rekening worden gebracht.

De momenten der buisgedeelten ter plaatse van de kruising zijn middels de vereffeningsmethode berekend.



3. Spanningen in axiale richting t.g.v. verplaatsingen en hoekverdraaiingen.

Dit geval doet zich in het leidinggedeelte voor t.pl.v. de kruising, op het moment dat de door Q belaste buis ook door de inwendige druk wordt belast.



M ligt op de symmetrie as van het leidinggedeelte ACDF.

De punten A en F zijn inklemmingen, welke verticaal wel, doch horizontaal niet verplaatsbaar zijn.

Het punt M kan uit symmetrie overwegingen als een inklemming worden opgevat.

T.g.v. de inwendige druk zal de buis zich willen verlengen.

Denkt men zich de inklemming in M vervangen door de statisch onbepaalden  $H_M$  en  $M_M$ .

Is  $F$  = de materiaal drsn. der buis,

$f$  = de verplaatsing loodrecht op de staafas.

Het punt C kan zich verticaal verplaatsen, waarbij de reactie in C niet vergroot wordt.

De invloed van de inwendige druk p.

Is  $\sigma_{yp}$  de ringspanning t.g.v. p, dan is de axiale spanning

$$\sigma_{xp} = \frac{1}{2} \sigma_{yp}$$

$$\overline{AC} = \frac{l_1}{\cos \alpha} ; \quad \overline{AC} \sin \alpha = l_3 ;$$

T.g.v. het Poisson effect krijgen  $\overline{AC}$  en  $\overline{CM}$  verlengingen:

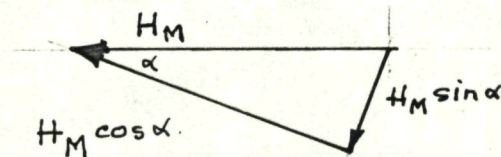
$$\Delta \overline{AC} = (0.5-0.3) \times \sigma_{yp} \times \frac{\overline{AC}}{E} = 0.2 \sigma_{y.p} \cdot \frac{l_1}{E \cos \alpha} = 0.4 \sigma_{x.p} \times \frac{l_1}{E \cos \alpha}$$

Zo is:

$$\Delta \overline{CM} = 0.4 \sigma_{x.p} \times \frac{l_2}{E}$$

$$\begin{aligned} \Delta x_M &= \Delta \overline{AC} \cos \alpha + \Delta \overline{CM} = 0.4 \sigma_{x.p} \times \frac{l_1}{E} + 0.4 \sigma_{x.p} \frac{l_2}{E} = \\ &= 0.4 \sigma_{x.p} \times \frac{l_1+l_2}{E} \end{aligned}$$

$$\Delta y_M = \Delta y_C = \Delta \overline{AC} \sin \alpha = 0.4 \sigma_{x.p} \frac{l_3}{E}$$

Invloed van  $H_M$ a) T.g.v.  $H_M$  en  $H_M \cdot \cos \alpha$  treden verkortingen in  $\overline{CM}$  en  $\overline{AC}$  op.

$$\Delta \overline{CM} = - \overline{CM} \times \frac{H_M}{F \times E} = - H_M \cdot \frac{l_2}{F \times E}$$

$$\Delta \overline{AC} = - \overline{AC} \times \frac{H_M}{F \times E} \cos \alpha = - H_M \cdot \frac{l_1}{F \times E} ; \Delta x_C = - H_M \cdot \frac{l_1}{F \times E} \cos \alpha$$

$$\Delta y_C = \Delta \overline{AC} \sin \alpha = - H_M \frac{l_3}{F \times E}$$

$$\Delta x_M = \Delta x_C - H_M \cdot \frac{l_2}{F \times E} = - H_M \times \frac{1}{F \times E} \times (l_1 \cos \alpha + l_2)$$

$$\Delta y_M = \Delta y_C = - H_M \cdot \frac{l_3}{F \times E}$$

b) T.g.v.  $H_M \sin \alpha$  ontstaat in C een hoekverdraaiing :

$$\varphi_C = \varphi_M = H_M \sin \alpha \frac{\overline{AC}^2}{2 EI} \quad f_C = H_M \sin \alpha \times \frac{\overline{AC}^3}{3 EI}$$

$$\Delta x_M = \Delta x_C = - f_C \sin \alpha = - H_M \sin^2 \alpha \frac{\overline{AC}^3}{3 EI} = - H_M \frac{l_3}{3 EI} \times \frac{1}{\sin \alpha}$$

$$\begin{aligned} \Delta y_M &= \Delta y_C + \varphi_C \times \overline{CM} = f_C \cos \alpha + H_M \sin \alpha \frac{\overline{AC}^2}{2EI} \times \overline{CM} = \\ &= H_M \sin \alpha \cos \alpha \times \frac{l_1^3}{\cos^3 \alpha} \times \frac{1}{3EI} + H_M \sin \alpha \times \frac{l_1^2}{\cos^2 \alpha} \times \frac{l_2}{2EI} = \\ &= \frac{1}{6EI} \times H_M \times l_1^2 \times \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} (2 l_1 + 3 l_2) \end{aligned}$$

De totale invloed is:

$$\begin{aligned} \Delta x_M &= -H_M \times \frac{1}{F \times E} \times (l_1 \cos \alpha + l_2) - H_M \times \frac{1}{3EI} \times \frac{l_3^3}{\sin \alpha} \\ \Delta y_M &= -H_M \times \frac{1}{F \times E} \times l_3 + H_M \times \frac{1}{6EI} \times l_1^2 \times \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} \times (2l_1 + 3l_2) \\ \varphi_M &= H_M \times \frac{1}{2EI} \times \frac{l_3^2}{\sin \alpha} ; \end{aligned}$$

De invloed van het moment  $M_M$ .

T.g.v.  $M_M$  ontstaat een hoekverdraaiing in C,  $\varphi_C = M_M \times \frac{\overline{AC}}{EI}$

De hoekverdraaiing in M is  $\varphi_M = M_M \cdot \frac{\overline{AC} + \overline{CM}}{EI} = \frac{1}{EI} \times M_M (\frac{l_1}{\cos \alpha} + l_2)$

$$f_C = M_M \cdot \frac{\overline{AC}^2}{2EI}$$

$$\Delta x_C = -f_C \sin \alpha = -M_M \sin \alpha \frac{\overline{AC}^2}{2EI}$$

$$\Delta y_C = +f_C \cos \alpha = +M_M \cos \alpha \frac{\overline{AC}^2}{2EI}$$

$$\Delta x_M = \Delta x_C = -M_M \sin \alpha \frac{\overline{AC}^2}{2EI} = -\frac{1}{2EI} \times M_M \times \frac{l_3^2}{\sin \alpha}$$

$$\begin{aligned} \Delta y_M &= \Delta y_C + \varphi_C \times \overline{CM} + M_M \times \frac{\overline{CM}^2}{2EI} = M_M \cos \alpha \frac{\overline{AC}^2}{2EI} + M_M \times \frac{\overline{AC} \times \overline{CM}}{EI} + M_M \times \frac{\overline{CM}^2}{2EI} \\ &= \frac{1}{2EI} \times M_M \left( \frac{l_1^2}{\cos \alpha} + 2 \frac{l_1 l_2}{\cos \alpha} + l_2^2 \right) \end{aligned}$$

Oplossing der statisch onbepaalden H en M.

Voorwaarde 1:  $\sum \Delta x_M = 0$  of  $E \times \sum \Delta x_M = 0$ .

" 2:  $\sum \varphi_M = 0$  of  $EI \cdot \sum \Delta \varphi_M = 0$ .

Vergelijking 1:

$$0.4 \sigma_{x.p} \times (l_1 + l_2) - H_M \times \frac{1}{F} \times (l_1 \cos \alpha + l_2) - H_M \times \frac{1}{3I} \times \frac{l_3^3}{\sin \alpha} - \\ - \frac{1}{2I} M_M \times \frac{l_3^2}{\sin \alpha} = 0.$$

Vergelijking 2:

$$H_M \times \frac{l_3^2}{2 \sin \alpha} + M_M \times \left( \frac{l_1}{\cos \alpha} + l_2 \right) = 0$$

Uit deze 2 vergelijkingen zijn  $H_M$  en  $M_M$  op te lossen.

De spanningen t.g.v.  $H_M$  en  $M_M$ , zijn axiale spanningen, en zijn dus in iedere willekeurige doorsnede van het leiding gedeelte tussen de steunpunten A en F te berekenen.

De zakking in het punt C

$$\Sigma y_C = 0.4 \sigma_{x.p} \frac{l_3}{E} - H_M \frac{l_3}{FE} + H_M \sin \alpha \cos \alpha \times \frac{l_1^3}{\cos^3 \alpha} \times \frac{1}{3EI} + \\ + M_M \cos \alpha \frac{AC^2}{2EI}$$

Dit bedrag zal het punt C dus boven het steunpunt hangen, voordat gasdruk wordt toegelaten.

C - Sterkte berekening der buis en het aantal palen per steunpunt.

Data:

Toegepast is een buis  $\varnothing = 36''$ , klasse C.

$D_{uitw.} = 91,44 \text{ cm};$

$D_{inw.} = 88,353 \text{ cm}.$

De gemiddelde straal  $r = \frac{1}{4} \times (91,44 + 88,353) = 44,95 \text{ cm}.$

De wanddikte  $t = \frac{1}{2} \times (91,44 - 88,353) = 1,5435 \text{ cm}.$

Karakteristieken:

$F_1 = \frac{1}{4} \pi (91,44^2 - 88,353^2) = 4,357 \times 10^2 \text{ cm}^2$

$I_1 = \frac{1}{64} \pi (91,44^4 - 88,353^4) = 4,403 \times 10^5 \text{ cm}^4$

$W_1 = \frac{I_1}{0,5 D_{uitw.}} = \frac{4,403}{45,72} \times 10^5 = 9,629 \times 10^3 \text{ cm}^3$

per cm' buiswand

$F_2 = 1 \times 1,5435 = 1,5435 \text{ cm}^2$

$I_2 = \frac{1}{12} \times 1 \times 1,5435^3 = 0,3065 \text{ cm}^4; EI_2 = 2,1 \times 10^6 \times 0,3065 = 0,644 \times 10^6 \text{ kgcm}^2.$

$W_2 = \frac{1}{6} \times 1 \times 1,5435^2 = 0,3971 \text{ cm}^3.$

Belastingen:

a) de inwendige werkdruk  $p = 67,5 \text{ kg/cm}^2$

b) belastingen en toelaatbare paal belasting volgens het L.G.M. te Delft.

1. Buiten de kruising: 80 cm. gronddekking boven water = 2500 kg/m'  
 e.g. buis  $\varnothing = 36''$ :  $4,357 \times 78 = 340 \text{ ''}$

$Q_1 = 2840 \text{ kg/m'}$

2. Ter plaatse van de kruising: 2 m. kleidekking onder water = 2000 kg/m'

e.g. buis + betonmantel onder water = 200 ''

$Q_2 = 2200 \text{ kg/m'}$

De toelaatbare paalbelasting  $\bar{P} = 8 \text{ t. bij een punt } \varnothing = 11 \text{ cm}.$   
 $\bar{P} = 10 \text{ '' '' '' '' } \varnothing = 13 \text{ cm}.$

zowel

Berekend worden de spanningen en spanningscombinaties bij belasting uitsluitend door p als door Q afzonderlijk, en door p en Q tezamen.

Berekend worden :

I = de strekkingen buiten de kruising onderverdeeld in :

Ia = strekkingen buiten de ontlastvloeren en het aantal palen per st.pt.

Ib = strekkingen boven de ontlastvloeren-

II = de strekkingen t.pl.v. de kruising, met het aantal palen voor de midden st.ptn.

Ia = strekkingen buiten de ontlastvloeren.

Dit zijn rechte strekkingen op meerdere steunpunten welke h.o.h. geplaatst zijn op afstanden  $L = 5,00$  m.

Toegepast zijn gewapend beton ondersteuning met  $l_0 = 50$  cm en een ondersteuningshoek  $\varphi_B = 120^\circ$ .

De spanningen t.g.v. p.

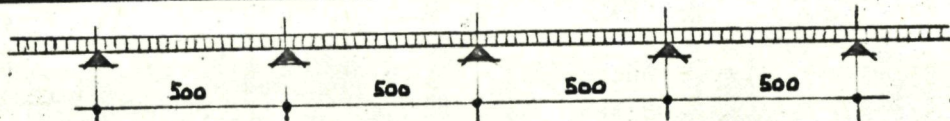
De volgens Lamé optredende max. ringspanning  $\sigma_{xp} = 29,1 \times 67,5 = 1964$  kg/cm<sup>2</sup>. is aangehouden als gemiddelde ringspanning. Aldus

1. Tangentieel :  $\sigma_{yp} = 1964$  kg/cm<sup>2</sup>.

2. Axiaal :  $\sigma_{xp} = \frac{1}{2} \times \sigma_{yp} = 982$  kg/cm<sup>2</sup>.

De spanningen t.g.v. Q = 2840 kg/m'

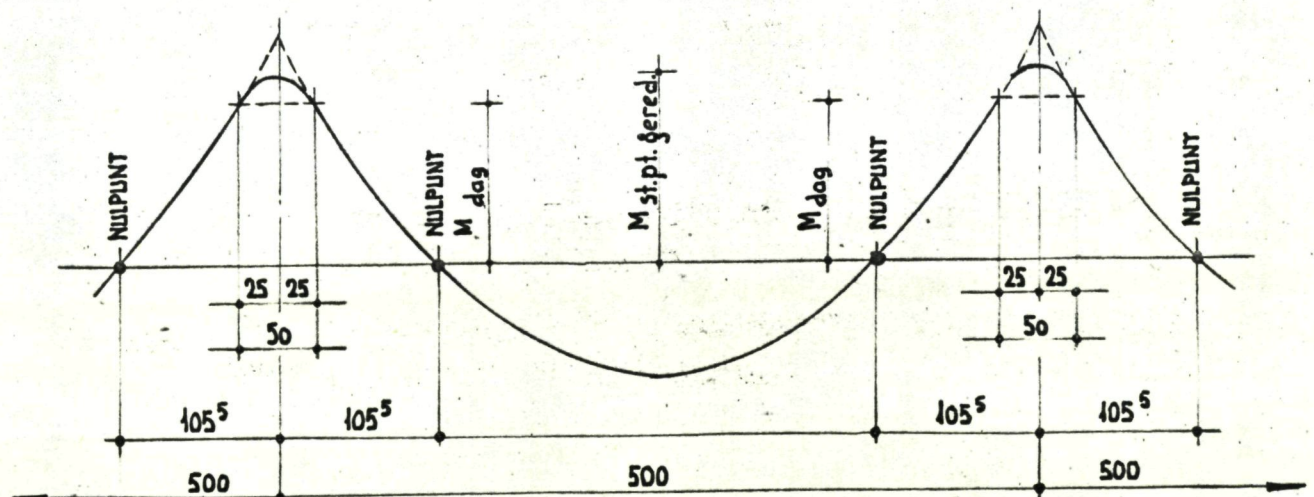
l = Axiaal



Elk veld is op te vatten als aan beide zijden te zijn ingeklemd.

$$M_{st.pt} = -\frac{1}{12} QL^2 = -\frac{1}{12} \times 28,40 \times 250000 = -591775 \text{ kgcm}$$

$$M_{veld} = \frac{1}{24} QL^2 = 0,5 \times 591775 = +295890 \text{ kgcm}$$



De constructie der momentenlijn.

a) Het gereduceerd moment in de as van het steunpunt.

De reactie in zo'n as  $R = 5 \times 2840 = 14200 \text{ kg.}$

Voor tussen st.ptn. wordt aangenomen, dat de reacties gelijkmatig over het st.pt. verdeeld worden. Deze tegengesteld gerichte belasting veroorzaakt een moment  $M_{\text{gered.}} = \frac{1}{8} R l_0 = \frac{1}{8} \times 14200 \times 50 = 88750 \text{ kgcm}$  en komt dus in aftrek van st.pt.'s moment in de as.

$$M_{\text{st.pt.gered.}} = -591775 + 88750 = -503025 \text{ kgcm.}$$

b) Het moment in de dag.

De dwarskracht per veld van 5 m:  $D = \frac{1}{2} R = 0,5 \times 5 \times 2840 = 7100 \text{ kg.}$

Op 25 cm uit de as is

$$M_{\text{dag}} = M_{\text{st.pt.}} + D \times 25 - \frac{1}{2} Q \times 625 =$$

$$= 591775 + 7100 \times 25 - 1420 \times 625 = -591775 + 177500 - 88750 = -423150 \text{ kgcm}$$

c) De moment nulpunten.

$$M = 0 = 2,5 Qx - \frac{1}{2} qx^2 - \frac{1}{12} Q \times 25 \text{ of } x^2 - 5x + \frac{25}{6} = 0 \text{ waaruit}$$

$$x = 2,5 \pm \sqrt{6,25 - \frac{25}{6}} = 2,5 \pm 1,445 = 1,055 \text{ en } 3,945 \text{ m.}$$

Spanningen:  $\sigma_{xM} = \pm \frac{M}{W_1}$  ;  $\tau = 2 \frac{D}{F_1}$  ;

In de as van het st.pt. :  $\sigma_{xM} = \pm \frac{503025}{9629} = \pm 52 \text{ kg/cm}^2.$

De top :  $\sigma_{xM} = +52 \text{ kg/cm}^2$

De middens :  $\sigma_{xM} = 0 \text{ ''}$

De bodem :  $\sigma_{xM} = -52 \text{ ''}$

In de dag :  $\sigma_{xM} = \pm \frac{423150}{9629} = \pm 44 \text{ kg/cm}^2.$

De top :  $\sigma_{xM} = + 44 \text{ kg/cm}^2$

De middens :  $\sigma_{xM} = 0 \text{ ''}$  ;  $\tau = 2 \times \frac{0,5 \times 4,5 \times 2840}{435,7} = \frac{12780}{435,7} = 29 \text{ kg/cm}^2$

De bodem :  $\sigma_{xM} = - 44 \text{ ''}$

In het midden der overspanning:  $\sigma_{xM} = \pm \frac{295890}{9629} = \pm 31 \text{ kg/cm}^2$

De top :  $\sigma_{xM} = - 31 \text{ kg/cm}^2$

De middens :  $\sigma_{xx} = 0 \text{ ''}$

De bodem :  $\sigma_{xm} = + 31 \text{ ''}$

Tangentieel: A = uitsluitend t.g.v. Q  
 B = t.g.v. p en Q

A<sub>1</sub> = In normaal drsn. van niet ondersteunde buisgedeelten.

In de top :  $M = 0.125 \times 28.4 \times 44.95 = 160 \text{ kgcm/cm' / cm'}$

$$\sigma_y = \pm \frac{160}{0.3971} = \pm 402 \text{ kg/cm}^2$$

In de middens:  $M = 160 \text{ kgcm/cm'}$  ;  $N = -0.5 \times 28.4 = -14.2 \text{ kg/cm'}$

$$\sigma_y = \pm 402 - \frac{14.2}{1.5435} = \pm 402 - 9 = +393 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } -411 \text{ "}$$

In de bodem : a)  $\sigma_y = \text{als in de top} = \pm 402 \text{ kg/cm}^2$

b)  $M = 0.055 \times 28.4 \times 44.95 = 70 \text{ kgcm/cm'}$

$N = 0.185 \times 28.4 = 5.3 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_y = \pm \frac{70}{0.3971} + \frac{5.3}{1.5435} = \pm 176 + 3 = +179 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } -176 \text{ "}$$

Aangehouden is:  $\sigma_y = \pm 402 \text{ kg/cm}^2$

A<sub>2</sub> = In normaal drsn. boven het st.pt.

Belastingen:  $Q = 28.4 \text{ kg/cm'}$ ;  $Q_D = \frac{450 \times 28.4}{50} = 255.6 \text{ kg/cm'}$

In de top :  $M = (0.131 \times 28.4 + \frac{0.131}{0.125} \times 0.026 \times 255.6) \times 44.95 = 480 \text{ kgcm/cm'}$

$N = 0.119 \times 255.6 = 30.4 \text{ kg/cm'}$

$$\sigma_y = \pm \frac{480}{0.3971} + \frac{30.4}{1.5435} = \pm 1210 + 20 = +1230 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } -1190 \text{ "}$$

In de middens:  $M = -(0.133 \times 28.4 + \frac{0.133}{0.125} \times 0.025 \times 255.6) \times 44.95 = -475 \text{ kgcm/cm'}$

$N = -14.2 - 0.25 \times 255.6 = -78.1 \text{ kg/cm'}$

$$\sigma_y = \pm \frac{475}{0.3971} - \frac{78.1}{1.5435} = \pm 1196 - 51 = +1145 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } -1247 \text{ "}$$

In de bodem :  $M = 0.138 \times 28.4 \times 44.95 = 176 \text{ kgcm/cm'}$

$N = -30.4 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_y = \pm \frac{176}{0.3971} - \frac{30.4}{1.5432} = \pm 443 - 20 = +423 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } -463 \text{ "}$$



B = Momenten t.g.v. p en Q.

De rerounding reductie factor  $= f_{r.r} = \frac{1}{1 + \frac{1}{EI} \times 2 p r^3 \times k_y}$

Voor de top, de middens en bodem

a) van niet ondersteunde buisgedeelten:

$$k_y = 0,083 : f_{r.r} = \frac{1}{1 + \frac{1}{0,644} \times 2 \times 67,5 \times 0,4495^3 \times 0,083} =$$

$$= \frac{1}{1 + 19,038 \times 0,083} = \frac{1}{1 + 1,58} = \frac{1}{2,58} = 0,388$$

b) van ondersteunde buisgedeelten:

$$k_y = 0,089 : f_{r.r} = \frac{1}{1 + 19,038 \times 0,089} = \frac{1}{1 + 1,695} = \frac{1}{2,695} = 0,371$$

B<sub>1</sub> = Normaal drsn. van niet ondersteunde buisgedeelten.

In de top :  $\sigma_y = 1964 \pm 0,388 \times 402 = 1964 \pm 156 = + 2120 \text{ kg/cm}^2$   
 en  $+ 1808 \text{ kg/cm}^2$

In de middens:  $\sigma_y = 1964 \pm 156 - 3 = 1961 \pm 156 = + 2117 \text{ kg/cm}^2$   
 en  $+ 1805 \text{ kg/cm}^2$

In de bodem :  $\sigma_y = \text{als in de top} = +2120 \text{ kg/cm}^2$  en  $+ 1808 \text{ kg/cm}^2$

B<sub>2</sub> = Normaal drsn. boven een tussen st.pt.

In de top :  $\sigma_y = 1964 \pm 0,371 \times 1210 + 20 = 1984 \pm 449 = +2433 \text{ kg/cm}^2$   
 en  $+1535 \text{ "}$

In de middens:  $\sigma_y = 1964 \pm 0,371 \times 1196 - 51 = 1913 \pm 447 = +2357 \text{ "}$   
 en  $+1469 \text{ "}$

In de bodem :  $\sigma_y = 1964 \pm 0,371 \times 443 - 20 = 1944 \pm 164 = +2108 \text{ "}$   
 en  $-1780 \text{ "}$

Spanningscombinatie volgens Mohr.

$$S_1 \text{ en } 2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

Is  $\tau = 0$ , dan is  $S_1 = 0,5 (\sigma_x + \sigma_y) + 0,5 (\sigma_y - \sigma_x) = \sigma_y$

en  $S_2 = 0,5 (\sigma_x + \sigma_y) - 0,5 (\sigma_y - \sigma_x) = \sigma_x$

A = Combinaties bij belasting uitsluitend door Q.

1a = In de normaal drsn. in de as van het st.pt.

In de top :  $\sigma_x = 52 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma_y = 1230 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\tau = 0$

$$S_1 = 1230 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_2 = 52 \text{ "}$$

In de middens :  $\sigma_x = 0$  ;  $\sigma_y = -1247 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\tau = 0$

$$-S_1 = 1247 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_2 = 0$$

In de bodem :  $\sigma_x = -52 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma_y = -463 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\tau = 0$

$$-S_1 = 463 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$-S_2 = 52 \text{ "}$$

1b = In de normaal drsn. grenzend aan den dag boven het st.pt.

In de top :  $\sigma_x = 44 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma_y = 1230 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\tau = 0$

$$S_1 = 1230 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_2 = 44 \text{ "}$$

In de middens :  $\sigma_x = 0$  ;  $\sigma_y = -1247 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\tau = 29 \text{ kg/cm}^2$

$$-S_1 = 623.5 + \sqrt{623.5^2 + 29^2} =$$

$$= 623.5 + 624.2 = 1248 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$-S_2 = 623.5 - 624.2 = -1 \text{ kg/cm}^2$$

In de bodem :  $\sigma_x = -44 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma_y = -463 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\tau = 0$

$$-S_1 = 463 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$-S_2 = 44 \text{ kg/cm}^2$$

2 = In de normaal drsn. in den dag.

$\sigma_x = 44 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = 402 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$

$$S_1 = 402 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2 ;$$

$$S_2 = 44 \text{ kg/cm}^2$$

In de middens :  $\sigma_x = 0$  ;  $\sigma_y = -411 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\tau = 0$

$$-S_1 = 205.5 + \sqrt{205.5^2 + 29^2} =$$

$$= 205.5 + 207.6 = 413 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$-S_2 = 205.5 - 207.6 = -2 \text{ kg/cm}^2$$

In de bodem :  $\sigma_x = -44 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = -402 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$   
 $-\zeta_1 = 402 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$   
 $-\zeta_2 = 44 \text{ kg/cm}^2$

In de normaal drsn. in het midden der overspanning.

In de top :  $\sigma_x = -31 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = -402 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$   
 $-\zeta_1 = 402 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$   
 $-\zeta_2 = 31 \text{ kg/cm}^2$

In de middens:  $\sigma_x = 0$  ;  $\sigma_y = -411 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$   
 $-\zeta_1 = 411 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$   
 $-\zeta_2 = 0$

In de bodem :  $\sigma_x = 31 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = 402 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$   
 $\zeta_1 = 402 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$   
 $\zeta_2 = 31 \text{ kg/cm}^2$

B = Combinaties bij zowel inwendige druk p als uitwendige belasting Q.

In de normaal drsn. grenzend aan den dag boven een st.pt. zal de maatgevende combinatie optreden, omdat de grootste waarde van  $\sigma_y$  hierin optreedt en dus de grootste hoofdspanning. Volstaan kan daarom worden met de berekening der spanningen in de top, middens en bodem dezer normaal drsn.

In de normaal drsn. grenzend aan den dag boven het st.pt.

In de top :  $\sigma_x = 982 + 44 = 1026 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = 2433 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$   
 $\zeta_1 = 2433 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$   
 $\zeta_2 = 1026$

In de middens :  $\sigma_x = 982 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = 2357 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 29 \text{ kg/cm}^2$   
 $\zeta_1 = 1669.5 + \sqrt{687.5^2 + 29^2} = 1669.5 + 688.1 = 2354 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$   
 $\zeta_2 = 1669.5 - 688.1 = 981 \text{ kg/cm}^2$

In de bodem :  $\sigma_x = 982 - 44 = 938 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = 2108 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$   
 $\zeta_1 = 2108 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}$   
 $\zeta_2 = 938 \text{ kg/cm}^2$

Het aantal palen per st.pt.

Belastingen: Uit de buisleiding:	5x 2,84	=	14,2 t.
	Uit e.g. der ondersteuning:		
Toegepast zijn	0.38x 2,4	=	0,9 "
2 palen per st.pt.;	Totaal	=	<u>15,1 t.</u>
P = 7,6 t. < 8 t.			

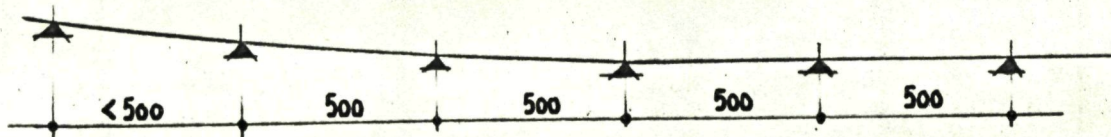
I b = strekkingen boven de ontlastvloeren.

Aansluitend op de rechte strekkingen buiten de ontlastvloeren enerzijds en de bocht op het hoogste punt van de kruising anderzijds, is de leiding gelegd in een verticale bocht met een straal  $R = 40$  m.

Het ongunstigst belast is het st.pt. even buiten de ontlastvloer aan de Woerden-zijde, aan weerszijden waarvan de velden horizontaal gemeten overspanningen hebben van elk 5,00 m.

De gunstiger belaste st.ptn. boven de ontlastvloeren worden gelijk gemaakt aan en gedimensioneerd op de belastingen van het ongunstigst belaste st.pt.

BOCHT;  $R=40$  M.  $\longleftrightarrow$  RECHTE STREKKING



$L = 5,00$  m;  $l_0 = 60$  cm;  $\psi_0 = 120^\circ$ .

Belastingen : inwendig :  $p = 67,5$  kg/cm<sup>2</sup>

uitwendig:  $Q = 28,4$  kg/cm'

Spanningen t.g.v. p:

factor voor de buitenbocht :  $f_r = \frac{3 \times 40 + 0,441765}{3 \times 40 + 3 \times 0,44176} = 0,99267$

factor voor de binnenbocht :  $f_t = \frac{120 - 0,441765}{120 - 1,325895} = 1,00743$

Tangentieel :

In een rechte strekking is  $\sigma_{yp}$  gemidd. = 1964 kg/cm<sup>2</sup>

In de binnenbocht :  $\sigma_{y.p.bi.} = 1,00743 \times 1964 = 1978,5$  kg/cm<sup>2</sup>

In de bocht - as :  $\sigma_{y.p.as} = 1 \times 1964 = 1964$  "

In de buitenbocht :  $\sigma_{y.p.bui.} = 0,99267 \times 1964 = 1949,5$  "

De verhoging van  $\sigma_y$  in de binnenbocht = 14,5 kg/cm<sup>2</sup>

De verlaging van  $\sigma_y$  in de buitenbocht = 14,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Axiaal :

In de binnenbocht :  $0,5 \times \sigma_{y.p.as} = 0,5 \times 1964 = 982 \text{ kg/cm}^2$

Poisson effect geeft een verhoging =  $0,3 \times 14,5 = 4 \text{ ''}$

$\sigma_{x:p.bi.} = 986 \text{ kg/cm}^2.$

In de as van de bocht = als in een rechte strekking :  $\sigma_{x.p.as} = 982 \text{ kg/cm}^2$

In de buitenbocht :  $0,5 \times \sigma_{y.p.as} = 0,5 \times 1964 = 982 \text{ kg/cm}^2$

Poisson effect geeft een verlaging =  $4 \text{ ''}$

$\sigma_{x.p.bui} = 978 \text{ kg/cm}^2$

Spanningen t.g.v. Q.

Axiaal :

Het gereduceerd moment in de as van het st.pt.

$M_{st.pt.gered.} = -591775 + \frac{1}{8} \times 14200 \times 60 =$   
 $= -591775 + 106500 = -485275 \text{ kgcm.}$

Moment en dwarskracht in de dag

$M_{dag} = -591775 + 7100 \times 30 - 14,2 \times 30^2 =$   
 $= -591775 + 213000 - 12780 = -391555 \text{ kgcm}$

$D_{dag} = 0,5 \times (5-0,6) \times 2840 = 6248 \text{ kg.}$

Moment in het midden der overspanning :

$M_{veld} = 0,5 \times 591775 = +295890 \text{ kgcm.}$

In een normaal drsn. in de as van het st.pt.

De top :  $\sigma_{xM} = + \frac{485275}{9629} = + 50 \text{ kg/cm}^2$

De middens :  $\sigma_{xM} = 0$

De bodem :  $\sigma_{xM} = -50 \text{ kg/cm}^2$

In de normaal drsn. in de dag.

De top :  $\sigma_{xM} = + \frac{391555}{9629} = + 41 \text{ kg/cm}^2$

De middens :  $\sigma_{xM} = 0$

De bodem :  $\sigma_{xM} = -41 \text{ kg/cm}^2$

$\tau_y = 2 \times \frac{6248}{435,7} = 29 \text{ kg/cm}^2$

In het midden der overspanning.

De top :  $\sigma_{xM} = - \frac{295890}{9629} = -31 \text{ kg/cm}^2$

De middens :  $\sigma_{xM} = 0$

De bodem :  $\sigma_{xM} = + 31 \text{ kg/cm}^2$

Tangentieel:

Op grond van de voorgaande berekeningen kan worden volstaan met de berekening der spanningen in de normaal drsn., waarin de maatgeven- de spanningscombinaties optreden, t.w.:

In de normaal drsn. grenzend aan den dag boven het st.pt.

Belastingen: Direct : Q = 28.4 kg/cm'

Indirect :  $Q_D = \frac{440 \times 28.4}{60} = 208,3$  "

In de top :  $M = (0.131 \times 28.4 + \frac{0.131}{0.125} \times 0.026 \times 208.3) \times 44.95 = 422$  kgcm/cm'

N = 0.119 × 208.3 = 24.8 kg/cm'

$\sigma_y = \pm \frac{422}{0.3971} + \frac{24.8}{1.5435} = \pm 1063 + 16 = 1079$  kg/cm<sup>2</sup>  
en -1047 "

In de middens :  $-M = (0.133 \times 28.4 + \frac{0.133}{0.125} \times 0.025 \times 208.3) \times 44.95 = 419$  kgcm/cm'

N = -14.2 - 0.25 × 208.3 = -66.3 kg/cm'

$\sigma_y = \pm \frac{419}{0.3971} - \frac{66.3}{1.5435} = \pm 1057 - 43 = +1014$  kg/cm<sup>2</sup>  
en -1100 "

In de bodem : M = 0.138 × 28.4 × 44.95 = 176 kgcm/cm'

N = -24.8 kg/cm'

$\sigma_y = \pm \frac{176}{0.3971} - 16 = \pm 444 - 16 = 428$  kg/cm<sup>2</sup>  
en -460 kg/cm<sup>2</sup>

Spanningscombinaties bij belasting door uitsluitend Q.

In de top :  $\sigma_x = 41$  kg/cm<sup>2</sup> ;  $\sigma_y = 1079$  kg/cm<sup>2</sup> ;  $\tau = 0$

$S_1 = 1079$  kg/cm<sup>2</sup> < 2440 kg/cm<sup>2</sup>

$S_2 = 41$  "

In de middens :  $\sigma_x = 0$  ;  $\sigma_y = -1100$  kg/cm<sup>2</sup> ;  $\tau = 29$  kg/cm<sup>2</sup>

$-S_1 = 550 + \sqrt{550^2 + 29^2} =$

= 550 + 551 = 1101 kg/cm<sup>2</sup> < 2440 kg/cm<sup>2</sup>

$-S_2 = 550 - 551 = -1$  "

In de bodem :  $\sigma_x = -41$  kg/cm<sup>2</sup> ;  $\sigma_y = -460$  kg/cm<sup>2</sup> ;  $\tau = 0$

$-S_1 = 460$  kg/cm<sup>2</sup> < 2440 kg/cm<sup>2</sup>

$-S_2 = 41$  kg/cm<sup>2</sup>

Spanningen t.g.v. p en Q.

Ook voor deze gecombineerde belastingen kan volstaan worden met de berekeningen der spanningen.

In de normaal drsn. grenzend aan den dag boven het st.pt.

## Axiaal:

$$\text{In de top} \quad : \sigma_x = 986 + 41 = 1027 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{In de middens} \quad : \sigma_x = +982 \text{ kg/cm}^2; \tau_y = 29 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{In de bodem} \quad : \sigma_x = +978 - 41 = +937 \text{ kg/cm}^2$$

## Tangentieel:

$$\begin{aligned} \text{In de top} \quad : \sigma_y &= 1978.5 \pm 0.371 \times 1063 + 16 = \\ &= 1995 \pm 394 \end{aligned}$$

$$= +2389 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{en } +1601 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{In de middens} \quad : \sigma_y &= 1964 \pm 0.371 \times 1057 - 43 = \\ &= 1921 \pm 392 \end{aligned}$$

$$= +2313 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{en } +1529 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{In de bodem} \quad : \sigma_y &= 1949.5 \pm 0.371 \times 444 - 16 = \\ &= 1933.5 \pm 164.7 \end{aligned}$$

$$= +2098 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{en } +1769 \text{ kg/cm}^2$$

Spanningscombinaties bij belasting door p en Q.

$$\begin{aligned} \text{In de top} \quad : \sigma_x &= +1027 \text{ kg/cm}^2; \sigma_y = 2389 \text{ kg/cm}^2; \tau = 0 \\ S_1 &= +2389 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma} \\ S_2 &= +1027 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{In de middens} \quad : \sigma_x &= +982 \text{ kg/cm}^2; \sigma_y = 2313 \text{ kg/cm}^2; \tau = 29 \text{ kg/cm}^2 \\ S_1 &= 1647.5 + \sqrt{1647.5^2 + 29^2} = \\ &= 1647.5 + 666.1 = +2314 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2 \\ S_2 &= 1647.5 - 666.1 = 981 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{In de bodem} \quad : \sigma_x &= +937 \text{ kg/cm}^2; \sigma_y = +2098 \text{ kg/cm}^2; \tau = 0 \\ S_1 &= +2098 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2 \\ S_2 &= 937 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Het aantal palen per st.pt.

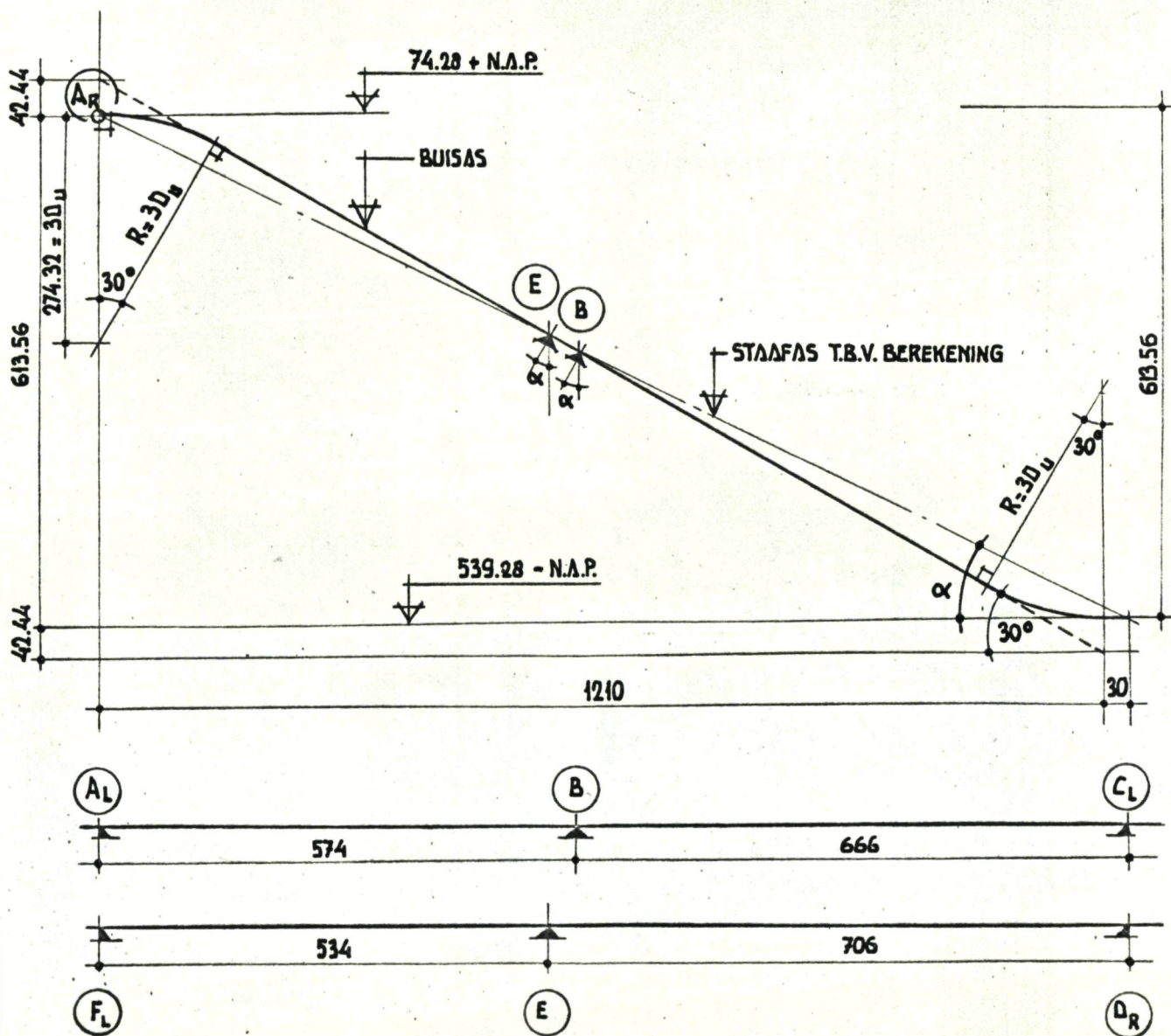
De belastingen worden direct door de palen der ontlastvloer gedragen (zie berekening F der ontlastvloeren).

Een uitzondering hierop maakt het hierboven berekende st.pt., waarvoor evenals voor de onder Ia berekende st.ptn., twee 8-tons houten palen zijn toegepast.

II = Streckingen t.pl. v. de kruising.

Peil hoogste punt buis as =  $120 - 45,72 = 74,28 + \text{N.A.P.}$

Peil laagste punt buis as =  $-600 + 15 + 45,72 = 539,28 - \text{N.A.P.}$

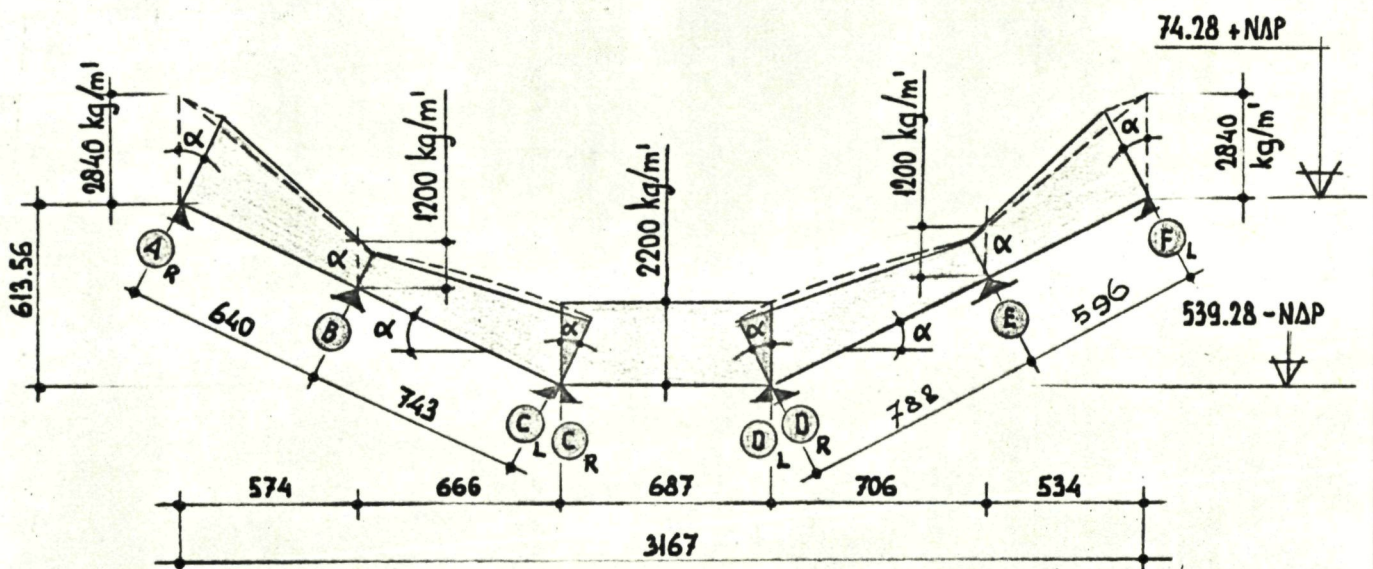


HORIZONTALE PROJECTIE DER HELLENDE OVERSPANNINGEN



Aan de hand van de bekende peilen der buis as en de helling van  $30^\circ$  alsmede de toegepaste straal R der bocht =  $3D$ , zijn de afstanden van de st.ptn. B tot C resp. D tot E te becijferen. De totale afstand tussen de st.ptn. A en F bedraagt 31,67 m.

Voor de berekening is de staafas van  $A_R$  tot  $C_L$  resp. van  $F_L$  tot  $D_R$  rechtlijnig aangenomen.



BELASTINGSSHEMA

$$\text{tg } \alpha = \frac{613,56}{1240} = 0,4948; \quad \cos \alpha = 0,8963; \quad \frac{1}{\cos \alpha} = 1,1158$$

$$A_R B = 1,1158 \times 574 = 640 \text{ cm};$$

$$B C_L = 1,1158 \times 666 = 743 \text{ cm};$$

$$C_R D_L = 1 \times 687 = 687 \text{ cm};$$

$$D_R E = 1,1158 \times 706 = 788 \text{ cm};$$

$$E F_L = 1,1158 \times 534 = 596 \text{ cm};$$

Verticale belastingen

Op veld CD: 2 m. kleidekking vlg. L.G.M. te Delft	=	2000 kg/m'
e.g. buis + betonmantel - onderwater	=	200 "

$$Q_{CD} = 2200 \text{ kg/m'}$$

In B en E: als  $Q_{CD}$  - 1 m. kleidekking =  $2200 - 1000 = 1200 \text{ kg/m'}$

In  $A_R$  en  $F_L$ : als buiten de kruising:  $Q_{AR} = Q_{FL} = 2840 \text{ kg/m'}$

<u>Totale verticale belasting</u>		<u>in kg.</u>
Op AB :	1420 × 5,74 =	8150
	600 × 5,74 =	3445
Op BC :	600 × 6,66 =	3995
	1100 × 6,66 =	7325
Op CD:	2200 × 6,87 =	15090
Op DE:	1100 × 7,06 =	7765
	600 × 7,06 =	4235
Op EF:	600 × 5,34 =	3205
	1420 × 5,34 =	7590
<hr/>		
	Van A tot F =	60800

Reacties bij vrije oplegging:

$$\begin{aligned}
 R_{AR} &= \frac{2}{3} \times 8150 + \frac{1}{3} \times 3445 = 5345 + 1150 = 6495 \text{ kg.} \\
 R_{BL} &= 8150 + 3445 - 6495 = 5100 \text{ kg.} \\
 R_{BR} &= \frac{2}{3} \times 3995 + \frac{1}{3} \times 7325 = 2665 + 2440 = 5105 \text{ kg; } R_B = 10105 \text{ kg} \\
 R_{CL} &= 3995 + 7325 - 5105 = 6215 \text{ kg.} \\
 R_{CR} &= 0.5 \times 15090 = 7545 \text{ kg; } R_C = 13760 \text{ ''} \\
 R_{DL} &= R_{CR} = 7545 \text{ kg.} \\
 R_{DR} &= \frac{2}{3} \times 7765 + \frac{1}{3} \times 4235 = 5175 + 1390 = 6565 \text{ kg; } R_D = 14110 \text{ ''} \\
 R_{EL} &= 7765 + 4235 - 6565 = 5435 \text{ kg.} \\
 R_{ER} &= \frac{2}{3} \times 3205 + \frac{1}{3} \times 7590 = 2135 + 2530 = 4665 \text{ kg; } R_E = 10100 \text{ ''} \\
 R_{FL} &= 3205 + 7590 - 4665 = 6130 \text{ kg.} \\
 \text{reacties} &= \underline{60800 \text{ kg;}} = \text{totale belasting}
 \end{aligned}$$

De momenten worden berekend middels vereffening.

Daartoe moeten de werkelijke lengten der staven worden gebruikt.

Verhouding der stijfheden:

De punten A en F worden als volle inklemmingen in rekening gebracht.

$$k_{BA} : k_{BC} = 7,43 : 6,40 = 0,54 : 0,46$$

$$k_{CB} : k_{CD} = 6,87 : 7,43 = 0,48 : 0,52$$

$$k_{DC} : k_{DE} = 7,88 : 6,87 = 0,53 : 0,47$$

$$k_{ED} : k_{EF} = 5,97 : 7,88 = 0,43 : 0,57$$

Primaire momenten:

Daar de ware lengten verkregen zijn door de horizontale afstanden tussen de st.ptn. te vermenigvuldigen met  $\frac{1}{\cos \alpha}$ , moeten de verticale belastingen met  $\cos \alpha$  vermenigvuldigd worden voor een  $\perp$  stand op de staafas.

$$Q_A' = Q_F' = 2840 \times 0,8963 = 2545 \text{ kg/m'}$$

$$Q_B' = Q_E' = 1200 \times 0,8963 = 1075 \text{ kg/m'}$$

$$Q_{CL}' = Q_{DR}' = 2200 \times 0,8963 = 1970 \text{ kg/m' ;}$$

$$M_{AB} = \frac{1}{12} \times 1075 \times 6,40^2 + \frac{1}{20} \times 1470 \times 6,4^2 = 3675 + 3015 = 6690 \text{ kgm}$$

$$M_{BA} = 3675 + \frac{2}{3} \times 3015 = 3675 + 2010 = 5685 \text{ kgm}$$

$$M_{BC} = \frac{1}{12} \times 1075 \times 7,43^2 + \frac{1}{30} \times 895 \times 7,43^2 = 4950 + 1650 = 6600 \text{ kgm}$$

$$M_{CB} = 4950 + 1,5 \times 1650 = 4950 + 2475 = 7425 \text{ kgm}$$

$$M_{CD} = M_{DC} = \frac{1}{12} \times 2200 \times 6,87^2 = 8650 \text{ kgm}$$

$$M_{DE} = \frac{1}{12} \times 1075 \times 7,88^2 + \frac{1}{20} \times 895 \times 7,88^2 = 5570 + 2780 = 8350 \text{ kgm}$$

$$M_{ED} = 5570 + \frac{2}{3} \times 2780 = 5570 + 1850 = 7420 \text{ kgm.}$$

$$M_{EF} = \frac{1}{12} \times 1075 \times 5,96^2 + \frac{1}{30} \times 1470 \times 5,96^2 = 3180 + 1740 = 4920 \text{ kgm}$$

$$M_{FE} = 3180 + 1,5 \times 1740 = 3180 + 2610 = 5790 \text{ kgm}$$

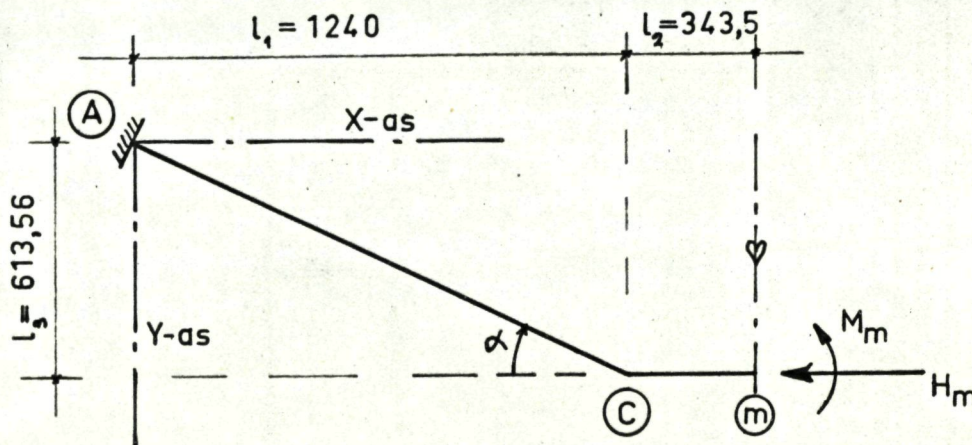
Vereffening:

A	B		C		D		E		F	
B	A	C	B	D	C	E	D	F	E	
-	-0.54	-0.46	-0.48	-0.52	-0.53	-0.47	-0.43	-0.57	-	
+6690	-5685 - 495	+6600 - 420	-7425 - 590	+8650 - 635	-8650 + 160	+8350 + 140	-7420 +1075	+4920 +1425	-5790	
- 245	+ 160	- 295 + 135	- 210 + 60	+ 80 + 70	- 315 - 115	+ 535 - 105	+ 70 - 30	- 40	+ 710	
+ 80	- 15	+ 30 - 15	+ 65 - 5	- 55 - 5	+ 35 - 10	- 15 - 10	- 50 + 20	+ 30	- 20	
- 5	-	-	- 5 + 5	- 5 + 5	-	+ 10 - 5	- 5 -	+ 5	+ 15	
+6520	-6035	+6035	-8105	+8105	-8900	+8900	-6340	+6340	-5085	
-----										
lengte in m.:										
	6.40		7.43		6.87		7.88		5.96	
1.1158 × $\frac{M}{L}$ in kg.:										
	+ 85	- 85	- 315	+ 315	- 130	+ 130	+ 360	- 360	+ 235	- 235
Verticale reacties bij vrije oplegging in kg.:										
	+6495	+5100	+5105	+6215	+7545	+7545	+6565	+5435	+4665	+6130
Eind reacties in kg.:										
	+6580	+5015	+4790	+6530	+7415	+7675	+6925	+5075	+4900	+5895
St.pt.'s reacties in kg.: $R_A =$ 13160 $R_B =$ <u>9805</u> $R_C =$ <u>13945</u> $R_D =$ <u>14600</u> $R_E =$ <u>9975</u> $R_F =$ <u>11790</u>										

$$R_A = 2 \times 6580 = 13160 \text{ kg.}$$

$$R_F = 2 \times 5895 = 11790 \text{ kg.}$$

De axiale spanningen t.g.v. verplaatsingen en verdraaiingen.



$\cos \alpha = 0.8963$  ;  
 $\sin \alpha = 0.4436$  ;  $\sin \alpha \cos \alpha = 0.8963 \times 0.4436 = 0.3976$   
 $F = 435.7 \text{ cm}^2$  ;  $I = 440300 \text{ cm}^4$  ;  
 $l_1 = 1240 \text{ cm}$  ;  $l_2 = 343.5 \text{ cm}$  ;  $l_3 = 613.56 \text{ cm}$  ;  $AC = 1383 \text{ cm}$ .

Vóór de toelating van gasdruk, rust C nog niet op de fundering, zodat het punt C vrij is.

$p = 67.5 \text{ kg/cm}^2$ ; De aangenomen gemiddelde langsspanning  
 $\sigma_{x.p} = 982 \text{ kg/cm}^2$ .

Voorwaarden na toelating der inwendige druk zijn :

1. de horizontale verplaatsing van m = 0 of  $E \sum x_m = 0$
2. de hoekverdraaiing van m = 0 of  $EI \sum \varphi_m = 0$

Vergelijking 1 :

$$0.4 \sigma_{x.p} (l_1 + l_2) - H_m \times \frac{l_1 \cos \alpha + l_2}{F} - H_m \times \frac{l_3^3}{3 I \sin \alpha} -$$

$$M_m \times \frac{l_3^2}{2 I \sin \alpha} = 0.$$

$$0.4 \times 982 \times 1583.5 - \left( \frac{1240 \times 0.8963 + 343.5}{435.7} + \frac{613.56^3}{3 \times 440.300 \times 0.4436} \right) H_m -$$

$$- \frac{613.56^2}{2 \times 440.300 \times 0.4436} M_m = 0.$$

$$412.5 H_m + M_m = 645227 \quad \text{----- (1)}$$

Vergelijking 2:  $\frac{l_3^2}{2 \sin \alpha} H_m + \left( \frac{l_1}{\cos \alpha} + l_2 \right) M_m = 0$

$$\frac{613.56^2}{2 \times 0.4436} H_m + (1383 + 343.5) M_m = 0 \text{ of } 245.77 H_m + M_m = 0 \text{ --- (2)}$$

Oplossing:

$$166.73 H_m = 645227, \text{ waaruit } H_m = \frac{645227}{166.73} = 3870 \text{ kg.}$$

$$M_m = -245.77 \times 3870 = -951130 \text{ kgcm.}$$

In balknotaties:  $H_m = -3870 \text{ kg. (druk)}$   
 $M_m = 951130 \text{ kgcm. (trek aan de onderzijde).}$

St.ptn. A en F :

$$M_A = M_F = 951130 - 3870 \times 613,56 = 951130 - 2374480 = -1423350 \text{ kgcm.}$$

$$\text{Normaalkracht: } N_A = N_F = -3870 \times 0.8963 = -3470 \text{ kg.}$$

$$\text{Dwarskracht : } D_A = D_F = 3870 \times 0.4436 = 1717 \text{ kg.}$$

$$\sigma_x = \pm \frac{1423350}{9629} - \frac{3470}{435.7} = \pm 148 - 8 = 140 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } -156 \text{ kg/cm}^2$$

St.pt. B :

$$M_B = 951130 - \frac{666}{1240} \times 613,56 \times 3870 = 951130 - 1275330 = -324200 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_B = \text{als } N_A = -3470 \text{ kg.}$$

$$D_B = \text{als } D_A = 1717 \text{ kg.}$$

$$\sigma_x = \pm \frac{324200}{9629} - 8 = \pm 34 - 8 = 26 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } -42 \text{ kg/cm}^2$$

St.ptn. C en D.

$$M_C = M_D = M_m = 951130 \text{ kgcm; } N_C = N_D = H_m = -3870 \text{ kg.}$$

$$\sigma_x = \pm \frac{951130}{9629} - \frac{3870}{435.7} = +100 - 9 = 91 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } -109 \text{ kg/cm}^2$$

St.pt. E

$$M_E = 951130 - \frac{706}{666} \times 1275330 = 951130 - 1351850 = -400720 \text{ kgcm.}$$

$$N_E = N_F = -3470 \text{ kg.}$$

$$D_E = D_F = 1717 \text{ kg.}$$

De zakking van het punt C na toelating der gasdruk  $p = 67.5 \text{ kg/cm}^2$ .

$$y_c = 0.4 \sigma_{x.p} \times \frac{l^3}{E} - \left( \frac{l^3}{FE} - \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{3 EI \cos^3 \alpha} l^3 \right) \times H_m + \frac{\cos \alpha \overline{AC}^2}{2 EI} \times M_m$$

Hierin is  $H_m = 3870 \text{ kg.}$  en  $M_m = -951130 \text{ kgcm.}$

$$2.1 \times 10^6 \times y_c = 0.4 \times 982 \times 613.56 - \left( \frac{613.56}{435.7} - \frac{0.3976 \times 1383^3}{3 \times 440300} \right) \times 3870 - \frac{0.8963 \times 1382^2}{2 \times 440300} \times 951130.$$

Uitwerking geeft:

$$y_c = 0.1148 + 1.4648 - 0.8817 = 0.6979 \text{ cm.} = 7 \text{ m.m.}$$

Zo zijn de zakkingen in B en **C**:

$$y_B = 574 \times \frac{0.6979}{1240} = 0.3231 \text{ cm.} = 3 \text{ m.m.}$$

$$y_{\mathbf{C}} = 534 \times \quad \quad = 0.3005 \text{ cm.} = 3 \text{ m.m.}$$

IIa - Steunpunten A en F.

Deze st.ptn. worden gelijk gemaakt en gedimensioneerd op de belastingen van het st.pt. A. Gekozen is  $l_0 = 80 \text{ cm.}$ , gemeten langs de onderzijde der buis. De beton wordt om de buis gestort, waardoor de directe bovenlast op het st.pt. voor de berekening der tangentieele spanningen geen rol speelt. In dit geval is de ondersteuningshoek  $\varphi_B = 180^\circ$ .

De reductiefactor voor rerounding  $f_{r,r} = 0.388$ .

$$\text{De straal der bocht } R = 3 D_u = 274.32 \text{ cm; } \frac{1}{3} r_i = \frac{1}{3} \times 88.353 = 14.7255 \text{ cm.}$$

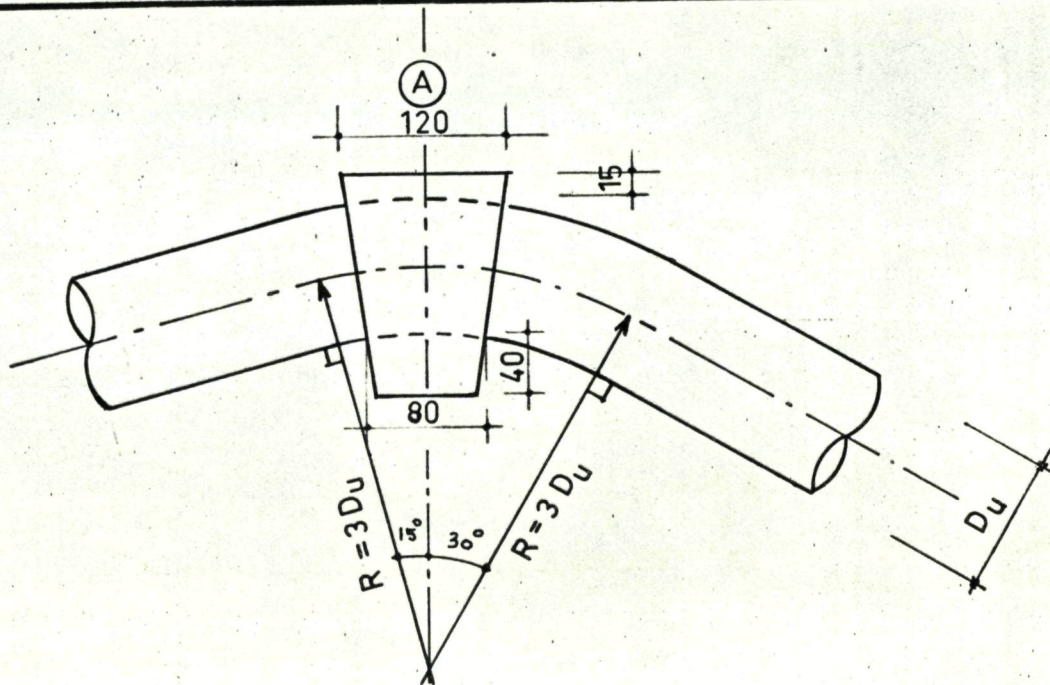
Reductiefactor voor de buitenbocht:

$$f_r = \frac{274.32 + 14.2755}{274.32 + 88.353} = 0.9075$$

Toeslagfactor voor de binnenbocht :

$$f_t = \frac{274.32 - 14.2755}{274.32 - 88.353} = 1.128$$

De spanning in de top van de normaal drsn. grenzend aan den dag is maatgevend.



Spanningen t.g.v. p ; zonder die t.g.v. verplaatsingen en verdraaiingen.

Tangentieel :

In de buitenbocht :  $\sigma_y = 0.9075 \times 1964 = 1782 \text{ kg/cm}^2$   
 " " bocht-as :  $\sigma_y = 1 \times 1964 = 1964 \text{ "}$   
 " " binnenbocht :  $\sigma_y = 1.128 \times 1964 = 2215 \text{ "}$

Axiaal

In de buitenbocht :  $\sigma_x = 982 - 0.3 (1964 - 1782) = 982 - 55 = 927 \text{ kg/cm}^2$   
 " " bocht-as :  $\sigma_x = 982 \text{ kg/cm}^2$   
 " " binnenbocht :  $\sigma_x = 982 + 0.3 (2215 - 1964) = 982 + 75 = 1057 \text{ kg/cm}^2$

Spanningen t.g.v. Q.

Axiaal :

Gemeten langs de theoretische as is  $\frac{1}{2} l' = \frac{3}{2.5} \times \frac{0.8}{2} \times 1.1158 = 0.525 \text{ m.}$

De belasting loodrecht op de theoretische as in den dag

$Q_{\text{dag}} = 1075 + \frac{640 - 52.5}{640} \times (2545 - 1075) = 1075 + 1350 = 2425 \text{ kg/m'}$

De eindreactie  $R_{AR} = 6580 \times 0.8963 = 5680 \text{ kg.}$

De hoogte van de as in den dag boven de as van het buisgedeelte CD

is  $h = 613.56 - 52.5 \times \text{tg. bg.} \sin \frac{52.5}{274.31} = 613.56 - 52.5 \times 0.19498 = 613.56 - 10.24 = 603.32 \text{ cm.}$



Uitsluitend t.g.v. Q :

$$M_{\text{dag}} = -652000 + 5680 \times 52.5 - 0.15 \times 24.25 \times 52.5^2 - \frac{25.45 - 24.25}{3} \times 52.5^2 = -388320 \text{ kgcm.}$$

$$D_{\text{dag}} = 5680 - 0.5 \times 49.70 \times 52.5 = 5680 - 1310 = 4370 \text{ kg.}$$

T.g.v. Q en p = 67,5 kg/cm<sup>2</sup>

$$M_{\text{dag}} = -388320 + 951130 - 3870 \times 603.32 = -1772040 \text{ kgcm.}$$

$$= 562810 - 2334850$$

$$N_{\text{dag}} = N_A = -3470 \text{ kg.}$$

$$D_{\text{dag}} = \text{als uitsluitend t.g.v. Q} = 4370 \text{ kg.}$$

Spanningen:

Uitsluitend t.g.v. Q :

$$\text{In de top : } \sigma_x = \frac{388320}{9629} = 40 \text{ kg/cm}^2 ;$$

$$\text{" " middens: } \sigma_x = 0 ; \tau = 2 \times \frac{4370}{435.7} = 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{" " bodem: } \sigma_x = -40 \text{ kg/cm}^2$$

t.g.v. Q en p, incl. verplaatsingen en verdraaiingen.

$$\text{In de top : } \sigma_x = 927 + \frac{1772040}{9629} - \frac{3470}{435.7} = 927 + 184 - 8 = 1103 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{" " middens: } \sigma_x = 982 - 8 = 974 \text{ kg/cm}^2 ; \tau = 2 \times \frac{4370 + 1717}{435.7} = 28 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{" " bodem : } \sigma_x = 1057 - 184 - 8 = 865 \text{ kg/cm}^2.$$

Tangentieel:

$$Q = 0 ;$$

De st.pt.'s reactie uit de cross:

$$R_A = 2 \times (6580 \times 0.8963 - \frac{25.45 + 24.25}{2} \times 52.5) =$$

$$= 2 \times (5897 - 1302) = 2 \times 4595 = 9190 \text{ kg.}$$

$$Q_D = \frac{9190}{80} = 115 \text{ kg/cm'}$$

*177.*

Spanningen:

Uitsluitend t.g.v. Q :

$$\text{In de top : } M = 0.026 \times 115 \times 44.95 = 134.4 \text{ kgcm/cm'}$$

$$N = 0.119 \times 115 = 13.7 \text{ kg/cm'}$$

$$\sigma_y = \pm \frac{134.4}{0.3971} + \frac{13.7}{1.5435} = \pm 338 + 9 = 347 \text{ kg/cm}^2$$

en -329 "

In de middens :  $M = 0.025 \times 115 \times 44.95 = 129.2 \text{ kgcm/cm'}$   
 $N = -0.25 \times 115 = -28.8 \text{ kg/cm'}$   
 $\sigma_y = \pm \frac{129.2}{0.3971} - \frac{28.8}{1.5435} = + 325 - 19 = 306 \text{ kg/cm}^2$   
 en  $-344 \text{ kg/cm}^2$ .

In de bodem :  $M = 0$  ;  $N = -0.119 \times 115 = -13.7 \text{ kg/cm}^2$   
 $\sigma_y = -9 \text{ kg/cm}^2$ .

Spanningescombinaties bij belasting uitsluitend door Q.

In de top :  $\sigma_x = 40 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = 347 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$   
 $S_1 = 347 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$  ;  
 $S_2 = 40 \text{ kg/cm}^2$ .

In de middens :  $\sigma_x = 0$  ;  $\sigma_y = -344 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 20 \text{ kg/cm}^2$   
 $S_1 = -172 + \sqrt{172^2 + 20^2} = -172 + 173 = 1 \text{ kg/cm}^2$   
 $- S_2 = 172 + 173 = 345 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$

In de bodem :  $\sigma_x = -192 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = -9 \text{ kg/cm}^2$   
 $- S_1 = 9 \text{ kg/cm}^2$   
 $- S_2 = 192 \text{ " } < 2440 \text{ kg/cm}^2$

Spanningscombinaties bij belasting door p en Q.

In de top :  $\sigma_x = 1103 \text{ kg/cm}^2$  ;  
 $\sigma_y = 1782 \pm 0.388 \times 338 - 9 =$   
 $= 1773 \pm 131 = 1904 \text{ kg/cm}^2$   
 en  $1642 \text{ kg/cm}^2$

$\tau = 0$   
 $S_1 = 1904 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$   
 $S_2 = 1103 \text{ "}$

In de middens :  $\sigma_x = 974 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 28 \text{ kg/cm}^2$   
 $\sigma_y = 1964 \pm 0.388 \times 325 - 9 - 19 =$   
 $= 1936 \pm 126 = 2072 \text{ kg/cm}^2$   
 en  $1810 \text{ kg/cm}^2$   
 $S_1 = 1518 + \sqrt{544^2 + 484} = 1518 + 545 = 2063 \text{ kg/cm}^2$   
 $< 2440 \text{ kg/cm}^2$   
 $S_2 = 1518 - 545 = 973 \text{ kg/cm}^2$

In de bodem :  $\sigma_x = 865 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$   
 $\sigma_y = 2215 - 8 - 9 = 2198 \text{ kg/cm}^2$   
 $S_1 = 2198 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$  (maatgevend)  
 $S_2 = 865 \text{ "}$

De ondersteuning :

De gewapend beton ondersteuning der st.ptn. A en F zijn gestort op de damwand, over de lengte van 3 damplanken.

Belastingen:

Uit de buis :  $2 \times 6.58 = 13.2 \text{ t.}$

e.g. beton :  $(1.4 \times 1.45 \times 1 - \frac{\pi}{4} \times 0.9544^2) \times$   
 $\times 2.4 = 3.3 \text{ "}$

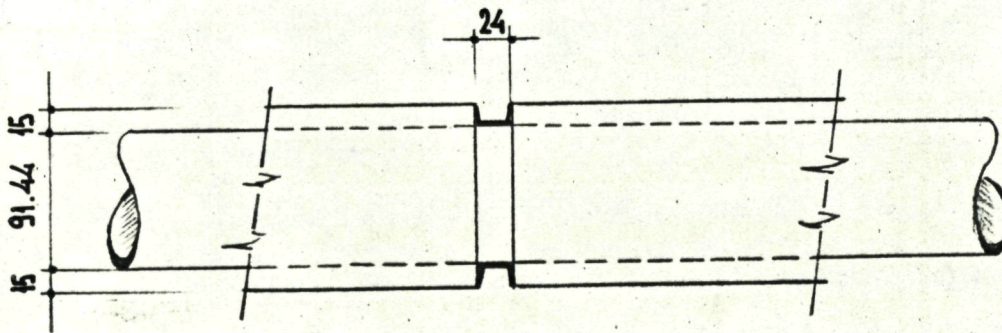
Totaal =  $\frac{13.2 + 3.3}{7} = 16.5 \text{ t. op 7 dam - planken.}$

De belasting per damplank P =  $\frac{1}{7} \times 16.5 = 2,4 \text{ t.}$

II.b = Steunpunten B en E.

Het ongunstigst belast is het st.pt. E.

Toegepast is [ N.P. 24, welke als een klem om de buis, zonder de betonbekleding wordt geslagen. Hier op rust de leiding, terwijl het geheel aan een op de damwand gelaste ligger is opgehangen.



Spanningen t.g.v. p.

Axial:

In de top	:	$\sigma_x = 982 + 34 = 1016 \text{ kg/cm}^2$
" " middens	:	$\sigma_x = 982 - 8 = 974 \text{ "}$
" " bodem	:	$\sigma_x = 982 - 50 = 932 \text{ "}$

Tangentiaal:

In de top, middens en bodem:  $\sigma_y = \text{constant} = 1964 \text{ kg/cm}^2$ .

Spanningen t.g.v. Q.

Evenals bij de st.ptn. A en F wordt de directe belasting door de steunpunts-constructie opgevangen, waardoor deze buisbelasting komt te vervallen.

Axial:

In de dag aan de zijde van het st.pt. D treedt de grootste dwarskracht op en is dus van de 2 normaal drsn. in de dag maatgevend.

In de dag is  $Q_{E.L} = 1075 + \frac{12}{788} \times 895 = 1075 + 14 = 1089 \text{ kg/cm}^2$

En de dwarskracht:

$$D_{E.L} = \frac{6925}{1.1158} - 0.5 \times 0.12 \times (1075 + 1089) = 6210 - 70 = 6140 \text{ kg.}$$

$$M_{\text{dag}} = -634000 + 6210 \times 12 - 0.5 \times 10.75 \times 144 - \frac{1}{6} \times 0.14 \times 144 = -634000 + 74520 - 775 - 5 = -560260 \text{ kgcm.}$$

$$\text{In de top : } \sigma_x = \frac{560260}{9629} = + 58 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{In de middens: } \sigma_x = 0 \quad ; \quad \tau_y = 2 \times \frac{6140}{435.7} = 28 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{" " bodem : } \sigma_x = -58 \text{ kg/cm}^2.$$

Tangentieel:

$$\text{Belasting in de dag } E_R = 1075 + \frac{12}{596} \times 1470 = 1075 + 30 = 1105 \text{ kg/m'}$$

$$\text{Directe belasting op } E = 0.24 \times \frac{1}{4} (2 \times 1075 + 1089 + 1105) = 260 \text{ kg.}$$

$$Q_D = \frac{1}{24} \times \left( \frac{9975}{1.1158} - 260 \right) = \frac{1}{24} \times (8940 - 260) = 362 \text{ kg/cm'}$$

$$\text{In de top : } M = 0.026 \times 362 \times 44.95 = 423 \text{ kgcm/cm'}$$

$$N = 0.119 \times 362 = 43 \text{ kg/cm'}$$

$$\sigma_y = \pm \frac{423}{0.3971} + \frac{43}{1.5435} = \pm 1065 + 28 = +1093 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{en } -1037 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{In de middens : } M = 0.025 \times 362 \times 44.95 = 407 \text{ kgcm/cm'}$$

$$N = -0.25 \times 362 = -90.5 \text{ kg/cm'}$$

$$\sigma_y = \pm \frac{407}{0.3971} - \frac{90.5}{1.5435} = \pm 1028 - 59 = +969 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{en } -1087 \text{ "}$$

$$\text{In de bodem : } M = 0 \quad ; \quad N = -43 \text{ kg/cm' } \quad ; \quad \sigma_y = -28 \text{ kg/cm}^2$$

Combinaties bij belasting uitsluitend door Q.

$$\text{In de top : } \sigma_x = + 58 \text{ kg/cm}^2 \quad ; \quad \sigma_y = 1093 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_1 = 1093 \text{ kg/cm}^2 \quad ;$$

$$\rho_2 = 58 \text{ "}$$

$$\text{In de middens : } \sigma_x = 0 \quad ; \quad \sigma_y = -1087 \text{ kg/cm}^2 \quad ; \quad \tau_y = 28 \text{ kg/cm}^2$$

$$-\rho_1 = 543.5 + \sqrt{543.5^2 + 28^2} =$$

$$= 543.5 + 544.2 = 1088 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$-\rho_2 = 543.5 - 544.2 = -1 \text{ "}$$

$$\text{In de bodem : } \sigma_x = - 58 \text{ kg/cm}^2 \quad ; \quad \sigma_y = - 28 \text{ kg/cm}^2 \quad ; \quad \tau = 0$$

$$-\rho_1 = 28 \text{ kg/cm}^2 \quad ;$$

$$-\rho_2 = 58 \text{ " } < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

Spanningen en combinaties bij belasting door p en Q.

In de top :  $\sigma_x = 1016 + 58 = 1074 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$   
 $\sigma_y = 1964 \pm 0.388 \times 1065 + 28 =$   
 $= 1992 \pm 413 = 2405 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } 1579 \text{ kg/cm}^2$

$$\rho_1 = +2405 \text{ kg/cm}^2 ; < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_2 = +1074 \text{ "}$$

In de middens:  $\sigma_x = 974 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 2 \times \frac{6140 + 1717}{435.7} = 36 \text{ kg/cm}^2$   
 $\sigma_y = 1964 \pm 0.388 \times 1028 - 59 =$   
 $= 1905 \pm 399 = 2304 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } 1506 \text{ kg/cm}^2$

$$\rho_1 = 1639 + \sqrt{665^2 + 36^2} =$$

$$= 1639 + 666.6 = +2305 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_2 = 1639 - 666.6 = + 973 \text{ "}$$

In de bodem :  $\sigma_x = 932 - 58 = 874 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$   
 $\sigma_y = 1964 - 28 = 1936 \text{ "}$

$$\rho_1 = +1936 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_2 = +874 \text{ "}$$

De constructie van het steunpunt.

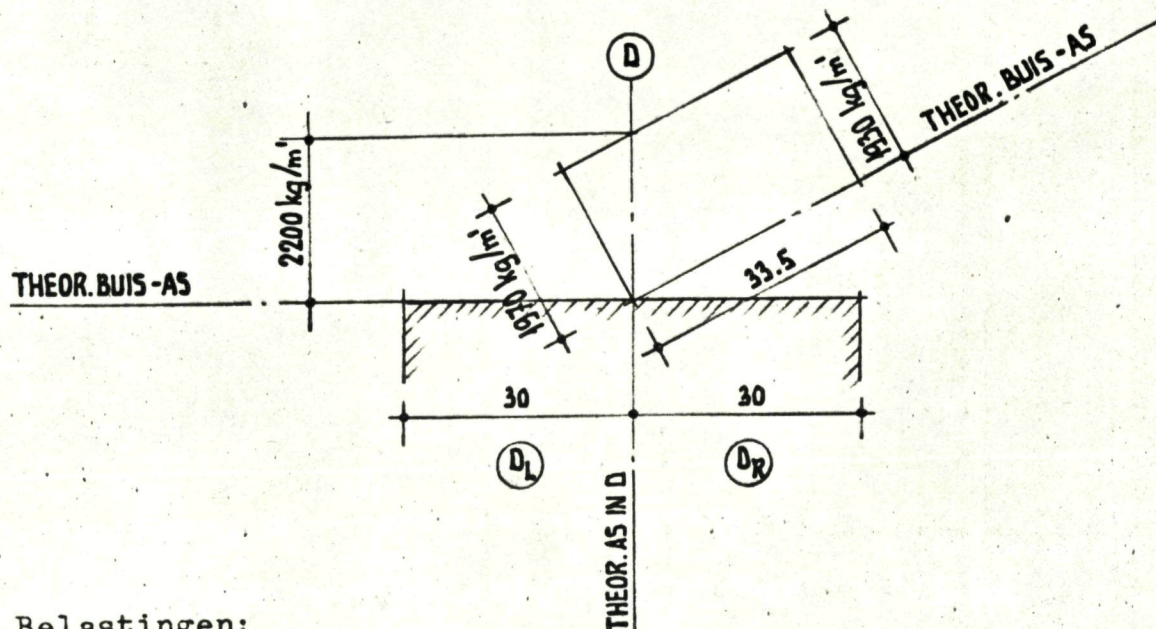
Hiervoor wordt verwezen naar het hoofdstuk D dezer berekening.

II.c = Steunpunten C en D.

Van de 2 is het st.pt. D het ongunstigst belast. Beide st.ptn. worden gelijk gemaakt en gedimensioneerd op de belastingen van st.pt. D.

C en D zijn zodanig gekozen, dat de ondersteuningn geheel in de rechte strekking onder het kanaal vallen.

Toegepast is  $l_0 = 60$  cm;  $\varphi_B = 120^\circ$ .



Belastingen:

$Q_{DL} = Q_{DL.dag} = \text{constant} = 2200 \text{ kg/m'}$

$Q_{D.R} = 1970 \text{ "}$  ;

$Q_{D.R.dag} = 1075 + \frac{788-33.5}{788} \times (1970-1075) = 1075 + 855 = 1930 \text{ kg/m'}$

Totale reactie in D,  $R_D = 14600 \text{ kg.}$

Van de 2 normaal drsn. grenzend aan den dag is die aan de zijde van  $D_L$  het ongunstigst belast.

Spanningen t.g.v. p.

Axial	:	in de top	:	$\sigma_x = 982 - 109 = 873 \text{ kg/cm}^2$
		in de middens	:	$\sigma_x = 982 - 9 = 973 \text{ "}$
		in de bodem	:	$\sigma_x = 982 + 90 = 1073 \text{ "}$

Tangentieel : In de top, middens en bodem:  $\sigma_y = 1964 \text{ kg/cm}^2$

Spanningen t.g.v. Q

Axial:

$M_{D.R.dag} = -890000 + 7675 \times 30 - 0.5 \times 22 \times 30^2 = -890000 + 230250 - 9900 = -669550 \text{ kgcm.}$

De dwarskracht  $D_{D.L.dag} = 7675 - 30 \times 32 = 7015 \text{ kg.}$

In de top :  $\sigma_x = \frac{669550}{9629} = + 70 \text{ kg/cm}^2$

In de middens :  $\sigma_x = 0$  ;  $\tau_y = \frac{2 \times 7015}{435.7} = 32 \text{ kg/cm}^2$

In de bodem :  $\sigma_x = -70 \text{ kg/cm}^2.$

Tangentieel :

Belastingen :

Totale verticale reactie : = 14600 kg.

Directe bovenlast =  $30 (22 + 1.1158 \times \frac{19.7 + 19.3}{2})$  = 1315 "

Totale indirecte belasting = 13285 kg.

$Q = 22 \text{ kg/cm}^2$  ;  $Q_D = \frac{13285}{60} = 221.4 \text{ kg/cm}^2$

In de top :  $M = (0.131 \times 22 + \frac{0.131}{0.125} \times 0.026 \times 221.4) \times 44.95 = 400 \text{ kgcm/cm}^2$

$N = 0.119 \times 221.4 = 26.3 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_y = \pm \frac{400}{0.3971} + \frac{26.3}{1.5435} = \pm 1007 + 17 = +1024 \text{ kg/cm}^2$   
en -990 "

In de middens:  $M = (0.133 \times 22 + \frac{0.133}{0.125} \times 0.025 \times 221.4) \times 44.95 = 396 \text{ kgcm/cm}^2$

$N = -0.5 \times 22 - 0.25 \times 221.4 = -66 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_y = \pm \frac{396}{0.3971} - \frac{66}{1.5435} = \pm 1000 - 43 = +957 \text{ kg/cm}^2$   
en -1043 "

In de bodem :  $M = 0.138 \times 22 \times 44.95 = 136.8 \text{ kgcm/cm}^2$

$N = -26.3 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_y = \pm \frac{136.8}{0.3971} - 17 = \pm 345 - 17 = + 328 \text{ kg/cm}^2$   
en - 362 "

Combinaties bij belasting door uitsluitend Q.

In de top :  $\sigma_x = 70 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = 1024 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$

$S_1 = +1024 \text{ kg/cm}^2$  <  $2440 \text{ kg/cm}^2$

$S_2 = 70$  "



In de middens:  $\sigma_x = 0$  ;  $\sigma_y = -1043$  kg/cm<sup>2</sup>;  $\tau = 32$  kg/cm<sup>2</sup>

$$-\Sigma_1 = 521.5 + \sqrt{521.5^2 + 32^2} =$$

$$= 521.5 + 522.5 = 1044 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$-\Sigma_2 = 521.5 - 522.5 = -1 \text{ "}$$

In de bodem :  $\sigma_x = -70$  kg/cm<sup>2</sup>;  $\sigma_y = -362$  kg/cm<sup>2</sup>;  $\tau = 0$

$$-\Sigma_1 = 362 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$-\Sigma_2 = 70 \text{ "}$$

#### Spanningen en combinaties bij belasting door p en Q

In de top :  $\sigma_x = 873 + 70 = 943$  kg/cm<sup>2</sup> ;  $\tau = 0$

$$\sigma_y = 1964 \pm 0.371 \times 1007 + 17 =$$

$$= 1981 \pm 374 = 2355 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } 1607 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Sigma_1 = 2355 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2 \text{ (maatgevend)}$$

$$\Sigma_2 = 943 \text{ "}$$

In de middens:  $\sigma_x = 973$  kg/cm<sup>2</sup> ;  $\tau = 32$  kg/cm<sup>2</sup>

$$\sigma_y = 1964 \pm 0.371 \times 1000 - 43 =$$

$$= 1921 \pm 371 = 2293 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } 1550 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Sigma_1 = 1633 + \sqrt{660^2 + 32^2} =$$

$$= 1633 + 661 = 2294 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Sigma_2 = 1633 - 661 = 972 \text{ "}$$

In de bodem :  $\sigma_x = 1073 - 70 = 1003$  kg/cm<sup>2</sup>;  $\tau = 0$

$$\sigma_y = 1964 \pm 0.371 \times 345 - 17 =$$

$$= 1947 \pm 128 = 2075 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } 1819 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Sigma_1 = 2081 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Sigma_2 = 1003 \text{ kg/cm}^2$$

#### Het aantal palen:

Toegepast zijn 3 palen per st.pt., waarbij de palen zodanig zijn geplaatst, dat de verticale as van het st.pt. gaat door het zwaartepunt der driehoek, waarvan de hoekpunten op de paalassen liggen.

Belastingen:	uit de leiding	14,60 t.
	Leiding steunblok (prefab.) :	
	1.3x 0.6x 0.5x 1.4	= 0.55 "
	palen poer (prefab.) :	
	2.2x 0.35x 1.4	= 1.10 "
	Totale belasting	<u>16.25 t.</u>

$$\text{De paallast } P = \frac{1}{3} \times 16.25 = 5.4 \text{ t.} < 8 \text{ t.}$$

II.d = De niet ondersteunde buisgedeelten in de bochten grenzend aan de st. ptn. C en D.

De straal van de bocht  $R = 3D_u$ , zodat:

1. de toeslag factor voor de binnenbocht  $f_t = 1.128$
2. " reductie " " " buitenbocht  $f_r = 0.9075$

Spanningen t.g.v. p in een normaal drsn. in de bocht.

Tangentieel :

- In de top :  $\sigma_y = 1.128 \times 1964 = 2215 \text{ kg/cm}^2$   
 " " middens :  $\sigma_y = 1 \times 1964 = 1964 \text{ "}$   
 " " bodem :  $\sigma_y = 0.9075 \times 1964 = 1782 \text{ "}$

Axiaal : De spanningen t.g.v. verplaatsingen en verdraaiingen als in st.pt. D.

- In de top :  $\sigma_x = 982 + 0.3 \times (2215 - 1964) - 109 = 873 + 75 = 948 \text{ kg/cm}^2$   
 " " middens :  $\sigma_x = 982 - 9 = 973 \text{ "}$   
 " " bodem :  $\sigma_x = 982 + 0.3 \times (1782 - 1964) + 90 = 1073 - 55 = 1018 \text{ "}$

Spanningen t.g.v. Q.

In beide richtingen zijn de momenten het ongunstigst in de dag. Van de 2 normaal drsn. treden in de drsn. nabij het st.pt. D de grootste waarden op. De berekeningen betreffen dan ook deze normaal drsn.

Axiaal:

Reactie  $R_{D.R} = \frac{1}{1.1158} \times 6925 = 6210 \text{ kg.}$

De dag ligt op  $30 \times 1.1158 = 33.5 \text{ cm.}$  van  $D_R$  gemeten langs de theoretische buis as.

De belastingen zijn  $Q_{D.R} = 19.7 \text{ kg/cm'}$

$$Q_{\text{dag}} = \frac{19.3 \text{ " (zie ook onder II.c)}}{0.4 \text{ kg/cm'}}$$

Moment in den dag:

$$M_{\text{dag}} = -890000 + 6210 \times 33.5 - 0.5 \times 19.3 \times 33.5^2 - \frac{1}{3} \times 0.4 \times 33.5^2 = -890000 + 208035 - 10810 - 150 = -692925 \text{ kgcm.}$$

De dwarskracht in den dag

$$D_{\text{dag}} = 6210 - \frac{1}{2} \times (19.7 + 19.3) \times 33.5 = 6210 - 655 = 5555 \text{ kg.}$$

$$\text{In de top} \quad \hat{\sigma}_x = \frac{692925}{9629} = 72 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{In de middens} : \sigma_x = 0 \text{ kg/cm}^2; \tau_y = 2 \times \frac{5555}{435.7} = 25.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{In de bodem} : \sigma_x = -72 \text{ kg/cm}^2$$

Tangentieel:

De ongunstiger momenten welke volgens Spangler zouden optreden in ondersteunde buisgedeelten met  $\varphi_B = 180^\circ$ , en een uitwendige belasting  $Q$ , welke uitsluitend een directe is, zijn aangehouden.

$$\text{In de top} : M = 0.125 \times 19.3 \times 44.95 = 108.8 \text{ kgcm/cm'}$$

$$\text{zonder gasdruk: } \sigma_y = \pm \frac{1}{0.3971} \times 108.8 = \pm 274 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{met " : } \sigma_y = 2215 \pm 0.388 \times 274 = 2215 \pm 106 = 2321 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } 2109 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{in de middens} : -M = 108.8 \text{ kgcm/cm'}; N = -0.5 \times 19.3 = -9.65 \text{ kg/cm'}$$

$$\text{zonder gasdruk: } \sigma_y = \mp 274 - \frac{1}{1.5435} \times 9.65 = \mp 274 - 6 =$$

$$= -280 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } 268 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{met " : } \sigma_y = 1964 - 6 \pm 106 = 2064 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } 1852 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{in de bodem} : M = \text{als in de top} = 108.8 \text{ kgcm/cm'}$$

$$\text{zonder gasdruk: } \sigma_y = \pm 274 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{met " : } \sigma_y = 1782 \pm 106 = 1888 \text{ kg/cm}^2 \text{ en } 1676 \text{ kg/cm}^2$$

Spanningscombinaties :Bij belasting uitsluitend door Q.

$$\text{In de top} : \sigma_x = 72 \text{ kg/cm}^2; \sigma_y = 274 \text{ kg/cm}^2; \tau = 0$$

$$\rho_1 = 274 \text{ kg/cm}^2; \quad \rho_2 = 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_2 = 72 \quad "$$

$$\text{in de middens} : \sigma_x = 0; \sigma_y = -280 \text{ kg/cm}^2; \tau_y = 25.5 \text{ kg/cm}^2;$$

$$-\rho_1 = 140 + \sqrt{140^2 + 25.5^2} = 140 + 142.3 =$$

$$= 282 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$-\rho_2 = 140 - 142.3 = -2 \text{ kg/cm}^2$$

In de bodem :  $\sigma_x = -72 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = -274 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\tau = 0$   
 $-\rho_1 = 274 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$   
 $-\rho_2 = 72 \text{ "}$

Bij belasting door p en Q :

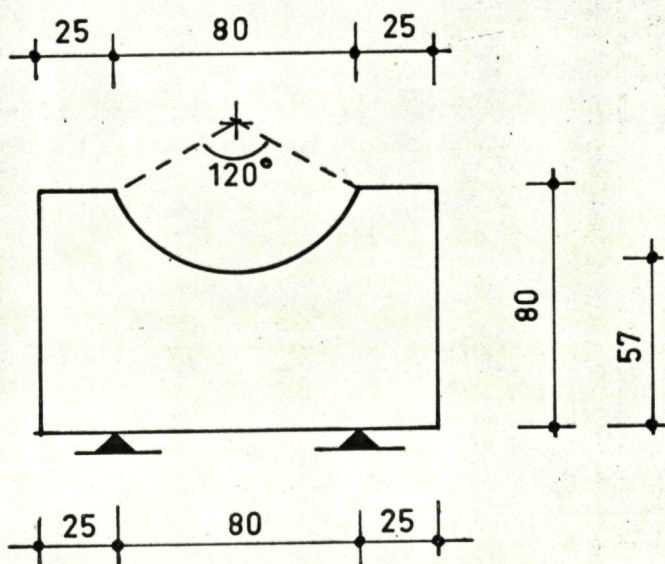
In de top :  $\sigma_x = 948 + 72 = 1020 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma_y = 2321 \text{ kg/cm}^2$ ;  
 $\tau = 0$   
 $\rho_1 = +2321 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$   
 $\rho_2 = +1020 \text{ "}$

In de middens :  $\sigma_x = 973 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = 2064 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\tau_y = 25.5 \text{ kg/cm}^2$   
 $\rho_1 = 1518,5 + \sqrt{545,5^2 + 25,5^2} =$   
 $= 1518,5 + 546,1 = +2065 \text{ kg/cm}^2$   
 $< 2440 \text{ kg/cm}^2$   
 $\rho_2 = 1518,5 - 546,1 = + 972 \text{ kg/cm}^2$

In de bodem :  $\sigma_x = 1018 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\sigma_y = 1888 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\tau = 0$   
 $\rho_1 = +1888 \text{ kg/cm}^2$   
 $\rho_2 = +1018 \text{ "}$

D = Berekening der ondersteuning.

1 = de betonondersteuning buiten de kruising en de ontlastvloeren.



$$D_u \cos 30^\circ = 91.44 \times 0.86603 = 80 \text{ cm.}$$

$$r_u - r_u \sin 30^\circ = 0.5 \times 45.7 = 23 \text{ cm ; } 80 - 23 = 57 \text{ cm.}$$

$$P = 14.2 \text{ t ; } L = 0.8 \text{ m ; } B = 0.5 \text{ m ; } h = 57 - 5 = 52 \text{ cm.}$$

$$M_{\text{veld}} = \frac{1}{4} \times 14200 \times 0.8 = 2840 \text{ kgm ;}$$

$$\frac{\sigma_b}{\sigma_a} = \frac{< 30}{1400} ; A_t = 4.20 \text{ cm}^2 ; \text{ Toegepast is: } 3\emptyset 14 = 4.62 \text{ cm}^2$$

bgls.  $\emptyset 8 - 30$ .

$$M_{\text{st.pt.}} = -\frac{1}{3} \times 2840 = -950 \text{ kgm.}$$

$$\frac{\sigma_b}{\sigma_a} = \frac{< 30}{1400} ; A_t = \text{practisch ; toegepast is : } 3\emptyset 14 = 4.62 \text{ cm}^2$$

$$D_{\text{max.}} = 7100 \text{ kg ; } \tau = \frac{1.5 \times 7100}{50 \times 80} = 2.7 \text{ kg/cm}^2$$

Voor bijzonderheden zie tekening Q-2204-25-4, Rev. 3.

2 - de betonondersteuning boven de ontlastvloer.

Dezelfde belasting als op de ondersteuning onder 1.

Kleinste nuttige hoogte  $h = 150 \text{ cm}$  ;  $B = 0.5 \text{ m}$ .

Van de 3 ondersteuning wordt aangenomen dat de middelste als st.pt. wegvalt.

De overspanning  $L = 2.60 \text{ m}$ .

$$M_{\text{veld}} = \frac{1}{4} \times 14200 \times 2.6 = 9230 \text{ kgm} ;$$

$$\frac{\sigma_b}{\sigma_y} = \frac{<30}{1400} ; A_t = 4.62 \text{ cm}^2 ; \text{Toegepast is: } 3\emptyset 16 = 6.03 \text{ cm}^2$$

Voor de zijvlakken: #  $\emptyset 8$

Voor bijzonderheden zie tekening Q-2204-25-4, Rev. 3

3 - De ondersteuning in A en F.

De toegepaste bewapening aan de buitenzijde is uitsluitend krimp-wapening, waarvoor  $\emptyset 10-20$  is toegepast.

Momentsbewapening tegen grondbelastingen:

$$L = 1.40 - 2 \times 0.05 = 1.30 \text{ m} ; q = 2840 \text{ kg/m} ;$$

$$M_{\text{veld}} = \frac{1}{11} \times 2840 \times 1.3^2 = 440 \text{ kgm} ; h = 10 \text{ cm} ; B = 1. \text{ m.}$$

$$\frac{\sigma_b}{\sigma_a} = \frac{35.2}{1400} ; A_t = 3.45 \text{ cm}^2 ; \text{Toegepast is: } \emptyset 10-20 = 3.95 \text{ cm}^2.$$

Alle binnenkanten worden op dezelfde wijze bewapend.

Als hoekversterking is toegepast :  $\emptyset 10-20$

Voor een goede aanhechting met de damwanden zijn 2 metalen strippen van  $d \times h = 15 \text{ m.m.} \times 50 \text{ m.m.}$  aan beide zijden der damwand gelast.

Voor bijzonderheden zie tekening Q-2204-25-4, Rev. 3.

De steunpunten B en E.

De om de buis geslagen  $\square$  N.P.24 is aan 2 staven  $\varnothing = 1\frac{1}{4}$  " opgehangen, welke aan 1 staaf  $\varnothing = 1\frac{3}{4}$  " zijn gelast.

Deze staaf  $\varnothing = 1\frac{3}{4}$  " is aan een ligger, samengesteld uit 2  $\square$  NP.32.

Deze ligger is op de damwand gelast. De overspanning der ligger  $L = 3.60$  m. en beschouwd als te zijn vrij opgelegd.

Maximum belasting :  $P = 9975$  kg.

Sterkte der ligger 2  $\square$  N.P.32 :

$$M_{\text{veld}} = \frac{1}{4} \cdot 9975 \times 360 = 897750 \text{ kgcm.}$$

$$W = 2 \times 679 = 1358 \text{ cm}^3 ; \quad \sigma_{\text{max.}} = \frac{897750}{1358} = 660 \text{ kg/cm}^2$$

Doorbuiging :

$$J = 2 \times 10870 = 21740 \text{ cm}^4.$$

$$f = \frac{1}{48} \times \frac{9975 \times 360^3}{2100000 \times 21740} = 0.212 \text{ cm.} = \text{rond } 2 \text{ m.m.}$$

Sterkte der staaf  $\varnothing = 1\frac{3}{4}$  "

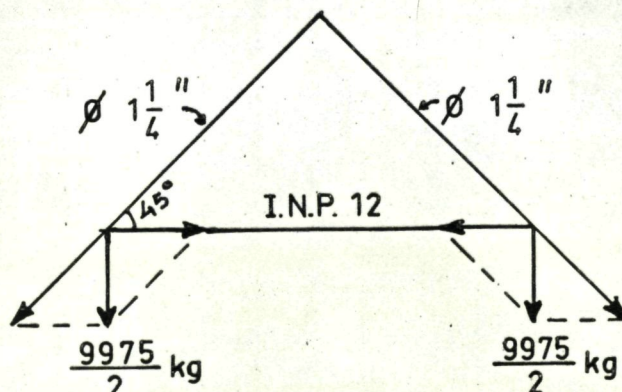
De kern doorsnede  $F_{\text{kern}} = 11.31 \text{ cm}^2 ;$

$$\sigma_y = \frac{9975}{11.31} = 865 \text{ kg/cm} = < 1400 \text{ kg/cm}^2.$$

Sterkte der staven  $\varnothing = 1\frac{1}{4}$  "

De kerndoorsnede  $F_{\text{kern}} = 5.77 \text{ cm}^2$

De staven zijn onder een hoek van  $45^\circ$  gebogen om een I.N.P. 12





$P = 0.5 \times 9975 = 4990 \text{ kg.}$

Trekkkracht =  $4990 \times \frac{1}{2} \sqrt{2} = 3530 \text{ kg; } \sigma_y = \frac{3530}{5.77} = 610 \text{ kg/cm}^2 < < 1400 \text{ kg/cm}^2.$

Drukkkracht = 4990 kg;

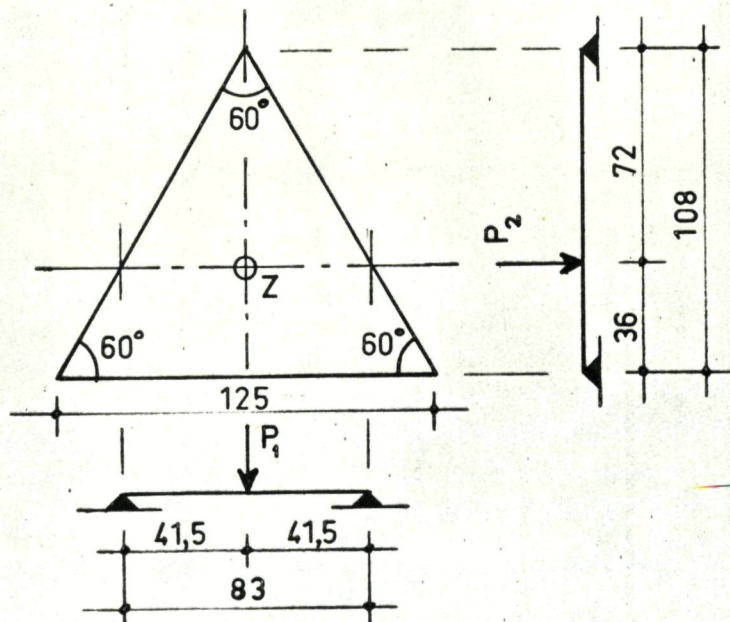
$I_y = 21.5 \text{ cm}^4 ; F = 14.2 \text{ cm}^2 ; i = \sqrt{\frac{21.5}{14.2}} = 1.23$

$\lambda = \frac{113.1}{1.23} = 92.3 ; \alpha = 0.489 ; \sigma_{da} = 684 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma = \frac{4990}{14.2} = 350 \text{ kg/cm}^2 < 684 \text{ kg/cm}^2.$

4 - De ondersteuningen in C en D.

De totale belasting uit de buis en het e.g. der blokken  $P = 16,5 \text{ t.}$   
 Het in de paalkoppen opgelegde driehoekig funderingsblok wordt in 2 loodrecht op elkaar staande richtingen bewapend.  
 De puntlast grijpt in het zwaartepunt der driehoek aan, waarbij de verdeling der puntlast naar de stijfheid der 2 richtingen wordt verdeeld.



De zakking van het zwaartepunt z is voor beide richtingen gelijk zodat:

$$\frac{1}{48} \times P_1 \times 83^3 = \frac{1}{3 \times 108} P_2 \times 36^2 \times 72^2$$

$$11912 P_1 = 20736 P_2$$

waaruit  $P_1 = \frac{20736}{32648} = 16500 = 10500 = 10500 \text{ kg; } P_2 = 6000 \text{ kg.}$

$$M_{p.1} = \frac{1}{4} \times 10500 \times 0.83 = 2180 \text{ kgm} ;$$

$$B = 1 \text{ m} ; h = 25 \text{ cm} ; \frac{\sigma_b}{\sigma_a} = \frac{30.8}{1400} ; A_t = 6,80 \text{ cm}^2$$

Toegepast is:  $\emptyset 14-20 = 7.69 \text{ cm}^2$

$$M_{p.2} = \frac{2}{3} \times 6000 \times \frac{1}{3} \times 83 = 1110 \text{ kgm.}$$

$$B = 0.8 \text{ m} ; h = 25 \text{ cm} ; \frac{\sigma_b}{\sigma_a} = \frac{< 30}{1400} ; A_t = 3,40 \text{ cm}^2.$$

Toegepast is:  $\emptyset 12-20 = 5.65 \text{ cm}^2.$

De bewapening van het betonblok waarop de buis direct komt te liggen is praktisch.

Toegepast is: Voor het bodemvlak  $\# \emptyset 10-20 ;$

De in dwarsrichting geplaatste staven  $\emptyset 10$  worden omgebogen ter beveiliging van het bovenvlak.

Voor bijzonderheden zie tekening Q-2204-25.4.-

E = Berekening damwanden.

De berekende buigende momenten in de damwanden volgens het rapport van het L.G.M. te Delft (C)0-16081-F/53 van 24 Juni 1965, zijn 6.5 t.m. en 10 t.m. in de damwand voor de middelste-, resp. vleugelkofferdam.

Een variërende inheidiepte van 10 m. N.A.P. tot 12.50 m. N.A.P. is voor de damwanden aangegeven.

Aanbevolen is een damwand Larssen Ia neu.

De ankerkracht voor de vleugelkofferdam bedraagt  $\pm 4$  t/m' op 0.5 m.-N.A.P. en 5 t/m' tot een diepte van 2 m.-N.A.P.

Sterkte damwanden:

Toegepast is Larssen II ;  $W = 850 \text{ cm}^3$ ; Staalsoort:  $\sigma_{\text{vloei min.}} = 2200 \text{ kg/cm}^2$ .

Toegelaten spanning  $\bar{\sigma} = 1400 \text{ kg/cm}^2$

$M = 10 \text{ tm}$ ;  $\sigma = \frac{1000000}{850} = 1180 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}$

Inheidiepten: Katwijkzijde : 11.50- N.A.P.

Woerdenzijde : 12.50- N.A.P.

Ankerstangen:

Toegepast zijn ankers  $\varnothing = 1\frac{1}{2}''$  ;  $F_{\text{Kern}} = 8.388 \text{ cm}^2$

De ankers zijn geplaatst op 2 m. h.o.h. op 0.50 m.-N.A.P.

De ankerkracht:  $T = 2 \times 4 = 8 \text{ t}$ ;  $\sigma = \frac{8000}{8.388} = 955 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$

Voor de ankers op 1,00 m.-N.A.P. is  $T = (1 + \frac{2}{3}) \times 5 = 10 \text{ t}$ ;

$\sigma = \frac{10000}{8.388} = 1195 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$

Ankerbevestiging:

Toegepast zijn gordingen  $2 \times \text{[ N.P.14 ]}$  ;  $W = 2 \times 86.4 = 172.8 \text{ cm}^3$

De ongunstigst belaste zijn de gordingen der middelste kofferdam op 1. m -N.A.P.

De vrije overspanning = 0.825 m;  $q = 5 \text{ t/m'}$

$-M_{\text{max}} = 0.5 \times 5 \times 0.825^2 = 1.7 \text{ t.m.}$   $\frac{1}{10} \times 4 \times 2^2 = 1.6 \text{ tm.}$

$\sigma_{\text{max}} = \frac{170000}{172.8} = 985 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$

De schoorpalen zijn toegepast teneinde horizontale verplaatsingen te beperken.

F = Berekening ontlastvloer.

Toegepast zijn:

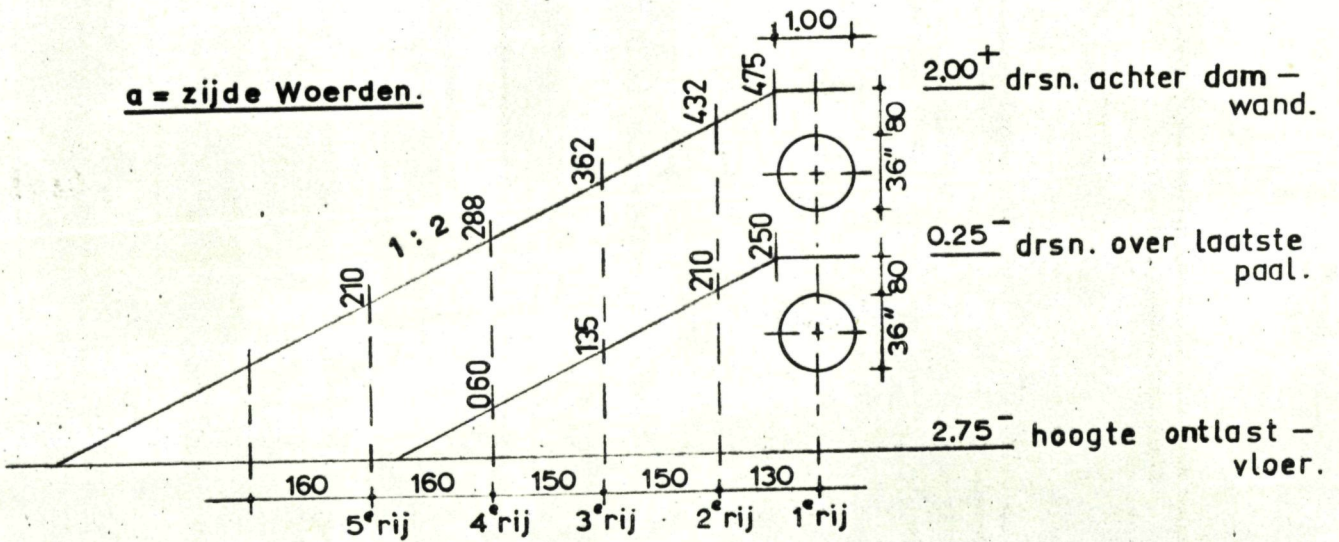
Planken in Vurenhout: dikte  $d = 12 \text{ cm}$  ;  $\bar{\sigma}_b = 70 \text{ kg/cm}^2$   
 kespen in Amerikaans grenenhout afm.  $30 \text{ cm.} \times 25 \text{ cm.}$ :  $\bar{\sigma}_b = 100 \text{ kg/cm}^2$   
 houten palen met een punt  $\varnothing = 13 \text{ cm}$ ;  $P = 10 \text{ t}$ ; Schoor  $1:4$ :  $\bar{P}_v = 9,7 \text{ ton.}$

Aangenomen is een volumegewicht van grond  $\gamma_{\text{grond}} = 1.8 \text{ t/m}^3$ .

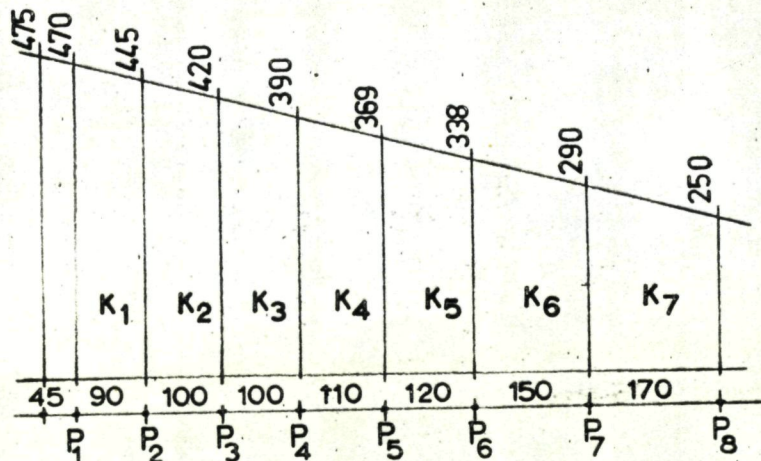
**Nota:** In de projecten der volgende kruisingen zal voor de planken en de kespen uitsluitend Vurenhout worden toegepast.

In de berekening zijn palen en vloer zoveel mogelijk tot het maximum belast. De belasting door het pijpgewicht is buiten beschouwing gelaten, en vervangen gedacht door grond (ongunstig).

- max. vloer belasting  $M = 60 \times \frac{1}{6} \times 100 \times 12^2 = 1440 \text{ kgm.}$
- max. kesp belasting  $M = 100 \times \frac{1}{6} \times 30 \times 25^2 = 3125 \text{ kgm.}$



Controle eerste rij palen en kespen.



Meewerkende breedte  $b = 1,30 \text{ m}$ ;  $t = 1,3 \times 1,8 = 2,34$

- $P_{1v} = 2,34 \times 4,70 (0,45+0,45) = 9,9 \text{ t.}$
- $P_{2v} = 2,34 \times 4,45 (0,45+0,50) = 9,9 \text{ t.}$
- $P_{3v} = 2,34 \times 4,20 (0,50+0,50) = 9,8 \text{ t.}$
- $P_{4v} = 2,34 \times 3,90 (0,50+0,55) = 9,6 \text{ t.}$
- $P_{5v} = 2,34 \times 3,69 (0,55+0,60) = 9,9 \text{ t.}$
- $P_{6v} = 2,34 \times 3,38 (0,6+0,75) = 10,7 \text{ t.}$
- $P_{7v} = 2,34 \times 2,90 (0,75+0,85) = 10,8 \text{ t.}$
- $P_{8v} = 2,34 \times 2,50 (0,85+0,65) = 8,8 \text{ t.}$

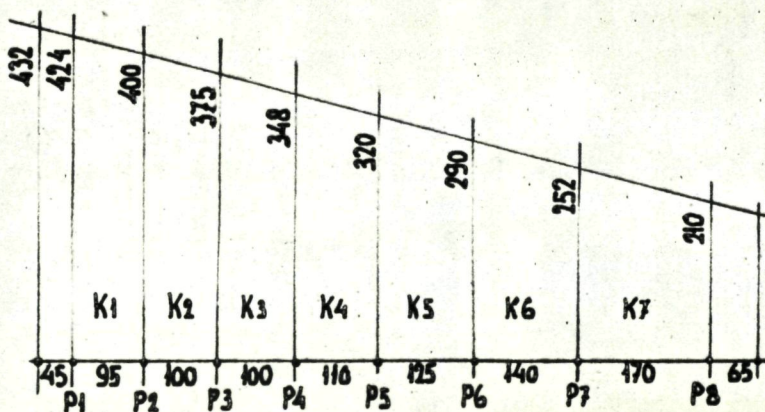
Controle van de kessen op de 1e rij palen  $W = 3125 \text{ cm}^3$

- $K_1 = M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (4,70+4,45) \times 2,34 \times 0,90^2 = 865 \text{ kgm.} \quad \sigma = 28 \text{ kg/cm}^2$
- $K_2 = M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (4,45+4,20) \times 2,34 \times 1,00^2 = 1015 \text{ kgm.} \quad \sigma = 32 \text{ kg/cm}^2$
- $K_3 = M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (4,20+3,90) \times 2,34 \times 1,00^2 = 950 \text{ kgm.} \quad \sigma = 30 \text{ kg/cm}^2$
- $K_4 = M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,90+3,69) \times 2,34 \times 1,10^2 = 1075 \text{ kgm.} \quad \sigma = 34 \text{ kg/cm}^2$
- $K_5 = M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,69+3,38) \times 2,34 \times 1,20^2 = 1195 \text{ kgm.} \quad \sigma = 38 \text{ kg/cm}^2$
- $K_6 = M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,38+2,90) \times 2,34 \times 1,50^2 = 1650 \text{ kgm.} \quad \sigma = 53 \text{ kg/cm}^2$
- $K_7 = M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,90+2,50) \times 2,34 \times 1,70^2 = 1820 \text{ kgm.} \quad \sigma = 58 \text{ kg/cm}^2$

Controle tweede rij palen en kessen

Meewerkende breedte  
1,40 m.

$f = 1,8 \times 1,40 = 2,52$



$$P_{1v} = f \times 3,50 \times 0,950 = 9,9 \text{ t.}$$

$$P_{5v} = f \times 3,20 \times 1,175 = 9,5 \text{ t.}$$

$$P_{2v} = f \times 4,00 \times 0,975 = 8,4 \text{ t.}$$

$$P_{6v} = f \times 2,90 \times 1,325 = 9,7 \text{ t.}$$

$$P_{3v} = f \times 3,75 \times 1,000 = 9,4 \text{ t.}$$

$$P_{7v} = f \times 2,52 \times 1,550 = 9,8 \text{ t.}$$

$$P_{4v} = f \times 3,48 \times 1,050 = 9,2 \text{ t.}$$

$$P_{8v} = f \times 2,10 \times 1,500 = 8,0 \text{ t.}$$

Controle kessen op 2<sup>e</sup> rij palen.

$$K_1 \quad M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (4,24 + 4,00) \times f \times 0,95^2 = 935 \text{ kgm.} \quad \sigma = 30 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_2 \quad M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (4,00 + 3,75) \times f \times 1,00^2 = 976 \text{ kgm.} \quad \sigma = 31 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_3 \quad M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,75 + 3,48) \times f \times 1,00^2 = 910 \text{ kgm.} \quad \sigma = 29 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_4 \quad M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,48 + 3,20) \times f \times 1,10^2 = 1018 \text{ kgm.} \quad \sigma = 32 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_5 \quad M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,20 + 2,90) \times f \times 1,25^2 = 1218 \text{ kgm.} \quad \sigma = 39 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_6 \quad M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,90 + 2,52) \times f \times 1,40^2 = 1340 \text{ kgm.} \quad \sigma = 43 \text{ kg/cm}^2$$

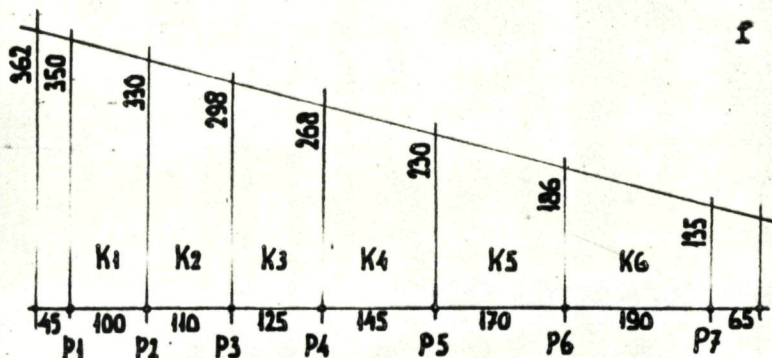
$$K_7 \quad M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,52 + 2,10) \times f \times 1,70^2 = 1680 \text{ kgm.} \quad \sigma = 54 \text{ kg/cm}^2$$

Controle derde rij palen

Meewerkende breedte

$$b = 1,50 \text{ m.}$$

$$f = 1,8 \times 1,50 = 2,70$$



$$P_{1v} = f \times 3,50 \times 0,950 = 9,0 \text{ t.}$$

$$P_{5v} = f \times 2,30 \times 1,575 = 9,8 \text{ t.}$$

$$P_{2v} = f \times 3,30 \times 1,050 = 8,5 \text{ t.}$$

$$P_{6v} = f \times 1,86 \times 1,800 = 9,0 \text{ t.}$$

$$P_{3v} = f \times 2,98 \times 1,175 = 9,4 \text{ t.}$$

$$P_{7v} = f \times 1,35 \times 1,600 = 5,8 \text{ t.}$$

$$P_{4v} = f \times 2,68 \times 1,350 = 9,8 \text{ t.}$$

Controle van de kessen op de 3<sup>e</sup> palenrij.

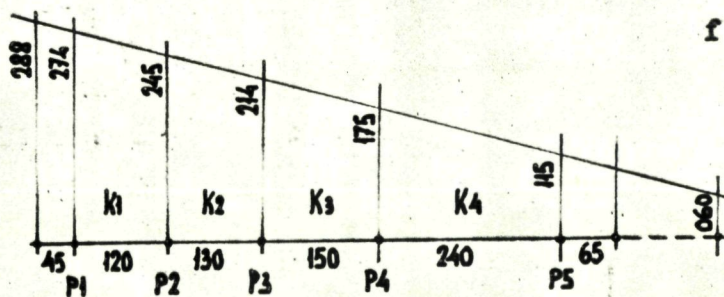
$K_1$	$M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,50+3,30) \times f \times 1,00^2 = 648$	$\sigma = 21 \text{ kg/cm}^2$
$K_2$	$M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,30+2,98) \times f \times 1,10^2 = 1025$	$\sigma = 33 \text{ kg/cm}^2$
$K_3$	$M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,98+2,68) \times f \times 1,25^2 = 1191$	$\sigma = 38 \text{ kg/cm}^2$
$K_4$	$M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,68+2,30) \times f \times 1,45^2 = 1415$	$\sigma = 45 \text{ kg/cm}^2$
$K_5$	$M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,30+1,86) \times f \times 1,70^2 = 1623$	$\sigma = 52 \text{ kg/cm}^2$
$K_6$	$M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (1,86+1,35) \times f \times 1,90^2 = 1568$	$\sigma = 50 \text{ kg/cm}^2$

Controle 4<sup>e</sup> rij palen en kessen.

Meewerkende Breedte

$b = 1,55$

$f = 1,8 \times 1,55 = 2,79$



$P_{1v} = f \times 2,74 \times 1,050 = 8,0 \text{ t.}$	$P_{4v} = f \times 1,75 \times 1,950 = 9,5 \text{ t.}$
$P_{2v} = f \times 2,45 \times 1,250 = 8,6 \text{ t.}$	$P_{5v} = f \times 1,15 \times 1,850 = 5,9 \text{ t.}$
$P_{3v} = f \times 2,14 \times 1,400 = 8,4 \text{ t.}$	

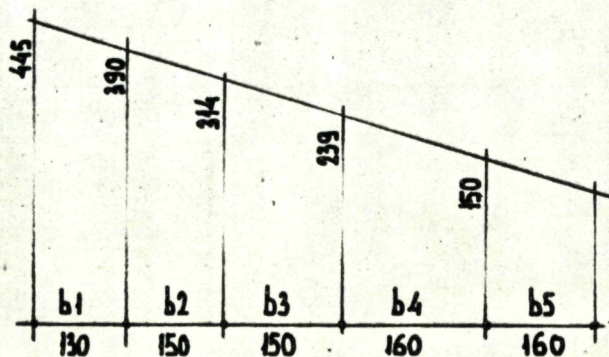
Controle kessen op 4<sup>e</sup> rij palen.

$K_1$	$M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,74+2,45) \times f \times 1,20^2 = 1045$	$\sigma = 34 \text{ kg/cm}^2$
$K_2$	$M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,45+2,14) \times f \times 1,30^2 = 1082$	$\sigma = 35 \text{ kg/cm}^2$
$K_3$	$M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,14+1,75) \times f \times 1,50^2 = 1163$	$\sigma = 37 \text{ kg/cm}^2$
$K_4$	$M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (1,75+1,15) \times f \times 2,40^2 = 2340$	$\sigma = 75 \text{ kg/cm}^2$

a.1 = Vloerplanken.

$d = 12 \text{ cm.}; \quad W = 2400 \text{ cm}^3/\text{m}'$

Berekend zijn de planken over de palen het dichtst bij de damwand gelegen.



b1  $q = \frac{1}{2} (4,45+3,90) \times 1,00 \times 1,8 = 7,53 \text{ t/m}'$

$M = \frac{1}{10} \times 7530 \times 1,3^2 = 1275 \text{ kgm.}$

$\sigma = 53 \text{ kg/cm}^2$

b2  $q = \frac{1}{2} (3,90+3,14) \times 1,00 \times 1,8 = 6,34 \text{ t/m}'$

$M = \frac{1}{10} \times 6340 \times 1,5^2 = 1425 \text{ kgm.}$

$\sigma = 59,2 \text{ "}$

b3 overspanning = b2; belasting minder.

b4  $q = \frac{1}{2} (2,39+1,50) \times 1,00 \times 1,8 = 3,50 \text{ t/m}'$

$M = \frac{1}{10} \times 3500 \times 1,6^2 = 896 \text{ kgm.}$

$\sigma = 37,4 \text{ kg/cm}^2$

b5 overspanning = b4 ; belasting minder.



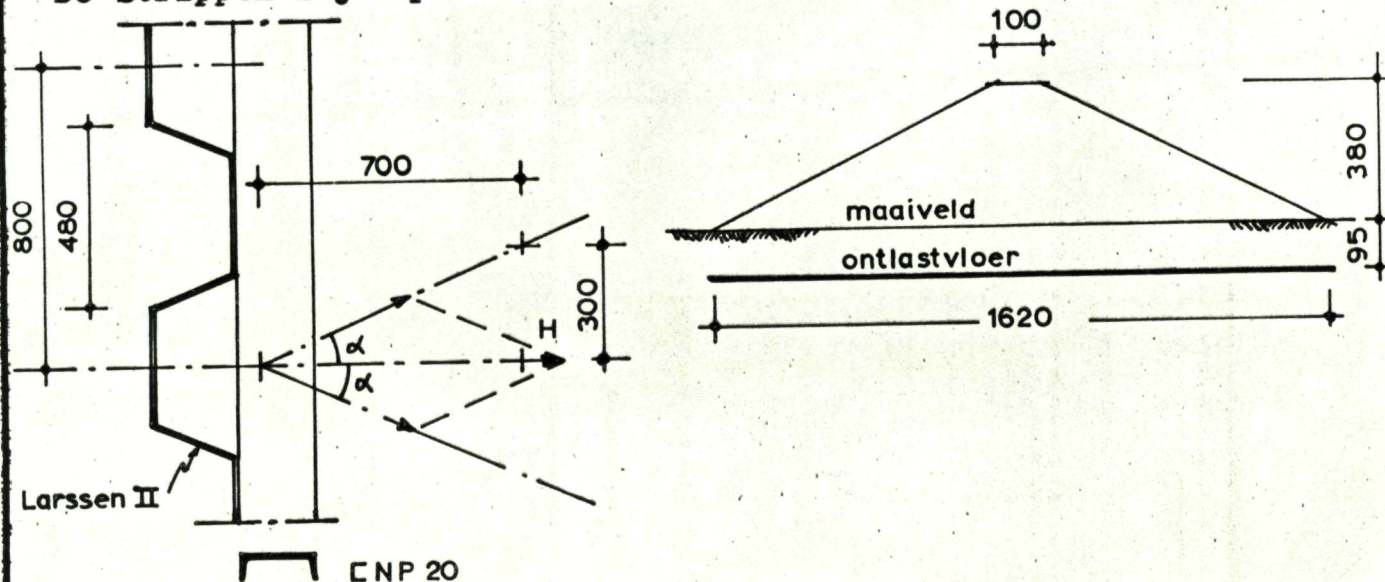
a.2 = Hoofdverbindingen vloer aan damwand.

*corr. tek.*

Toegepast zijn 2 verbindingen, elk bestaande uit 2 strippen, afm.  $d \times b = 19 \text{ m.m.} \times 110 \text{ m.m.}$ ; geplaatst onder een hoek  $2\alpha$ ;

$$\text{tg } \alpha = \frac{1.5}{3.5} = 0.4286 ; \cos \alpha = \frac{3.5}{3.81} = 0.92.$$

De strippen zijn op een aan de damwand gelaste  $\square$ N.P.20, gelast.



De verbindingen worden berekend op de horizontale kracht op de damwand t.g.v. neutrale gronddruk.

Breedte der vloer = 16,20 m. (zie drsn. A-A).

$$\text{Bovenlast} = \frac{0.5 \times 17.2 \times 3.8 \times 1.8}{16.2} = 3.63 \text{ t/m} = 3630 \text{ kg/m}$$

$$\sigma_1 = 3630 \times 0.5 = 1815 \text{ kg/m}^2 ; \sigma_2 = (3630 + 0.95 \times 1800) \times 0.5 = 2670 \text{ kg/m}^2$$

$$H_{\text{totaal}} = 16.2 \times \frac{1815 + 2670}{2} \times 0.95 = 34500 \text{ kg};$$

*toevallig!*

$$\text{Per verbinding is } H = \frac{1}{2} \times 34500 = 17250 \text{ kg};$$

$$\text{Trekkracht in de richting van de strip} = 17250 \times 0.92 = 15860 \text{ kg.}$$

$$\sigma_{\text{strip}} = \frac{15860}{1.9 \times 11} = \frac{15860}{20.9} = 760 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$$

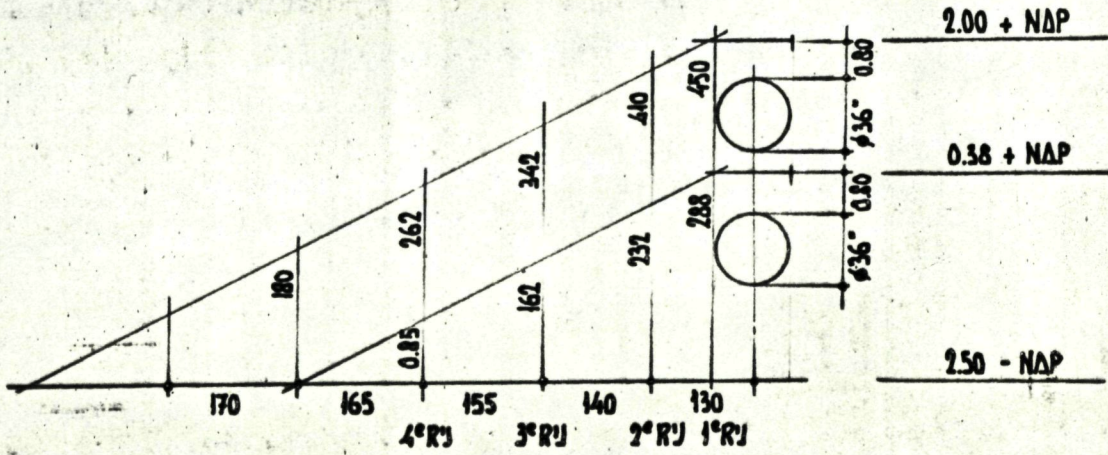
$$\text{Sterkte der } \square \text{ N.P.20 : } W = 191 \text{ cm}^3.$$

$$H = 17250 \text{ kg}; L = 50 \text{ cm}; M = \frac{1}{4} \times 17250 \times 50 = 215625 \text{ kgcm.}$$

$$\sigma = \frac{215625}{191} = 1130 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$$

Voor de lasverbindingen wordt verwezen naar de Katwijkzijde.

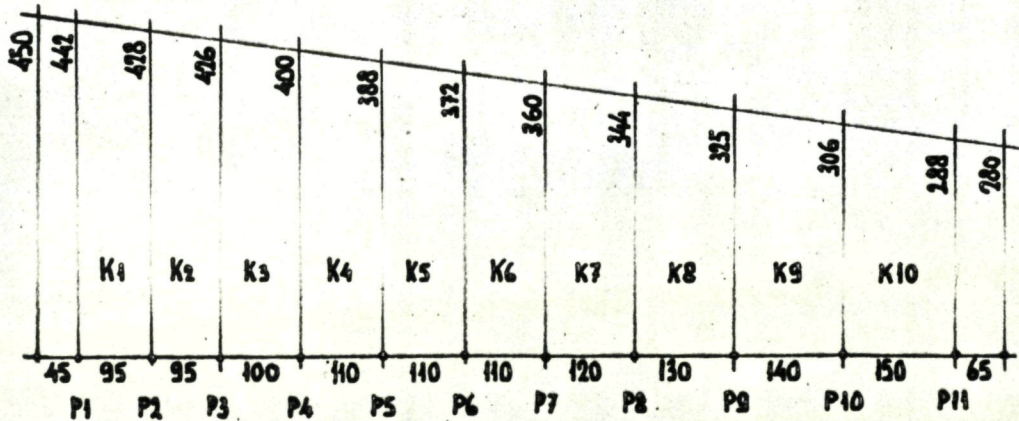
b = Zijde Katwijk.



Controle 1<sup>o</sup> rij palen.

meewerkende breedte  
b = 1.30 m.

$f = 1,8 \times 1,30 = 2,34$



$$\begin{aligned}
 P_{1v} &= f \times 4,42 \times 0,925 = 9,6 \text{ t.} \\
 P_{2v} &= f \times 4,28 \times 0,95 = 9,6 \text{ t.} \\
 P_{3v} &= f \times 4,16 \times 0,975 = 9,5 \text{ t.} \\
 P_{4v} &= f \times 4,00 \times 1,05 = 9,8 \text{ t.} \\
 P_{5v} &= f \times 3,88 \times 1,10 = 10,0 \text{ t.} \\
 P_{6v} &= f \times 3,72 \times 1,10 = 9,7 \text{ t.} \\
 P_{7v} &= f \times 3,60 \times 1,15 = 9,7 \text{ t.} \\
 P_{8v} &= f \times 3,44 \times 1,25 = 10,1 \text{ t.} \\
 P_{9v} &= f \times 3,25 \times 1,35 = 10,3 \text{ t.} \\
 P_{10v} &= f \times 3,06 \times 1,45 = 10,4 \text{ t.} \\
 P_{11v} &= f \times 2,88 \times 1,40 = 9,5 \text{ t.}
 \end{aligned}$$

Controle kespen op 1<sup>e</sup> rij palen.

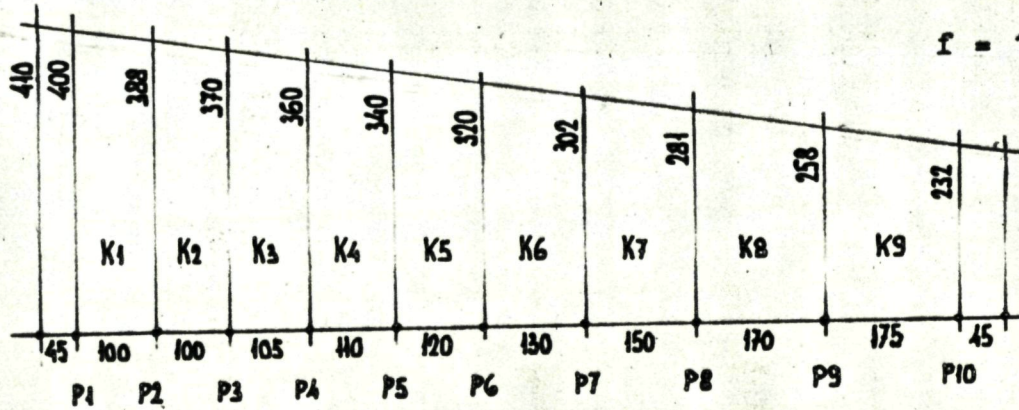
$$\begin{aligned}
 K_1: M &= \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (4,42+4,28) \times f \times 0,95^2 = 918 \text{ kgm.} & \sigma &= 29 \text{ kg/cm}^2 \\
 K_2: M &= \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (4,28+4,16) \times f \times 0,95^2 = 890 \text{ kgm.} & \sigma &= 28 \text{ kg/cm}^2 \\
 K_3: M &= \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (4,16+4,00) \times f \times 1,00^2 = 955 \text{ kgm.} & \sigma &= 31 \text{ kg/cm}^2 \\
 K_4: M &= \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (4,00+3,88) \times f \times 1,10^2 = 1113 \text{ kgm.} & \sigma &= 36 \text{ kg/cm}^2 \\
 K_5: M &= \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,88+3,72) \times f \times 1,10^2 = 1076 \text{ kgm.} & \sigma &= 34 \text{ kg/cm}^2 \\
 K_6: M &= \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,72+3,60) \times f \times 1,10^2 = 1036 \text{ kgm.} & \sigma &= 33 \text{ kg/cm}^2 \\
 K_7: M &= \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,60+3,44) \times f \times 1,20^2 = 1186 \text{ kgm.} & \sigma &= 38 \text{ kg/cm}^2 \\
 K_8: M &= \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,44+3,25) \times f \times 1,30^2 = 1325 \text{ kgm.} & \sigma &= 42 \text{ kg/cm}^2 \\
 K_9: M &= \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,25+3,06) \times f \times 1,40^2 = 1450 \text{ kgm.} & \sigma &= 46 \text{ kg/cm}^2 \\
 K_{10}: M &= \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,06+2,88) \times f \times 1,50^2 = 1562 \text{ kgm.} & \sigma &= 50 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Controle 2<sup>e</sup> rij palen.

meewerkende breedte

$b = 1,35 \text{ m.}$

$f = 1,8 \times 1,35 = 2,43$



$P_1 = f \times 4,00 (0,45+0,5) = 9,8 \text{ t.}$	$P_{6v} = f \times 3,20 \times 1,25 = 9,7 \text{ t}$
$P_{2v} = f \times 3,88 \times 1,0 = 9,4 \text{ t.}$	$P_{7v} = f \times 3,02 \times 1,40 = 10,2 \text{ t.}$
$P_{3v} = f \times 3,70 \times 1,025 = 9,2 \text{ t.}$	$P_{8v} = f \times 2,81 \times 1,60 = 10,7 \text{ t.}$
$P_{4v} = f \times 3,60 \times 1,075 = 9,4 \text{ t.}$	$P_{9v} = f \times 2,58 \times 1,725 = 10,8 \text{ t.}$
$P_{5v} = f \times 3,40 \times 1,15 = 9,5 \text{ t.}$	$P_{10v} = f \times 2,32 \times 1,1 = 6,2 \text{ t.}$

Controle kessen op 2<sup>e</sup> rij palen.

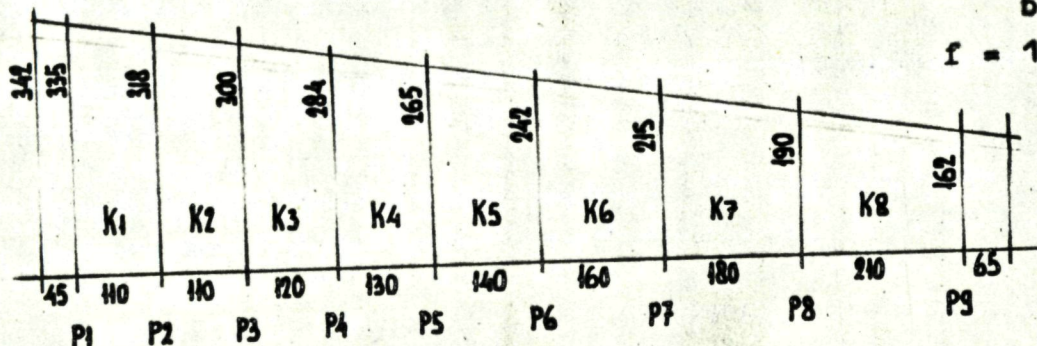
$K_1 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (4,00+3,88) \times f \times 1,00^2 = 970 \text{ kgm.}$	$\sigma = 31 \text{ kg/cm}^2$
$K_2 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,88+3,70) \times f \times 1,00^2 = 923 \text{ kgm.}$	$\sigma = 29 \text{ kg/cm}^2$
$K_3 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,70+3,60) \times f \times 1,05^2 = 976 \text{ kgm.}$	$\sigma = 31 \text{ kg/cm}^2$
$K_4 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,60+3,40) \times f \times 1,10^2 = 1030 \text{ kgm.}$	$\sigma = 33 \text{ kg/cm}^2$
$K_5 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,40+3,20) \times f \times 1,20^2 = 1154 \text{ kgm.}$	$\sigma = 37 \text{ kg/cm}^2$
$K_6 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,20+3,02) \times f \times 1,30^2 = 1278 \text{ kgm.}$	$\sigma = 41 \text{ kg/cm}^2$
$K_7 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,02+2,81) \times f \times 1,50^2 = 1600 \text{ kgm.}$	$\sigma = 51 \text{ kg/cm}^2$
$K_8 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,81+2,58) \times f \times 1,70^2 = 1895 \text{ kgm.}$	$\sigma = 61 \text{ kg/cm}^2$
$K_9 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,58+2,32) \times f \times 1,75^2 = 1825 \text{ kgm.}$	$\sigma = 58 \text{ kg/cm}^2$

Controle palen in 3<sup>e</sup> rij.

Meewerkende breedte

$b = 1,475$

$f = 1,8 \times 1,475 = 2,65$

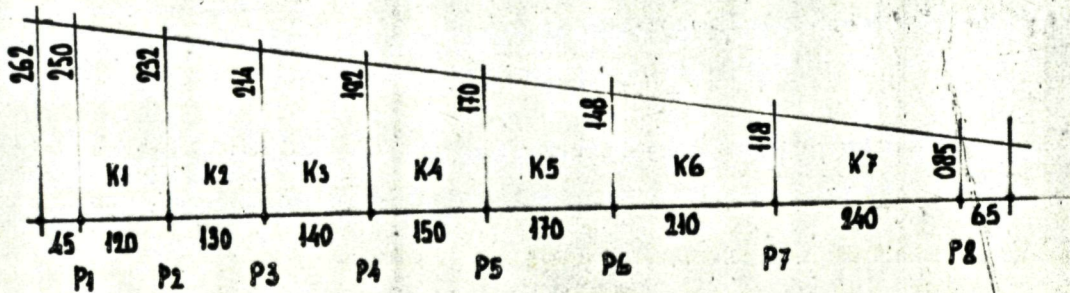


$P_{1v} = f \times 3,35 \times 1,00 = 8,9 \text{ t.}$	$P_{6v} = f \times 2,42 \times 1,50 = 9,6 \text{ t.}$
$P_{2v} = f \times 3,18 \times 1,10 = 9,3 \text{ t.}$	$P_{7v} = f \times 2,15 \times 1,70 = 9,7 \text{ t.}$
$P_{3v} = f \times 3,00 \times 1,15 = 9,2 \text{ t.}$	$P_{8v} = f \times 1,90 \times 1,95 = 9,8 \text{ t.}$
$P_{4v} = f \times 2,84 \times 1,25 = 9,4 \text{ t.}$	$P_{9v} = f \times 1,62 \times 1,70 = 7,3 \text{ t.}$
$P_{5v} = f \times 2,65 \times 1,35 = 9,5 \text{ t.}$	

Controle kespen op 3<sup>e</sup> rij palen.

$K_1 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,35+3,18) \times f \times 1,10^2 = 1032 \text{ kgm.}$	$\sigma = 32 \text{ kg/cm}^2$
$K_2 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,18+3,00) \times f \times 1,10^2 = 990 \text{ kgm.}$	$\sigma = 32 \text{ kg/cm}^2$
$K_3 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (3,00+2,84) \times f \times 1,20^2 = 1114 \text{ kgm.}$	$\sigma = 35 \text{ kg/cm}^2$
$K_4 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,84+2,65) \times f \times 1,30^2 = 1230 \text{ kgm.}$	$\sigma = 39 \text{ kg/cm}^2$
$K_5 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,65+2,42) \times f \times 1,40^2 = 1320 \text{ kgm.}$	$\sigma = 42 \text{ kg/cm}^2$
$K_6 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,42+2,15) \times f \times 1,60^2 = 1555 \text{ kgm.}$	$\sigma = 50 \text{ kg/cm}^2$
$K_7 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,15+1,90) \times f \times 1,80^2 = 1655 \text{ kgm.}$	$\sigma = 53 \text{ kg/cm}^2$
$K_8 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (1,90+1,62) \times f \times 2,10^2 = 2055 \text{ kgm.}$	$\sigma = 66 \text{ kg/cm}^2$

Controle palen in 4<sup>e</sup> rij.



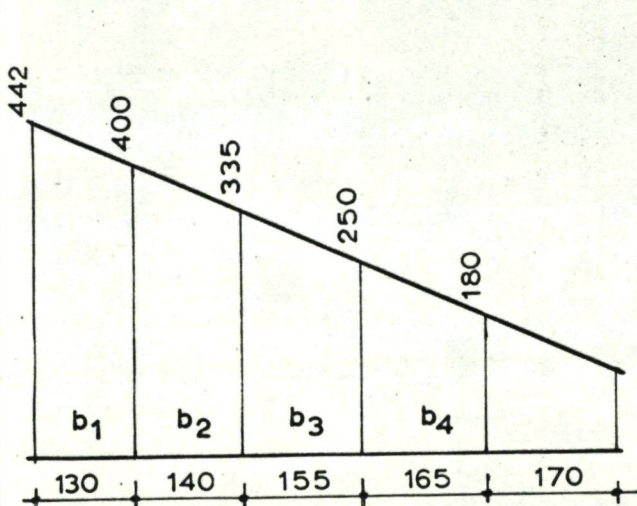
$P_1 = f \times 2,50 \times 0,825 = 5,9 \text{ t.}$	$P_5 = f \times 1,70 \times 1,60 = 7,8 \text{ t.}$
$P_2 = f \times 2,32 \times 1,25 = 8,3 \text{ t.}$	$P_6 = f \times 1,48 \times 1,90 = 8,1 \text{ t.}$
$P_3 = f \times 2,14 \times 1,35 = 8,3 \text{ t.}$	$P_7 = f \times 1,18 \times 3,25 = 7,7 \text{ t.}$
$P_4 = f \times 1,92 \times 1,45 = 8,0 \text{ t.}$	$P_8 = f \times 0,85 \times 1,525 = 3,7 \text{ t.}$

Controle kespen op palen in 4<sup>e</sup> rij.

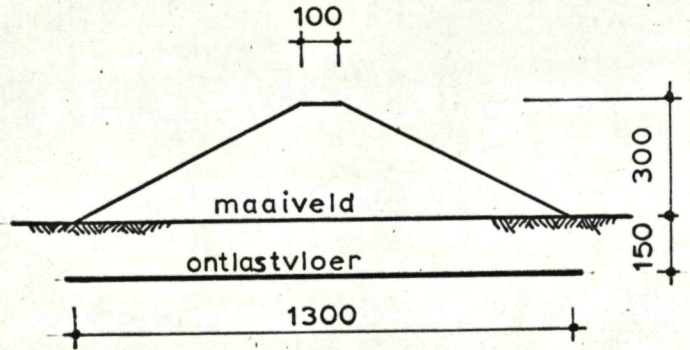
$K_1 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,50 + 2,32) \times f \times 1,20^2 = 1000 \text{ kgm.}$	$\sigma = 32 \text{ kg/cm}^2$
$K_2 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,32 + 2,14) \times f \times 1,30^2 = 1085 \text{ kgm.}$	$\sigma = 35 \text{ kg/cm}^2$
$K_3 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (2,14 + 1,92) \times f \times 1,40^2 = 1147 \text{ kgm.}$	$\sigma = 37 \text{ kg/cm}^2$
$K_4 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (1,92 + 1,70) \times f \times 1,50^2 = 1172 \text{ kgm.}$	$\sigma = 37 \text{ kg/cm}^2$
$K_5 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (1,70 + 1,48) \times f \times 1,70^2 = 1322 \text{ kgm.}$	$\sigma = 42 \text{ kg/cm}^2$
$K_6 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (1,48 + 1,18) \times f \times 2,10^2 = 1690 \text{ kgm.}$	$\sigma = 54 \text{ kg/cm}^2$
$K_7 : M = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (1,18 + 0,85) \times f \times 2,40^2 = 1695 \text{ kgm.}$	$\sigma = 54 \text{ kg/cm}^2$

b.1 = Vloerplanken  $W = 2400 \text{ cm}^3/\text{m}^3$  (voor schets: zie pag. F12)

b.1 :	$q = \frac{1}{2} (4,42 + 4,00)$	
	$M = \frac{1}{10} \times q \times 1,8 \times 1,00 \times 1,30^2 = 1280 \text{ kgm.}$	$\sigma = 53 \text{ kg/cm}^2$
b.2 :	$q = \frac{1}{2} (4,00 + 3,35)$	
	$M = \frac{1}{10} \times q \times 1,8 \times 1,00 \times 1,40^2 = 1290 \text{ kgm.}$	$\sigma = 54 \text{ kg/cm}^2$
b.3 :	$q = \frac{1}{2} (3,35 + 2,50)$	
	$M = \frac{1}{10} \times q \times 1,8 \times 1,00 \times 1,55^2 = 1270 \text{ kgm.}$	$\sigma = 53 \text{ kg/cm}^2$
b.4 :	$q = \frac{1}{2} (2,50 + 1,80)$	
	$M = \frac{1}{10} \times q \times 1,8 \times 1,00 \times 1,65^2 = 1055 \text{ kgm.}$	$\sigma = 44 \text{ kg/cm}^2$



Bij  $b_1$  = vloerplanken.



Bij  $b_2$  - (zie hieronder).

b.2 - Hoofdverbindingen vloer aan Damwand.

Dezelfde constructie als voor de Woerden zijde is toegepast.

Bepaling der neutrale gronddruk

$h = 2,50 - 1,00 = 1,50 \text{ m}$ ; Bovenlast =  $\frac{0,5 \times 14 \times 3 \times 1,8}{13} = 2,91 \text{ t/m}^2$

Vloerbreedte =  $1 + 4 \times 3 = 13 \text{ m}$ ;

$\sigma_1 = 0,5 \times 2910 = 1455 \text{ kg/m}^2$ ;  $\sigma_2 = (2910 + 1,5 \times 1800) \times 0,5 = 2805 \text{ kg/m}^2$

$H_{\text{totaal}} = \frac{1455 + 2805}{2} \times 13 = 27690 \text{ kg}$ .

Trekkraft in de richting van de strip =  $0,5 \times 27690 \times 0,92 = 12740 \text{ kg}$ .

$\sigma_{\text{strip}} = \frac{12740}{20,9} = 610 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$

Sterkte der N.P.20 :

$M = \frac{1}{4} \times 13235 \times 50 = 165435 \text{ kgcm}$ .

$\sigma = \frac{165435}{191} = 867 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$

De lassen :  $\bar{\tau} = 0,58 \times \bar{\sigma} = 812 \text{ kg/cm}^2$

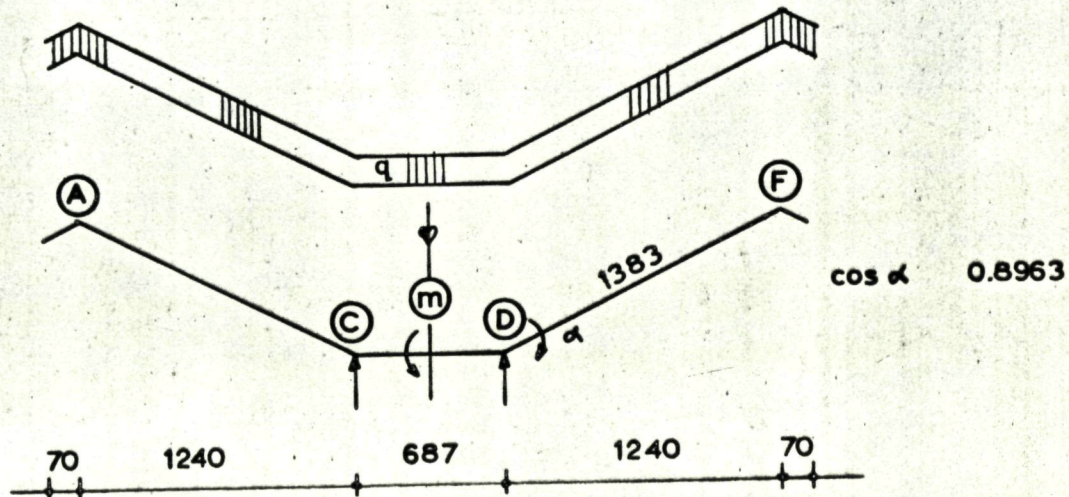
De laslengte  $L = 2 \times (200 - 30) = 340 \text{ mm}$ ;

$\tau = \frac{0,5 \times 27690}{34 \times 1,3} = 314 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau}$ .

*Σ Phor. pelen ≡ T<sub>neut.</sub> ?*

G = Uitvoering.

Het fixeren der punten A en F na het afzinken der zinker.



Bij het stellen van de zinker zal het totale gewicht ervan worden gedragen door de 2 st.ptn. C en D.  
Daarbij is dus de zakking van de punten A en F ten gevolge van het e.g. der buis te berekenen.

Worden de punten A en F evenveel in tegengestelde zin omhoog gezet, dan wordt de buis in de punten C en D nagenoeg spanningsloos in langsrichting.

Belastingen:

e.g. ommantelde buis onder water = 200 kg/m'

$$L = 2 \times (0.70 + 12.40 \times \frac{1}{0.8963}) + 6.87 = 2 \times (0.7 + 13.83) + 6.87 = 35.93 \text{ m.}$$

$$\text{Reacties } R_C = R_D = 0.5 \times 200 \times 35.93 = 3593 \text{ kg.}$$

Het midden m is een symmetrie punt, zodat de buis in dit punt ingeklemd kan worden gedacht.

$$M_D = 200 \times 14.53 \times \frac{13.1}{2} = 19035 \text{ kgm} ; \sigma_y = \frac{19035}{9629} = 198 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_H = \frac{1}{8} \times 200 \times 6.87^2 - 19035 = 1180 - 19035 = -17855 \text{ kgm.}$$



Uit de hoekverdraaiing in D t.o.v. het punt m. wordt tenslotte de zakking in F berekend.

De hoekverdraaiing  $\varphi_D$

$$\text{t.g.v. } q \text{ op m D: } \frac{qL^3}{6 EI} = \frac{2 \times 343.5^3}{EI} = 13510113 \times \frac{1}{EI}$$

$$\text{" " " } M_D \text{ op m D: } \frac{M_{D.L}}{EI} = \frac{1903500 \times 343.5}{EI} = 653852250 \times \frac{1}{EI}$$

$$\text{" " " Dw.Kr. op m D: } - \frac{D_m \times L^2}{2 EI} = - \frac{687 \times 343.5^2}{2 EI} = -40530338 \times \frac{1}{EI}$$

$$\varphi_D = \frac{626832025}{EI}$$

$$EI = 2.1 \times 10^6 \times 440300 = 924630 \times 10^6 \text{ kgcm}^2 ;$$

$$\varphi_D = \frac{626832025}{924630} \times 10^{-6} = 677.9 \times 10^{-6}$$

De zakking in F t.o.v. het punt D.

$$q' = 2 \times \frac{1383}{1240} = 2.23 \text{ kg/cm'}$$

de zakking  $y_F$

$$\text{t.g.v. } q', \text{ op DF: } \frac{q'L^4}{8 EI} = \frac{2.23 \times 1240^4}{8 EI} = 659024586000 \times \frac{1}{EI}$$

$$\text{t.g.v. } \varphi_D: \varphi_D \times L = \frac{626832025 \times 1240}{EI} = 777271711000 \times \frac{1}{EI}$$

$$\frac{1436296297000}{EI}$$

$$y_F = \frac{1436296.297 \times 10^6}{924630 \times 10^6} = 1.553 \text{ cm.} = \text{rond } 16 \text{ m.m.}$$

De correctie der ophangpunten B en E.

$$\text{Zakking t.g.v. de belasting} = 2 \text{ m.m.}$$

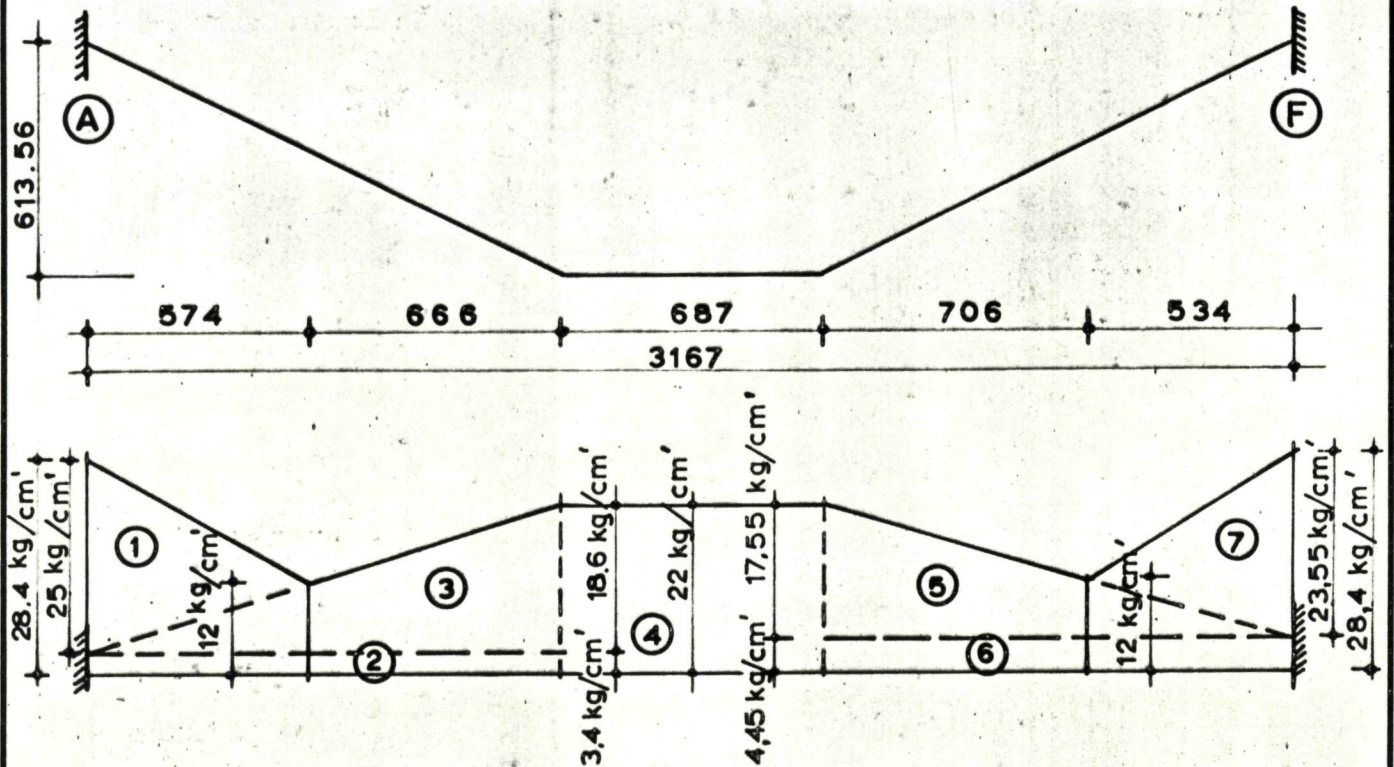
$$\text{" bij gastoelating} = \frac{574}{1240} \times 6.99 = 3 \text{ "}$$

$$\text{totale} = 5 \text{ m.m.}$$

Correctie = totale zakking = 5 m.m.

Op grond van het bovenstaande zijn deze waarden in de uitvoeringsinstructies opgenomen.

Het wegvallen der st.ptn. B tot en met E bij het uitvallen van gas.  
De zinker is dan een aan beide zijden ingeklemde ligger.



SCHEMA.

Belastingen	in kg.	arm in m.	mom. t.o.v. F	in kgm.
28.4 x 0.5 x 574 =	8150	29.76	8150 x 29.76 =	242544
12 x " x " =	3445	27.84	3445 x 27.84 =	95909
12 x " x 666 =	3995	23.71	3995 x 23.71 =	94721
22 x " x " =	7325	21.49	7325 x 21.49 =	157414
22 x 687 =	15090	15.835	15090 x 15.835 =	238950
22 x 0.5 x 706 =	7765	10.05	7765 x 10.05 =	78038
12 x " x " =	4235	7.69	4235 x 7.69 =	32567
12 x " x 534 =	3205	3.56	3205 x 3.56 =	11410
28.4 x " x " =	7590	1.78	7590 x 1.78 =	14151
<b>Totaal</b>	<b>= 60800 kg.</b>			<b>965704</b>

Reacties (wegens de inklemming verdubbeld).

$$R_A = 2 \times \frac{965704}{31.67} = 2 \times 30495 = 60990 \text{ kg.}$$

$$R_B = 2 \times (60800 - 30495) = 60610 "$$

Ter bepaling van de inklemmingsmomenten is de indeling der belastingen  $Q_1$  tot en met  $Q_7$  gemaakt (zie schema).

Toelichting:  $10 + \frac{574}{666} \times 10 = 18.6 \text{ kg/cm'}$ ;  $10 + \frac{534}{706} \times 10 = 17.55 \text{ kg/cm'}$

Bepaling van $M_{x.A}$ :		in kgcm.
t.g.v. $Q_1$ :	$\frac{25 \times 574^2}{60 \times 3167^2} \times (3 \times 574^2 + 10 \times 574 \times 2593 + 10 \times 2593^2) =$	1135150
" $Q_2$ :	$\frac{3.4}{3167^2} \times \left( \frac{3167^2 \times 1240^2}{2} - \frac{2}{3} \times 3167 \times 1240^3 + \frac{1240^4}{4} \right) =$	1981710
" $Q_3$ :	$\frac{18.4}{3167} \times \left( \frac{1240^4}{5 \times 3167} - \frac{1240^3}{2} + \frac{1240^2 \times 3167}{3} \right) =$	4759500
" $Q_4$ :	$\frac{22}{3167^2} \times \left( 3167 \times \frac{1927^3 - 1240^3}{3} - \frac{1927^4 - 1240^4}{4} \right) =$	6109400
" $Q_5$ :	$\frac{17.55}{3167} \times \left( \frac{1240^3}{4} - \frac{1240^4}{50 \times 3167} \right) =$	182430
" $Q_6$ :	$\frac{4.45}{3167^2} \times \left( \frac{3167 \times 1240^3}{3} - \frac{1240^4}{4} \right) =$	631055
" $Q_7$ :	$\frac{23.55 \times 534^2}{60 \times 3167^2} \times (2 \times 534^2 + 5 \times 534 \times 2633) =$	848105
Totaal: $-M_{xA}$		= 15647350

$$M_{x \text{ Agered.}} = -15647350 + \frac{60990 \times 80}{8} = -15038260 \text{ kgcm.}$$

$$\text{Axiaal : } \sigma_x = \pm \frac{15038260}{9629} = \pm 1562 \text{ kg/cm}^2$$

Tangentieel :

Totale belasting =	60990 kg.
Directe belasting = $28.4 \times 80 \times \frac{1}{0.86603}$	= 2620 "
Totale indirecte belasting	= 58370 kg.
$Q_D$	= $\frac{58370}{80} = 729.6 \text{ kg/cm}^2$

In de top van de normaaldrsn. over het st.pt. is het moment maatgevend.

$$M_{y \text{ Top}} = 0.026 \times 729.6 \times 44.95 = 852 \text{ kgcm/cm}^2$$

$$N_{y \text{ Top}} = 0.119 \times 729.6 = 87 \text{ kg/cm.}$$

$$\sigma_y \text{ Top} = \pm \frac{852}{0.3971} + \frac{87}{1.5435} = \pm 2140 + 56 = 2196 \text{ kg/cm}^2$$

en 2084 "

Spanningscombinatie voor de top :  $\sigma_x = 1562 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma_y = 2196 \text{ kg/cm}^2$ ;  
 $\tau = 0$

$$\sigma_1 = 2196 \text{ kg/cm}^2 < 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 1562 \text{ "}$$

204

Bepaling der waterdruk t.b.v. het afpersen na de afwerking.

De belastingen worden verhoogd met het gewicht van de water-vulling.

$$q_w = 10 \times \frac{1}{4} \pi \times 8,8353^2 = 615 \text{ kg/m'}$$

Daar de tangentiële spanningen maatgevend zijn en uit de sterkte berekeningen blijkt dat de hoogste spanning voorkomt in het st.pt. E, kan volstaan worden met de berekening der  $\sigma_y$  in de top in een normaal drsn. boven het st.pt. E.

Totale reactie in E =	$\frac{9975}{1.1158} + \frac{7,88 + 5,96}{2} \times 615 =$	
	$= 8940 + 4260$	= 13200 kg.
Directe belasting =	$0.15 \times (1075 + \frac{895 + 1470}{2})$	= 340 "
Totale indirecte belasting		= <u>12860 kg.</u>

~~12860~~  
 $Q_D = \frac{12860}{24} = 536 \text{ kg/cm'}$  ;

t.g.v.  $Q_D$  :  $M_y = 0.026 \times 536 \times 44.95 = 626 \text{ kgcm/cm'}$   
 $N = 0.119 \times 536 = 64 \text{ kg/cm'}$

Stelt men de testdruk op p, dan is:

$$\sigma_{max.} = 3600 = 29.1 p + \frac{1}{1 + \frac{0.4495^3 \times 0.083}{0.322} \times p} \times \frac{626}{0.3977} + \frac{64}{1.5435}$$

$$3600 = 29.1 p + \frac{1}{1 + 0.0234 p} \times 1575 + 41$$

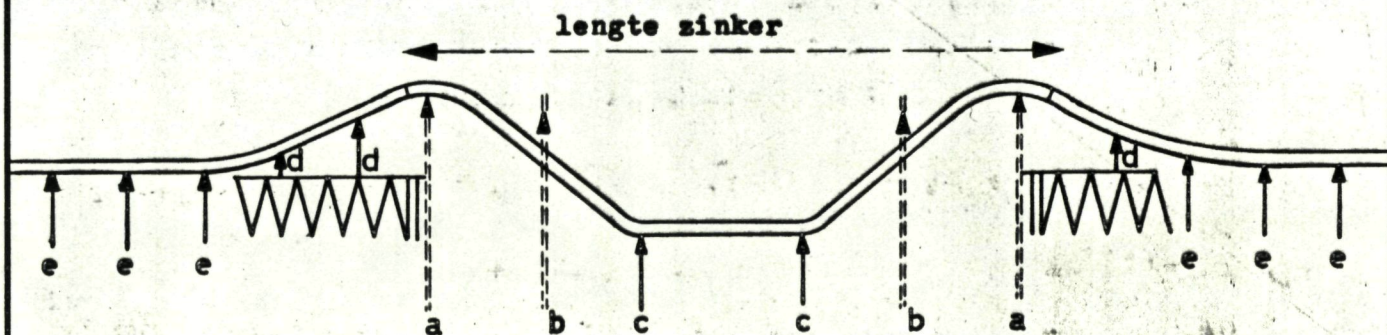
Uitgewerkt:  $p^2 - 79.7 p - 2918 = 0$ , waaruit:

$$p = 39.85 + \sqrt{39.85^2 + 2918} = 39.85 + 67.15 = 107 \text{ kg/cm}^2$$

oversienkomend met  $\frac{107}{1.0197} = 105 \text{ bars.}$

BOUW- EN MONTAGEVOORSCHRIFTEN  
VOOR DE KRUISING VAN DE 36"  
AARDGASLEIDING MET DE DUBBELE  
WIERICKE.

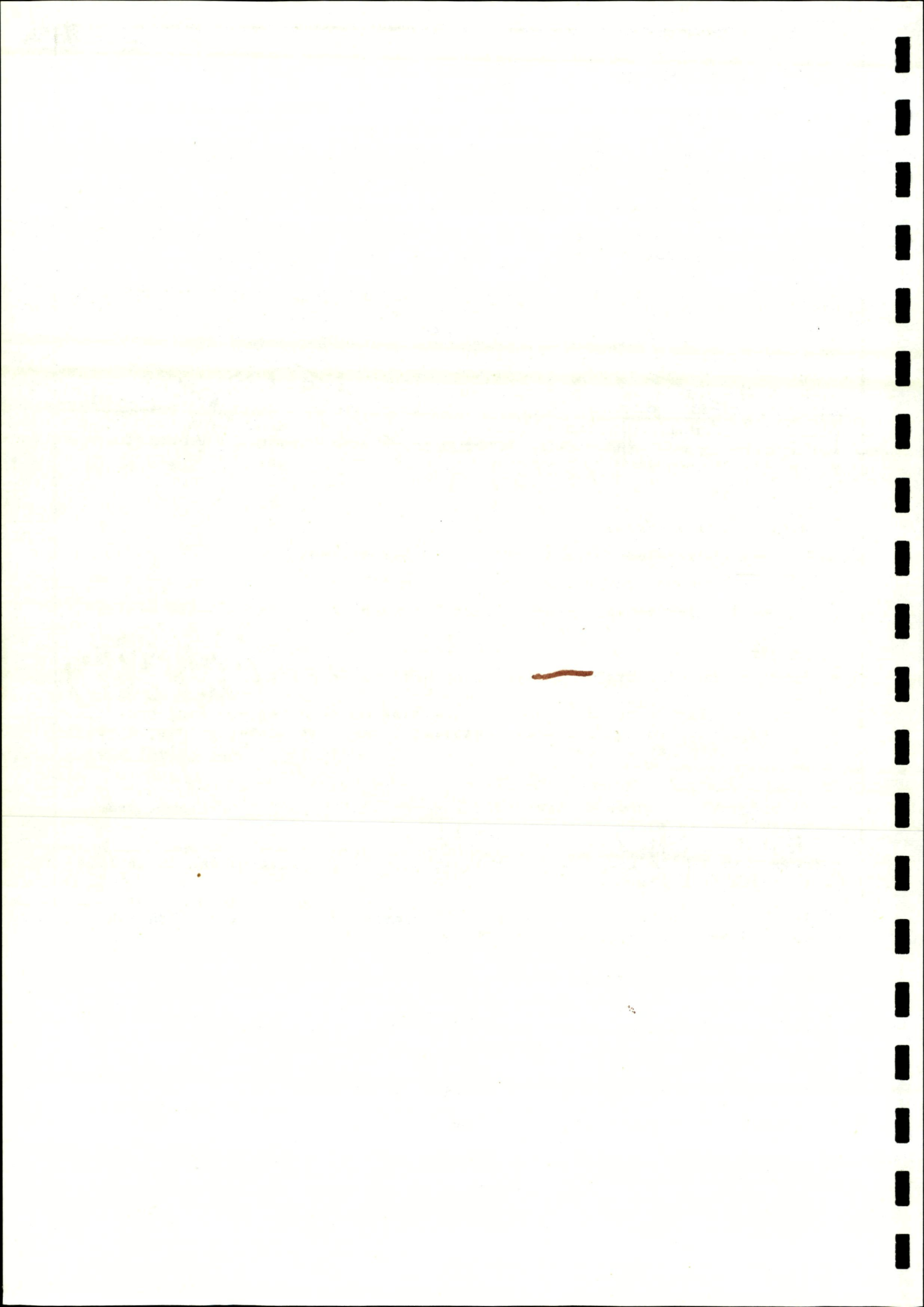
- a) Het volledige ontwerp van de kruising is aangegeven op de tekeningen genummerd Q-2204-25-1 Rev. 3/4, Rev. 3/5, Rev. 1/6 Rev. 2.
- b) Voor de gebezigde nomenclatuur wordt verwezen naar onderstaande schets:



- a, b damwand ondersteuning;
- c paal ondersteuning met prefab betonnen sloven;
- d betonnen ondersteuning ter plaatse gestort;
- e paal ondersteuning voorzien van betonnen zadels ter plaatse gestort.

Bouwwijze :

- 1) Inheien van alle stalen damwanden op het juiste peil. *(waterzijde d. R.34.)*
- 2) Uitgraven van de grond tussen de damwanden opdat de ankers aangebracht kunnen worden en de damwanden eventueel bijgericht kunnen worden, terwijl gelijktijdig het voorgeschreven aantal damwanden aan elkaar gelast moet worden.
- 3) De ontgraving tussen de damwanden laagsgewijs en goed aangestampt weder aanvullen met klei.
- 4) *Houten paal* Weggraven van de grond tot op het juiste peil ter plaatse van de ontlast vloeren.
- 5) Inheien van de houten palen ter ondersteuning van de ontlast vloer en ter plaatse van de paaljukken buiten de kruising.
- 6) Afbouw van de ontlast vloer.
- 7) Kleiaanvulling aanbrengen op een gedeelte van de ontlast vloer, grenzend aan de achterste damwand a welke zo goed mogelijk verdicht dient te worden in verband met de waterdichtheid.
- 8) Het uitgraven van de sleuf ter plaatse van de zinker. Tijdens het uitgraven zijn waterpassingen te verrichten t.a.v. het talud waaronder de kanaalbodem gaat staan.
- 9) Inheien van de palen in het kanaal, waarbij een drijvende heistelling wordt gerefereerd.



- 10) Afzagen van de paalkoppen onder water, waarna een waterpassing van de hoogte van de paalkoppen door of vanwege de vergunningverlener zal worden verricht.  
Hoogteverschillen dienen te worden opgevangen door het aanbrengen van een loodslabbe in de uitsparingen van de aan te brengen prefab-sloof.
- 11) Stellen van de prefab-sloven op de palen waarna wederom een waterpassing dient te worden verricht.
- 12) Voordat de betonverzwaring in de fabriek op de pijp wordt gespoten dient eerst de beugelconstructie ter plaatse van de damwandondersteuning b op de voorgeschreven wijze op de buis te worden aangebracht.
- 13) Het afzinken van de geprefabriceerde zinker, waarbij de prefab-betonnen zadelstukken met schuimplastic en vilt, welke komen te rusten op de reeds aangebrachte prefab-sloven in het kanaal, vooraf op de juiste plaats aan de zinker zijn bevestigd; de beugel heeft een speling van minimaal 7 mm. *zie enkele W. 107 6u 107 4/2.*
- 14) Aanbrengen van de hangconstructie van de damwandondersteuning b.
- 15) Ondersteuning b zodanig afstellen door aandraaien van de hanger dat de buis ter plaatse van ondersteuning a 16 mm hoger komt te liggen dan de situatie was na het plaatsen van de zinker, waarbij de laatste vrij op de beide kanaalondersteuning c rust.
- 16) Afpersen van de zinker door middel van waterdruk tot maximaal 90% van de vloeigrens van het buisstaal, waarbij de zinkereinden bij a tijdelijk worden afgesloten. De hiermede overeenkomende waterdruk bedraagt dan maximaal 107 bar. Hierna wordt de zinker geland. *edigd.*
- 17) Aanstorten van de ondersteuning a waarbij in het bijzonder erop gelet moet worden dat het schuimplastic niet beschadigd of gecompriemd wordt. *9.107 4/2*
- 18) Ondersteuning b 5 mm omhoog brengen door aandraaien van de hanger nadat wiggen aan de bovenkant van de buis bij a zijn aangebracht, zodanig dat de buis hier niet omhoog kan komen doch wel kan draaien en horizontaal verplaatsen (wiggen aan de landzijde).
- 19) Lassen van de aansluitende buislengten bij a.
- 20) Aanstorten van de ondersteuning d en e.
- 21) Aanvullen klei boven ~~paalvloer~~ *ondersteuning* en terrein waarbij met eigen klink rekening is te houden.
- 22) Kleiaanvullingen van de uitgegraven sleuf in het kanaal.
- 23) De ophanging b 3 mm laten zakken door losdraaien van de hanger.
- 24) De juiste maatvoering voor wat betreft de hoogteligging der ondersteuning, het plaatsen van de zinker, het aan- of lasdraaien van de ophanger en beide afpersingen zullen tijdens deze handelingen worden gecontroleerd door of vanwege de vergunning verlenende instantie.
- 25) Afwerking en wederom afpersen met water van een sectie waarvan de kruisende strekking deel uitmaakt. Onder geen beding mag 90% van de vloeigrens van het buisstaal in de kruisende strekking incl. veiligheidszone optreden.
- 26) Toelaten gasdruk. *+ zie enkele W. 105 2 107.*

