

VI-10(n)

RAADGEVEND INGENIEURSBUREAU *Bish & Partners n.v.*

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

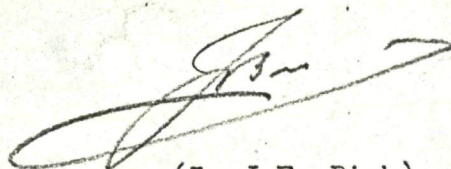
STERKTE BEREKENINGEN DER KRUISING VAN DE REGIONALE
AARDGASLEIDING Ø 400 MET DE RINGVAART ZUIDPLASPOLDER.

Inhoudsopgave :

- A = Uitgangspunten van de berekening.
- B = Berekening der mantelbuis.
- C = Berekening der gasvoerende buis.
- D = Berekening der damwanden van de werkput.
- E = Uitvoeringsinstructie.

's-Gravenhage, 7 september 1966.

BISH & PARTNERS N.V.,



(Ir J.F. Bish).

Bijlagen:

Brieven L.G.M. te Delft : C(0) 16104/49 d.d. 11-1-1966.

C(0) 16104/72 d.d. 1-6-1966 + bijlage 12

(=sonderingen +
boringen)

Routekaart tek. 501-83-701.

Brief L.G.M. te Delft : (C)0-16104/78 d.d. 29 augustus 1966.

A = Uitgangspunten der berekening.

De mantelbuis.

Voor het opzetten der sterkteberekeningen der mantelbuis dienen bekend te zijn de zettingsbreedte L_z , alsmede de grondbelastingen en de uiteindelijke zettingen over L_z .

Daar de hierbij als bijlagen gevoegde adviezen van het L.G.M. te Delft N^o C(0)-16104/49 dd 11-1-1966 en C(0)-16104/72 - dd.1-6-1966 uitsluitend gegevens inhouden betreffende de damwanden der werkput resp. grondbelastingen op de buis $\varnothing 24''$ waarvan de bovenkant op 6,00 m.-N.A.P. is geprojecteerd, werd door de Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland aan de hand van sonderingen en boringen bijlage CO-16104-12 van het L.G.M. een zettingsbreedte met het verloop der zettingen over deze breedte berekend m.b.v. de methode Jurgenson, waarbij de vaste zandlaag op 15,70 m.-N.A.P. is aangehouden. Omgeveer dezelfde zettingsbreedte wordt verkregen, indien van uit de kant weg zowel aan de west- als aan de oostzijde een belastingspreiding onder 45° wordt aan genomen. E.e.a. is op de tekening aan het eind van dit hoofdstuk aangegeven.

Doordat in de kanaal-enwegassen zettingen werden berekend van resp. 30 cm. en 80 cm., zal t.g.v. de belastingen, de aanvankelijk aan de einden der totale zettingsbreedte opgelegde ligger in de kanaalas een doorbuiging verkrijgen groter dan 30 cm., zodat deze buis uiteindelijk een ligger op 3 st.ptn. zal zijn.

De theoretische overspanning der ligger op 2 st.ptn. is :
 $L_{th} = L_z + 1/2 (L_{ol} + L_{or})$, waarin L_{ol} en L_{or} de opleglengten zijn van het linker- resp. rechter st.pt.

De opleglengten worden bepaald aan de hand van de volgende uitgangspunten.

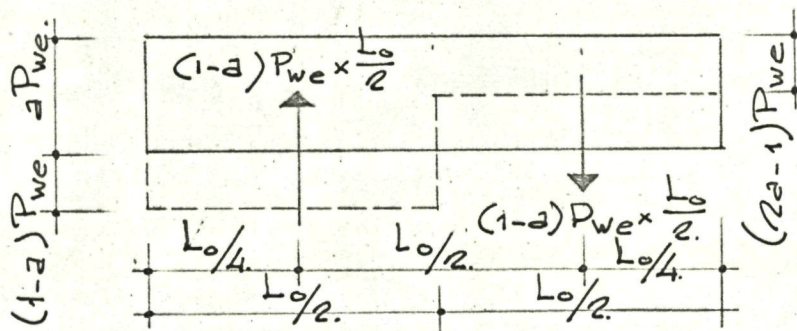
a. Indien uitsluitend verticale belastingen worden overgebracht, kan de grondtegendruk σ_{gr} gelijk zijn aan het evenwichtsdraagvermogen $P_{w.e.}$.

Veiligheidshalve is gekozen: $\bar{\sigma}_{gr} = 0,9 P_{we}$, zodat de veiligheid tegen overschrijdingen van P_{we} is $n_{Pwe} = \frac{1}{0,9} = 1,11$.

b. Indien het st.pt. behalve door verticale belastingen tevens door een moment wordt belast zal:

$$\sigma_{gr \max} = \sigma_{grV} + \sigma_{grM} = P_{we}$$

Het max. leverbaar moment bij een bepaalde opleglengte L_0 is dus afhankelijk van de grootte van $\sigma_{gr.V}$.



Is $\sigma_{gr.V} = a P_{we}$, dan is het max. leverbaar moment.

$$M_{\text{leverbaar}} = (1-a)P_{we} \times \frac{L_0^2}{4}$$

Voor $a = 0,5$; is $M = 1/8 P_{we} L_0^2$;

Voor $a = 0,6$; is $M = 1/10 P_{we} L_0^2$;

Het midden st.pt. heeft nagenoeg een verticale belasting. Bij de dimensionering van dit st.pt. is dan ook uitgegaan van :

$$\sigma_{gr.v} = 0,9 P_{we}$$

De eind st.ptn. behoren tot de categorie van st.ptn. genoemd onder b. Het gekozen moment moet blijken leverbaar te zijn.

Teneinde verzekerd te zijn van een ongeroerde grondslag over de opleglengten wordt de mantelbuis buiten deze verlengd met $\pm 2,5$ m. en ± 1 m. aan de west-resp.oostzijde. De aan de mantel-einden benodigde werkzaamheden kunnen dan veilig buiten de voor de opleggingen benodigde grondslag plaats vinden. Met de plaats van de buitenste damwand aan de westzijde, is hiermede rekening gehouden.

De gasvoerende buis.

In eerste instantie is deze buis in de mantelbuis een aan de einden opgelegde ligger op 2 st.ptn.

T.g.v. de verplaatsing van de drsn. m. alsmede de doorbuigingen der punten N en P in de velden L-m en m-R der mantelbuis zal de gasvoerende buis in de mantelbuis uiteindelijk een ligger op 5 st.ptn. zijn, welke st.ptn. verticaal ten opzichte van elkaar zijn verplaatst. De laatste verplaatsingen veroorzaken momenten, welke tezamen met de opdrijvende kracht de belastingen vormen op de gasvoerende buis.

De in de st.ptn. optredende reacties werken als belastingen op de mantelbuis.

Omdat de verplaatsingen der mantelbuis drsn. mede afhankelijk zijn van de belastingen afkomstig van de gasvoerende buis, zijn deze laatste slechts proberender wijs te benaderen.

De st.ptn. aan de manteleinden zijn op te vatten als verende inklemmingen, zodat hiermede aangrenzende velden worden verondersteld, met op de einden een vaste inklemming op een afstand L_1 , of een scharnier op een afstand $L_S = \frac{2}{3} L_1$.

Voor deze eind st.ptn. zijn scharnieren aangenomen, op 15m. uit de st.ptn. op de mantelbuis-einden.

Buiten de mantelbuis wordt de gasvoerende buis berekend als een in een sleuf geplaatste buis, waarvoor volgens Spangler, $\varphi_B = 30^\circ$. Voor de ondersteuning op thinsulators in de mantelbuis wordt gerekend met $\varphi_B = 60^\circ$.

De invloed van Q_D op de deflecties wordt berekend.

Binnen de veiligheidszone van 60m. gelden onverkort de door de Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland gestelde eisen t.a.v. gasvoerende buizen. Deze eisen gelden dus ook voor de $\pm 700m$. geprojecteerde strekking evenwijdig aan het boezemwater.

In verband hiermede is t.b.v. de perceelsingangen een kruising berekend, waarbij een aslast van 10t, en een gronddekking van 1 m. als belasting zijn aangehouden.

B=berekening der mantelbuis.

De toegepaste staalsoort is : $\frac{\sigma \text{ vloeï}}{\sigma \text{ breuk}} = \frac{4000 \text{ kg/cm}^2}{5600 \text{ kg/cm}^2}$

De vereiste veiligheid tegen breuk $n_{br} = 2,3$, zodat de toegelaten spanning $\bar{\sigma}_{mantel} = \frac{5600}{2,3} = 2440 \text{ kg/cm}^2$.

Buisgegevens :

$$\varnothing_{uitw} = 60,960 \text{ cm};$$

$$r_u = 30,480 \text{ cm.}$$

$$\varnothing_{inw} = 58,388 \text{ cm};$$

$$r_l = 29,194 \text{ cm. } t = 1,286 \text{ cm.}$$

$$\varnothing_{gem.} = 59,674 \text{ cm}$$

$$r = 29,837 \text{ cm.}$$

$$F_m = \frac{\pi}{4} (60,96^2 - 58,388^2) = 241 \text{ cm}^2; e.g. = 241 \times 0,785 = 190 \text{ kg/m}^1$$

$$I_m = \frac{\pi}{64} (60,96^4 - 58,388^4) = 107309 \text{ cm}^4; EI_m = 2254 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2.$$

$$W_m = \frac{107309}{30,48} = 3520 \text{ cm}^3.$$

per cm¹. buiswand.

$$F_{m.1} = 1 \times 1,286 = 1,286 \text{ cm}^2$$

$$I_{m.1} = 1/12 \times 1,286^3 = 0,177 \text{ cm}^4; EI_{m.1} = 0,372 \times 10^6 \text{ kgcm}^2.$$

$$W_{m.1} = 1/6 \times 1,286^2 = 0,276 \text{ cm}^3.$$

Belastingen.

$$e.g. \text{ onder water} = 241 \times (0,785 - 0,1) = 165 \text{ kg/m}^1.$$

Grondbelastingen: (volgens het advies van het L.G.M. (C)O - 16104/72 van 1-6-1966).

Voor het schema mag worden verwezen naar de tekening van de zettingsbreedte.

Over $L_{z.1}$

$$9,65 \times 0,85 = 8,205 \text{ t.}$$

$$9,80 \times 1,25 = 12,250 \text{ t.}$$

$$4,85 \times 0,50 = 2,425 \text{ t.}$$

$$3,30 \times 0,33 = 1,090 \text{ t.}$$

$$Q_{L.z.1} = \underline{\underline{23,970 \text{ t.}}}$$

Over $L_{z.R}$

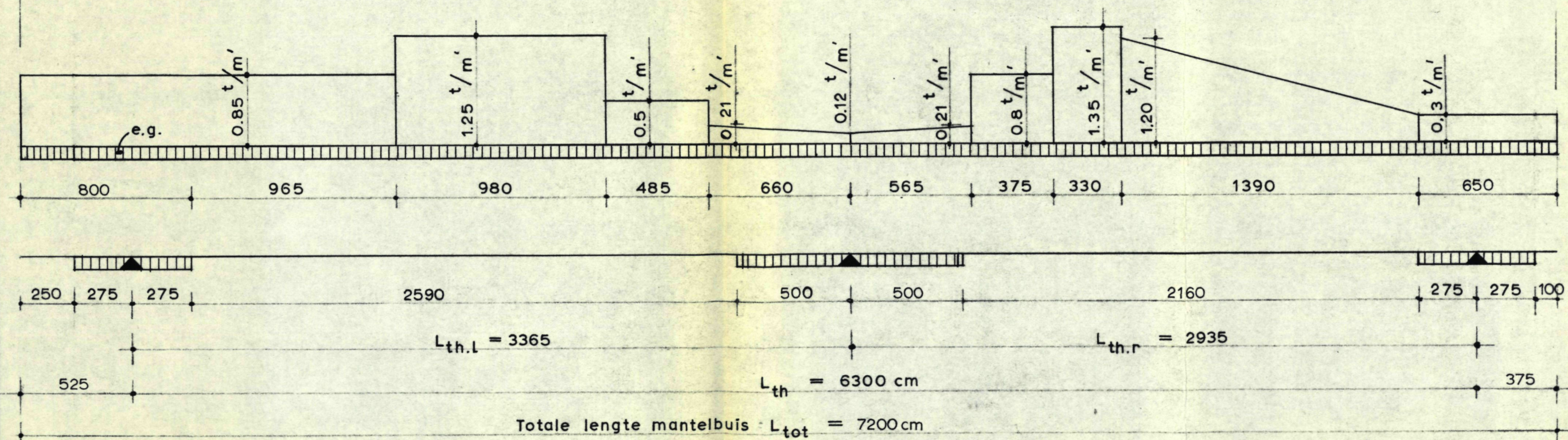
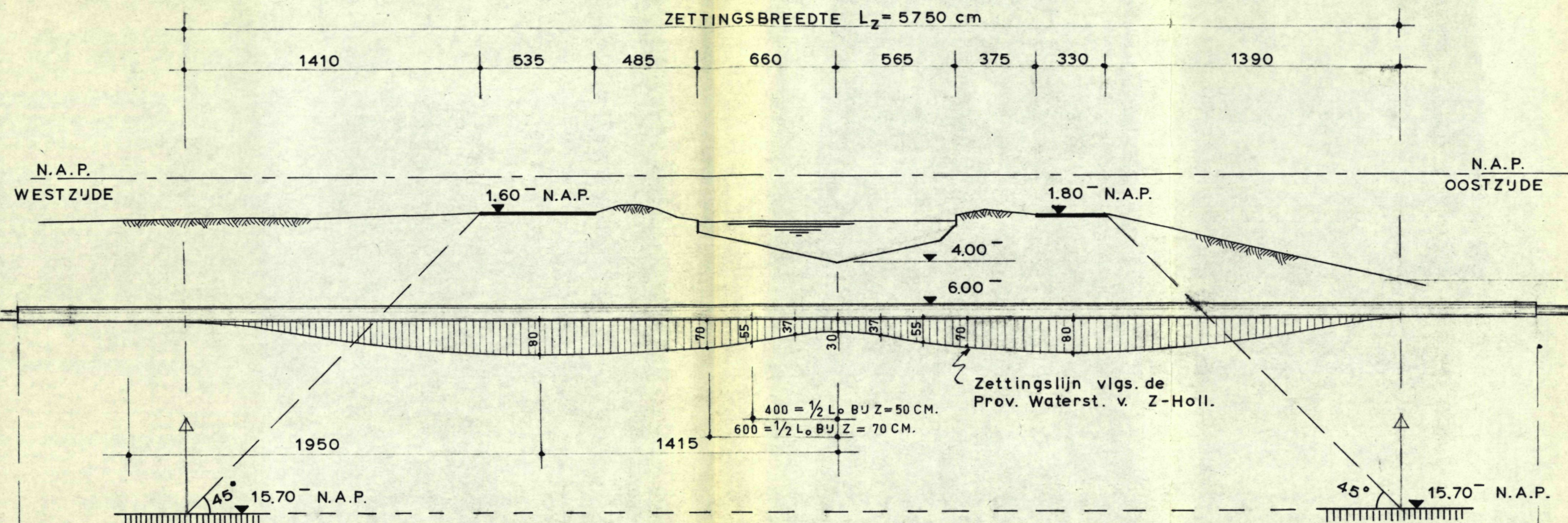
$$5,65 \times 0,165 = 0,930 \text{ t.}$$

$$3,75 \times 0,80 = 3,000 \text{ t.}$$

$$3,30 \times 1,35 = 4,455 \text{ t.}$$

$$13,90 \times 0,75 = 10,425 \text{ t.}$$

$$Q_{L.z.R} = \underline{\underline{18,810 \text{ t.}}}$$



$\varnothing_{uitw. Mantel} = 60,96$ cm.

$\varnothing_{uitw. Gas} = 40,64$ cm.

$$\begin{aligned} \text{Over } L_{O.L} + 2,5\text{m} : 8 \times 0,85 &= 6,800\text{t.} & \text{over } L_{O.R} + 1\text{m.} &= 6,5 \times 0,30 = 1,950\text{t.} \\ Q_{L.z.l} &= 23,970\text{t.} & Q_{L.z.R} &= 18,810\text{t.} \\ Q_{L.gr} &= 30,770\text{t.} & Q_{R.gr} &= 20,760\text{t.} \end{aligned}$$

Overeengekomen werd een gelijkm. verd. belasting over zowel
 $L_L = 30,9 + 8 = 38,9\text{m}$, als $L_R = 26,6 + 6,5 = 33,1\text{m}$.

$$q_L = \frac{30770}{38,9} + \text{e.g.} = 791 + 165 = 956\text{kg/m}^1; \quad Q_{L.\text{tot}} = 956 \times 38,9 = 37190\text{kg.}$$

$$q_R = \frac{20760}{33,1} + \text{e.g.} = 627 + 165 = 792\text{kg/m}^1; \quad Q_{R.\text{tot}} = 792 \times 33,1 = 26215\text{kg}$$

$$\text{Grondbelastingen} + \text{e.g.} = 63405\text{kg.}$$

Het evenwichtsdraagvermogen. P_{we} t.pl.v de opleggingen.

Volgens Prandtl is :

$$P_{we} = p_b v_b + C V_c + \gamma b v_g$$

Aangenomen is : $\varphi_i = 20^\circ$; $\gamma_{\text{nat}} = 1,1\text{ t/m}^3$ en $c = 0,2\text{ t/m}^2$.

Voor $\varphi_i = 20^\circ$, is $v_b = 7$, $v_c = 14,5$ en $v_g = 3,5$.

De funderingsbreedte $b = D_{u.m.} = 0,6096\text{ m}$. wordt aangenomen aanwezig te zijn op $5/6 D_{u.m.}$, beneden de bovenkant der buis.

$$\begin{aligned} P_{w.e} &= 7 p_b + 0,2 \times 14,5 + 0,1 \times 0,6096 \times 3,5 = (7 p_b + 3,113)\text{ t/m}^2 = \\ &= (7000 p_b + 3113) \times 0,6096\text{ kg/m}^1 = (4267 p_b + 1900)\text{ kg/m}^1. \end{aligned}$$

Proberender wijs komt men tot de volgende opleglengten.

a. eindopleggingen $L_{OL} = L_{OR} = 5,5\text{ m}$.

b. de middenoplegging $L_{om} = 10\text{ m.}$, behorende bij een zakking van 60 cm. van het punt m, in de as der oplegging.

St.Pt.L aan de westzijde.

Het maaiveld ligt op $\pm 1,75\text{ m -N.A.P.}$, of op $6 + \frac{5}{6} D_{u.m.} - 1,75 = 4,76\text{m}$ boven de aangenomen funderingsaanleg der mantelbuis.

$h_{\text{grond}} = 0,5\text{m. droog} + 4,26\text{ m. onder water.}$

$$p_b = 0,5 \times 1,1 + 4,26 \times 0,1 = 0,976\text{ t/m}^2.$$

$$P_{weL} = 4267 \times 0,976 + 1900 = 4165 + 1900 = 6065\text{ kg/m}^1.$$

Uitgegaan is van $\sigma_{gr.v.} = 0,65 P_{w.e.l.}$, zodat

$$M_L \text{ leverbaar} = 0,35 \times 6065 \times 1/4 \times 5,5^2 = 16000 \text{ kgm.}$$

Gekozen is $M_L = 15600 \text{ kgm.}$

St.pt. m in kanaalas.

Incl. de zakking van 60 cm. is $h_{grond} = 2,6 + 0,5 = 3,1 \text{ m.}$
onder water.

$$p_b = 0,31 \text{ t/m}^2.$$

$$P_{wem} = 4267 \times 0,31 + 1900 = 1320 + 1900 = 3240 \text{ kg/m}^1.$$

St.pt.R.aan de oostzijde.

Het maaiveld in de polder ligt op 5,00 m -N.A.P.

$$h_{grond} = 0,3 \text{ m droog} + 1,2 \text{ m onder water} \cdot p_b = 0,33 + 0,12 = 0,45 \text{ t/m}^2$$

$$P_{weR} = 4267 \times 0,45 + 1900 = 1920 + 1900 = 3820 \text{ kg/m}^1.$$

Uitgegaan is van $\sigma_{gr.v.} = 0,65 P_{weR}$ zodat

$$M_R \text{ leverbaar} = 0,35 \times 3820 \times 1/4 \times 5,5^2 = 10100 \text{ kgm.}$$

Gekozen is : $M_R = 9300 \text{ kgm.}$

De opzet van de berekening.

Het uitgangspunt is dat de mantelbuis de grondzettingen niet kan volgen. Behalve de grondbelastingen werken op de mantelbuis de momenten M_L en M_R alsmede de st.pt.'s reacties der gasvoerende buis. Deze st.ptn. komen behalve aan de manteleinden nog voor in het punt m, en t.pl.v. de doorsneden met de grootste zakkingen in de velden ter weerszijden van het punt m.

De berekening wordt uitgevoerd in 3 fasen.

phase 1:

In deze phase is de mantelbuis een ligger op 2 st.pt. De belasting q_1 wordt berekend om het punt m. 60 cm. te laten zakken. Door het zakken van het punt m. hebben de overstekken aan de einden der mantelbuis de neiging om te stijgen, zodat op beide overstekken de uiteindelijke belastingen reeds in deze phase worden aangenomen te werken.

phase 2.

De mantelbuis is een ligger op 3 st.ptn., waarvan de velden L-m en m-R belast zijn met $q_{L2} = q_L - q_1$, resp. $q_{R.2} = q_R - q_1$.

Hoewel de grondtegendrukken reeds tot volle ontwikkeling zullen zijn gekomen wordt hun invloed in een apart schema behandeld.

phase 3.

De belastingen in deze phase zijn de reacties der gasvoerende buis t.pl.v. de grootste zakkingen. De plaats en de grootte dezer reacties zijn evenals de grootte der reacties t,pl.v. de manteleinden geschat.

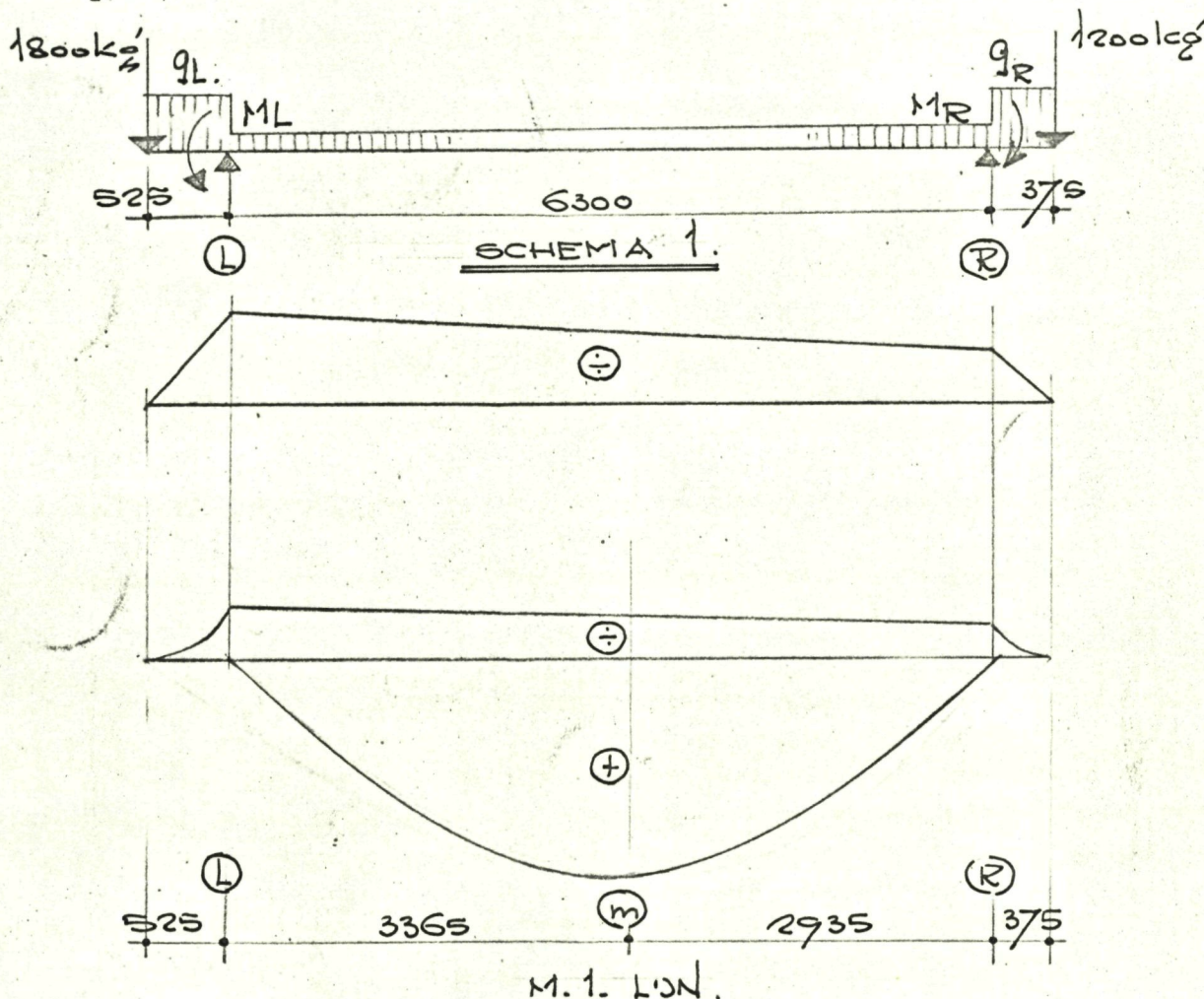
De geschatte waarden dezer reacties moeten kleiner of ten hoogste gelijk zijn aan de reacties die uit de berekening van de gasvoerende buis volgen.

Uit het bovenstaande volgt dat uitgebreide voorberekeningen nodig zijn om de waarden van meergenoemde reacties alsmede van M_L en M_R zo dicht mogelijk te benaderen.

De uitkomsten der doorbuigingen tonen tenslotte aan of ten rechte gerekend is met de volledige belastingen op de buis.

Phase 1 = de mantelbuis is een ligger op 2 st.ptn.

Berekening van de belasting q_1 , om de mantelbuis 60 cm. in het punt m. te doen zakken.



Belastingen:

op overstek OV_L : $q_L = 9,56 \text{ kg/cm}$. $G_{\text{ov,L}} = 1800 \text{ kg}$. $M_L = -15600 \text{ kgm}$

op overstek OV_R : $q_R = 7,92 \text{ kg/cm}$. $G_{\text{ov,R}} = 1200 \text{ kg}$. $M_R = -9300 \text{ kgm}$

Ter berekening van de doorbuigingen wordt het M-opp. als belasting op de ligger geplaatst. De doorbuiging van een drsn.X is

dan: $\int_X = \frac{S_X}{EI_m}$, waarin S_X het stat. moment is bij de M-opp. als belasting, t.o.v. de drsn.X.

Momenten M, in 10^4 kgcm, M-opp. F in 10^6 kgcm² ; S in 10^8 kgcm³

a = de invloed der negatieve momenten, op de doorbuiging f_m in het punt m.

$$M_{ov.L} = -156-18 \times 5,25-9,56 \times 0,5 \times 5,75^2 = -251-132 = -383$$

$$M_{ov.R} = -93-12 \times 3,75-7,92 \times 0,5 \times 3,75^2 = -138-58 = -196$$

$$M_{m.a} = -196-187 \times \frac{29,35}{63} = -196-87 = -283$$

$$F_{ov.L} = -0,5 \times 251 \times 5,25 - 1/3 \times 132 \times 5,25 = -660-230 = -890$$

$$F_{L-R} = -0,5 \times 579 \times 63 = -18240$$

$$F_{ov.R} = -0,5 \times 138 \times 3,75 - 1/3 \times 58 \times 3,75 = -260-70 = -330$$

$$F_{l.neg.} = \frac{-19460}{-} = -19460$$

De reactie R^1

$$-660 \times 64,75 = -42735$$

$$-230 \times 1/4 \times 257,25 = -14855$$

$$-18240 \times \frac{962}{3 \times 579} \times 63 = -636415$$

$$-692005$$

$$260 \times 1,25 + 70 \times \frac{3,75}{4} = 390$$

$$-691715$$

$$R_{L.a.1}^1 = -1/63 \times 691715 = -10980$$

$$R_{R.a.1}^1 = -19460 + 10980 = -8480$$

Het stat. moment t.o.v. m.

$$S_{m.a.1} = -10980 \times 33,65 = -369475$$

$$660 \times 35,40 = +23365$$

$$1/4 \times 230 \times 139,85 = +8040$$

$$1/6 \times 1049 \times 33,65^2 = +196285$$

$$S_{m.a.1} = -364975 + 227690 = -141785.$$

b = de invloed van q_1 op f_m .

Bij een parabolisch M-vlak als belasting geldt voor een drsn. X op een afstand x van het st.pt.

$$S_x = x \left(1 - 2 \frac{x^2}{L^2} + \frac{x^3}{L^3} \right) \frac{L^3}{24} q$$

Voor drsn. m. is $x_m = 33,65 \text{ m.} = 0,534 \times 63 \text{ m.}$

$$\left(1 - 2 \times 0,534^2 + 0,534^3 \right) \frac{63^3}{24} q_1 = 0,582 \times 10418 q_1, \text{ zodat}$$

$$S_{m.b_1} = 33,65 \times 0,582 \times 10418 q_1 = 204030 q_1.$$

Oplossing :

$$S_{m.l} = EI_m \cdot f_{m.l} = 2254 \times 60 = 135240.$$

$$\text{Ook is : } EI_m f_{m.l} = S_{m.a.l.} + S_{m.b.l.} = -141785 + 204030 q_1.$$

Gelijkstelling geeft :

$$q_1 = \frac{135240 + 141785}{204030} = 1,36 \text{ kg/cm}^1.$$

Waarden in phase 1.

De totale belasting

$$Q_1 = 1800 + 956 \times 5,25 + 136 \times 63 + 792 \times 3,75 + 1200 = 3000 + 5020 + 8570 + 2970 = 19560 \text{ kg.}$$

Reacties :

$$1800 \times 68,25 = 122850$$

$$5020 \times 65,625 = 329440$$

$$-2970 \times 1,875 = -4500$$

$$-1200 \times 3,75 = -5570$$

$$452290 - 10070 = 442220 \text{ kgm.}$$

$$M_L - M_R = 15600 - 9300 = 6300 \text{ kgm}$$

$$448520 \text{ kgm}$$

$$R_{L.1} = \frac{448520}{63} + 0,5 \times 8560 = 7120 + 4280 = 11400 \text{ kg.}$$

$$R_{R.1} = 19560 - 11400 = 8160 \text{ kg}$$

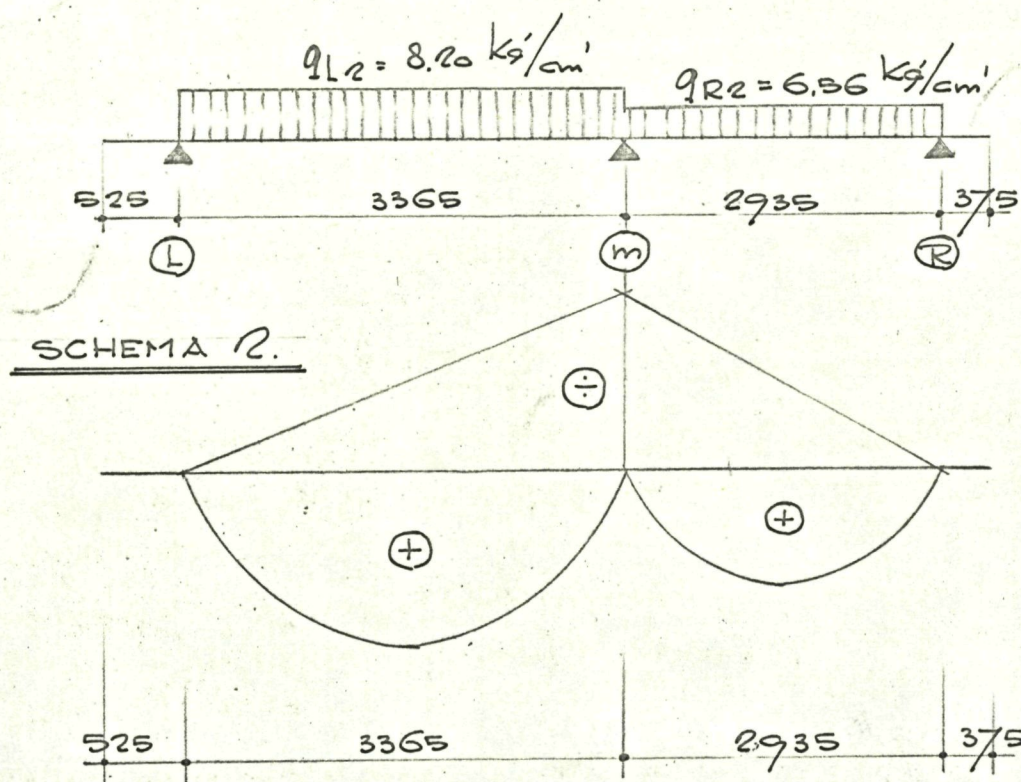
Moment in drsn. m.

$$\begin{aligned} M_{m.1.} &= -28300 + 0,5 \times 136 \times 33,65 \times 29,35 = \\ &= -28300 + 67150. = 38850 \text{ kgm.} \end{aligned}$$

Phase 2. = de mantelbuis is een ligger op 3 st.ptn.

Behalve de resterende grondbelastingen op de velden L-m en m-R werken de grondtegendrukken, welke in deze phase aangenomen worden tot volle ontwikkeling te zijn gekomen, op de mantelbuis.

phase 2 = belastingen uitsluitend op de velden L-m en m-R.



M - 2a - LON

Belastingen:

$$q_{L.2a} = 9,56 - 1,36 = 8,20 \text{ kg/cm}^1. \quad Q_{L.2a} = 820 \times 33,65 = 27590 \text{ kg}$$

$$q_{R.2a} = 7,92 - 1,36 = 6,56 \text{ " } \quad Q_{R.2a} = 656 \times 29,35 = 19255 \text{ kg}$$

$$Q_{2a \text{ tot.}} = 46845 \text{ kg}$$

$M_{m.2}$ wordt bepaald middels vereffening.

aanvangsmomenten :

$$M_{m-L} = 1/8 \times 820 \times 33,65^2 = 116060 \text{ kgm.}$$

$$M_{m-R} = 1/8 \times 656 \times 29,35^2 = 70640 \text{ kgm}$$

Stijfheidsverhouding.

$$k_{m-L} : k_{m-R} = 29,35 : 33,65 = 0,465 : 0,535.$$

vereffening.

m	
L	R
-0,465	-0,535
-116060	+ 70640
+21120	+ 24300

$$\text{Eindmoment } M_{m.2} = \begin{matrix} -94940 & + 94940 \end{matrix} \text{ in kgm.}$$

$$\pm \frac{94940}{33,65} = \pm 2820 \text{ kg.} \quad \pm \frac{94940}{29,35} = \pm 3235 \text{ kg.}$$

Waarden in phase 2.

Reacties :

$$R_{L.2} = 13795 - 2820 = 10975 \text{ kg.}$$

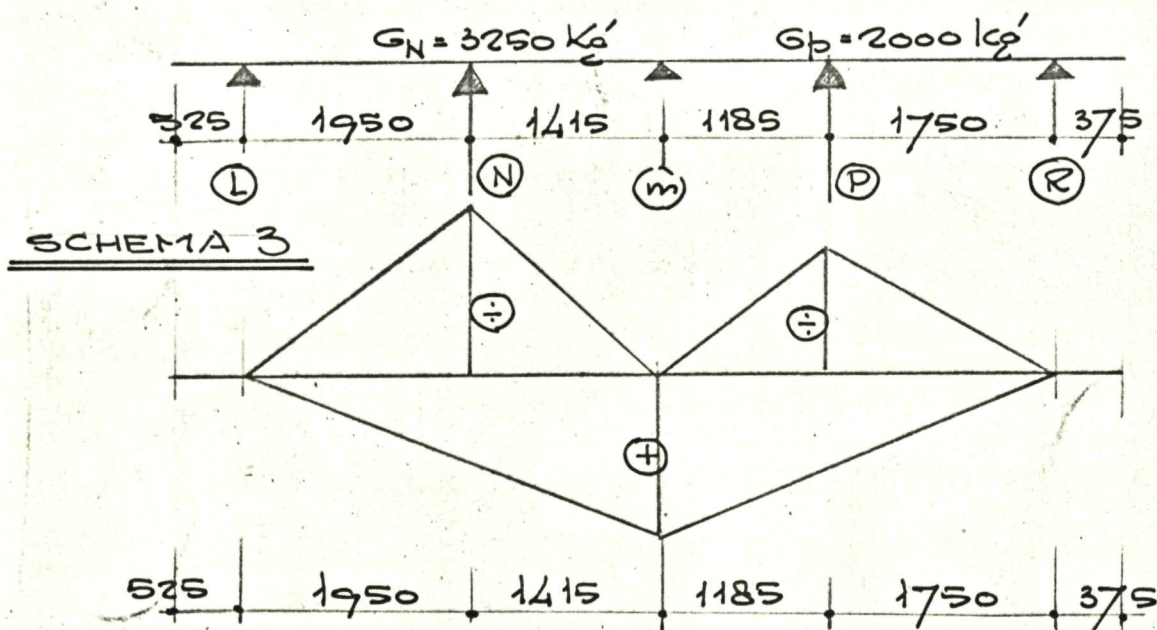
$$R_{m.2} = 23425 + 6055 = 29480 \text{ kg.}$$

$$R_{R.2} = 9625 - 3235 = 6390 \text{ kg.}$$

Moment in drsn. m =

$$M_{m.2} = - 94940 \text{ kgm.}$$

Phase 3 = de mantelbuis wordt in N en P belast door reacties van de gasvoerende buis.



M-3. LON.

Belastingen

$$G_N = - 3250 \text{ kg} , G_P = -2000 \text{ kg} , Q_3 = - 5250 \text{ kg}.$$

Bepaling van $M_{m.3}$.

Aanvangsmomenten:

$$M_{m-L} = 0,5 \times 3250 \times 19,5 \times \left(1 - \frac{19,5^2}{33,95^2} \right) = 21045 \text{ kgm}.$$

$$M_{m-R} = 0,5 \times 2000 \times 17,5 \times \left(- \frac{17,5^2}{29,35^2} + 1 \right) = 11280 \text{ kgm}.$$

Vereffening :

m	
L	R
-0,465	-0,535
+21045	-11280
- 4540	- 5225
+16505	-16505

Eindmoment $M_{m.3} =$ in kgm.

(+)

$$\pm \frac{16505}{33,65} = \pm 490 \text{ kg}, \pm \frac{16505}{29,35} = \pm 560 \text{ kg.}$$

Waarden in phase 3:

Reacties :

$$R_{L.3.} = -3250 \times \frac{14,15}{33,65} + 490 = -1365 + 490 = -875 \text{ kg}$$

$$R_{m.3} = -2375 - 2000 \times \frac{17,5}{29,35} - 560 = -2935 - 1195 = -4130 \text{ kg.}$$

$$R_{R.3} = -805 + 560 = -245 \text{ kg.}$$

Moment in m, $M_{m.3} = 16505 \text{ kgm.}$

Superpositie der waarden in de 3 fasen.

Reacties :

$$R_L = 11400 + 10975 - 875 = 21500 \text{ kg}$$

$$R_m = 0 + 29480 - 4130 = 25350 \text{ kg}$$

$$R_R = 8160 + 6390 - 245 = 14305 \text{ kg.}$$

$$\text{Som der reacties} = 61155 \text{ kg.}$$

$$M_m = 38850 - 94940 + 16505 = -39585 \text{ kgm.}$$

Som der belastingen:

$$\text{grondbelastingen} = 63405 \text{ kg}$$

Reacties der gasvoerende buis :

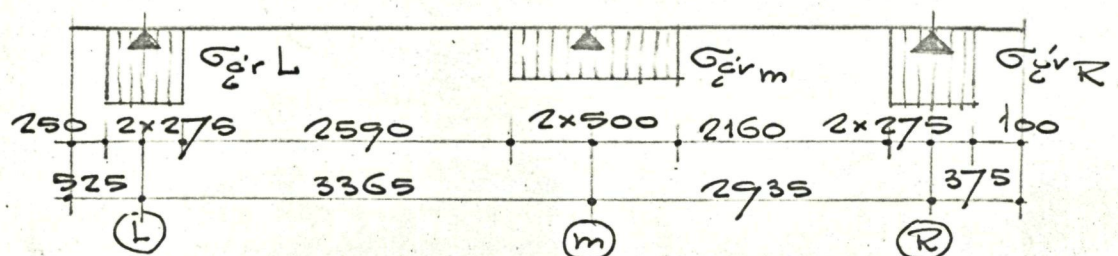
$$1800 - 3250 - 2000 + 1200 = -2250 \text{ kg.}$$

$$\text{Totaal} = 61155 \text{ kg (klopt)}$$

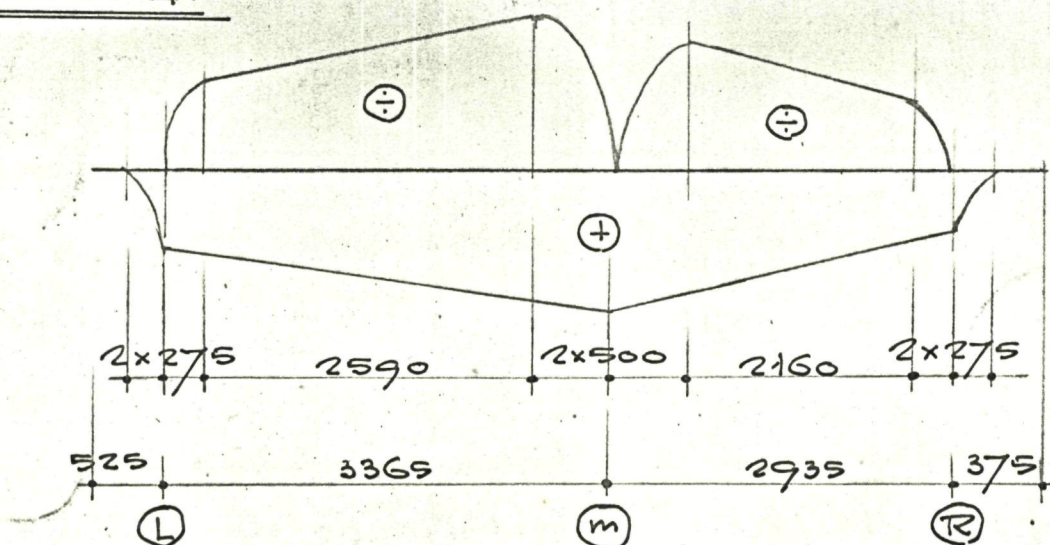
Berekening van zakkings.

Met de aangenomen waarden van M_L en M_R alsmede de reacties der gasvoerende buis, zijn de momentenlijnen in de 3 fasen volledig bekend, zodat in iedere drsn. der mantelbuis de zakking f . is te bepalen.

Naast bovengenoemde momenten worden de momenten t.g.v. de grondtegendrukken in rekening gebracht.



SCHEMA 4.



M. 4. L'ON.

Belastingen:

Aangenomen wordt dat:

$$\sigma_{grL} = -0,65 \times P_{w.e.L} = -0,65 \times 6065 = -3940 \text{ kg/m}^1, -5,5 \times 3940 = -21670 \text{ kg.}$$

$$\sigma_{gr.m} = -0,80 \times P_{w.e.m} = -0,80 \times 3240 = -2590 \text{ "}, -10 \times 2590 = -25900 \text{ kg.}$$

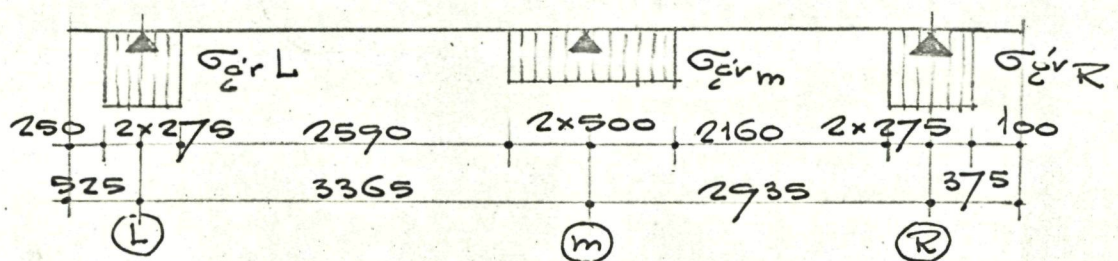
$$\sigma_{gr.R} = -0,65 \times P_{w.e.R} = -0,65 \times 3820 = -2485 \text{ "}, -5,5 \times 2485 = -13670 \text{ kg.}$$

Bepaling van M_m :

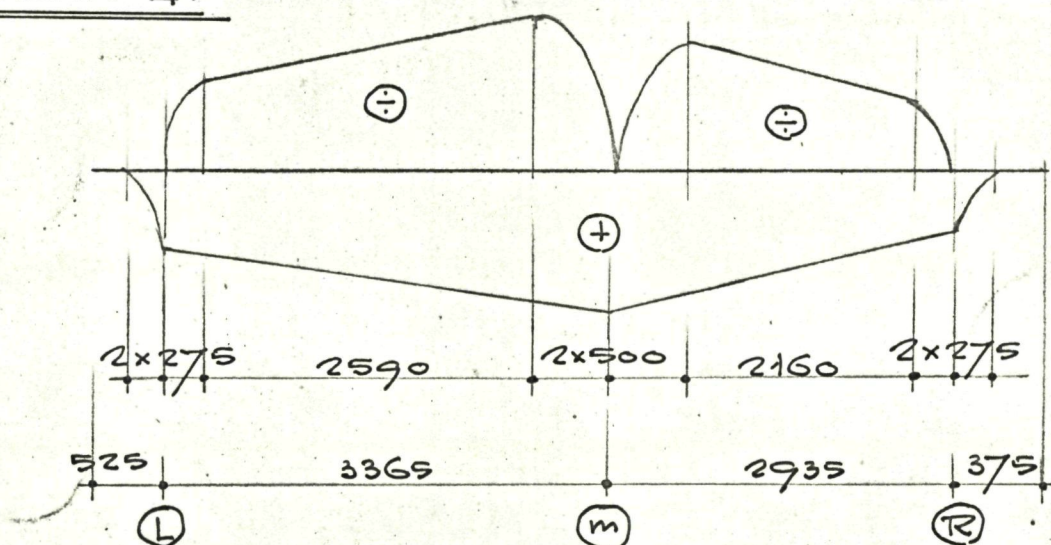
Aanvangsmomenten :

$$M_{ov.L} = 0,5 \times 3940 \times 2,75^2 = 14900 \text{ kgm.}$$

$$M_{m-L} = 3940 \times \frac{2,75^2}{8} \left(2 - \frac{2,75^2}{33,65} \right) + \frac{2590}{8 \times 33,65} (33,65^2 - 28,65^2)^2 = 7425 + 27760 = 35185.$$



SCHEMA 4.



M. 4. L.S.N.

Belastingen:

Aangenomen wordt dat:

$$\sigma_{grL} = -0,65 \times P_{w.e.L} = -0,65 \times 6065 = -3940 \text{ kg/m}^1, -5,5 \times 3940 = -21670 \text{ kg.}$$

$$\sigma_{gr.m} = -0,80 \times P_{w.e.m} = -0,80 \times 3240 = -2590 \text{ "}, -10 \times 2590 = -25900 \text{ kg.}$$

$$\sigma_{gr.R} = -0,65 \times P_{w.e.R} = -0,65 \times 3820 = -2485 \text{ "}, -5,5 \times 2485 = -13670 \text{ kg.}$$

Bepaling van M_m :

Aanvangsmomenten :

$$M_{ov.L} = 0,5 \times 3940 \times 2,75^2 = 14900 \text{ kgm.}$$

$$M_{m-L} = 3940 \times \frac{2,75^2}{8} \left(2 - \frac{2,75^2}{33,65} \right) + \frac{2590}{8 \times 33,65} (33,65^2 - 28,65^2)^2 = 7425 + 27760 = 35185.$$

$$M_{m-R} = \frac{2590}{8 \times 29,35^2} (29,35^2 - 24,35^2)^2 + 2485 \times \frac{2,75^2}{8} (2 - \frac{2,75^2}{29,35^2})$$

$$= 27235 + 4390 = 31625 \text{ kgm.}$$

$$M_{ov.R} = 0,5 \times 2485 \times 2,75^2 = 9395 \text{ kgm.}$$

vereffening :

L		M		R	
ov.L	m	L	R	m	ov.R
-	-	-0,465	-0,535	-	-
+14900	-14900	-7450	+4695	+9395	-9395
		+35185	-31625		
		-375	-430		
+14900	-14900	+27360	-27360	+9395	-9395

$$\pm \frac{27360 - 14900}{33,65} = \pm 370 \text{ kg, } \pm \frac{27360 - 9395}{29,35} = \pm 610 \text{ kg.}$$

Veld L-m bij vrije oplegging:

Reacties:

$$R \cdot L.R.vo = -\frac{1}{33,65} (10835 \times 32,275 + 12950 \times 1,25) =$$

$$= -10395 - 480 = -10875 \text{ kg.}$$

$$R_{m.L.vo} = -\frac{21670 + 25900}{2} + 10875 = -12910 \text{ kg.}$$

$$M_{L+2,75m} = (-10875 + 0,5 \times 10835) \times 2,75 = -12505 \text{ kgm}$$

$$M_{m-500m} = (-12910 + 0,5 \times 12950) \times 5,00 = -32175 \text{ kgm.}$$

Veld M-R bij vrije oplegging.

Reacties:

$$R \cdot R.L.vo = -\frac{1}{29,35} \times (6835 \times 27,975 + 12950 \times 1,25) =$$

$$= -6515 - 550 = -7065 \text{ kg.}$$

$$R_{m.R.vo} = -\frac{13670 + 25900}{2} + 7065 = -12720 \text{ kg.}$$

$$M_{m+5,00m} = (-12720 + 0,5 \times 12950) \times 5,00 = -31225 \text{ kgm}$$

$$M_{R-2,75m} = (-7065 + 0,5 \times 6835) \times 2,75 = -10130 \text{ kgm.}$$

Bepaling der reacties in L en R bij de M-opp. als belasting.

Gerekend is met kg. en cm. zodat :

 $M = 10^4 \text{ kgcm}$, M-opp. = F is in 10^6 kgcm^2 en S is in 10^8 kgcm^3 .M-opp. en reacties:

$$\text{phase 1: } F_1 = -19460 + 1/12 \times 1,36 \times 63^3 = -19460 + 28350 = 8890$$

$$R'_{L.1} = -10980 + 14175 = 3195$$

$$R'_{R.1} = -8480 + 14175 = 5695$$

phase 2:

$$F_{L-m.2} = -949,4 \times \frac{33,65}{2} + 1/12 \times 8,20 \times 33,65^3 =$$

$$= -15975 + 26040 = 10065$$

$$F_{R-m.2} = -949,4 \times \frac{29,35}{2} + 1/12 \times 6,56 \times 29,35^3 =$$

$$= -13930 + 13820 = -110.$$

Reacties :

$$R'_{L.2} = 1/2 \times 26040 - 1/3 \times 15975 = 13020 - 5325 = 7695$$

$$R'_{R.2} = 1/2 \times 13820 - 1/3 \times 13930 = 6910 - 4645 = 2265$$

phase 3:

$$M_N = -32,5 \times \frac{14,15 \times 19,5}{33,65} + 165,05 \times \frac{19,5}{33,65} = -266 + 96 = -170$$

$$M_P = -20 \times \frac{11,85 \times 17,5}{29,35} + 165,05 \times \frac{17,5}{29,35} = -142 + 99 = -53$$

$$F_{L-m.3} = -266 \times \frac{19,5}{2} - 266 \times \frac{14,15}{2} + 165,05 \times \frac{33,65}{2} =$$

$$= -2595 - 1880 + 2745 = -1730$$

$$F_{R-m.3} = -142 \times \frac{17,5}{2} - 142 \times \frac{11,85}{2} + 165,05 \times \frac{29,35}{2} =$$

$$= -1240 - 840 + 2425 = 345$$

Reacties :

$$R'_{L.3} = -2595 \times \frac{20,65}{33,65} - 1880 \times \frac{2}{3} \times \frac{14,15}{33,65} + 1/3 \times 2745 =$$

$$= -1590 - 530 + 915 = -1205$$

$$R'_{R.3} = -1240 \times \frac{53,05}{3 \times 29,35} - 840 \times \frac{2}{3} \times \frac{11,85}{29,35} + 1/3 \times 2425 =$$

$$= -745 - 225 + 810 = -160$$

Bij het schema 4 :

$$F_{L-m.4} = \frac{1}{3} \times 149 \times 2,75 + 0,5 \times 422,6 \times 33,65 - \\ - \frac{2}{3} \times 125,05 \times 2,75 - 0,5 \times 446,8 \times 25,9 - \frac{2}{3} \times 321,75 \times 5 = \\ = 135 + 7110 - 230 - 5815 - 1075 = 125.$$

$$F_{R-m.4} = \frac{1}{3} \times 93,95 \times 2,75 + 0,5 \times 367,45 \times 29,35 - \\ - \frac{2}{3} \times 101,3 \times 2,75 - 0,5 \times 413,55 \times 21,6 - \frac{2}{3} \times 312,25 \times 5 = \\ = 85 + 5390 - 185 - 4465 - 1040 = - 215.$$

Reacties :

$$R'_{L.4} = 135 \times \frac{1}{4} \times \frac{137,35}{33,65} + 7110 \times \frac{571,6}{3 \times 422,6} - 230 \times \frac{215,45}{8 \times 33,65} - \\ - \frac{5815}{33,65} \times \left(\frac{571,85}{3 \times 446,8} \times 25,9 + 5 \right) - 1075 \times \frac{5}{8} \times \frac{5}{33,65} = \\ = 140 + 3205 - 185 - 2775 - 100 = 285.$$

$$R'_{R.4} = 85 \times \frac{1}{4} \times \frac{120,15}{29,35} + 5390 \times \frac{461,5}{3 \times 367,55} - 185 \times \frac{181,05}{8 \times 29,35} - \\ - \frac{4465}{29,35} \times \left(\frac{514,85}{3 \times 413,55} \times 21,6 + 5 \right) - 1040 \times \frac{5}{8} \times \frac{5}{29,35} = \\ = 85 + 2255 - 145 - 2120 - 110 = - 35.$$

Totale reacties bij de M-vlakken als belasting in L en R.

$$R'_{L} = 3195 + 7695 - 1205 + 285 = 9970.$$

$$R'_{R} = 5695 + 2265 - 160 - 35 = 7765.$$

Zakkingen.

van het manteleinde aan de zijde van st.pt. L.

$$R'_{L} = 9970.$$

$$S_{ov.L} : \begin{array}{rcl} -(9970 + \frac{2}{3} \times 660 + \frac{3}{4} \times 230) \times 5,25 & = & - 55560 \\ 135 \times (\frac{3}{4} \times 2,75 + 2,5) & = & 615 \\ \hline S_{ov.L} & = & - 54945 \end{array}$$

$$f_{ov.L} = - \frac{54945}{2254} = - 24,4 \text{ cm (stijging).}$$

Van de drsn. N, op 19,5 m uit st.pt. L.

De invloed van de belastingen q_1 en $q_{L.2}$

In phase 1 :

$$x_N = 0,31 \times 63 \text{ m}; (1 - 2 \times 0,31^2 + 0,31^3) = 0,8376;$$

$$\frac{1}{24} \times 1,36 \times 63^3 = 1,36 \times 10418 = 14170$$

in phase 2 :

$$x_N = 0,58 \times 33,65 \text{ m}; (1 - 2 \times 0,58^2 + 0,58^3) = 0,5223;$$

$$\frac{1}{24} \times 8,20 \times 33,65^3 = 13020.$$

$$S_N.(q_1 + q_{L.2}) = 19,5 (0,8376 \times 14170 + 0,5223 \times 13020) = 19,5 \times (11870 + 6790) = 363870.$$

De invloed der overige belastingen.

$M_{N.neg.}$:

$$\text{phase 1 : } -196 - (1 - 0,31) \times 187 = -196 - 129 = -325$$

$$\text{" 2 : } -0,58 \times 949,4 = -550$$

$$\text{" 3 : } -0,58 \times (32,5 \times 14,15 - 165,05) = -170$$

$$= -0,58 \times 294,825 = -170$$

$$M_{N.neg.} = -1045$$

$$- (10980 + 5325 + 1205) \times 19,5 = -341445$$

$$660 \times 21,25 = +14025$$

$$230 \times 0,25 \times 83,25 = +4785$$

$$\frac{2 \times 383 + 1045}{6} \times 19,5^2 = +114770$$

$$S_N(1 + 2 + 3)_{neg} = -341445 + 133580 = -207865$$

Invloed der grondtegendrukken.

$$M_{N.neg.} = -125,05 - 196,7 \times \frac{16,75}{25,9} = -125,05 - 126,82 = -251,87$$

$$M_{N.pos.} = 149 + 124,6 \times 0,58 = 149 + 72 = 221.$$

$$R'_{L.4} = 285$$

$$285 \times 19,5 = 5557,5$$

$$230 \times (0,375 \times 2,75 + 16,75) = 4000$$

$$\frac{5 \times 125,05 + 251,87}{6}$$

$$\begin{aligned}
 285 \times 19,5 &= 5560 \\
 230 \times (0,375 \times 2,75 + 16,75) &= 4090 \\
 \frac{2 \times 125,05 + 251,87}{6} \times 16,75^2 &= 23475 \\
 - 135 \times 0,25 \times 83,25 &= - 2725 \\
 - \frac{2 \times 149 + 221}{6} \times 19,5^2 &= - 32890 \\
 S_{N.\sigma_{gr.}} &= 33125 - 35615 = - 2490
 \end{aligned}$$

$$S_{N.Totaal} = 363870 - 207865 - 2490 = 153415$$

$$f_N = \frac{153415}{2254} = 68,0 \text{ cm.}$$

Van de drsn. P op 17,5 m uit st.pt. R.

De invloed van de belastingen q_1 en $q_{R.2}$

in phase 1 :

$$x_p = 0,278 \times 63 \text{ m; } (1 - 2 \times 0,278^2 + 0,278^3) = 0,8668.$$

in phase 2 :

$$x_p = 0,596 \times 29,35 \text{ m; } (1 - 2 \times 0,596^2 + 0,596^3) = 0,5013$$

$$\frac{1}{24} \times 6,56 \times 29,35^3 = 6910.$$

$$\begin{aligned}
 S_{P(q_1+q_{R.2})} &= 17,5 (0,8668 \times 14170 + 0,5013 \times 6910) = \\
 &= 17,5 \times (12285 + 3465) = 275625.
 \end{aligned}$$

De invloed der overige belastingen.

$M_{P.neg.}$:

$$\begin{aligned}
 \text{phase 1} &: - 196 - 0,278 \times 187 = - 196 - 52 = - 248 \\
 " 2 &: - 0,596 \times 949,4 = - 565 \\
 " 3 &: - 0,596(20 \times 11,85 - 165,05) = - 0,596 \times 71,95 = - 43
 \end{aligned}$$

$$M_{P.neg.} = - 856$$

$$\begin{aligned}
 & - (8480 + 4645 + 160) \times 17,5' & = & - 232490 \\
 & 260 \times 18,75 & = & + 4875 \\
 & 70 \times 0,25 \times 73,75 & = & + 1315 \\
 & \frac{2 \times 196 + 856}{6} \times 17,5^2 & = & + 63700
 \end{aligned}$$

$$S_{P(1+2+3)\text{neg.}} = - 232490 + 69890 = - 162600$$

De invloed der grondtegendrukken.

$$\begin{aligned}
 M_{P.\text{neg.}} & = - 101,3 - 210,95 \times \frac{14,75}{21,6} = - 101,3 - 137,9 = - 239,2 \\
 M_{P.\text{pos}} & = 93,95 + 179,65 \times 0,596 = 93,95 + 107,07 = 201,02
 \end{aligned}$$

$$R'_{R.4} = - 35$$

$$\begin{aligned}
 & - 35 \times 17,5 & = & - 615 \\
 & 185 \times (0,375 \times 2,75 + 14,75) & = & 2920 \\
 & \frac{2 \times 101,3 + 239,2}{6} \times 14,75^2 & = & 16020 \\
 & - 85 \times 0,25 \times 72,75 & = & - 1545 \\
 & - \frac{2 \times 93,95 + 201,02}{6} \times 17,5^2 & = & - 19850 \\
 & S_{P.\sigma_{gr}} & = & 18940 - 22010 = - 3070
 \end{aligned}$$

$$S_{P.\text{totaal}} = 275625 - 162600 - 3070 = 109955$$

$$f_P = \frac{109955}{2254} = 48,8 \text{ cm.}$$

Van het manteleind aan de zijde van st.pt. R.

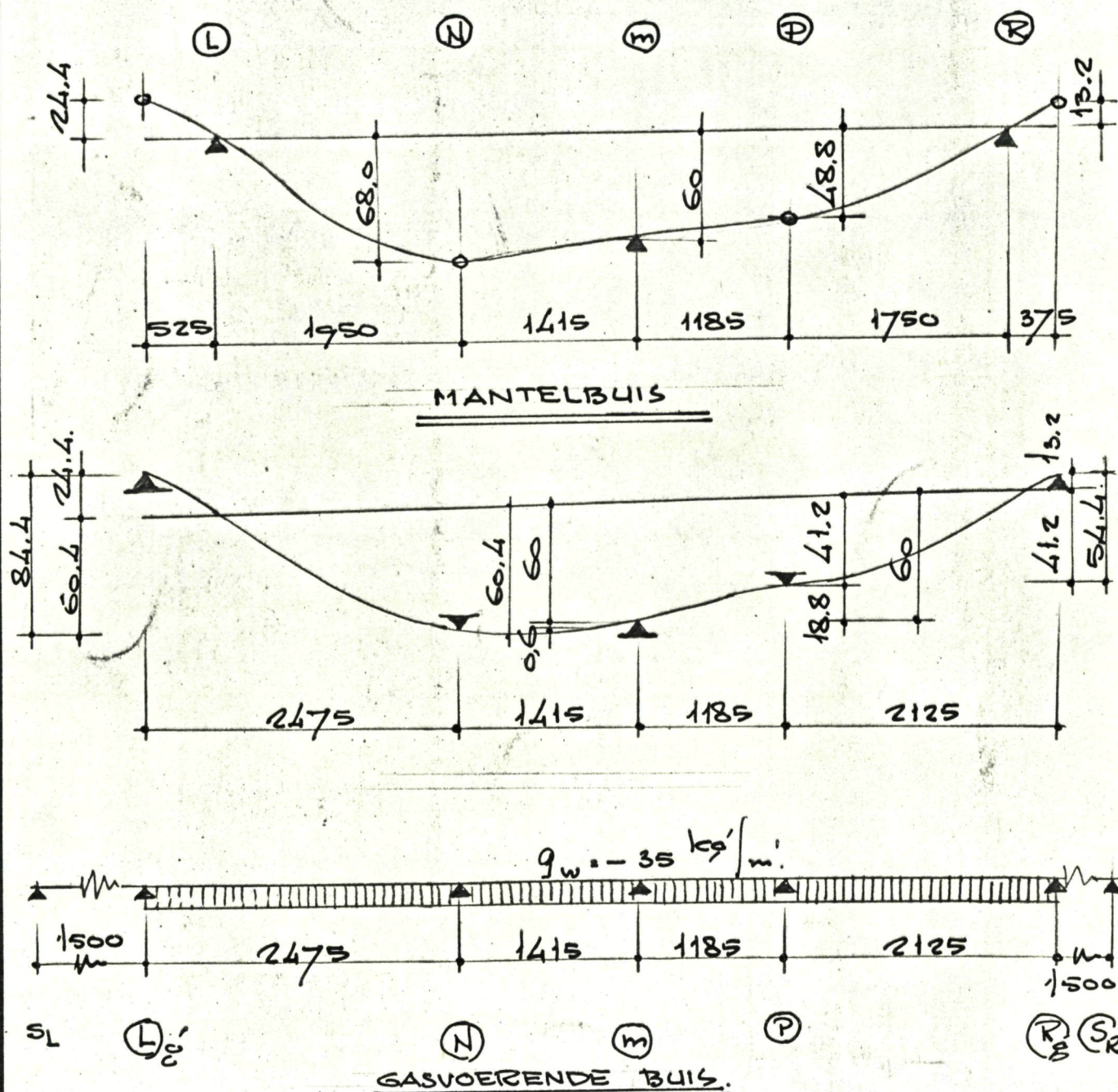
$$R'_R = 7765$$

$$\begin{aligned}
 S_{ov.R} & = - (7765 + \frac{2}{3} \times 260 + \frac{3}{4} \times 70) \times 3,75 = - 29965 \\
 & 85 \times (\frac{3}{4} \times 2,75 + 1,0) & = & 260 \\
 & S_{ov.R} & = & - 29705
 \end{aligned}$$

$$f_{ov.R} = - \frac{29705}{2254} = - 13,2 \text{ cm (stijging).}$$

De max. doorbuiging in de as van de weg bij volledige belastingen $f_N = 68,0 \text{ cm}$ blijkt dus kleiner te zijn dan de max.zetting $Z = 80 \text{ cm}$. De mantelbuis kan de zettingen dus niet volgen, zodat ten rechte met de volledige belastingen is gerekend.

Schematische voorstelling der elastische lijnen der mantel- en gasvoerende buizen.



T.g.v. de stijging der manteleinden is de gasvoerende buis op deze plaatsen aan de onderzijde en in de punten N en P aan de bovenzijde aangedrukt.

In het punt m. is de gasvoerende buis wederom aan de onderzijde tegen de mantel aangedrukt.

Het verschil tussen de binnen- en buitendiameter der mantel, resp. gasvoerende buis + thinsulators bedraagt $D_{i m} - (D_{u.g} + 2 th) = 76$ cm. Dit bedrag zijn de punten N en P der gasvoerende buis dan ook minder gezakt dan de zelfde punten der mantelbuis.

De gasvoerende buis is dus een ligger op verscheidene st.ptn. welke t.o.v. elkaar gezakt of gestegen zijn.

Voor de eindvelden grenzend aan de manteleinden is m.b.v. Hetenyi een lengte van 15 m vastgesteld.

Berekening van de als belastingen ingevoerde reacties der gasvoerende buis op de mantelbuis.

$$EI_g = 490,5 \times 10^8 \text{ kgcm}^2;$$

Belastingen :

$$\text{opwaartse druk } q_w = - 35 \text{ kg/m'}$$

Aanvangsmomenten :

$$M = 6 EI_g \times \frac{\Delta f}{L^2} \pm \frac{1}{12} \times q_w \times L^2$$

in kgm

$$M_{L-g-N} = 2943 \times 10^4 \times \frac{0,844}{24,75^2} - \frac{35}{12} \times 24,75^2 = 37465 - 1785 = 35680$$

$$M_{N-L_g} = 37465 + 1785 = 39250$$

$$M_{N-m} = 2943 \times 10^4 \times \frac{0,004}{14,15^2} + \frac{35}{12} \times 14,15^2 = 545 + 685 = 1230$$

$$M_{m-N} = 545 - 685 = - 140$$

$$M_{m-P} = 2943 \times 10^4 \times \frac{0,188}{11,85^2} + \frac{35}{12} \times 11,85^2 = 36405 + 410 = 36815$$

$$M_{P-m} = 36405 - 410 = 35995$$

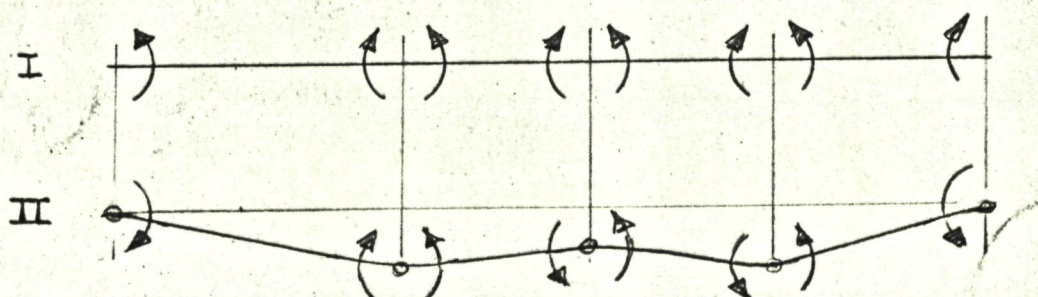
$$M_{P-R_g} = 2943 \times 10^4 \times \frac{0,544}{21,25^2} + \frac{35}{12} \times 21,25^2 = 32720 + 1320 = 34040$$

$$M_{R_g-P} = 32720 - 1320 = 31400$$

Verhouding der stijfheden :

$$\begin{aligned}
 k_{Lg-SR} : k_{Lg-N} &= 0,75 \times 24,75 : 15 &= 0,55 : 0,45 \\
 k_{N-Lg} : k_{N-m} &= 14,15 : 24,75 &= 0,36 : 0,64 \\
 k_{m-N} : k_{m-P} &= 11,85 : 14,15 &= 0,46 : 0,54 \\
 k_{P-m} : k_{P-Rg} &= 21,25 : 11,85 &= 0,64 : 0,36 \\
 k_{Rg-P} : k_{Rg-SR} &= 15 : 0,75 \times 21,25 &= 0,48 : 0,52
 \end{aligned}$$

Ter verduidelijking van de superpositie der aanvangsmomenten mogen de ondervolgende schema's dienen



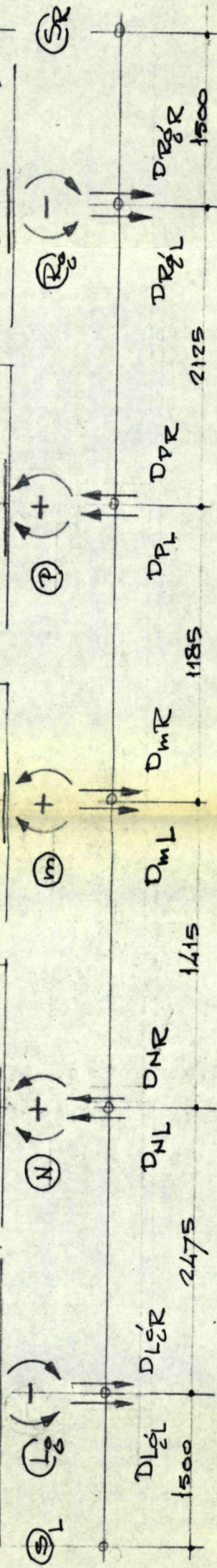
I geeft de draairichtingen aan t.g.v. de opwaartse druk

II geeft de draairichtingen aan t.g.v. de verticale verplaatsingen.

Vereffening :

L _g		N		m		P		R _g	
S _L	N	L _g	m	N	P	m	R _g	P	S _R
- 0,55	- 0,45	-0,36	- 0,64	- 0,46	- 0,54	- 0,64	- 0,36	- 0,48	- 0,52
-19625	+35680 -16055	+39250 -13685	- 1230 -24335	+ 140 +16870	-36815 +19805	-35995 +44820	-34040 +25215	-31400 +15070	+16330
+ 3760	- 6840 + 3080	- 8025 - 150	+ 8435 - 260	-12165 - 4715	+22410 - 5530	+ 9900 -11160	+ 7535 - 6275	+12605 - 6050	- 6555
+ 40	- 75 + 35	+ 1540 + 295	- 2355 + 520	- 130 + 2625	- 5580 + 3085	- 2765 + 3705	- 3025 + 2085	- 3135 + 1505	+ 1630
- 80	+ 145 - 65	+ 15 - 475	+ 1310 - 850	+ 260 - 970	+ 1850 - 1140	+ 1540 - 1465	+ 750 - 825	+ 1040 - 500	- 540
+ 130	- 235 + 105	- 30 + 185	- 485 + 330	- 425 + 530	- 730 + 625	- 570 + 525	- 250 + 295	- 410 + 195	+ 215
- 50	+ 90 - 40	+ 50 - 115	+ 265 - 200	+ 165 - 195	+ 260 - 230	+ 310 - 260	+ 95 - 145	+ 145 - 70	- 75
+ 30	- 55 + 25	- 20 + 40	- 95 + 75	- 100 + 105	- 130 + 125	- 115 + 95	- 35 + 55	- 70 + 35	+ 35
- 10	+ 20 - 10	+ 10 - 20	+ 50 - 40	+ 35 - 35	+ 45 - 45	+ 60 - 50	+ 15 - 25	+ 25 - 10	- 15
+ 5	- 10 + 5	- 5 + 5	- 15 + 15	- 20 + 20	- 25 + 25	- 20 + 15	- 5 + 10	- 10 + 5	+ 5
-	-	-	+ 10	+ 5	+ 5	+ 10	-	+ 5	- 5
-15800	+15800	+18860	-18860	+ 1995	- 1995	+ 8575	- 8575	-11025	+11025

Eindmomenten:



Dwarskrachten en reacties.

$$D_{Lg.L} = \frac{15800}{15}$$

$$D_{Lg.R} = -24,75 \times 17,5 + \frac{15800 + 18860}{24,75} = -435 + 1400 = 965$$

$$R_{L.g} = 2015$$

$$D_{NL} = -435 - 1400 =$$

$$= -1835$$

$$D_{NR} = -14,15 \times 17,5 - \frac{18860 - 1995}{14,15} = -250 - 1190$$

$$= -1440$$

$$R_N = -3275$$

$$D_{m.L} = -250 + 1190$$

$$= 940$$

$$D_{m.R} = -11,85 \times 17,5 + \frac{-1995 + 8575}{11,85} = -205 + 555$$

$$= 350$$

$$R_m = 1290$$

Dwarskrachten en reacties

in kg

$$D_{P.L} = -205 - 555$$

$$= -760$$

$$D_{P.R} = -21,25 \times 17,5 - \frac{8575 + 11025}{21,25} = -370 - 920 = -1290$$

$$R_P = -2050$$

$$D_{RgL} = -370 + 920$$

$$= 550$$

$$D_{RgR} = \frac{11025}{15}$$

$$= 735$$

$$R_{Rg} = 1285$$

De totale belasting tussen L_{gR} en R_{gL} is

$$Q_g = -35 \times 72 = -2520 \text{ kg}$$

$$\text{Som der reacties} = 965 - 3275 + 1290 - 2050 + 550 = -2520 \text{ kg}$$

(klopt !)

Correcties op de waarden voor de mantelbuis.

Ter bekorting worden de invloeden van de optredende belastingen volgens de berekening bepaald op de statisch bepaalde systemen.

De correctie op de grootte der st.pt's reacties.De reactie in L.

$$\Delta R_L = (2015 - 1800) \times \frac{68,25}{63} - (3275 - 3250) \times \frac{14,15}{33,65} - (1285 - 1200) \times$$

$$\frac{3,75}{63} = 235 - 10 - 5 = 220 \text{ kg.}$$

$$R_L \text{ gecorr.} = 21500 + 220 = 21720 \text{ kg}$$

De reactie en het moment in m.

$$\Delta R_m = 1290 - (25 - 10) - (2050 - 2000) \times \frac{17,5}{29,35} = 1275 - 30 = 1245 \text{ kg}$$

$$R_m \text{ gecorr.} = 25350 + 1245 = 26595 \text{ kg}$$

$$M_m \text{ gecorr.} = -39585 + 1995 = -37590 \text{ kgm}$$

De reactie in R.

$$\Delta R_R = 215 - 235 + 85 + 5 - 50 + 30 = 50 \text{ kg}$$

$$R_R \text{ gecorr.} = 14305 + 50 = 14355 \text{ kg.}$$

Controle der oplegglengten i.v.m. de veiligheid tegen overschrijding van $P_{w.e.}$ 1 = het st.pt. L aan de westzijde.

$$P_{w.e.L} = 6065 \text{ kg/m}'; L_{0.L} = 5,5 \text{ m}; M_L = 15600 \text{ kgm}$$

$$\sigma_{gr.v} = \frac{21720}{5,5} = 3860 \text{ kg/m}'; \text{ of } \frac{3860}{6065} P_{w.e.L} = 0,637 P_{w.e.L.}$$

$$M_{\text{leverbaar}} = 0,363 \times 6065 \times \frac{5,5^2}{4} = 16600 \text{ kgm} > \text{aanname.}$$

$$n_{P.w.e.L} = \frac{1}{0,636} = 1,57.$$

2 = het st.pt. m. in de kanaalas.

$$P_{w.e.m} = 3240 \text{ kg/m}'; L_{0.m.} = 10 \text{ m};$$

$$\sigma_{gr.v} \beta = \frac{26595}{10} = 2660 \text{ kg/m}'; \text{ of } \frac{2660}{3240} P_{w.e.m} = 0,82 P_{w.e.m.}$$

Er is dus een reserve van 18% tegen een te gunstig berekende waarde van $P_{w.e.m}$ aanwezig.

3 = het st.pt. R aan de Oostzijde.

$$P_{w.e.R} = 3820 \text{ kg/m}'; \quad L_{O.R} = 5,5 \text{ m}; \quad M_R = 9300 \text{ kgm}$$

$$\sigma_{gr.v} = \frac{14355}{5,5} = 2610 \text{ kg/m}'; \quad \text{of} \quad \frac{2610}{3820} P_{w.e.R} = 0,683 P_{w.e.R}$$

$$M_{\text{leverbaar}} = 0,317 \times 3820 \times \frac{5,5^2}{4} = 9150 \text{ kgm of } 1,6\% < \text{de aanname.}$$

$$n_{P.w.e.R} = \frac{1}{0,683} = 1,46.$$

Controle van het uitwendig evenwicht.

Belastingen =

$$\text{Grond} + \text{e.g. mantelbuis} = 63405 \text{ kg}$$

$$\text{Uit de gasv.buis : } 2015 - 3275 + 1290 - 2050 + 1285 = -735 + "$$

$$\text{Som der belastingen} = 62670 \text{ kg}$$

$$\text{Som der reacties} = 21720 + 26595 + 14355 = 62670 \text{ kg (klopt !)}$$

Conclusie :

De aangenomen waarden van M_L , M_R , alsmede de reacties $G_{ov.L}$, G_N , G_p en $G_{ov.R}$, hebben voldaan aan de gestelde eis dat zij gelijk of kleiner zijn dan de berekende.

Ook de aannames van de grondtegendrukkwn blijken aan de gestelde eis te voldoen.

Voor de sterkte berekening van de mantelbuis kan worden volstaan met de aangenomen waarden, i.pl.v. de berekende.

Voor de sterkteberekening der gasvoerende buis zullen echter de uitkomsten van de berekeningen moeten worden aangehouden.

Sterkteberekening der mantelbuis.

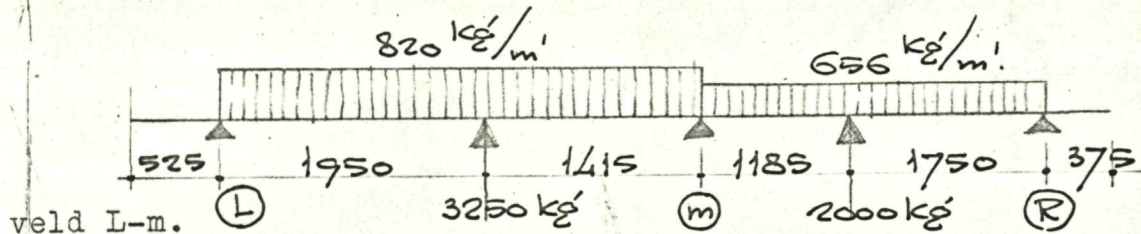
maatgevende waarden t.g.v.

a = statische belastingen

b = dynamische belastingen.

a = statische belastingen.

Het maximum moment in een drsn X voor de fasen 2 en 3 wordt aangenomen tevens het max. voor de 3 fasen te zijn.



$$R_{L(2+3)} = 10975 - 875 = 10100 \text{ kg}$$

$$\text{De dwarskracht } D = 0 \text{ op } x_L = \frac{10100}{820} = 12,30 \text{ m.}$$

$$M_{v.\max(2+3)} = \frac{10100^2}{2 \times 820} = 62250 \text{ kgm}$$

$$\text{Phase 1 : } R_{L.1} = 11400 \text{ kg; } q_1 = 136 \text{ kg/m'; } M_L = -15600 \text{ kgm}$$

$$G_{ov.L} = 1800 \text{ kg; } Q_{ov.L} = 956 \times 5,25 = 5020 \text{ kg}$$

$M_{x.L.1} = 11400 \times 12,30$	$=$	140220	kgm
M_L	$=$	- 15600	"
$- 1800 \times 17,56$	$=$	- 31610	"
$- 5020 \times 14,935$	$=$	- 74975	"
$- 0,5 \times 136 \times 12,30^2$	$=$	- 9550	"
$M_{x.L.1}$	$=$	140220 - 131735	$= 8485 \text{ kgm.}$

$$M_{\max.v.L-m} = 62250 + 8485 = 70735 \text{ kgm.}$$

veld R-m.

$$R_{R(2+3)} = 6390 - 245 = 6145 \text{ kg.}$$

$$\text{De dwarskr. } D = 0 \text{ voor } x_R = \frac{6145}{656} = 9,37 \text{ m.}$$

$$M_{v.\max(2+3)} = \frac{6145^2}{2 \times 656} = 28400 \text{ kgm}$$

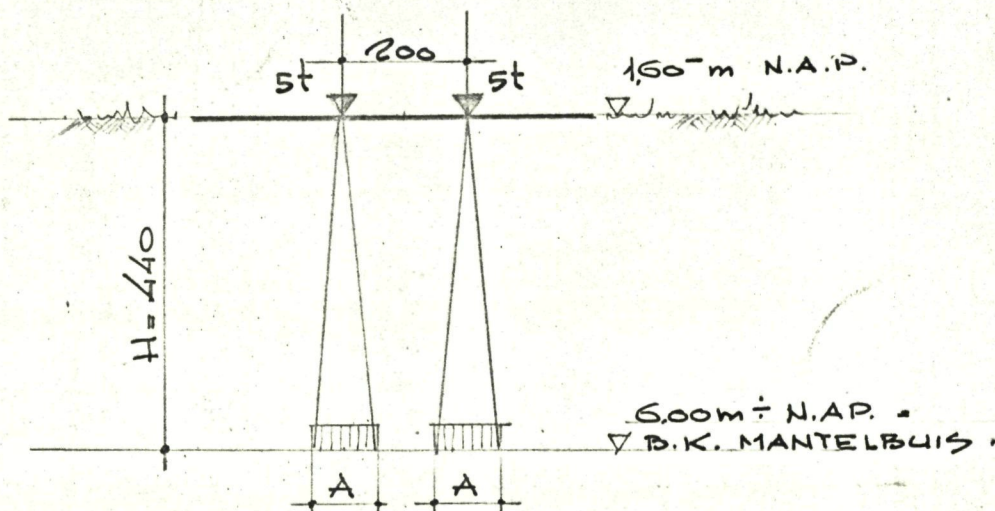
Uit deze uitkomst valt af te leiden dat het max.moment in het veld L - m groter is dan in het veld R - m.

Daar verder het niet gereduceerde moment $M_m = - 37590$ kgm in absolute waarde kleiner is dan $M_{\max.v.L-m}$, is deze laatste maatgevend.

$$M_{\max} = 70735 \text{ kgm}; \quad W_m = 3520 \text{ cm}^2.$$

$$\sigma_{x.\max} = \frac{7073500}{3520} = 2010 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_m = 2440 \text{ kg/cm}^2.$$

b = t.g.v. mobiele belastingen.



Volgens Spangler is : $Q_{\text{mob.}} = \frac{I_c C_t P}{A}$ in kg/m' waarin :

$$P = \text{de wiellast} = \frac{1}{2} \text{ aslast} = \frac{1}{2} \times 10000 = 5000 \text{ kg.}$$

I_c = de stootcoëff. gekozen is $I_c = 2$.

C_t = de belastingscoëff, die een functie is van $m = \frac{D}{2H}$ en $n = \frac{A}{2H}$

H = de hoogte van het aangrijpingspunt der last boven de bovenkant der mantelbuis.

A = de effectieve lengte = constant = 3 ft. = 0,91 m.

Voor de weg aan de westzijde geldt :

$$H = 4,40 \text{ m}; \quad n = \frac{0,91}{8,8} = 0,103; \quad D_m = 0,61 \text{ m}; \quad m = \frac{0,61}{8,8} = 0,07 < 0,1$$

Gerekend wordt met $m = 0,10$

De tabel van Spangler geeft $C_t = 0,01954$, zodat

$$Q_{\text{mob}} = \frac{2 \times 0,01954 \times 5000}{91} = 215 \text{ kg/m' of } 195 \text{ kg per wiel.}$$

De invloed van mobiele belastingen.

Deze worden aangenomen uitsluitend in tangentiële richting te werken. In axiale richting wordt wel met de spreiding volgens Spangler gerekend, echter zonder stootcoëff.

Axiaal :.

Twee belastingsgevallen worden berekend.

Geval 1 = Eén der velden is belast, voor de berekening van het maximum veldmoment.

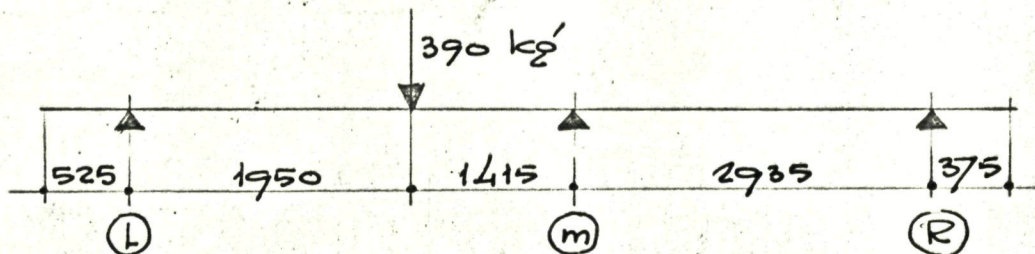
Geval 2 = Beide velden zijn belast voor het maximum st.pt.'s moment in m, en een controle op het evenwichtsdraagvermogen in m.

Geval 1 :

Omdat het maatgevend veldmoment in het veld L - m groter is dan in het veld R - m, en bovendien de wegen in de velden L - m en m - R door twee resp. één aslast kunnen worden belast, is het maximum moment in het veld L - m maatgevend.

Voor de berekening worden de 2 aslasten geconcentreerd tot één puntlast in de as van de weg.

$$P_{mob/c_t} = \frac{1}{2} \times 4 \times 195 = 390 \text{ kg}$$



Het st.pt.'s moment M_m wordt bepaald middels vereffening.

Aanvangsmomenten :

$$M_{m-L} = 390 \times \frac{19.5}{2} \left(1 - \frac{19.5^2}{33.65^2} \right) = 2485 \text{ kgm};$$

$$M_{m-R} = 0.$$

Stijfheidsverhouding :

$$k_{m-L} : k_{m-R} = 0.465 : 0.535.$$

Vereffening :

m	
L	K
- 0,465	- 0,535
- 2485	
+ 1155	+ 1330

Eindmom. $M_{m.1}$ - 1330 + 1330 in kgm

Reactie in L.

$$R_{L.1} = 390 \times \frac{14,15}{33,65} - \frac{1330}{33,65} = 165 - 40 = 125 \text{ kg},$$

Het moment in drsn X op $x_L = 12,31$ m uit st.pt. L is :

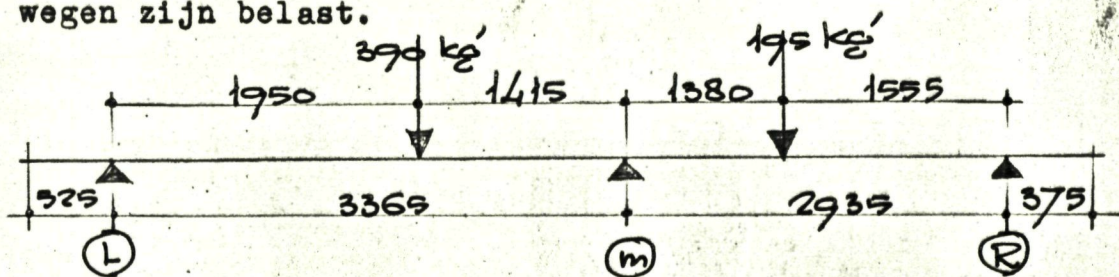
$$M_{x.L_{mob}/c_t} = 125 \times 12,31 = 1540 \text{ kgm}.$$

$$M_{v(L-m)} + M_{x L_{mob}/c_t} = 70735 + 1540 = 72275 \text{ kgm}.$$

$$\sigma_{x.max} + \sigma_{x_{mob}/c_t} = \frac{7227500}{3520} = 2055 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_m = 2440 \text{ kg/cm}^2$$

Geval 2.

Beide wegen zijn belast.



Aanvangsmomenten :

$$M_{m-L} = 2485 \text{ kgm}.$$

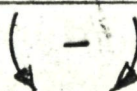
$$M_{m-R} = 195 \times \frac{15,55}{2} \left(1 - \frac{15,55^2}{29,35^2}\right) = 715 \text{ kgm}$$

Vereffening :

m	
L	K
-0,465	-0,535
- 2485	+ 715
- 825	+ 945
- 1660	+ 1660

Eindmom. $M_{m.2}$

in kgm



Reacties :

$$\begin{aligned}
 R_{L.2} &= 165 - \frac{1660}{33,65} = 165 - 50 = 115 \text{ kg} \\
 R_{m.2} &= 265 + 195 \times \frac{15,55}{29,35} + \frac{1660}{29,35} = 265 + 105 + 55 = 425 \text{ " } \\
 R_{R.2} &= 195 - 160 = 35 \text{ " }
 \end{aligned}$$

Geval 1.a = veld m-R is belast en veld L-N onbelast.

Dit belastingsgeval is uitsluitend ter bepaling van de max. reactie in R.

Aanvangsmoment : $M_{m-R} = 715 \text{ kgm}$

Vereffening :

m	
L	R
-0,465	-0,535
-	+ 715
- 335	- 380
- 335	+ 335

Eindmom. $M_{m.1a}$

in kgm

Reactie in R.

$$R_{1.a} = \frac{11,85}{29,35} \times 195 - \frac{335}{29,35} = 80 - 10 = 70 \text{ kg.}$$

De invloed van Q_{mob} op het evenwichtsdraagvermogen en het leverbaar moment door de st.ptn L en R.
St.pt. L aan de westzijde.

$$\begin{aligned}
 \sigma_{gr.v.Q} + Q_{mob}/c_t &= \frac{21720 + 125}{5,5} = 3970 \text{ kg/m of } \frac{3970}{6065} P_{w.e.L} = \\
 &= 0,656 P_{w.e.L}.
 \end{aligned}$$

$$M_{\text{leverbaar}} = 0,344 \times 6065 \times \frac{5,5^2}{4} = 15750 \text{ kgm} > M_L = 15600 \text{ kgm}.$$

St.pt. m in de as van het kanaal.

$$\sigma_{\text{gr.v}}(Q + \frac{Q_{\text{mob}}}{c_t}) = \frac{26595 + 425}{10} = 2700 \text{ kg/m}^2 \text{ of } \frac{2700}{3240} P_{\text{w.e.m}} = 0,835 P_{\text{w.e.m}}$$

I.pl.v. 18% is nu 16,5% aanwezig tegen een te gunstig berekende $P_{\text{w.e.m.}}$.

St.pt R aan de oostzijde.

$$\sigma_{\text{gr.v}}(Q + \frac{Q_{\text{mob}}}{c_t}) = \frac{14355 + 70}{5,5} = 2625 \text{ kg/m}^2 \text{ of } \frac{2625}{3820} \times P_{\text{w.e.R}} = 0,687 P_{\text{w.e.R}}$$

$$M_{\text{leverbaar}} = 0,313 \times 3820 \times \frac{5,5^2}{4} = 9050 \text{ kgm of } 2,7\% < \text{aanname.}$$

Tangentieel.

a = de niet ondersteunde buisgedeelten.

Het ongunstigst belast is het gedeelte onder de weg aan de oostzijde.

$$Q_{\text{max}} = Q_{\text{grond}} + e.g. + \frac{Q_{\text{mob}}}{c_t} = 13,5 + 1,65 + 2,15 = 17,3 \text{ kg/cm}^2$$

Het max.moment treedt op in de top ener drsn.

$$M_{y \text{ Top}} = 0,071 \times 17,3 \times 29,837 = 36,7 \text{ kgcm/cm}^2;$$

$$N_{\text{Top}} = - 0,185 \times 17,3 = - 3,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{y \text{ Top}} = \frac{36,7}{0,267} - \frac{3,2}{1,268} = 138 - 3 = 135 \text{ kg/cm}^2.$$

b = de ondersteunde buisgedeelten.

Omdat $P_{\text{w.e.L}}$ van de 3 $P_{\text{w.e.}}$ de hoogste waarde heeft en

het steunpt. L. over $1/2 L_{OL}$ tot het evenwichtsdraagvermogen is belast, is :

$$Q_D = 60,65 - 8,5 = 52,15 \text{ kg/cm}^2; \quad Q = 8,5 \text{ kg/cm}^2$$

Het e.g. der buis is als een Q_D belasting in rekening gebracht.

$$\phi_B = 180^\circ; \quad k_T = k_S = k_B = 0,125; \quad k_{yQ} = 0,083$$

$$k_{yQD} = 0,012 \text{ (zie bijlage d).}$$

De maatgevende waarde komt voor in de top.

$$M_{y \text{ Top}} = (0,125 \times 8,5 + 0,026 \times 52,15) \times 29,837 = (1,06 + 1,36) \times 29,837 = 62,2 \text{ kgcm/cm}^1$$

$$N_{\text{Top}} = 0,119 \times 52,15 = 6,1 \text{ "}$$

$$\sigma_{y \text{ Top}} = \frac{62,2}{0,276} + \frac{6,3}{1,286} = 250 + 5 = 255 \text{ kg/cm}^2.$$

De deflectie in de top :

$$\text{t.g.v. } Q = 8,5 \text{ kg/cm}^1 ; \Delta y_Q = 0,083 \times 8,5 \times \frac{29,837^3}{0,372 \times 10^6} = 0,050 \text{ cm}$$

$$\text{t.g.v. } Q_D = 52,15 \text{ " ; } \Delta y_{QD} = 0,012 \times 52,15 \times \text{ " " } = 0,045 \text{ "}$$

$$\Delta y_{\text{Top totaal}} = -0,095 \text{ "}$$

= Ongeveer 1 mm.

Conclusie :

De maatgevende spanning komt voor in axiale richting:

$$\sigma_{x.\text{max.}} + \sigma_{x.\text{mob}/c_t} = 2055 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_m$$

De mantelbuis $\emptyset 24''$ voldoet.

C. = de berekening der gasvoerende buis.

$$\text{De toegepaste staalsoort is : } \frac{\sigma \text{ vloeï}}{\sigma \text{ breuk}} = \frac{35000 \text{ psi}}{60000 \text{ psi}} = \frac{2460 \text{ kg/cm}^2}{4220 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\begin{aligned} \text{De veiligheid tegen breuk } n_{br} &= 2,8, \text{ zodat } \bar{\sigma}_g = \frac{4220}{2,8} = \\ &= 1507 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

Buisgegevens:

$$\begin{aligned} \varnothing_{\text{uitw.}} &= 40,640 \text{ cm}; & r_u &= 20,320 \text{ cm.} \\ \varnothing_{\text{inw.}} &= 38,736 \text{ cm}; & r_i &= 19,368 \text{ cm.} & t &= 0,952 \text{ cm.} \\ \varnothing_{\text{gemidd.}} &= 39,688 \text{ cm}; & r &= 19,844 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$F_g = \frac{\pi}{4} (40,64^2 - 38,736^2) = 118,6 \text{ cm}^2$$

$$I_g = \frac{\pi}{64} (40,64^4 - 38,736^4) = 23359 \text{ cm}^4$$

$$W_g = \frac{23359}{20,32} = 1150 \text{ cm}^3.$$

$$EI_g = 2,1 \times 10^6 \times 23359 = 490,5 \times 10^8 \text{ kgcm}^2.$$

per cm¹ buiswand :

$$F_{g.1} = 0,952 \text{ cm}^2$$

$$I_{g.1} = 1/12 \times 0,953^3 = 0,072 \text{ cm}^4$$

$$W_{g.1} = 1/6 \times 0,953^2 = 0,151 \text{ cm}^3$$

$$E \cdot I_{g.1} = 2,1 \times 10^6 \times 0,072 = 151200 \text{ kgcm}^2.$$

Belastingen:

a) gasdruk $p = 40 \text{ kg/cm}^2$.

b) In de mantelbuis :

$$\text{Opdrijvende kracht } w = \frac{\pi}{4} \times 0,4064^2 \times 1000 = - 130 \text{ kg/m}^1$$

$$\text{e.g.} = 118,6 \times 0,785 = 95 "$$

$$\text{e.g. onder water} = - 35 \text{ kg/m}^1$$

c) Buiten de mantelbuis, en buiten de dempingszône van 15 m.

Het ongunstigst belast is de westzijde.

$$Q_{\text{max}} = \frac{16''}{24''} \times Q_{\text{gr}} + \text{e.g. onder water} = 2/3 \times 8,5 - 0,35 = 5,7 - 0,35 = 5,35 \text{ kg/cm}^1$$

Berekeningen:

1= Spanningen uitsluitend t.g.v. de gasdruk.

De max. tangentiële spanning volgens Lamé wordt als ringspanning aangehouden.

$$\sigma_{\text{ring}} = \frac{20,32^2 + 19,368^2}{20,32^2 - 19,368^2} \times 40 = 20,86 \times 40 = 834 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Voor rechte strekkingen geldt dus : } \sigma_{y.p} = \sigma_{\text{ring}} = 834 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{x.p} = 1/2 \sigma_{\text{ring}} = 417 "$$

In bochten (zie kruising met de Dubbele Wiericke)

Toegepast is een bocht van 10D.

$$\text{Toeslag in de binnenbocht : } f_t = \frac{406,4 - 6,228}{406,4 - 19,368} = 1,034$$

$$\text{De toeslagen: tangentiël: } = 0,034 \times 834 = 28 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{axiaal : } = 0,3 \times 28 = 8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Reductie in de buitenbocht: } f_r = \frac{406,4 + 6,228}{406,4 + 19,368} = 0,969.$$

De reducties : tangentieel : = $0,031 \times 834 = 26 \text{ kg/cm}^2$
 axiaal : = $0,3 \times 26 = 8 \text{ kg/cm}^2$

De reroundingsfactor : volgens Spangler:

$$f_{rr} = \frac{1}{1 + \frac{2p}{EI_{g.1}} \times r^3 \times k_y} = \frac{1}{1 + \frac{80}{0,1512} \times 0,19844^3 \times k_y} = \frac{1}{1 + 4,14 \times k_y}$$

Voor $\varphi_B = 30^\circ$, is $k_y = 0,113$; $f_{rr} = \frac{1}{1 + 4,14 \times 0,113} = \frac{1}{1 + 0,55} = 0,645$

Voor $\varphi_B = 60^\circ$, is $k_y = 0,105$; $f_{rr} = \frac{1}{1 + 4,14 \times 0,105} = \frac{1}{1 + 0,435} = 0,698$

De intensiteitsfactoren (zie de Gouwe)

Voor een bocht geldt:

$$\sigma_x = i_x \cdot \frac{M_x}{W_g} \quad \text{en} \quad \sigma_y = i_y \cdot \frac{M_x}{W_g}$$

Daar de bocht voorkomt in het gedeelte dat berekend wordt als een in een sleuf geplaatste leiding volgens Spangler, en het axiale moment t.pl.v. de bocht verondersteld wordt te zijn uitgedempt (momenten nulpunt na het laatste st.pt. op het eind der mantelbuis aan de westzijde), is $i_y \cdot \frac{M_x}{W_g} = 0$. Daar voorts voor in sleuven geplaatste buizen σ_y maatgevend is, kunnen de i-factoren buiten beschouwing blijven.

2.- Spanningen t.g.v. uitwendige belastingen + gasdruk

2a = buiten de mantelbuis, en buiten de dempingszône van 15 m.

Axiale momenten treden niet op. De tangentiele spanning in de drsn. met de grootste bovenlast, voorkomend aan de westzijde is dus maatgevend.

Tangentieel :

$$Q = 5,35 \text{ kg/cm}^1, \varphi_B = 30^\circ. k_B = 0,235, k_T = 0,148, k_S = 0,152.$$

$$k_y = 0,113, \text{ zodat } f_{rr} = 0,645$$

$$\text{In de top : } M_y = 0,148 \times 5,35 \times 19,844 = 15,7 \text{ kgcm/cm}^1$$

$$f_{rr}\sigma_{My} = 0,645 \times \frac{15,7}{0,151} = 67 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_y = \sigma_{yp} + \text{toeslag} + f_{rr}\sigma_{My} = 834 + 28 + 67 = 929 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_g$$

$$\text{In de bodem : } M_y = \frac{0,235}{0,148} \times 15,7 = 24,9 \text{ kgcm/cm}^1$$

$$f_{rr}\sigma_y = " \times 67 = 106 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\sigma_y = \sigma_{yp} + \text{reductie} + 106 = 834 - 26 + 106 = 914 \text{ kg/cm}^2.$$

2b. - in de mantelbuis.

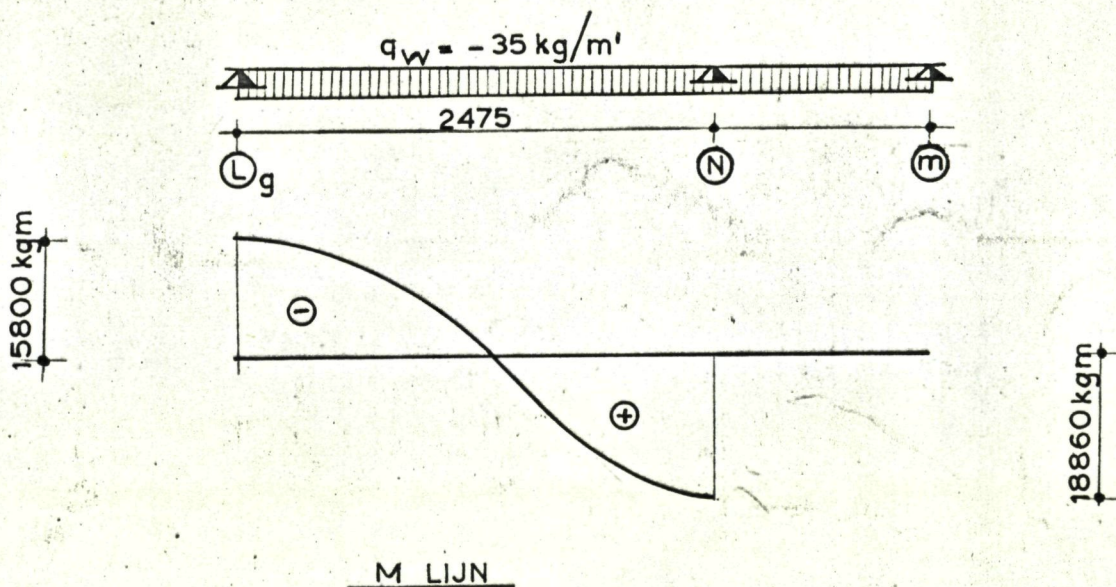
Axial :

De meest ongunstige waarden komen voor in het st.pt. L_g en het st.pt. N.

Reducties der momenten $M_{L_g} = -15800 \text{ kgm}$ en $M_N = 18860 \text{ kgm}$.

Belasting : $q_w = -35 \text{ kg/m}^1$

$M_{L_g} = -15800 \text{ kgm}$, $M_N = 18860 \text{ kgm}$, $M_m = 1995 \text{ kgm}$.



Reductie van een st.pt's moment is alleen mogelijk boven het st.pt.

Het moment $M_{Lg} = - 15800 \text{ kgm}$.

Veld L_{g-N} ; $D_{Lg.R} = 965 \text{ kg}$; $D_{NL} = - 1835 \text{ kg}$

De verg. der momentenlijn is :

$$\begin{aligned} M_{xLg} &= - 15800 + 965 x_{Lg} + 17,5 x_{Lg}^2 \quad \text{of :} \\ M_{xN} &= 18860 - 1835 x_R + 17,5 x_R^2. \end{aligned}$$

Het momenten nulpunt wordt gevonden door van een der verg. het linkerlid = 0 te stellen.

$$17,5 x_{Lg}^2 + 965 x_{Lg} - 15800 = 0, \text{ waaruit } x_{Lg} = 13,25 \text{ m uit } L_g.$$

Is in een drsn. x_{Lg} het moment M_{xLg} dan is het gereduceerde moment $M_{Lg \text{ ger.}} = M_{x.L_g} - \frac{R_{Lg} \times 2 \times x_{Lg}}{8}$

In-dit geval wordt dus aangenomen dat de as door het st.pt. L_g een symmetrie-as is van de momentenlijn.

De nog beschikbare spanning voor het moment is :

σ_x beschikbaar = $1507 - 417 = 1090 \text{ kg/cm}^2$, zodat gesteld kan worden dat :

$$M_{Lg. \text{ gered.}} \leq \pm 1090 \times 1150 = \pm 1253500 \text{ kgcm} = \pm 12535 \text{ kgm}.$$

Voor $x_{Lg} = 4,5 \text{ m}$ is :

$$\begin{aligned} M_{xLg} &= - 15800 + 965 \times 4,5 + 17,5 \times 4,5^2 = \\ &= - 15800 + 4345 + 355 = - 11100 \text{ kgm} \\ &\quad - 2015 \times \frac{9}{8} = - 2260 \text{ kgm} \\ M_{Lg. \text{ gred.}} &= - 13360 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\sigma_{MLg} = \frac{13360}{1150} = 1160 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{x.p} = 417 \text{ "}$$

$$\sigma_{xLg} = \frac{1577 \text{ kg/cm}^2}{1507} \text{ of } \frac{70}{1507} = 4,65 \% > \bar{\sigma} \text{ (incidenteel toelaatbaar).}$$

Te bewijzen: de drsn. X_{Lg} op 4,5 m. uit L_g maakt nog deel uit van het st.pt. L_g .

De positie van X_{Lg} op de gasvoerende buis.

$$F_M \text{ totaal} = - 0,5 \times 158 \times 24,75 + 0,5 \times 18860 \times 24,75 - \frac{1}{12} \times 0,35 \times 24,75^3 = -1955 + 2335 - 440 = 560.$$

$$R_{LgR}^1 = - \frac{2}{3} \times 1955 + \frac{1}{3} \times 2335 - \frac{1}{2} \times 440 = -1305 + 780 - 220 = -745.$$

$$x_L = \frac{4,5}{24,75} \times 24,75 = 0,182 \times 24,75 \text{ m}; (1 - 2 \times 0,182^2 + 0,182^3) = 0,94$$

$$\frac{1}{24} \times 0,35 \times 24,75^3 = 220.$$

$$S_{XLg} = -745 \times 4,5 + \frac{2 \times 158 + 111}{6} \times 4,5^2 + 4,5 \times 0,94 \times 220 = -3355 + 1460 + 930 = -965$$

$$f_{XLg} = - \frac{965}{490,5} = -1,97 \text{ cm. (stijging).}$$

De positie van X_{Lg} t.o.v. de mantelbuis.

$$R_L^1 = 9970 ; x_m = 525 - 4,5 = 0,75 \text{ m.}$$

$$S_{X.m} = -9970 \times 0,75 - \text{factoren t.g.v. het neg. momentvlak.}$$

$$f_{x.m} > - \frac{9970 \times 0,75}{2254} = -3,35 \text{ cm.}$$

De werkelijke stijging van X_{Lg} op de gasvoerende buis op de verbindingslijn $L_g - L - N$.

De gasvoerende buis is over de afstand $L_g - N = 24,75 \text{ m.}$, in het punt N, 7,6 cm. gestegen t.o.v. het st.pt. N.

In het punt X_{Lg} is de gasvoerende buis $\frac{4,5}{24,75} \times 7,6 = 1,38 \text{ cm}$ gestegen t.o.v. de verbindingslijn $L_g - N$.

De totale stijging van X_{Lg} t.o.v. de verbindingslijn $L_g - N$ is dus $1,97 + 1,38 = 3,35 \text{ cm.}$

Daar de mantelbuis meer dan 3,35 cm. t.o.v. de verbindingslijn $L_g - L - N$ is gestegen, is het bewijs geleverd, dat X_{Lg} nog tot het st.pt. L_g kan worden gerekend.

De reductie van het moment $M_N = 18860$ kgm.

De verg. van het moment zijn :

$$\text{in het veld N - L}_g : M_{x.1} = 18860 - 1835 x_1 + 17,5 x_1^2$$

$$\text{in het veld N - m} : M_{x.2} = 18860 - 1440 x_2 + 17,5 x_2^2$$

Probeerenderwijs worden de begrenzingen van het st.pt. N in beide velden berekend.

1 - In het veld N-L_g.

Berekend is : $x_1 = 5,4$ m.

a. De verplaatsing van de drsn. X_1 op de gasvoerende buis.

$$\begin{aligned} M_{x.1} &= 18860 - 1835 \times 5,4 + 17,5 \times 5,4^2 = \\ &= 18860 - 9910 + 510 = 9460 \text{ kgm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{N.L}^1 &= 1/3 \times 1955 + 2/3 \times 2335 - 1/2 \times 440 = -650 + 1555 - 220 = \\ &= 685 \end{aligned}$$

In X_1 = uitsluitend t.g.v. de momenten M_N en M_{Lg} ,

$$M_{x.1} = \frac{19,35}{24,75} \times 188,6 - \frac{5,4}{24,75} \times 158 = 147,5 - 34,4 = 113,1.$$

$$x_1 = \frac{5,4}{24,75} \times 24,75 = 0,218 \times 24,75 \text{ m}; (1 - 0,218^2 + 0,218^3) = 0,915.$$

$$\frac{1}{24} \times 0,35 \times 24,75^3 = 220.$$

$$\begin{aligned} S_{x1} &= 685 \times 5,4 - \frac{2 \times 188,6 + 113,1}{6} \times 5,4^2 + 5,4 \times 0,915 \times 220 = \\ &= 3700 - 2385 - 1085 = 2400. \end{aligned}$$

In het punt X_1 is de gasvoerende buis t.o.v. de verbindingslijn L-R gezakt :

$$\begin{aligned} f_{x.1. \text{ gasbuis}} &= \frac{2400}{490,5} - \frac{24,35 - 5,4}{24,35} \times 7,6 + 60,4 = 4,9 - 5,95 + \\ &+ 60,4 = 59,35. \end{aligned}$$

b - De verplaatsing van X_1 op de mantelbuis.

$$x_1 = 5,4 \text{ m. uit N of } 19,5 - 5,4 = 14,1 \text{ m. uit het st.pt. L.}$$

De zakking van X_1 , t.g.v. q_1 en $q_{L.2}$

$$\text{phase 1 : } x = \frac{14,1}{63} \times 63 = 0,224 \times 63 \text{ m; } (1 - 2 \times 0,224^2 + 0,224^3) = 0,911.$$

$$\text{phase 2 : } x = 14,1 \times \frac{33,65}{33,65} = 0,418 \times 33,65 \text{ m;}$$

$$(1 - 2 \times 0,418^2 + 0,418^3) = 0,723.$$

$$S_{X.1}(q_1+q_2) = 14,1 \times (0,911 \times 14175 + 0,723 \times 13020) = 14,1 \times (12915 + 9415) = 314855.$$

De zakking van X_1 , t.g.v. de overige belastingen.

$$R_L^1 = -17225 ;$$

$$\text{Uit phase 1 en schema 4 : } M_{L.neg.} = -383 + 149 = -234.$$

$$M_{x.1.neg.} =$$

$$\text{phase 1 : } -196 - 0,776 \times 187 = -196 - 143,2 = -339,2$$

$$\text{phase 2+3 : } -0,419(949,4 - 165,05) = -0,419 \times 784,35 = -328,6$$

$$\text{phase 3 : } -\frac{14,1}{19,5} \times 266 = -192,3$$

$$\text{schema 4 : } 149 + 0,419 \times (273,6 - 149) = 149 + 52,2 = 201,2$$

$$= -658,9$$

Voorts is $M_{x.1}$ in schema 4:

$$-125,05 - (321,75 - 125,05) \times \frac{11,35}{25,9} = -125,05 - 86,2 = -211,25$$

$$-17225 \times 14,1 = -242875$$

$$660 \times 15,85 = + 10460$$

$$0,25 \times 230 \times 61,65 = + 3545$$

$$\frac{2 \times 234 + 658,9}{6} \times 14,1^2 = + 37340$$

$$-0,25 \times 135 \times 59,15 = - 1995$$

$$0,125 \times 230 \times 99,05 = + 2850$$

$$\frac{2 \times 125,05 + 211,35^2}{6} \times 11,35^2 = + 9905$$

$$S_{x.1} \text{ overige belastingen} = -244870 + 64100 = -180770$$

$$S_{x.1} \text{ totaal} = 314855 - 180770 = 134085.$$

T.o.v. de verbindinglijn L-R is de mantelbuis in het punt X_1 ,

$$\text{gezakt : } f_{x.1.mantelbuis} = \frac{134085}{2254} = 59,5 \text{ cm} > f_{x.1.gasbuis}.$$

Men rekent aan de veilige kant door de begrenzing van het st.pt. N in het veld N-L_g op 5,4 m. uit N te stellen.

2. = In het veld N-m.

Berekend is $x_2 = 12,2$ m.

a. = de verplaatsing van X_2 op de gasvoerende buis.

$$M_{x.2} = 18860 - 1440 \times 12,2 + 17,5 \times 12,2^2 = 18860 - 17570 + 2605 = 3895 \text{ kgm.}$$

$$R_{N.R}^1 = (1/3 \times 188,6 + 1/6 \times 19,95) \times 14,5 - 1/24 \times 0,35 \times 14,15^3 = 936,6 - 41,3 = 895,3$$

Uitsluitend t.g.v. M_N en M_m is in X_2 ,

$$M_{x.2} = 19,95 + (188,6 - 1995) \times \frac{1,95}{14,15} = 19,95 + 23,25 = 43,2.$$

$$x_2 = \frac{12,2}{14,15} \times 14,15 = 0,862 \times 14,15 \text{ m}; (1 - 2 \times 0,862^2 + 0,862^3) = 0,065$$

$$S_{x.2} = 895,3 \times 12,2 - \frac{2 \times 188,6 + 43,2}{6} \times 12,2^2 + 12,2 \times 0,065 \times 41,3 = 10925 - 10430 + 35 = 530$$

T.o.v. de verbindingslijn N-m is de gasvoerende buis gezakt :

$$\frac{530}{490,5} - \frac{1,95}{14,15} \times (60,4 - 60) = 1,1 - 0,1 = 1,0 \text{ cm.}$$

T.o.v. de verbindingslijn L-R is de zakking X_2 :

$$f_{x.2 \text{ gasbuis}} = 60,0 + 1,0 = 61,0 \text{ cm.}$$

b. = de verplaatsing van X_2 op de mantelbuis.

$x_2 = 12,2$ m uit N, of $31,7$ m. uit st.pt. L.

De zakking van X_2 t.g.v. q_1 en $q_{L.2}$.

$$\text{Phase 1} : x = \frac{31,7}{63} \times 63 = 0,503 \times 63 \text{ m}; (1 - 0,503^2 + 0,503^3) = 0,621.$$

$$\text{phase 2} : x = 31,7 \times \frac{33,65}{33,65} = 0,942 \times 33,65 \text{ m}; (1 - 2 \times 0,942^2 + 0,942^3) = 0,061.$$

$$S_{x.2}(q_1 + q_{L.2}) = 31,7(0,621 \times 14175 + 0,061 \times 13020) = 31,7(8805 + 795) = 304320$$

De zakking van X_2 t.g.v. de overige belastingen.

$$R_L^1 = 17225 ;$$

Uit phase 1 en schema 4 is $M_L \text{ neg} = - 234$.

$$M_{x.2.\text{neg.}} =$$

$$\text{phase 1 :} \quad - 196 - 0,497 \times 187 = - 196 - 93 = - 289$$

$$\text{fasen 2 en 3, enschema 4:} - 0,942(949,4 - 165,05 - 273,6) = - 481$$

$$- 770$$

$$\text{Voorts is in phase 3 : } M_{x.2} = - \frac{1,95}{14,15} \times 266 = - 36,6$$

$$\text{en in schema 4 : } M_{x.2} = - 129,1 \times 1,95 + 25,9 \times \frac{1,95^2}{2} = - 202,4$$

$$- 17225 \times 31,7 = - 546035$$

$$660 \times 33,45 = + 22075$$

$$0,25 \times 230 \times 132,05 = + 7595$$

$$\frac{468+770}{6} \times 31,7^2 = + 207340$$

$$- 0,25 \times 135 \times 129,55 = - 4370$$

$$0,5 \times 266 \times 19,5 \times 18,7 = + 48500$$

$$\frac{532 + 36,6}{6} \times 12,2^2 = + 6660$$

$$\frac{446,8}{2} \times 25,9 \times \frac{571,85}{3 \times 446,8} \times 25,9 + 3,05) = + 81585$$

Benaderd:

$$\frac{2 \times 321,75 + 202,4}{6} \times 1,95^2 = + 535$$

$$S_{x.2} \text{ overige belastingen} = - 550405 + 38895 = - 162010.$$

$$S_{x.2.\text{totaal}} = 304320 - 162010 = 142310.$$

T.o.v. de verbindingslijn L-R is X_2 op de mantelbuis gezakt.

$$f_{x.2.\text{mantelbuis}} = \frac{142310}{2254} = 63,2 \text{ cm} > f_{x.2} \text{ gasbuis.}$$

Men is dus aan de veilige kant door de begrenzing van het st.pt. in het veld N-m op 12,2 m. uit N. te stellen.

De totale lengte van het st.pt. wordt dus op 5,4+12,2=17,6 m. gesteld.

$$M_{\text{Ngred.}} = \frac{9460+3895}{2} + 3275 \times \frac{17,6}{8} = 6675 + 7225 = 13900 \text{ kgm.}$$

$$\sigma_x = \sigma_p + \sigma_m = 417 + \frac{1390000}{1150} = 417 + 1209 = 1623 \text{ kg/cm}^2 \text{ of } 7,7\% > \bar{\sigma}_g .$$

Een verdere iteratie zal nauwkeuriger de begrenzing van het st.pt. in dit veld geven. Men komt dan op een grotere lengte, waardoor in feite een kleinere overschrijding van $\bar{\sigma}$ zal blijken op te treden, terwijl ook de reacties in feite groter zijn, dus de zakkingen iets minder.

Tangentieel:

afm. thinsulator $b \times h = 6" \times 2" = 15 \text{ cm} \times 2"$.

Per thinsulator wordt de belasting op maximaal 500 kg. gesteld, zodat de te plaatsen aantallen per st.pt. volgen uit de berekende reacties. Voor de juiste plaatsen wordt verwezen naar tekening W 646, blad 1.

St.pt.	minimum aantal thinsulators.		
L_g	$\frac{1}{500} \times 2015$	=	5st.
N	" $\times 3275$	=	7st.
m	" $\times 1290$	=	3st.
P	" $\times 2050$	=	5st.
R_g	" $\times 1285$	=	3st.

$$\text{Belastingen: } Q = -0,35 \text{ kg/m}^1 ; Q_D = \frac{500}{15} = 33,5 \text{ kg/m}^1 .$$

$$\varphi_B = 60^\circ ; \alpha = 180^\circ .$$

Volgens Spangler geldt voor Q : $k_T = 0,189$; $k_S = 0,147$ en $k_B = 0,143$
 $k_y = 0,105$; zodat $f_{rrQ} = 0,698$.

Voor Q_D zijn de k -waarden afgeleid in bijlage e.

$$k_T = 0,134 ; k_S = 0,084 \text{ en } k_B = 0,073 .$$

$$\text{Voorts is } k_y = 0,064$$

$$\text{Voor } f_{rrQ_D} \text{ is echter toegepast } f_{rrQ_D} = f_{rrQ} = 0,698 .$$

De maatgevende combinatie geeft :

$$M_{yTop} = (0,189 \times 0,35 + 0,134 \times 33,5) \times 19,884 = 90,5 \text{ kgcm/cm}^1 .$$

$$N = 0,119 \times 33,5 = 4 \text{ kg/cm}^1 .$$

$$\sigma_{ymax} = \sigma_{yp} + f_{rr} \sigma_M + \sigma_N = 834 + 0,698 \times \frac{90,5}{0,151} + \frac{4}{0,952} = 834 + 417 + 4 = 1255 \text{ kg/cm}^2 .$$

De niet ondersteunde buisgedeelten.

Axiaal :

De veldmomenten zijn allen kleiner dan de berekende st.pt's momenten, zodat volstaan kan worden met de gegeven spanningsberekeningen t.pl.v. de st.ptn. L_g en N.

Tangentieel:

De belasting bestaat uitsluitend uit de opwaartse druk van $3,5 \text{ kg/cm}^1$.

Met de momentscoëff. voor niet ondersteunde buisgedeelten en de reroundingsfactor f_{rr} blijft de max. spanning kleiner dan de max. spanning in de buisgedeelten genoemd onder 2a.

2c. = in de dempingszone.

Axiaal :

Voor de max. spanning wordt de max. spanning t.g.v. M_{Lg} aangehouden.

tangentieel.

De max. optredende spanning bij eenzelfde belasting is voor deze rechte strekking kleiner dan voor de binnenbocht onder 2a.

Conclusie :

Voor de gasvoerende buis zijn dus axiale spanningen maatgevend.

Het afpersen der gasvoerende buis.

Afgeperst zal worden bij een afpersdruk van 80 ato of 78,5 bar.

$$\bar{\sigma}_{afp.} = 0,9 \times 2460 = 2314 \text{ kg/cm}^2.$$

1. = het gedeelte buiten de mantelbuis.

Maatgevend is de tangentielle spanning in de binnenbocht met $R = 10D$.

Belastingen : $Q = 5,35 \text{ kg/cm}^1$.

Stel de afpersdruk = $p_1 \text{ kg/cm}^2$, dan is :

$$\sigma_{y.p.1.Top} = 1,034 \times 20,86 p_1 = 21,57 p_1.$$

$$f_{rr} = \frac{1}{1 + \frac{p_1}{40} \times 0,55} = \frac{40}{40 + 0,55 p_1}$$

$$\sigma_{MyTop} = \frac{15,7}{0,151} = 104 \text{ kg/cm}^2.$$

p_1 zal dus moeten voldoen aan de volgende vergelijking.

$$2314 = 21,57 p_1 + \frac{40}{40+0,55 p_1} \times 104$$

$$92560 + 1272,7 p_1 = 862,8 p_1 + 11,86 p_1^2 + 4160$$

of uitgewerkt :

$$p_1^2 - 34,6 p_1 - 7454 = 0, \text{ waaruit}$$

$$p_1 = 17,3 + (17,3^2 + 7454)^{0,5} = 17,3 + 88,1 = 105,4 \text{ kg/cm}^2.$$

2. = in de mantelbuis.

Het afpersen vindt plaats kort nadat het werk gereed is, zodat de berekende zettingen der bodem nog niet kunnen zijn opgetreden, evenmin als de bij deze zettingen optredende momenten.

Gerekend wordt daarom met een gefixeerde doorbuiging van $D_{im} - (D_{ug} + 2 \text{ th}) = 7,6 \text{ cm.}$ in het midden van de ligger met een theoretische overspanning $L_{th} = 72 \text{ m.}$

T.g.v. deze doorbuiging is :

$$M_{max} = \frac{1}{4} \times \frac{48 EI_g}{L_{th}^2} \times f \text{ midden} = \frac{12 \times 490,5 \times 10^4}{72^2} \times 0,076 = 865 \text{ kgm.}$$

Is de afpersdruk p_2 , dan moet er voldaan worden aan de volgende vergelijking.

$$2314 = 0,5 \times 20,86 p_2 + \frac{86500}{1150}, \text{ waaruit :}$$

$$p_2 = \frac{2314 - 75}{10,43} = 214,7 \text{ kg/cm}^2 > p_1 = 105,4 \text{ kg/cm}^2.$$

Maatgevend is dus een afpersdruk $p = 105,4 \text{ kg/cm}^2$ of 103,4 bar.

N.B. Indien in een later stadium om bepaalde redenen opnieuw moet worden afgeperst zal i.v.m. de veranderde belastingsomstandigheden moeten worden nagegaan, of de gewenste druk kan worden toegelaten.

Wegkruising t.b.v. een perceelsingang.

Buiten de kruising is een buis $\varnothing$ 400 toegepast met een wanddikte $t = 0,874$ cm. echter van dezelfde staalsoort $\frac{\sigma_{vloei}}{\sigma_{breuk}} = \frac{2460 \text{ kg/cm}^2}{4220 \text{ kg/cm}^2}$ zodat ook hiervoor geldt :

$$\bar{\sigma}_g = \frac{4220}{2,8} = 1507 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\varnothing_{\text{uitw.}} = 40,640 \text{ cm} ; \quad r_u = 20,320 \text{ cm.}$$

$$\varnothing_{\text{inw}} = 38,892 \text{ " } \quad r_i = 19,446 \text{ cm.}$$

$$\varnothing_{\text{gemid.}} = 39,766 \text{ " } \quad r = 19,883 \text{ cm.}$$

$$F = \pi \times 39,766 \times 0,874 = 109,13 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{\pi}{64} \times (40,64^4 - 38,892^4) = 21619 \text{ cm}^4, \quad EI = 45400 \times 10^6 \text{ kgcm}^2$$

$$W = \frac{21619}{20,32} = 1064 \text{ cm}^3.$$

per cm^1 buiswand .

$$F_1 = 1 \times 0,874 = 0,874 \text{ cm}^2$$

$$I_1 = 1/12 \times 0,874^3 = 0,0554 \text{ cm}^4. \quad EI_1 = 116384 \text{ kgcm}^2.$$

$$W_1 = 1/6 \times 0,874^2 = 0,1269 \text{ cm}^3.$$

Nagegaan wordt of een dergelijke kruising zonder ommanteling aan de gestelde eis van breukveiligheid voldoet.

Belastingen.

$$\text{Statisch : } Q = 1 \text{ in zand} = 1900 \times 0,4064 = 97,5 \text{ kg/m} = 9,75 \text{ kg/cm}^1$$

Dynamisch:

$$P = \text{wiellast} = 5000 \text{ kg};$$

$$\text{De stootcoeff. } I_c = 2 ; H = 1 \text{ m. } m = \frac{0,4064}{2 \times 1} = 0,2032.$$

$$A = 0,91 \text{ m}; n = \frac{0,91}{2 \times 1} = 0,4550.$$

Uit de tabel van Spangler volgt :

$$C_t = 0,146.$$

$$Q_{\text{dyn}} = \frac{2 \times 0,146 \times 5000}{0,91} = 1605 \text{ kg/m}^1 = 16,05 \text{ kg/cm}^1.$$

Met $\alpha = 180^\circ$, en $\varphi_B = 30^\circ$, komt het maatgevende moment voor in de bodem ener drsn.

$$k_B = 0,235 \text{ en } k_y = 0,113 ;$$

$$f_{rr} = \frac{1}{1 + \frac{80}{0,116384} \times 0,19883^3 \times 0,113} = \frac{1}{1 + 5,4 \times 0,113} = \frac{1}{1,61} = 0,62.$$

$$M_y = 0,235 \times (9,75 + 16,05) \times 19,883 = 120,5 \text{ kgcm/cm}^2.$$

De gemiddelde tangentielle spanning t.g.v. $p = 40$ ato is :

$$\sigma_{yp} = \frac{r_u^2 + r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} \times p = \frac{20,32^2 + 19,446^2}{20,32^2 - 19,446^2} \times 40 = 22,76 \times 40 = 910 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\begin{aligned} \sigma_{y \text{ max.}} &= \sigma_{y.p} + f_{rr} \sigma_{y \text{ m}} = 910 + 0,62 \times \frac{120,5}{0,1269} \\ &= 910 + 590 = 1500 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_g. \end{aligned}$$

Een niet ommantelde buis t.pl.v. de wegekruising t.b.v. een perceelsingang voldoet dus aan de breukveiligheid $n_{br} = 2,8$.

D = Berekening der damwanden van de werkput.

Het rapport van het L.G.M. te Delft C(0) 16104/49 d.d. 11-1-1966 maakt geen melding van de grootte van het optredend moment in de damwand bij de benodigde inheidiepte van 18 m. -N.A.P.

De geadviseerde damwand Larssen type III, is toegepast, afge-
stempeld op 2,5 m. en 7,5 m. -N.A.P.

De stempelkrachten zijn resp. 5 t/m' en 28 t/m', waarvoor I DIL 16 zijn toegepast op afstanden van 3 m., resp. 1,5 m h.o.h.

Sterkte der stempels.

De ongunstigst belaste zijn de stempels op 7,50 m. -N.A.P.

Belastingen :

centrisch : $P_S = 1,5 \times 28 = 42 \text{ t.}$

op buiging : $L = 3,00 \text{ m.}$

e.g. 10 cm houten vloer : $= 80 \text{ kg/cm}^2$

n.b. (apparatuur) $= 500 \text{ "}$

$580 \text{ kg/cm}^2; \times 1,5 = 870 \text{ kg/m'}$

e.g. I DIL 16 $= 50 \text{ "}$

$q = 920 \text{ kg/m'}$

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \times 920 \times 9 = 1035 \text{ kgm.}$$

Centrisch :

I DIL 16 : $F = 50 \text{ cm}^2; W = 329 \text{ cm}^3.$

$$i_y = 4,2 \text{ cm; } \lambda = \frac{L}{i_y} = \frac{300}{4,2} = 71,4$$

De drukspanningscoëff. $\alpha = 0,659$, zodat $\bar{\sigma}_d \alpha = 0,659 \bar{\sigma}_d$

Gezien de tijdelijke aard van het werk is de toelaatbare spanning gesteld op $\bar{\sigma} = 1600 \text{ kg/cm}^2$.

$$\sigma_d \max = \frac{103500}{329} + \frac{42000}{50 \alpha} = 315 + 1280 = 1595 \text{ kg/cm}^2 < 1600 \text{ kg/cm}^2$$

Omdat in dit geval de excentriciteit t.g.v. buiging van te ver-
waarlozen orde van grootte is, is dit verder buiten beschouwing
gebleven.

Sterkteberekening der gordingen.

De ongunstigst belaste zijn de gordingen op 2,50m-N.A.P.

Toegepast is : I DIL 16 ; $W = 329 \text{ cm}^3$.

$L = 3\text{m}$; $q = 5000 \text{ kg/m}^1$.

$M_{\max} = 1/10 \times 5000 \times 9 = 4500 \text{ kgm}$.

$$\sigma_{\max} = \frac{450000}{329} = 1370 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma} = 1600 \text{ kg/cm}^2.$$

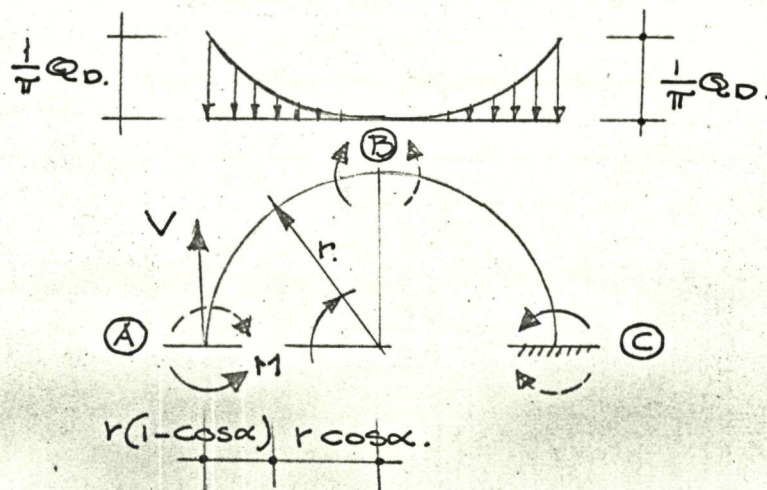
E - Uitvoeringsinstructie.

1. De bodem der werkput is ontworpen op 7,80 m.-N.A.P. ,tot welk peil de grondwaterstand plaatselijk middels open bemaling dient te worden gebracht. Een spanningsbemaling in het diepe zand wordt door het L.G.M. geadviseerd (zie bijlage brief L.G.M. C(0)16104/49 van 11-1-1966).
2. Indien gebruik gemaakt wordt van een boor-transportvijzel ter verwijdering der grond in de mantelbuis, dient de boorkop tenminste 1m. bij de voorzijde der mantelbuis achter te blijven, teneinde inbraak van grond en/of water te voorkomen. De boorsnelheid dient daarbij zodanig te zijn, dat de transport-vijzel-as nog net op de druk blijft belast.
3. Thinsulators dienen te worden aangebracht zoals op de tekening is aangegeven, en tussen deze punten op geregelde afstanden van maximaal 2m. h.o.h.
4. Bij de afdichting der manteleinden dient de gasvoerende buis op deze plaatsen gefixeerd te zijn op de bodem der mantelbuis.
5. De ruimte tissen mantel-en gasvoerende buis dient gevuld te worden met water, waaraan tegen corrosie moet worden toegevoegd 58 gram soda en 5,8 k.g. fijn gemalen schelpen.
6. De aanvulling der bouwput tot de funderingsaanleg der gasvoerende buis dient in dunne aangestampte lagen te geschieden.

N.B.

Adequate maatregelen dienen te worden getroffen, om zowel tijdens de uitvoering als daarna het optreden van onder- en achterloopsheid te voorkomen. (b.v. plastic folie, kwelschermen etc.).

Afsluiters dienen buiten de veiligheidszone van 60 m. te worden geplaatst.

Bijlage d.
Afleiding der k_y voor de Q_D - belasting bij $\varphi_B = 180^\circ$.


De horizontale ontbondene der als dw.kr. overgebrachte belasting is niet van invloed op de zakking van het punt B.

De deflectie van B. t.o.v. C is :

$$EI y_B = \int_{0,5\pi}^{\pi} M_{\alpha} ds r \cos \alpha = r^2 \int_{0,5\pi}^{\pi} M_{\alpha} \cos \alpha d \alpha$$

In een drsn. α is het moment (zie berekening Dubbele Wiericke blz. 23).

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

$$\text{Uitwerking van } r^2 \int_{0,5\pi}^{\pi} M_{\alpha} \cos \alpha d \alpha$$

$$Vr^3 \int_{0,5\pi}^{\pi} (\cos \alpha - \cos^2 \alpha) d \alpha = Vr^3 \left[\sin \alpha - \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{4} \sin 2 \alpha \right]_{0,5\pi}^{\pi}$$

$$= - \frac{\pi + 4}{4} \times V r^3$$

$$Mr^2 \int_{0,5\pi}^{\pi} \cos \alpha d \alpha = Mr^2 \left[\sin \alpha \right]_{0,5\pi}^{\pi} = -Mr^2$$

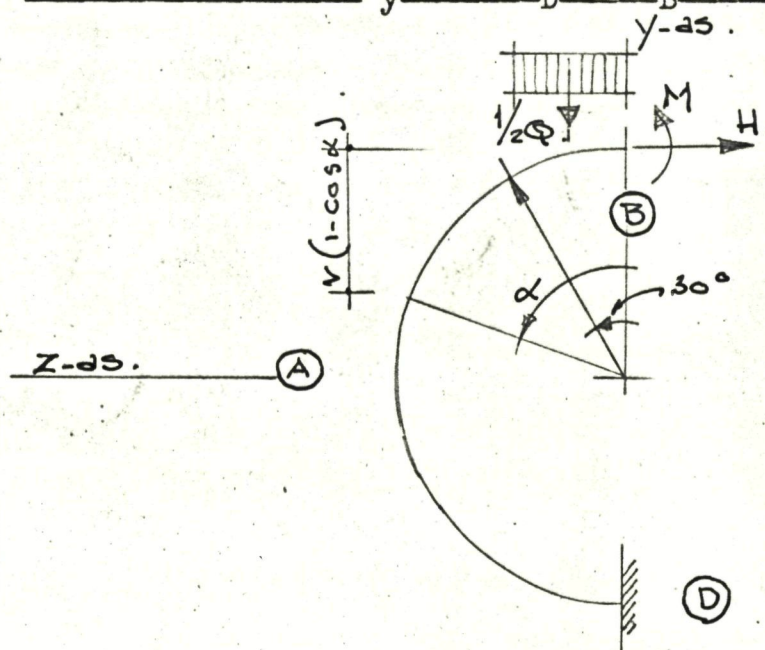
$$\begin{aligned}
 & - \frac{1}{6\pi} Q_D r^3 \left\{ \int_{0,5\pi}^{\pi} (3 \sin \alpha + \sin^3 \alpha) d \sin \alpha - \frac{3}{2} \int_{0,5\pi}^{\pi} \alpha (1 - \cos 2\alpha) d\alpha \right\} \\
 & - \frac{1}{6\pi} Q_D r^3 \left\{ -\frac{3}{2} [\sin^2 \alpha]_{0,5\pi}^{\pi} + \frac{1}{4} [\sin^4 \alpha]_{0,5\pi}^{\pi} - \frac{3}{4} \int_{0,5\pi}^{\pi} \alpha d \sin 2\alpha \right\} \\
 & = - \frac{1}{6\pi} Q_D r^3 \left\{ -\frac{3}{2} - \frac{1}{4} - \frac{9}{16} \pi^2 - \frac{3}{4} [\alpha \sin 2\alpha]_{0,5\pi}^{\pi} - \frac{3}{8} [\cos 2\alpha]_{0,5\pi}^{\pi} \right\} \\
 & = - \frac{1}{6\pi} Q_D r^3 \left(-\frac{3}{2} - \frac{1}{4} - \frac{9}{16} \pi^2 - 0 - \frac{3}{4} \right) = + \frac{40 + 9\pi^2}{96\pi} \times Q_D r^3. \\
 EI y_B & = - \frac{\pi + 4}{4} V r^3 - M r^2 + \frac{40 + 9\pi^2}{96\pi} \times Q_D r^3.
 \end{aligned}$$

Substitutie van $V = 1/4 Q_D$ en $M = -1/40 Q_D r$ geeft:

$$\begin{aligned}
 EI y_B & = \left(-\frac{\pi+4}{16} + 1/40 + \frac{40+9\pi^2}{96\pi} \right) Q_D r^3 = \\
 & = (-0,446 + 0,025 + 0,427) Q_D r^3 = 0,006 Q_D r^3. \\
 k_y & = 2 \times 0,006 = 0,012.
 \end{aligned}$$

Bijlage e.

De afleiding van k_y voor Q_D en $\varphi_B = 60^\circ$.



In de afleiding voor de k-coeff. voor niet ondersteunde buisgedeelten. (Dubbele Wiericke) was de bovenlast Q , terwijl de reactie werd geleverd door de Q_D .

In dit geval is de Q_D de bovenlast en Q de reactie.

Voor de superpositie der momentscoëfficiënten kunnen de tekens per geval gehandhaafd worden. Voor de k-waarden van geval 1, wordt overeenkomstig de figuur de tabel van Spangler aangehouden voor : $\alpha = 60^\circ$ en $\varphi_B = 0$.

geval 1 + geval 2 + geval 3.

$$k_T = - 0,213 + 0,013 + 0,066 = - 0,134$$

$$k_S = + 0,175 + 0 - 0,091 = + 0,084$$

$$k_B = -0,312 - 0,013 + 0,252 = - 0,073$$

Voor de superpositie der k_y waarden wordt voor de gevallen 2 en 3 verwezen naar de berekening van de Gouwe (blz.24 t/m blz.26) en voor geval 1 naar de tabellen van Spangler.

$$k_y = \frac{\text{geval 1} + \text{geval 2} + \text{geval 3}}{0,138 + 0 + 0,074} = 0,064.$$

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

STICHTING WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

DEFT, STIELTJESWEG 2
POSTBOX 69
TELEFOON 01730 - 20970
POSTREKENING 234342

ONDERWERP: Kruising Ringvaart
Zuidplaspolder

BIJLAGEN: 6(3 in duplo)
DICTATYPE: Hk/vdBs

Verzeker bij beantwoording datum en kenmerk
van dit schrijven te vermelden.

Alle correspondentie te richten aan de Directie

Bijlage A.

H.V. Nederlandsche Gasunie,
Afd. TE/RL,
Postbus 5091,
Den Haag.

Uw kenmerk:

dt.:

Ops kenmerk:

dt.:

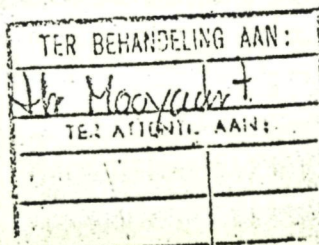
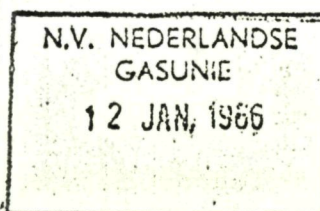
(C)0-16104/49

11 januari 1966.

Betreffende de kruising van de 400 mm gaspijpleiding met de Ringvaart Zuidplaspolder werd het grondonderzoek uitgevoerd door derden. De resultaten van een tweetal boringen nos. A en B zijn uitgezet in het door U verstrekte dwarsprofiel Werk: Gasunietrace Alexanderpolder, kruising Ringvaart Zuidplaspolder d.d. 15 september 1965. Aan de westzijde van de Ringvaart zijn voorts nog een sondering en boringen (nrs. 20 en 21 volgens bijgaande situatietekening) uitgevoerd. De resultaten zijn vermeld in bijgaande sonderingsdiagram en boorstaat.

Overeenkomstig Uw tekening zal de pijpleiding ter plaatse van deze kruising aangebracht worden met de zogenaamde doorpersmethode. De bodem van de werkput is geprojecteerd op 7,8 m - N.A.P. terwijl het maaiveld ligt op 1,8 à 2,1 m - N.A.P. De werkput wordt ingesloten door een stalen damwand.

Met behulp van geschatte volumegewichten en γ -waarden werden stabiliteitsberekeningen ten behoeve van de damwand uitgevoerd en nagegaan of er nog bepaalde voorzieningen getroffen moeten worden. Uitgaand van een grondwaterstand van 2,5 m - N.A.P.



zowel van de oppervlaktelagen als van de diepgelegen zandlaag zal bij een ontgraving tot 7.8 m - N.A.P. het gewicht van de resterende grondlagen geringer zijn dan de opwaartse druk van het water. Teneinde opbarsting van deze lagen ter plaatse van de bouwput te voorkomen en de passieve weerstand van deze lagen niet geheel te vernietigen zal het noodzakelijk zijn de grondwaterstand in de diepgelegen zandlaag ter plaatse van de bouwput te verlagen door een bronbemaling. Teneinde opbarsting te voorkomen zal de grondwaterstand plaatselijk verlaagd moeten worden tot 7.8 m - N.A.P. Een grotere verlaging is niet aan te bevelen, terwijl de tijdsduur van de bronbemaling tot een minimum beperkt moet worden, teneinde consolidatie van de diep gelegen kleilagen zoveel mogelijk te beperken. Indien de ontgraving in de natte wordt uitgevoerd, dus de waterstand in de bouwput gehandhaafd wordt op de grondwaterstand, behoeft de bronnering nog niet te worden aangesloten. In dit geval zijn bovendien de optredende buigende momenten in de damwand geringer dan in de uiteindelijke toestand, wanneer de bouwput droog is. Er zou dan gedurende deze bouwphase zonder een stempeling gewerkt kunnen worden, waarbij dan opgemerkt moet worden dat de damwandconstructie wat voorover kan komen hetgeen verminderd kan worden met behulp van gordingen, die later toch nodig zullen zijn. Indien de damwand tijdens de ontgraving in de natte zou worden gestempeld op 2,5 m - N.A.P. behoeft slechts gerekend te worden op een stutkracht van 1,7 t/m'. (met water in de kuip).

In de uiteindelijke toestand, waarbij uitgegaan is van bovengenoemde gegevens en bemaling, werd een maximaal buigend moment berekend, die opgenomen kan worden door een larssen profiel III, welke ingevolge de benodigde lengte toch al noodzakelijk zal zijn,

(C)O-15104/49

11-1-1966

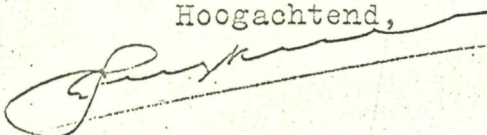
3

Hierbij is uitgegaan dat de damwand wordt afgestempeld op 2,5 m - en 7,5 m - N.A.P. De stempelkrachten op deze diepten zijn dan respectievelijk 5 en 28 t/m'. Indien stempelingen op 2,5 m - en 6,0 m - N.A.P., als tussenfase zouden worden aangebracht, zal het maximaal buigend moment groter zijn dan in voornoemd geval, doch de stempelkrachten kleiner. Ook in dit geval is genoemd profiel nog aanvaardbaar. De benodigde inheidiepte is voor al deze gevallen 18 m - N.A.P.

De bodem van de bouwput bestaat uit slappe kleilagen, zodat de machine geplaatst zal moeten worden op dwarsliggers, die aan de damwand zijn verbonden.

Aangezien de pijp ter plaatse van de bouwput in geroerde grond zal komen te liggen en deze grond aan consolidatie onderhevig zal zijn, komt het ons gewenst voor het overgangsgedeelte van de pijp een flauwere helling te geven als op Uw tekening is aangegeven. Wij maken uit Uw tekening op dat ter plaatse van de pijp geen stalen damwand geslagen wordt en in plaats hiervan is boven de pijp een houten damwand aangebracht. Mocht het wel in Uw bedoeling liggen onder de pijp een damwand aan te brengen dan moet de bovenbuis hiervan voldoende ver (0,5 m) onder de pijp eindigen opdat hier geen vaste oplegging zal ontstaan.

Hoogachtend,


dr. ir. H.K.S.Ph. Begemann, adj. directeur.

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

STICHTING WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

DELFT, STIELTJESWEG 2
POSTBUS 69
TELEFOON 01730 - 20970
POSTREKENING 234342

Bijlage B.

ONDERWERP: Kruising ringvaart
Zuidplaspolder

BIJLAGEN: 2

DICT/TYPE: Hk/vdBs

Verzoeken bij beantwoording datum en kenmerk
van dit schrijven te vermelden.

Alle correspondentie te richten aan de Directie

N.V. NEDERLANDSE
GASUNIE

2 JUNI 1966

N.V. Nederlandse Gasunie,

Afd. TE/RL,

Postbus 5091,

Den Haag.

Uw kenmerk:

dt.:

Ons kenmerk:

(C)0-16104/72

dt.:

1 juni 1966.

Naar aanleiding van Uw verzoek betreffende de grondbelasting op de gaspijpleiding ter plaatse van de kruising met de Ringvaart, Zuidplaspolder werd een aanvullend grondonderzoek gedaan. De resultaten van dit grondonderzoek zijn uitgezet op bijlage 12. In ons schrijven (C)0-16104/49 d.d. 11 januari 1966 werden U reeds gegevens verstrekt betreffende de optredende buigende momenten en ankerkrachten van te te maken kuip ten behoeve van het doorpersen van de mantelbuis.

De grondbelastingen op de mantelbuis aan de oostzijde van de Ringvaart is 0,3 à 1,2 t/m' ter plaatse van het talud, 1,35 t/m' ter plaatse van de weg en 0,8 t/m' tussen de weg en de ringvaart. Ter plaatse van de ringvaart is aan de kanten de grondbelasting 0,21 t/m' en in het midden 0,12 t/m'. Aan de westzijde is de grondbelasting ter plaatse van de berm tussen de weg en de ringvaart 0,5 t/m' en op het overige gedeelte van de mantelbuis 1,25 t/m'. Het aansluitend gedeelte van de gaspijpleiding heeft een grondbelasting van 0,85 t/m'. Ter plaatse van het hellende gedeelte van de leiding is de grondbelasting 0,85 à 0,45 t/m'.

De pijpleiding en de mantelbuis ligt in sterk samendrukbare veenlagen zodat mogelijke deformaties van de pijpleiding gemakkelijk kunnen optreden.

Hoogachtend,

b/h

dr.ir. H.K.S.Ph. Begemann, adj.directeur.

Afd. Grondboringe

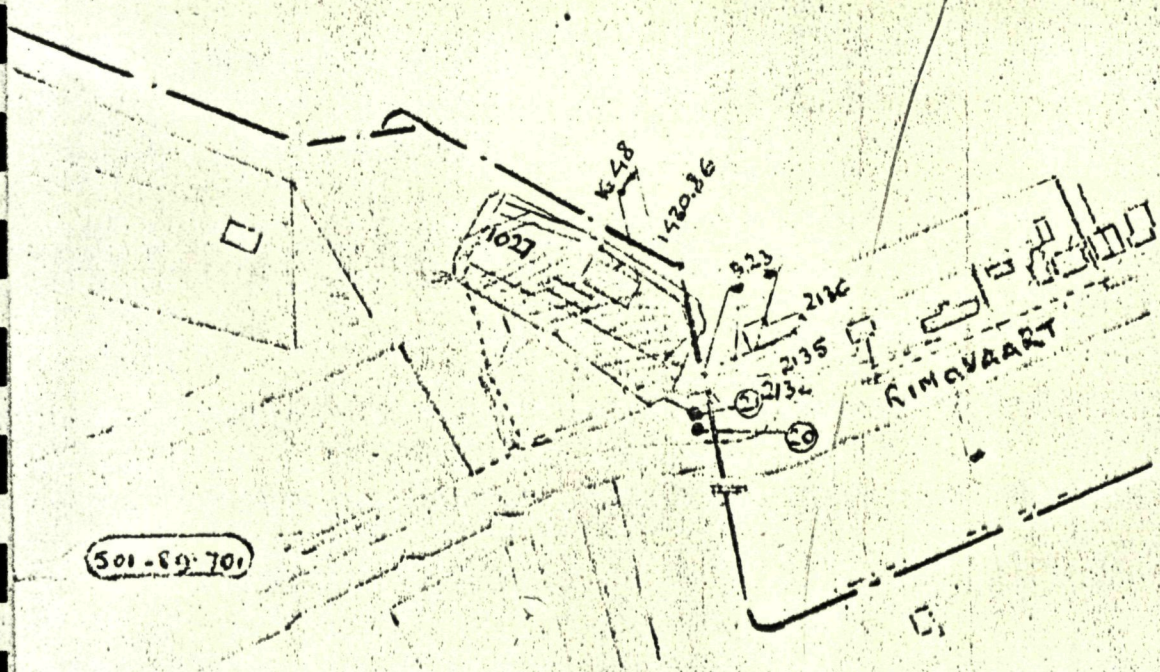
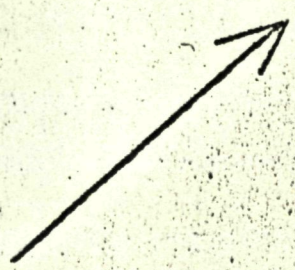
Ongeroerde monsters:st.

ZONODIG NRS. MONSTERBUISSEN EN LENGTE VAN HET GESTORVEN MONSTER VERMELDDE

BIJLAGE VAN
(016104/43

Gezien uitvoerder:	Paraaf:	Opdrachtgever:
Kopie cliënt:	Archief:	Naam: FL. C. de Ruiter
Boorboek:		Adres:
Codenr.:		Plaats: HALFENEG

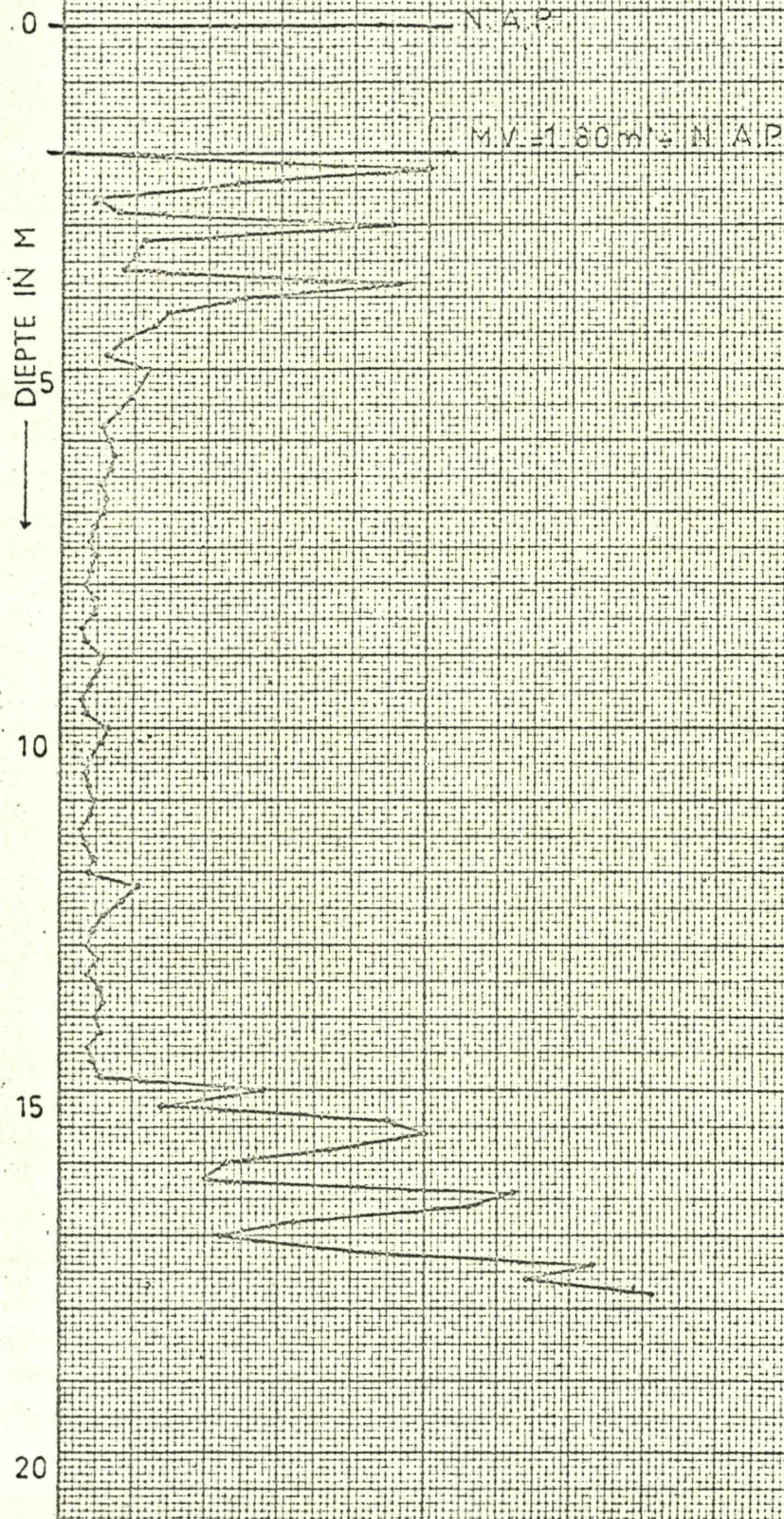
N



- (20) SONDERING
- (21) BORING

BIJLAGE VAN
C016104/43

N.V. AANNEMINGS MIJ
1/4 Pa. C. de Ruiter
SITUATIE
SONDERING & BORING
t.b.v.
KRUISING RINGVAART
ZEVENHUIZEN.



M. Z. SONDERING No.1

T.B.V. KRUISING RINGVAART

TE: ZEVENHUIZEN

OPDRACHT No. 65/7364

DATUM: 16 12 1961 GET: 3

N.V. AANNEMINGSMIJ
V.H. FA. C. DE RUITER
HAARLEMMERSTRAATWEG 79
HALFWEG TEL. (02907) 42 84

BIJLAGE VAN
C01610414 9

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

STICHTING WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

DELFT, STIELTJESWEG 2
POSTBUS 69
TELEFOON 01730-35921*
POSTREKENING 234342

ONDERWERP: Kruising ringvaart
Zuidplaspolder.

BIJLAGEN: -

DICT/TYPE: Hk/vAd

Verzoeken bij beantwoording datum en kenmerk
van dit schrijven te vermelden.

Alle correspondentie te richten aan de Directie

N.V. Nederlandse Gasunie,
Afdeling TE-OP,
Postbus 5091,
Den Haag.

Uw kenmerk:

dt.:

Ons kenmerk:

dt.:

(C)0-16104/78

29 augustus 1966

Op Uw verzoek geven wij U enige richtlijnen betreffende het doorpersen van een mantelbuis t.p.v. de kruising met de ringvaart in de Zuidplaspolder.

Teneinde het oppersen van de bodem zoveel mogelijk te vermijden moet tijdens het persen de volgende punten in acht worden genomen.

- de voorwaartse beweging van de mantelbuis en de boor moeten aan elkaar gelijk zijn.
- het uiteinde van de boor moet zich op een geringe afstand van het uiteinde van de mantelbuis bevinden zodat een prop van grond in het uiteinde om de mantelbuis aanwezig is.
- de draaisnelheid van de boor moet zodanig zijn dat het ontstaan van gaten in of oppersing van de bodem gedurende de verplaatsing van de mantelbuis vermeden wordt.

Verankering van de mantelbuis is niet nodig omdat het verschil tussen de opwaartse druk van het water en het gewicht van de mantelbuis en de gaspijp slechts 8 kg/m' is t.p.v. het kanaal en de cohaesie en het gewicht van de boven de buis liggende grond ruim voldoende is om het omhoog gaan van de buizen tegen te houden.

N.V. NEDERLANDSE
GASUNIE

1966

TER ATTENTIE AAN:	Paraaf
<i>E. Hoogkamer</i>	

ACTIE D.G.:

E. Hoogkamer
Hoogachtend,

ir. E. Hoogkamer.

schaal 1:100

Legenda

- klei
- zand
- veen
- hout

400 mm gas pijpleiding

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

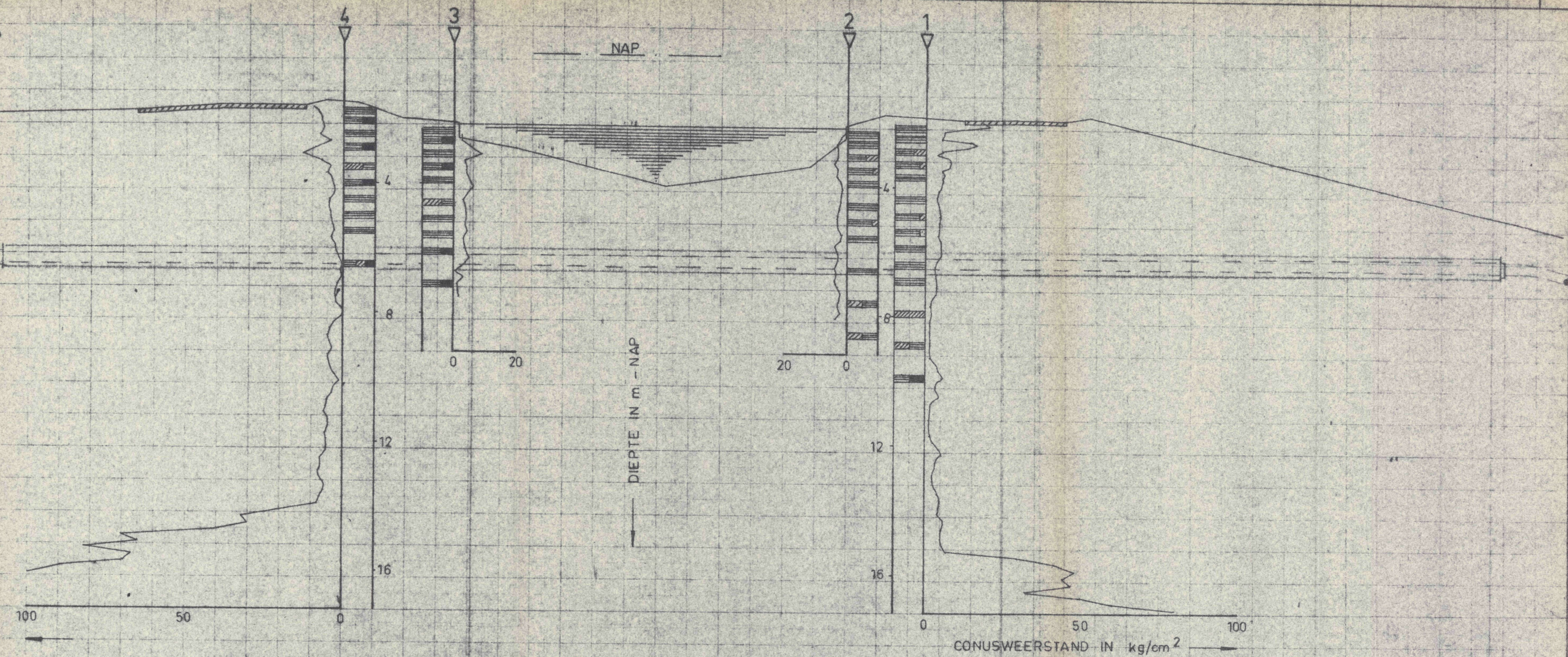
KRUISING RINGVAART ZUIDPLASPOLDER

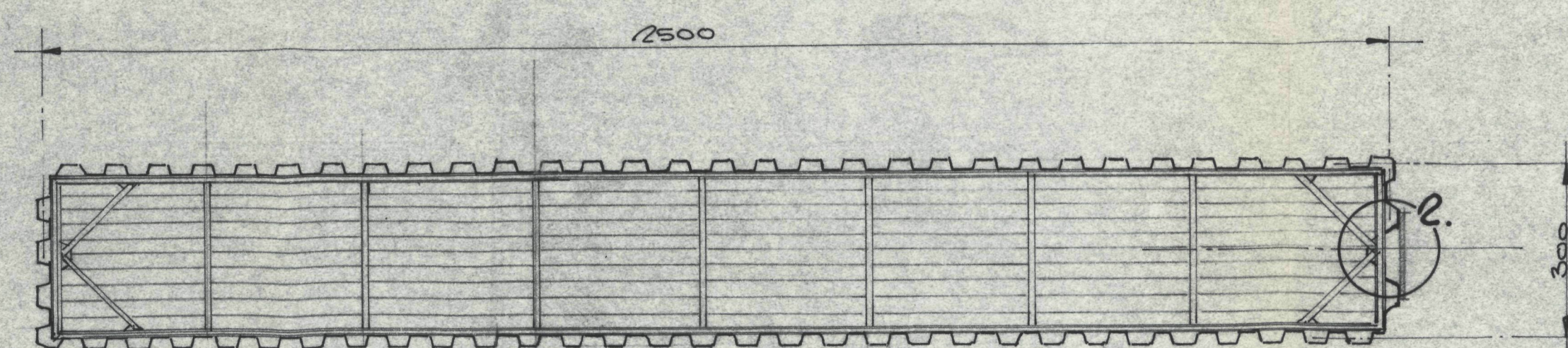
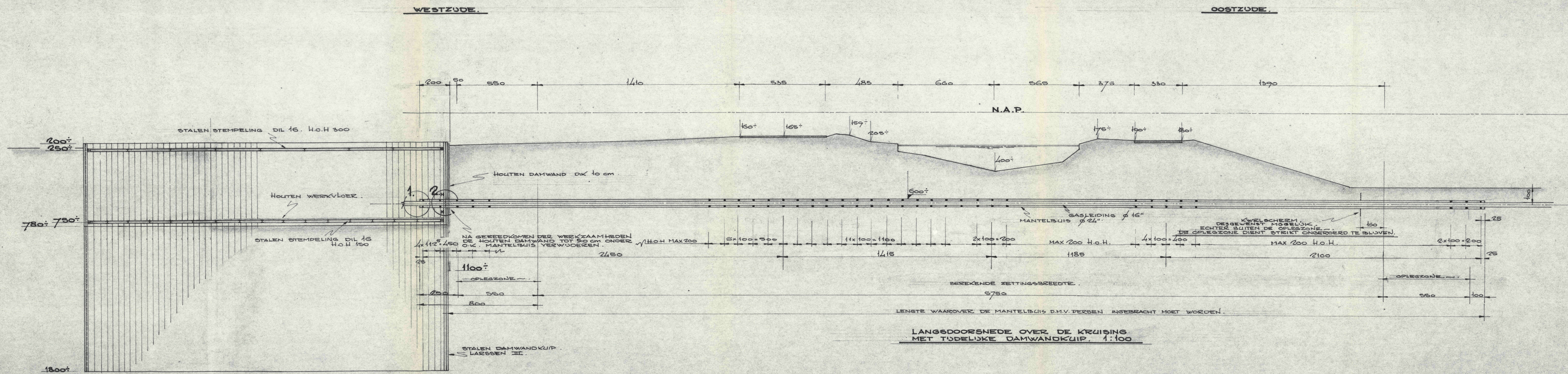
SONDERINGEN & BORINGEN

Bk
30
80

BIJLAGE 12

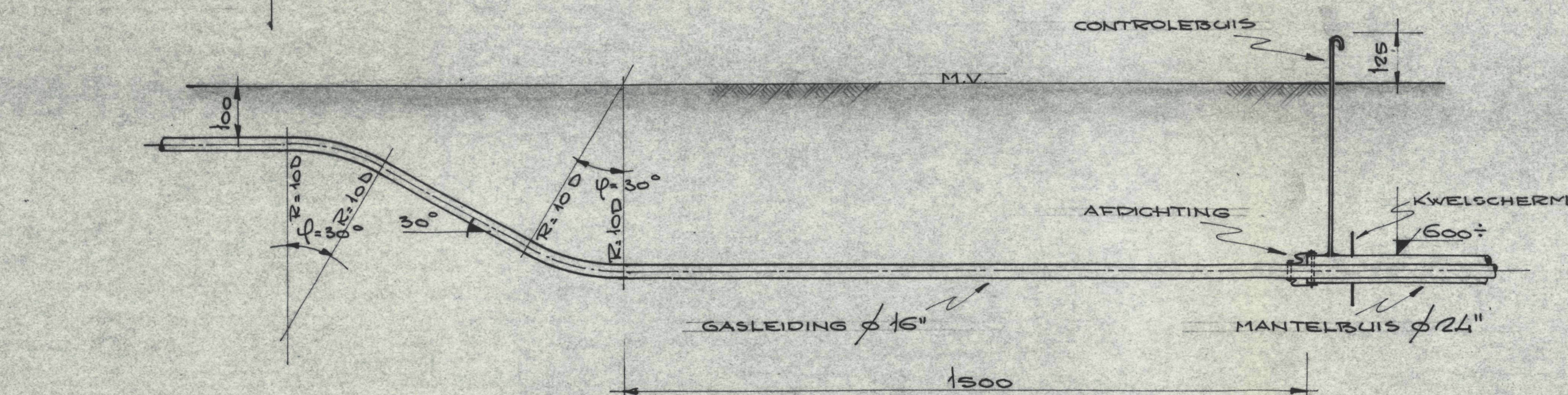
CO-16104-12



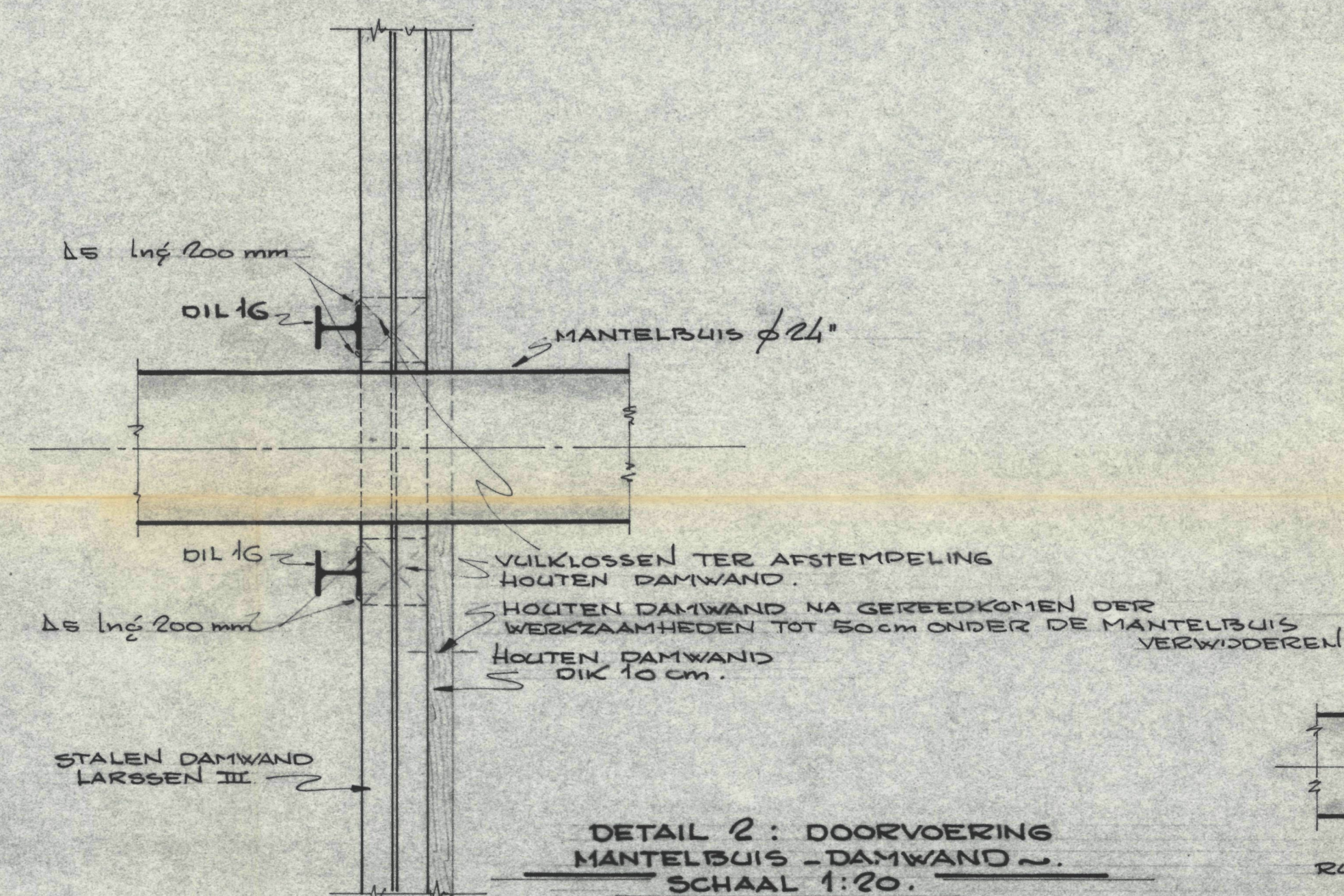


BOVENAANZICHT TUDELIJKE DAMWANDKUIP
SCHAAL 1:100

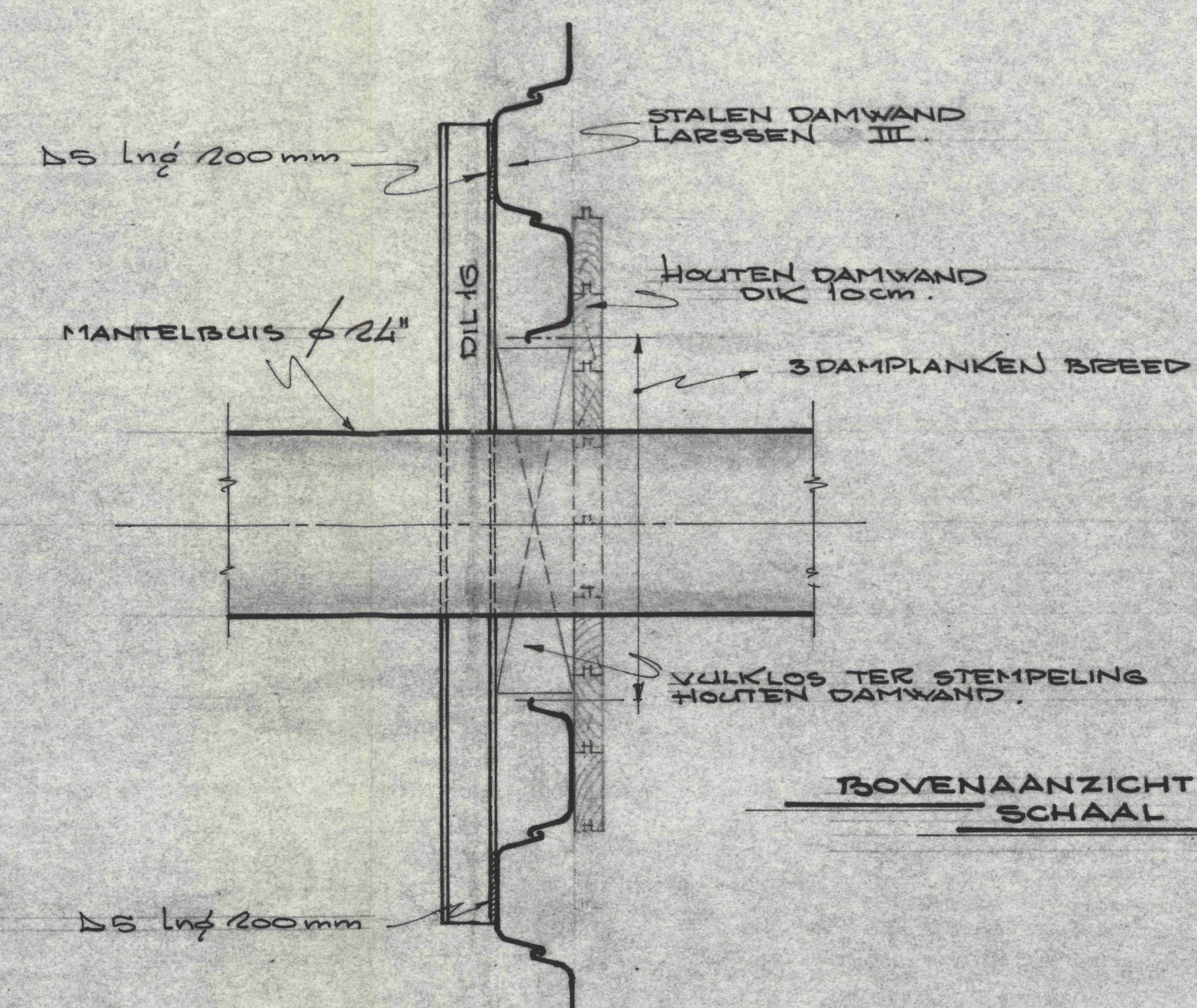
VANAF DIT PUNT KAN OVERGEGANGEN WORDEN OP EEN BUIS:
 $\phi 15''$ A.P.I. 5L. ϕ UITW. = 40.640 cm
 WANDDIKTE 0.274 cm
 STAALKWALITEIT: $\sigma_{VLKRI} = 2460 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_{BREUK} = 4220 \text{ kg/cm}^2$



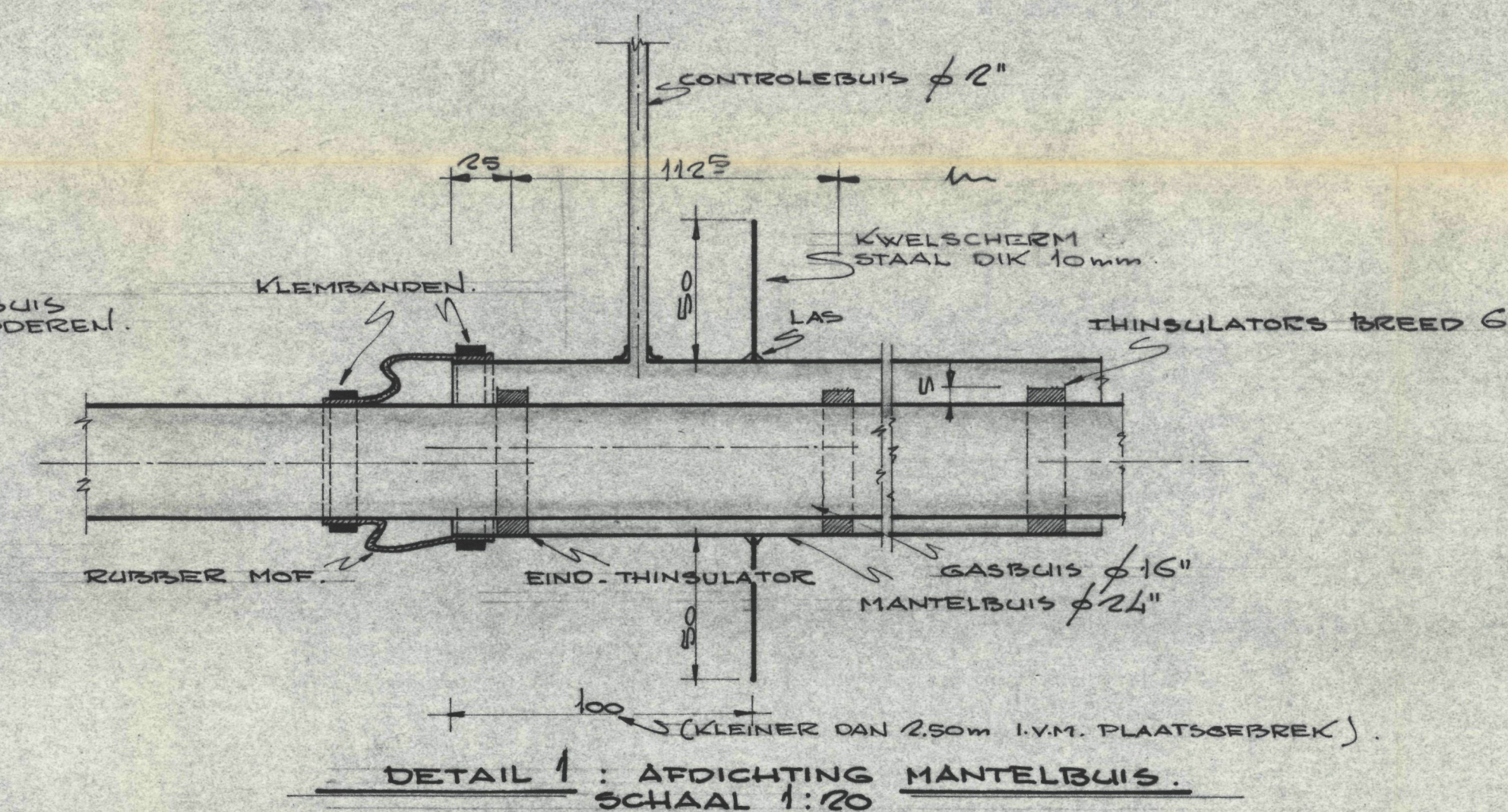
AANSLUITENDE TAK AAN DE WESTZUDE.
SCHAAL 1:100



DETAIL 2: DOORVOERING
MANTELBUIS - DAMWAND -
SCHAAL 1:20



BOVENAANZICHT DETAIL 2.
SCHAAL 1:20



DETAIL 1: AFDICHTING MANTELBUIS
SCHAAL 1:20

DE MANTELBUIS DIENST OVER DE VOLLE AANGEGEVENE LENGTE IN HET WERK TE WORDEN GEBRACHT DOOR MIDDEL VAN DOORPERSEN. HET PLAATSEN VAN DE MANTELBUIS IN VOORAF GEGRAVEN SLEUVEN IS TEN STRENGSTE VERBODEN.

MATEN IN CM. TENZIJ ANDERS VERMEELD.
PEILHOOGTEN IN CM. T.O.V. N.A.P.

MANTELBUIS: $\phi 24''$ A.P.I. 5LX.
 ϕ UITW.: 50.950 cm.
 WANDDIKTE: $t = 1.285 \text{ cm}$.
 STAALKWALITEIT: $\sigma_{VLKRI} = 1000 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_{BREUK} = 5500 \text{ kg/cm}^2$
 GASLEIDING: $\phi 16''$ A.P.I. 5L.
 ϕ UITW.: 40.640 cm.
 WANDDIKTE: $t = 0.982 \text{ cm}$
 STAALKWALITEIT: $\sigma_{VLKRI} = 2460 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_{BREUK} = 4220 \text{ kg/cm}^2$
 BEDRIJFSDEUK MAX: 40 kg/cm^2
 AFDRIJFDEUK: 80 kg/cm^2

WUZIGINGEN	WERK: WERK N ^o 1291 - 501. PROJECT N ^o 5. 094. N.V. NEDERLANDSE GASUNIE DEN HAAG	GETEKEND: <i>[Signature]</i> GECONTR: <i>[Signature]</i> GEZIEN: <i>[Signature]</i>
	ONDERDEEL: TRACE ALEXANDERPOLDER KRUISING RINGVAART ZUIDPLASPOLDER	SCHAAL: 1:100 & 1:20
	RAADGEVEND INGENIEURSBUREAU Bish & Partners n.v.	WERK N ^o : W 646 BLAD N ^o : 1. ^A
	KONINKRIJKE DIENST 24-85 TEL. 1182341, 1 GRAVENHAGE	

