

Rul 7652 / 65

PROVINCIALE WATERSTAAT  
IN ZUID-HOLLAND

=====

Onderzoek naar de veiligheid van een kruising van een secundaire aardgasleiding  $\varnothing$  30 cm met een boezemwater, aan weerszijden begrensd door diepliggende polders, door middel van boren onder kanaal en kaden door.

Indien een boezemwater annex kaden besloten ligt tussen laaggelegen polders, verdient het aanbeveling de mogelijkheid te overwegen de kruising van een secundaire aardgasleiding doorgaans  $\varnothing$  30 cm uit te voeren door middel van doorpersen c.q. boren. Deze methode heeft de volgende voordelen:

- a) men behoeft geen graafwerkzaamheden of heilwerk te verrichten in de kaden, welke dikwijls in een tamelijk labiele evenwichtstoestand verkeren.
- b) doordat men geen min of meer vaste punten creëert, zoals waterdichte doorvoerconstructies door de kaden, bestaat de mogelijkheid om de flexibiliteit van de door zijn geringe diameter in axiale richting slappe pijp ten volle te benutten.
- c) men behoeft minder bochten in de kruisende strekking op te nemen, dan bij een hoge doorvoer het geval is.
- d) de uitvoering kan snel en eenvoudig zijn.

De nadelen kunnen als volgt worden omschreven:

- a. tengevolge van de diepe doorvoer treden hoge grondbelastingen op, welke door de flexibiliteit op de lange duur onvoldoende kunnen worden geredresseerd. De levensduur met behoud van de vereiste veiligheid is dan ook beperkt.
- b. de mogelijkheid van inspectie van de gelegde leiding is niet aanwezig. Ook ontbreekt de gelegenheid tot het uitvoeren van herstellingswerkzaamheden.
- c. tengevolge van de geringe axiale stijfheid van de betrokken leiding bestaat het gevaar, dat bij doorpersen de buis verloopt.
- d. tengevolge van de geringe mechanische eigenschappen van de kanaalbodem, bestaat het gevaar van inbraak van grond en water bij doorpersen, indien de gronddekking aldaar onvoldoende groot is.



Uit voorgaande voor- en nadelen valt af te leiden, dat doorpersen van de secundaire leiding zonder meer, weinig aanbeveling verdient. Door het treffen van diverse aanvullende voorzieningen bestaat echter de mogelijkheid de secundaire leiding met relatief zeer geringe secundaire spanningen door middel van boren het boezemwater te doen kruisen, met dien verstande, dat hierbij gebruik wordt gemaakt van een stelsel van mantelbuizen. De nadelen onder a. t/m d. vervallen hierbij grotendeels, alsmede de voordelen b) en d). In het hiernavolgende zal de bedoelde constructie nader uiteen worden gezet aan de hand van de volgende elementen:

#### I. mantelbuis

In de eerste phase wordt een mantelbuis  $\varnothing$  100 cm met een wanddikte van  $\frac{1}{2}$ " (maximale dikte voor spiraalgelaste mantelbuizen) geboord met de door de Gasunie gebezigde apparatuur, waarbij er op moet worden toegezien, dat de cutter niet voor de buis uitwerkt. De mantelbuis is gevuld met een transportvrijzel met grond, waardoor inbraak kan worden gekeerd. Door de grote stijfheid van deze buis is de kans op verlopen gering. Het staal van de mantelbuis bezit een vloeigrens van 2100 kg/cm<sup>2</sup> en een breukgrens van 3400 kg/cm<sup>2</sup>. De functie van de mantelbuis is tweeledig namelijk: in de eerste plaats is het gebruik van de buis nodig voor de boring zelf in verband met de gebruikte apparatuur en in de tweede plaats vangt de buis in samenwerking met de steunbuis de grondbelastingen af van de eigenlijke gasvoerende buis (functiesplitsing).

#### II. steunbuis

Aangezien de mantelbuis in verband met zijn afmetingen en materiaaleigenschappen op den duur niet in staat is de grondbelastingen geheel te dragen, wordt in de tweede phase een steunbuis in de mantelbuis geschoven waarbij wordt gedacht aan een primaire aardgasleiding  $\varnothing$  90 cm van klasse C. Klasse D zou beter voldoen, doch gezien de leveringsmoeilijkheden (wachttijd ca 1 jaar) zal men zich tot klasse C moeten beperken.

#### III. gasvoerende buis

Aangezien het grondwater in mantel- en steunbuis vrij toegang heeft, dient de secundaire leiding zelf door middel van een betonbekleding tegen opdrijving te worden behoed. Het e.g. van de buis onder water veroorzaakt op den duur een axiaal buigend moment van geringe betekenis. Deze buigspanningen vormen de enige secundaire spanningen in de gasbuis. De vereiste veiligheid tegen breuk van 2,3 wordt bij de beschreven constructie door de gasbuis ruimschoots gehaald, de mantelbuis bereikt op den duur de vloeigrens en de steunbuis vloeit juist niet.

Ingeval er sprake is van ongelijke zettingen, zoals bij de te kruisen boezemkaden inderdaad optreden, zal de invloedssfeer der zettingsverschillen over het algemeen de overspanning bepalen, welke de kruisende leiding strekking in de grond ondervindt. Men kan nu twee principieel verschillende gevallen onderscheiden, namelijk:



- a) de leiding is voldoende sterk om de grondbelasting bij de genoemde overspanning te dragen, dus waarbij de vloeigrens niet wordt bereikt.
- b) de leiding is hiertoe niet in staat en vloeit.

Dit onderscheid is van wezenlijke invloed op de levens-duur van de leiding, zeker indien men een bepaalde veiligheidsfactor tegen breuk wenst. De leiding onder a) ondergaat bij de bedoelde belasting en overspanning een bepaalde doorbuiging. Zolang de zettingsverschillen kleiner zijn dan deze waarde, zal de leiding de deformaties van de grond volgen en spanningen opnemen, welke uit deze doorbuiging volgen. Op het ogenblik dat de deformaties van de grond groter worden dan de genoemde evenwichts-doorbuiging, volgt de leiding de grond niet langer en blijven de spanningen in de buis beperkt tot die, welke volgen uit de grondbelasting en de overspanning. De levensduur van een dergelijke leiding is grondmechanisch gezien dus onbeperkt. De voorgestelde constructie valt onder deze categorie. De leiding onder b) volgt de deformaties van de grond elastisch conform a) tot het tijdstip, waarop de zettingsverschillen spanningen in de buis induceren, welke de vloeigrens bereiken. Er ontstaat dan in de maatgevende doorsnede een vloeischarnier, welke enerzijds de leiding in staat stelt de grond verder te volgen, doch op plastische wijze, anderzijds enige tijd een verder oplopen der spanningen verhindert. Indien echter de zettingen zodanig zijn doorgezet, dat de rek bij vloeien in de uiterste trekvezel is bereikt, heeft een verdere toename van de spanningen plaats tot het breukstadium. Een doorgeperste leiding  $\varnothing 30$  zonder mantelbuisen valt onder groep b). De feitelijke levensduur is bepaald door de tijd benodigd voor het bereiken der breukstadium-zettingen. Het verdient echter aanbeveling het niet zo ver te laten komen en de leiding op het tijdstip, dat de veiligheidscoëfficiënt de geëiste 2,3 onderschrijdt, te verwijderen. Een beperkte vergunning ware hiervoor te verlenen.

#### Berekening van mantel-, steun- en gasvoerende buis (zie bijlage)

##### I. mantelbuis

$$D_u = 102,54 \text{ cm}$$

$$\text{wanddikte } t = 12,7 \text{ mm } (\frac{1}{2} \text{")}$$

$$D_i = 100 \text{ cm}$$

$$F = \frac{\pi}{4} (102,54^2 - 100^2) = \frac{\pi}{4} \cdot 500 = 392 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{\pi}{64} (102,54^4 - 100^4) = \frac{\pi}{64} \cdot 0,1 \cdot 10^8 = 4,91 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$$

$$W = \frac{4,91 \cdot 10^5 \times 2}{103,4} = 9,49 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 = 9490 \text{ cm}^3$$

|               |                           |
|---------------|---------------------------|
| $\sigma_{vl}$ | = 2100 kg/cm <sup>2</sup> |
| $\sigma_{br}$ | = 3400 "                  |

$$\text{Buisdoorsnede} : \frac{1}{4} \pi \cdot 1,0254^2 = \underline{0,823} \text{ m}^2$$

$$\text{e.g. mantelbuis onder water: } 0,392 \cdot 100 \cdot (7,85 - 1) = \underline{268} \text{ kg/m}^1$$

grondbelasting op mantelbuis:

$$1. (3,5 \cdot 15 \cdot 0,2 + \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 0,2 + \frac{1}{2} \cdot 5,5 \cdot 20 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 25 \cdot 1,2) \cdot (1 + \frac{3,4}{1} \cdot \frac{1}{2} \cdot 20^\circ) = q \cdot 35$$

$$q = \underline{2,55} \text{ t/m}^1$$

We beschouwen voorlopig grondbelasting zonder e.g.:

$$M_{\text{axiaal}} = \frac{1}{10} q l^2 = \frac{1}{10} \cdot 2,55 \cdot 35^2 = \underline{313} \text{ tm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{31300000}{9490} = 3290 \text{ kg/cm}^2 < 3400$$

$$\text{ruimte tussen mantelbuis en steunbuis: } 100 - 91,4 = \underline{8,6} \text{ cm}$$

doorbuiging mantelbuis:

$$f = \frac{4}{384} \frac{q l^4}{EI} = \frac{4}{384} \frac{25,5 \cdot (3500)^4}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 4,91 \cdot 10^5} = \underline{38,4} \text{ cm}$$

$$\sigma_{8,6} = \frac{8,6}{38,4} \cdot 3290 = \underline{737} \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{8,6} = \frac{8,6}{38,4} \cdot 2,55 = \underline{0,57} \text{ t/m}^1$$

$$\text{totale grondbelasting : } q \cdot l = 2,55 \cdot 35 = 89,20 \text{ t.}$$

in eerste instantie door mantelbuis

$$\text{opgenomen : } 0,57 \cdot 35 = \underline{19,95} \text{ "}$$

restant 69,25 t, te verdelen tussen mantelbuis en steunbuis.

mantelbuis-aandeel:

$$\text{gelijkmatig verdeelde belasting: } f_1 = \frac{5}{384} \frac{q_m \cdot l^4}{EI_m}$$

deelname steunbuis:

$$\text{puntlast: } f_2 = \frac{1}{48} \frac{P_s \cdot l^3}{EI_s}$$

$$f_1 = f_2 \rightarrow \frac{5}{384} \frac{q_m \cdot l^4}{EI_m} = \frac{1}{48} \frac{P_s \cdot l^3}{EI_s} \therefore \frac{q_m \cdot l}{P_s} = \frac{384}{5 \cdot 48} \cdot \frac{I_m}{I_s} = 1,6 \frac{I_m}{I_s}$$

steunbuis is klasse C:

$$I = 4,32 \cdot 10^5 \text{ cm}^4 \text{ (zie onder II)}$$

$$q_m \cdot l = \frac{1,6 \cdot I_m}{1,6 \cdot I_m + I_s} \cdot 69,25 \text{ t} = \frac{1,6 \cdot 4,91}{1,6 \cdot 4,91 + 4,32} \cdot 69,25 = \underline{44,6} \text{ t} \quad \left. \begin{array}{l} \text{) totaal} \\ \text{) } 69,25 \text{ t} \end{array} \right\}$$

$$P_s = \frac{I_s}{1,6 \cdot I_m + I_s} \cdot 69,25 \text{ t} = \frac{4,32}{1,6 \cdot 4,91 + 4,32} \cdot 69,25 = \underline{24,65} \text{ t}$$



mantelbuis:

$$q_m = \frac{44,6}{35} = 1,275 \text{ t/m}^1$$

rest

$$M_m = \frac{1}{10} \cdot 1,275 \cdot 35^2 = \underline{156,5} \text{ tm}$$

rest

$$\sigma_m = \frac{15650000}{9490} = 1650 \text{ kg/cm}^2$$

rest

$$\sigma_m = \sigma_{8,6} + \sigma_{m \text{ rest}} = 737 + 1650 = \underline{2387} \text{ kg/cm}^2 > \sigma_{v1} = 2100 \text{ kg/cm}^2$$

∴ verdeling niet conform voorgaande !

$$\bar{M}_m = W \cdot \sigma_{v1} = 9490 \cdot 2100 = \underline{199} \text{ tm}$$

$$\frac{1}{10} \cdot \bar{q}_m \cdot 35^2 = 199 \longrightarrow \bar{q}_m = \frac{199 \cdot 10}{35^2} = 1,625 \text{ t/m}^1 \text{ (bruto)}$$

$$\text{af e.g.} = \frac{0,268}{1,357} \text{ t/m}^1 \text{ (netto)}$$

$$\bar{q}_m \cdot 1 = 1,357 \cdot 35 = 47,5 \text{ t (bijdrage mantelbuis)}$$

$$\text{door steunbuis op te nemen: } P_s = 89,2 - 47,5 = \underline{41,7} \text{ t.}$$

## II. steunbuis (klasse C)

$$D_u = 91,44 \text{ cm}$$

$$t = 15,45 \text{ mm}$$

$$D_i = 88,35 \text{ cm}$$

|                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------|
| $\sigma_{v1} = 4.000 \text{ kg/cm}^2$<br>$\sigma_{br} = 5.600 \text{ "}$ |
|--------------------------------------------------------------------------|

$$F = \frac{\pi}{4} (91,44^2 - 88,35^2) = \frac{\pi}{4} \cdot 550 = \underline{4,32 \cdot 10^2} \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{\pi}{64} (91,44^4 - 88,35^4) = \frac{\pi}{64} \cdot 88 \cdot 10^5 = \underline{4,32 \cdot 10^5} \text{ cm}^4$$

$$W = \frac{4,32 \cdot 10^5 \cdot 2}{91,44} = \underline{9,45 \times 10^3} \text{ cm}^3$$

$$\text{Buisdoorsnede: } 0,655 \text{ m}^2$$

$$P_s = \underline{41,7} \text{ t}$$

$$q_{e.g.} = \frac{4,32}{3,92} \cdot 268 = \underline{295} \text{ kg/m}^1$$

$$M_{e.g.} = \frac{1}{10} \cdot 0,295 \cdot 35^2 = \underline{36,1} \text{ tm}$$

$$M_s = \frac{1}{5} P_s \cdot 1 = \frac{1}{5} \cdot 41,7 \cdot 35 = 292,0 \text{ tm}$$

$$M_{e.g.} = \frac{36,1}{328,1} \text{ tm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{32810000}{9450} = \underline{3470} \text{ kg/cm}^2$$

$$n_1 = \frac{4000}{3470} = 1,15 \quad (\text{veiligheidsfactor tegen vloeien}) \rightarrow \text{categorie a)}$$

$$n_2 = \frac{5600}{3470} = 1,62 \quad (\text{veiligheidsfactor tegen breuk})$$

ter vergelijking zijn deze factoren bij de mantelbuis:

$$n_1 = 1 \rightarrow \text{categorie b)}$$

$$n_2 = \frac{3400}{2100} = 1,62$$

doorbuiging steunbuis:

$$\text{grondbelasting: } f = \frac{1}{48} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{41700 \cdot (3500)^3}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 4,32 \cdot 10^5} = 32,6 \text{ cm}$$

$$\text{e.g. : } f = \frac{5}{384} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{2,95 \cdot (3500)^4}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 4,32 \cdot 10^5} = 5,08 \text{ "}$$

$$\text{totaal } \underline{37,68 \text{ cm}}$$

doorbuiging mantelbuis:

$$37,68 + 8,6 = 46,28 \text{ cm} \approx \boxed{45 \text{ cm}}$$

Uitgaande van een zettingstempo van 1 - 2 cm/jaar (dat is een ervaringscijfer voor de kade kruin, de zettingen ter plaatse van de pijp zijn minder) impliceert dit, dat de evenwichtsdoorbuiging van de steunbuis na 20 - 25 jaar zal worden bereikt. In deze periode nemen de spanningen geleidelijk toe, na deze termijn niet meer. De mantelbuis vloeit en bezit derhalve geen evenwichtsdoorbuiging uit eigen sterkte. In feite is deze gelijk aan die van de steunbuis (+ 8,6 cm).

Buiging in dwarsrichting

mantelbuis:

volgens Spangler: 120° ondersteuning bij geboorde buizen:  $K_b = 0,138$

$$K_x = 0,089$$

$$M = 0,138 \cdot 2,55 \cdot 0,5 = 0,176 \text{ tm} \quad (K_b \text{ PR})$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot 100 \cdot 1,27^2 = 26,8 \text{ cm}^3$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 1,27^3 = 17,0 \text{ cm}^4$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{17600}{26,8} = 656 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow n_1 = \frac{2100}{656} = 3,2 \quad )$$

$$n_2 = \frac{3400}{656} = 5,18 \quad ) \text{ niet maatgevend}$$

$$\Delta = 2 \delta = 0,089 \cdot \frac{25,5 \cdot 50^3 \cdot 10^2}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 17} = 0,794 \text{ cm} \approx 8 \text{ mm} \ll 8,6 \text{ cm}$$

∴ mantelbuis draagt dwarsbuiging totaal !

Deze buigspanningen en deformaties treden kort na het aanbrengen van de mantelbuis reeds op (vergelijk: "gebergtedruk" bij tunnelbouw).

III. gasvoerende buis (Ø 30,5 cm inw.)

$$t = 7,14 \text{ mm}$$

$$r_i = 15,25 \text{ cm}$$

$$r_u = 15,96 \text{ cm}$$

betonbekleding 3,5 cm

$$R_u = 19,46 \text{ cm}$$

|                              |
|------------------------------|
| $v_l = 2450 \text{ kg/cm}^2$ |
| $br = 4200 \text{ "}$        |

$$W = \frac{\pi}{4} \frac{(r_u^4 - r_i^4)}{r_u} = \frac{\pi}{4} \frac{15,96^4 - 15,25^4}{15,96} = \frac{\pi}{4} \frac{10800}{15,96} = \underline{532 \text{ cm}^3}$$

$$I = 532 \cdot 15,96 = \underline{8480 \text{ cm}^4}$$

$$F_y = \pi (15,96^2 - 15,25^2) = \pi (254 - 232) = \underline{69 \text{ cm}^2}$$

$$F_b = \pi (19,46^2 - 15,96^2) = \pi (378 - 254) = \underline{389 \text{ cm}^2}$$

gewicht van het geheel boven water:

$$100 \cdot 69 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} = 54,2 \text{ kg/m}^1$$

$$100 \cdot 389 \cdot 2,3 \cdot 10^{-3} = 89,5 \text{ "}$$

$$\underline{143,7 \text{ kg/m}^1}$$

opwaartse kracht van het water:

$$\pi \cdot 19,46^2 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = \underline{118,5 \text{ kg/m}^1}$$

$$\text{neerwaartse resultante: } 143,7 - 118,5 = 25,2 \text{ kg/m}^1 \approx \underline{0,025 \text{ t/m}^1}$$

belasting gasbuis:

$$M_{e.g.} = \frac{1}{10} q l^2 = \frac{1}{10} \cdot 0,025 \cdot 35^2 = 3,065 \text{ tm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{306500}{532} = \underline{577 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\sigma_r = \frac{p \cdot R}{t} = \frac{40 \cdot 15}{0,714} = \underline{840 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{bocht}} = \underline{420 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{axiaal}} = 577 + 420 = \underline{997 \text{ kg/cm}^2} \rightarrow n_1 = \frac{2450}{997} = 2,46 \text{ (klasse D)}$$

$$n_2 = \frac{4200}{997} = 4,22 \gg 2,3 \text{ (eis).}$$

doorbuiging gasbuis:

$$I_{\text{beton}} = \frac{\pi}{4} (19,46^4 - 15,96^4) = \frac{\pi}{4} (143000 - 64500) = 61.600 \text{ cm}^4$$

$$\text{omgerekend op staal: } \frac{61600}{15} = \underline{4100 \text{ cm}^4}$$

$$I_{\text{totaal}} = 8480 + 4100 = \underline{12.580 \text{ cm}^4}$$

$$f = \frac{4}{384} \frac{q l^4}{EI} = \frac{4}{384} \frac{0,25 \cdot (3500)^4}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 12580} = \underline{14,8 \text{ cm}} < 37,68 \text{ cm}$$

gasbuis volgt de doorbuiging van de steunbuis gedeeltelijk !



blijvende ruimte tussen b.k. gasbuis (incl. betonbekleding) en b.k. (binnenzijde) steunbuis:  $(88,35 - 2.19,46) - 37,68 + 14,8 - 1,5 = \underline{25}$  cm.  
Dit impliceert, dat indien de steunbuis door overbelasting en door de geringe veiligheid  $n_1$  zou gaan vloeien, bij een zakking van 2 cm/jaar de permanente levensduur wordt teruggebracht tot  $22,5 + 12,5 = 35$  jaar.  
Eerst dan is deze vrije ruimte verbruikt en nemen de spanningen in de gasbuis toe. Wederom  $\frac{36 - 14,8}{2} = \text{ca } 10$  jaar nadien hebben de spanningen een zodanige hoogte bereikt, dat de vereiste  $n_2 = 2,3$  wordt onderschreden. Een levensduur van 35 - 45 jaar zal echter in verband met corrosie of andere ongunstige invloeden naar alle waarschijnlijkheid niet te kort schieten. Het is echter duidelijk dat toepassing van klasse D als steunbuis en/of een zwaardere (rechtgelaste) mantelbuis (tot 17 mm) de voorkeur verdient in verband met de hogere  $n_1$ -factor.

Indien men tegenover de in het voorgaande omschreven constructie een doorgeperste met beton beklede secundaire leiding zonder enige mantelbuis stelt, is het vanzelfsprekend dat men hier te doen heeft met een leiding onder categorie b). De levensduur kan men dan als volgt afleiden:

eis:  $n_2 = 2,3$

$$\sigma' = \frac{4200}{2,3} = 1825 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{bocht}} = 420 \text{ "}$$

$$\sigma_b = \frac{1405}{\text{ "}} \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{M} = W \cdot \sigma_b = 532.1405 = \underline{7,47} \text{ tm}$$

$$\bar{q} = \frac{7,47 \cdot 10}{35^2} = \underline{0,061} \text{ t/m}^1$$

$$\bar{f} = \frac{4}{384} \frac{\bar{q} l^4}{EI} = \frac{4}{384} \cdot \frac{0,61 \cdot (3500)^4}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 12580} = \underline{36} \text{ cm, bij een zettingstempo van 2 cm/jaar volgt hieruit een levensduur van } \underline{18 \text{ jaar}}$$

de leiding vloeit na:

$$\sigma_b = 2450 - 420 = \underline{2030} \text{ kg/cm}^2$$

$$M = 532.2030 = \underline{10,8} \text{ tm}$$

$$q = \frac{10,8 \cdot 10}{35^2} = \underline{0,072} \text{ t/m}^1$$

$$f = \frac{4}{384} \cdot \frac{0,72 \cdot (3500)^4}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 12580} = \underline{42,5} \text{ cm} \text{ ---} \text{ vloeischarnier na } \underline{21 \text{ jaar}}$$

Opmerking: de toegepaste berekening van mantel- en steunbuis is, enigszins aangepast, bruikbaar voor kruisingen van primaire aardgasleidingen met wegen.



Aangezien de belasting door de grond bij een wegekruising (min. 1 m zand) in dezelfde orde van grootte ligt als bij het onderzochte boezemkanaal, doch bovendien moet worden verhoogd met de verkeersbelastingen, terwijl de steunbuis tevens gasvoerend is, waardoor de buigspanningen in axiale richting gecombineerd optreden met de spanningen ten gevolge van bochtkrachten, zal het duidelijk zijn, dat een op staal gefundeerde kruising van een primaire aardgasleiding met een weg middels een mantelbuis, na relatief korte tijd tot vloeien aanleiding kan geven. Dit geldt zeker voor wegen in Zuid-Holland, welke in verband met de slappe grondslag een hoog zettingstempo bezitten. (afhankelijk van de ouderdom van de weg). Indien in de behandelde boezemkruising de steunbuis klasse C (de Gasunie gebruikt bij de kruising van rijksweg 12 bij Woerden een mantelbuis  $\varnothing$  100 met wanddikte 11 mm en klasse B gasbuis) tevens gasvoerend zou zijn, kan het tijdsverloop tot vloeien als volgt worden afgeleid:

$$\sigma_{v1} = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_r = \frac{p \cdot R}{t} = \frac{67,5 \cdot 91,44}{2,1 \cdot 545} = 2000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{bocht}} = \frac{1}{2} \cdot 2000 = 1000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{buiging}} = 4000 - 1000 = 3000 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{v1} = W \cdot \sigma = 9450 \cdot 3000 \cdot 10^{-5} = 283 \text{ tm}$$

$$\frac{1}{10} q_{v1} \cdot l^2 = 283 \rightarrow q_{v1} = \frac{283 \cdot 10}{35^2} = 2,31 \text{ t/m}^1$$

doorbuiging direct vóór vloeien:

$$f = \frac{4}{384} \cdot \frac{23,1 \cdot (3500)^4}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 4,32 \cdot 10^5} \approx 40 \text{ cm}$$

Bij een zettingstempo van 2 cm/jaar zal na 20 jaar vloeien van de leiding kunnen worden verwacht.

Indien men de eis zou stellen, dat de leiding bij overschrijding van de veiligheidsfactor  $n_2 = 2,3$  moet worden verwijderd, is de levensduur als volgt te bepalen:

$$\sigma = \frac{5600}{2,3} = 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{bocht}} = 1000 \text{ "}$$

$$\sigma_{\text{buiging}} = 1440 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{levensduur } \frac{1440}{3000} \cdot 20 = 9,6 \approx \underline{10 \text{ jaar}}$$

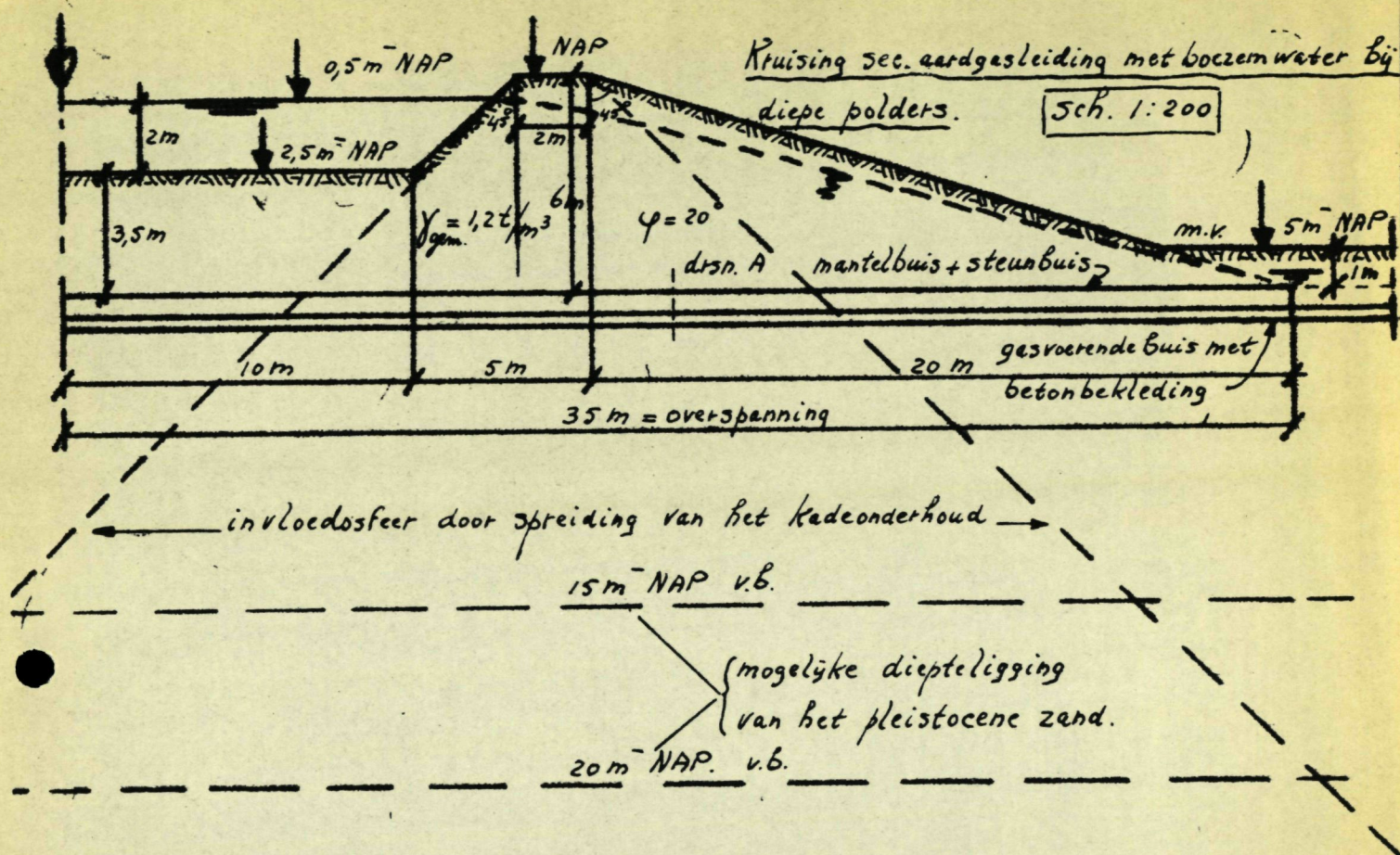
Het verdient uiteraard weinig aanbeveling een kruising van een pri-maire aardgasleiding met mantelbuis onder een boezemwater uit te voeren, waarbij de vergunning ten hoogste een geldigheid van 10 jaar bezit. De behandelde methode voor een secundaire leiding is bruikbaar.

Uit het voorgaande moge echter wel blijken, dat ingeval van hogere zettingstempi, zoals bij wegen, de afgifte van een permanente vergunning voor een primaire leiding risico's inhoudt, welke echter in verband met het geringere veiligheidsaspect dan bij boezemkruisingen wellicht uit beleidsoverwegingen aanvaardbaar zijn. De doorvoer van een secundaire leiding onder een weg zou men afhankelijk kunnen stellen van het zettings-tempo van de weg. Bij weinig zakking zou men zonder mantelbuis kunnen doorpersen met een beperkte levensduur, bij sterke zetting is een constructie conform de behandelde aan te bevelen.

bijlage: 1

's-Gravenhage, augustus 1965

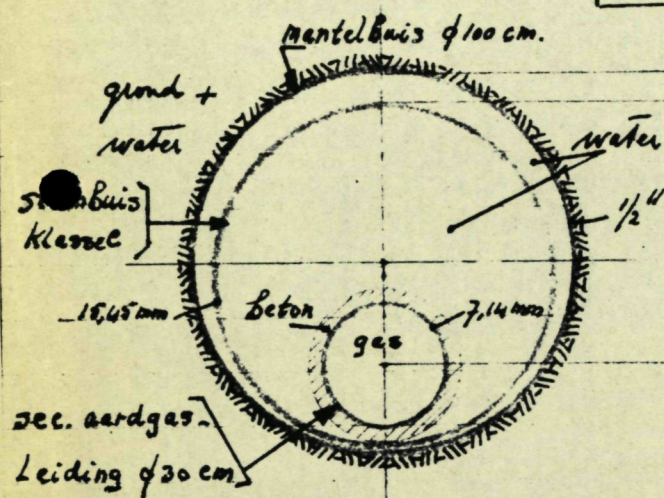




drum. A.

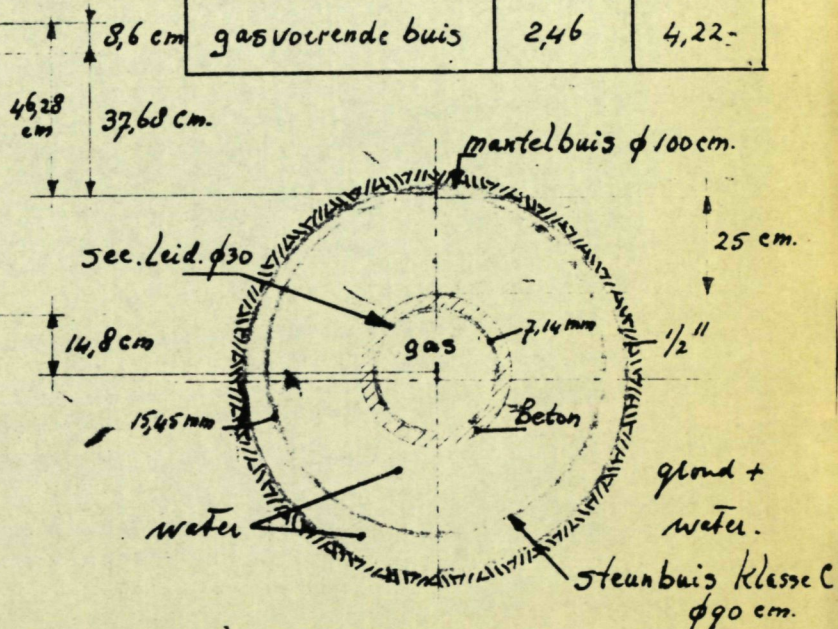
Sch. 1:20

| veiligheidsfactoren | vloeien | breuk |
|---------------------|---------|-------|
| mantelbuis          | 1       | 1,62  |
| steunbuis           | 1,15    | 1,62  |
| gasvoerende buis    | 2,46    | 4,22  |



Begin phase.

(to extend direct to an leg).



Eindphase. (na 20-25 jaar).

(Toestand bij evenwichtsdoorbuiging).



=====

Aanvullingen op het onderzoek naar de veiligheid  
van geboorde kruisingen van secundaire aardgasleidingen  $\varnothing$  30 cm

-----

Naar aanleiding van desbetreffende kritiek zijn een  
tweetal verfijningen aan de berekeningen aan te brengen,  
namelijk:

- a) de grondbelasting op de mantelbuis kan gezien de gegeven  
situatie beter worden opgevat als een driehoekig ver-  
lopende dan een gelijkmatig verdeelde.
- b) de vereffening van de grondbelasting over mantel- en  
steunbuis kan exact uitgevoerd worden, zodat men niet  
met een benadering behoeft te volstaan.

ad a (1)

Bij een vrij opgelegde ligger bedraagt het maximale  
moment bij een gelijkmatig verdeelde belasting  $\frac{1}{8} Ql$ , bij  
een even grote  $\Delta$ -ig verdeelde  $\frac{1}{6} Ql$ . Hieruit volgt dat de  
grondbelasting in dat geval met een factor  $\frac{8}{6} = 1,33$  moet  
worden vermenigvuldigd.

ad b

De verdeling op pag.4 wordt nu als volgt:

$$\text{mantelbuis: } f_1 = \frac{5}{384} \frac{q_{\text{totaal}} \cdot l^4}{EI_m} - \frac{1}{48} \frac{P_s \cdot l^3}{EI_m}$$

$$\text{steunbuis: } f_2 = \frac{1}{48} \frac{P_s \cdot l^3}{EI_s}$$

$$f_1 = f_2 \rightarrow \frac{5}{384} \frac{q_{\text{totaal}} \cdot l^4}{EI_m} = \frac{1}{48} \frac{P_s \cdot l^3}{EI_s} + \frac{1}{48} \frac{P_s \cdot l^3}{EI_m}$$



$$\frac{q_{\text{totaal.1}}}{P_s} = \frac{384 \cdot EI_m}{5.48} \left( \frac{1}{EI_s} + \frac{1}{EI_m} \right) = 1,6 \left( \frac{I_m}{I_s} + 1 \right)$$

$$1,6 \cdot \left( \frac{4,91}{4,32} + 1 \right) = 1,6 \cdot 2,14 = 3,42. \quad \frac{P_s}{q_{\text{totaal.1}}} = \frac{1}{3,42} = 0,292$$

$$P_s = 0,292 \cdot 69,25 = 20,2 \text{ t}$$

$$q_{m.1} = 69,25 - 20,2 = 49,05 \text{ t} > 44,6, \text{ dus } \underline{\text{mantelbuis vloeit}}$$

ad a (2)

De belasting op de steunbuis (pag.5) wijzigt zich als volgt:

$$\begin{aligned} 1,33 \times \text{grondbelasting: } 89,2 \times 1,33 &= 119 \text{ t} \\ \text{bijdrage mantelbuis : } &\underline{47,5 \text{ t}} \\ \text{voor steunbuis } \longrightarrow &\underline{71,5 \text{ t}} \end{aligned}$$

$$M_s = \frac{71,5}{41,7} \times 292 = 502 \text{ tm}$$

$$M_{e.g.} = \frac{36,1 \text{ tm}}{538,1 \text{ tm}}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{53810000}{9450} = 5700 \text{ kg/cm}^2 \longrightarrow \text{de } \underline{\text{steunbuis vloeit}}$$

Er is geen sprake van een evenwichtsdoorbuiging, doch van een beperkte levensduur (35 - 45 jaar), welke echter langer is dan zonder mantelbuizen (18 jaar). De constructie valt dan onder categorie b. Met een steunbuis klasse D is wellicht wel een onbeperkte levensduur te bereiken (zie ook pag.8).

's-Gravenhage, augustus 1965