dec. '66

PROVINCIALE WATERSTAAT
IN ZUID-HOLLAND

Benadering van de vereiste veiligheidszône voor hogedrukleidingen bij verschillende bodemgesteldheden

I. Geraadpleegde literatuur:

* "Het gedrag van de bodem en het grondwater in Nederland bij dynamische belastingen in het bijzonder bij dynamische belastingen als gevolg van een kernwapenexplosie" (proefnemingen gedurende de periode 1962 - 1965) van het Adviesbureau der Genie (verslag no.122 van september 1965).

** "Springstoffen" (eigenschappen, vervaardiging, werking en toepassing voor militaire vernielingen, in de mijnbouw en in de landbouw) door P.W. Scharroo.

II. Herkomst van de tot op heden gehanteerde 60 m-zône:

Zie hiervoor het "Verslag van de vergadering op 20 december 1965 op het L.G.M. te Delft inzake de invloed van schokgolven bij kruising van aardgasleidingen met boezemwateren".

Deze 60 m-zône werd indertijd gebaseerd op de krater, die werd gevormd tijdens en na het springen van een broekstuk bij Nijkerk in een Ø 30 cm aardgasleiding (regionaal) bij een bedrijfsdruk van 35 ato (nominaal 40 ato). Hierbij werd gesteld, dat de diameter van deze krater, welke 6 m bedroeg, ook zou zijn ontstaan bij explosie van 40 kg T.N.T. Dit uitgangspunt kan met behulp van de formules uit ** worden bevestigd: pagina's 233, 234, 242 en 243:

$$\boxed{L = g \times q \times O \times w^3}$$, volgens Dambrun.

L = ladinggewicht in kg
g = coëfficiënt afhankelijk van de grondsoort (tabel 37)
q = $(\sqrt{1 + n^2} - 0{,}41)^3$, waarin (tabel 34),
n = $\frac{t}{w}$ (de zgn. mijnwijzer)
t = kraterstraal
w = kortste weerstandslijn (= diepteligging onder m.v.) in m
O = opstoppingscoëfficiënt (tabel 38)

Het geval Nijkerk levert:

$w = 2$ m; $t = 3$ m; $n = \frac{t}{w} = \frac{3}{2} = 1{,}5$; $q = 2{,}68$; $g \approx 1$; $O = 2$.

$L = 1.2{,}68.2.2^3 = \underline{43}$ kg (brisante springstof), q.e.d.

EK.

In ⁎ kan geen afleiding worden gevonden voor de destijds door kol. Schep gehanteerde vuistregel, dat de aan te houden veiligheidszône 5 à 10 maal de kraterdiameter bedraagt. Wel blijkt duidelijk, dat de invloedssfeer van schokgolven in veen groter is dan in klei of zand, waarbij met nadruk wordt opgemerkt, dat de 60 m-zône indertijd uitsluitend voor de twee laatstgenoemde grondsoorten geldig was.

III. Bepaling van de equivalente springstofhoeveelheden voor niet-pyrogene explosie van c.q. erosie door bezwijkende hogedrukleidingen

Volgens pag.52 van ⁎⁎ levert 1 kg pikrinezuur (qua detonatie-eigenschappen ≈ trinitrotoluol): 9780 ≈ 10.000 l gas bij atmosferische druk .
Zo ontstaat bij explosie van 40 kg trotyl (T.N.T.) een gasvolume van
40 x 10.000 = 400.000 l = 400 m^3.

Ter verkrijging van een min of meer alzijdig symmetrische lading wordt van een hogedrukleiding de expansie bij plotselinge breuk beschouwd van een moot ter lengte van de diameter (aanname).
Bijvoorbeeld:

- Ø 30 cm (aardgas)
  barstdruk ca 40 ato (Nijkerk)
  expansie-volume van 0,3 m pijp: $\frac{1}{4}\pi .0,3^2.0,3.40 = 0,85 \approx 1\ m^3$.
  explosie-equivalent: $\frac{1}{400}$ x 40 kg = 0,1 kg = 100 gr T.N.T.
- Ø 30 cm (aardgas)
  barstdruk 200 ato (regionale leiding)
  expansie-volume 5 x 1 = 5 m^3.
  explosie-equivalent: 5 x 100 = 500 gr T.N.T.
- Ø 90 cm (aardgas)
  barstdruk 119 ato (transportleiding A-pijp)
  expansie-volume van 0,9 m pijp : $\frac{1}{4}\pi .0,9^2.0,9.119 \approx 75\ m^3$.
  explosie-equivalent: 75 x 100 gr = 7500 gr = 7,5 kg ≈ 8 kg T.N.T.

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden, dat bij de explosie te Nijkerk geen krater ontstond, doch dat deze onmiddellijk daarna werd gevormd door erosie ten gevolge van het uitstromende gas. De krater van 6 m ware aldus beter te betitelen als erosiekrater met een erosie-equivalent van 40 kg T.N.T.

Bij explosie gaat men uit van de barstdruk (bijvoorbeeld ten gevolge van een drukstoot in de leiding), bij erosie doet men er beter aan zich te baseren op de maximale (nominale) bedrijfsdruk, waaronder het gas uitstroomt. Zo blijft het erosie-equivalent van 40 kg T.N.T. voor Nijkerk geldig voor regionale aardgasleidingen in het algemeen. Bij de afleiding van het erosie-equivalent voor aardgastransportleidingen speelt de stroomsnelheid een rol:

$$\boxed{\text{erosie-eq. Ø 90} = \text{erosie-eq. Ø 30.}\ \frac{\text{exp.vol.Ø 90 nomin./m}^1}{\text{exp.vol.Ø 30 nomin./m}^1} \cdot \left\{\frac{\text{VØ 90}}{\text{VØ 30}}\right\}^2}$$

$$\text{erosie-eq. Ø 90} = 40.\frac{\frac{1}{4}\pi .0,9^2.1.67,5}{\frac{1}{4}\pi .0,3^2.1.40}.\left\{\frac{\sqrt{67,5}}{\sqrt{40}}\right\}^2 = 40.\frac{43}{3}.\ \frac{67,5}{40} = 970 \approx \boxed{1\ \text{ton T.N.T.}}$$

In tegenstelling tot het standpunt van kol. Schep, die ten aanzien van de opgewekte schokgolven geen onderscheid maakt tussen explosie en erosie en stelt, dat de kraterdiameter een maat is voor de totale op de grond overgebrachte energie , waarbij de tijd waarin deze overdracht plaats heeft van geen invloed is op de invloedssfeer van de schokgolven (grondverwekingszône), wordt in het hiernavolgende uitsluitend het <u>explosie</u>-equivalent gebruikt als bron van schokgolven.

Ten aanzien van olieleidingen kan worden gesteld, dat de expansie ten gevolge van de geringe samendrukbaarheid van vloeistoffen, van te verwaarlozen betekenis is. De erosie kan echter wel belangrijk zijn. Het eroderend vermogen van een stromend medium is evenredig met $\rho\, v^2$. Het volumegewicht van tot het 67,5-voudige gedeelte van het oorspronkelijk volume gecomprimeerd aardgas bedraagt ongeveer 0,01 t/m^3, dat van aardolie is te stellen op 1 t/m^3. De stroomsnelheid in een primaire aardgasleiding is bij volbelasting 50 m/sec., in een olieleiding van vergelijkbare afmetingen en druk 3 m/sec. Uit het voorgaande kan worden afgeleid, dat:

$$\boxed{\text{erosie-eq.Ø 90 (olie)} = \text{erosie-eq.Ø 90 (aardgas)}.\ \frac{\rho_{olie}\ v^2_{olie}}{\rho_{gas}\ v^2_{gas}}}$$

$$\text{erosie-eq.Ø 90 (olie)} = 1000.\frac{\frac{1}{10}.3^2}{\frac{0,01}{10}.50^2} = 1000.\ \frac{9}{25} \approx \frac{1000}{2,5} = \boxed{400\ \text{kg T.N.T.}}$$

IV. <u>Explosie-kraters</u>

- Ø 30 cm (aardgas)
  barstdruk: 200 ato
  explosie-equivalent: 500 gr. T.N.T.
  L = g x q x 0 x w^3
  w = 1,5 m
  0 = 2 (aangevulde sleuf)
  g = 0,5 (veen)) tabel 37 ⁂
  g = 1 (klei en zand))

<u>veen</u>:

$$q = \frac{0,5}{0,5.2.1,5^3} = \frac{1}{2.3,36} = 0,15 < 0,2 \rightarrow \therefore \text{ onvolkomen "kwetser"}$$

(tabel 34⁂)

<u>klei, zand</u>:

$$q = \frac{0,5}{1.2.1,5^3} = \frac{1}{4.3,36} = 0,075 \ll 0,2 \rightarrow \therefore \text{ onvolkomen "kwetser"}$$

- Ø 90 cm (aardgas)
  barstdruk: 119 ato
  explosie-equivalent: 8 kg T.N.T.
  $L = g \times q \times 0 \times w^3$
  $w = 1,5$ m
  $0 = 2$ (aangevulde sleuf)
  $g = 0,5$ (veen)
  $g = 1$ (klei en zand)

<u>veen</u>:

$$q = \frac{8}{0,5.2.1,5^3} = \frac{8}{3,36} = 2,4 \rightarrow n = 1,44 \text{ (tabel 34}^{**}\text{)} \therefore t = 1,44.1,5 = 2,15 \text{ m (kraterstraal)}$$

$$a = 2 \times 2,15 = \underline{4,3 \text{ m}} \text{ (kraterdiameter)}$$

<u>klei, zand</u>:

$$q = \frac{8}{2.3,36} = 1,2 \rightarrow n = 1,1 \therefore t = 1,1.1,5 = 1,65 \text{ m}$$
$$a = 2 \times 1,65 = \underline{\underline{3,3 \text{ m}}}$$

V. <u>Erosie-kraters</u>

- Ø 30 cm (aardgas)
  erosie-equivalent: 40 kg T.N.T.

<u>veen</u>:

$$q = \frac{L}{g \times 0 \times w^3} = \frac{40}{0,5.2.1,5^3} = \frac{40}{3,36} = 11,9 \rightarrow n = 2,5 \therefore t = 2,5.1,5 = 3,75 \text{ m}$$
$$a = 2.3,75 = \underline{\underline{7,5}}$$

<u>klei, zand</u>;

$$q = \frac{40}{1.2.1,5^3} = \frac{20}{3,36} = 5,95 \rightarrow n = 1,9 \therefore t = 1,9.1,5 = 2,85 \text{ m}$$
$$a = 2.2,85 = \underline{\underline{5,7 \text{ m}}}$$

- Ø 90 cm (aardgas)
  erosie-equivalent: 1000 kg T.N.T.

<u>veen</u>:

$$q = \frac{1000}{0,5.2.1,5^3} = \frac{1000}{3,36} = 300$$

$$q = (\sqrt{1 + n^2} - 0,41)^3 = 300$$
$$\sqrt{1 + n^2} - 0,41 = 6,7$$
$$\sqrt{1 + n^2} = 7,11 \rightarrow 1 + n^2 = 50,5 \rightarrow n^2 = 49,5 \rightarrow n = 7,04$$

$$\therefore t = 7,04.1,5 = 10,55 \text{ m}$$
$$a = 2.10,55 = \underline{\underline{21,1 \text{ m}}}$$

klei, zand:

$$q = \frac{1000}{1.2.1,5^3} = \frac{1000}{2.3,36} = 150.$$

$$q = (\sqrt{1 + n^2} - 0,41)^3 = 150$$

$$\sqrt{1 + n^2} - 0,41 = 5,32$$

$$\sqrt{1 + n^2} = 5,73 \rightarrow 1 + n^2 = 32,9 \rightarrow n^2 = 31,9 \rightarrow n = 5,65$$

$$\therefore t = 5,65.1,5 = 8,5 \text{ m}$$

$$a = 2.8,5 = \underline{\underline{17 \text{ m}}}$$

- Ø 90 cm (olie)
  erosie-equivalent: 400 kg T.N.T.

veen:

$$q = \frac{400}{0,5.2.1,5^3} = \frac{400}{3,36} = 120$$

$$\sqrt{1 + n^2} - 0,41 = 4,94$$

$$\sqrt{1 + n^2} = 5,35 \rightarrow 1 + n^2 = 28,6 \rightarrow n^2 = 27,6 \rightarrow n = 5,26$$

$$\therefore t = 5,26.1,5 = 7,9 \text{ m}$$

$$a = 2.7,9 = \underline{\underline{15,8 \text{ m}}}$$

klei, zand:

$$q = \frac{400}{2.3,36} = 60$$

$$\sqrt{1 + n^2} - 0,41 = 3,92$$

$$\sqrt{1 + n^2} = 4,33 \rightarrow 1 + n^2 = 18,8 \rightarrow n^2 = 17,8 \rightarrow n = 4,22$$

$$\therefore t = 4,22.1,5 = 6,3 \text{ m}$$

$$a = 2.6,3 = \underline{\underline{12,6 \text{ m}}}$$

VI. Grondverwekingszône

Zie ⌘ : pag. 307: grafiek 9.3.8.1
pag. 308: grafiek 9.3.8.2

In grafiek 9.3.8.1. wordt het verband gegeven tussen de piekdrukken (kg/cm^2) in met water verzadigde bodem ($\sigma_{grond} = \sigma_{water} + \sigma_{korrel}$), de afstand (m) vanaf het explosiepunt en het ladinggewicht (kg). Er zijn lijnen voor zand, klei, vrij water ($\approx$ veen) en droge grond.

In grafiek 9.3.8.2. is voor een met water verzadigde zandbodem met een poriënvolume van ca 35% het verlies aan draagkracht (conusweerstand in %) uitgezet tegen de afstand in meters vanaf het explosiepunt (maaiveld-explosie) als functie van het ladinggewicht in kg. Voor een ondergrondse explosie, waarbij de energie-overdracht op de bodem aanmerkelijk groter is dan bij een maaiveldexplosie, moeten de afstanden vermenigvuldigd worden met ca 1 1/3. Voorshands wordt geadviseerd voor klei dezelfde afstanden aan te houden.

Indien een relatie zou kunnen worden gevonden tussen beide grafieken, zou grafiek 9.3.8.2 kunnen worden uitgebreid met lijnen voor klei en veen. In ~~x~~ is dit niet gebeurd; in het hiernavolgende zal hiertoe een poging worden aangewend.

Er bestaat behoefte bij deze afleiding aan factoren, welke de deformaties in de grond aangeven ten gevolge van een horizontaal gerichte piekdruk van bekende grootte. Korrelverschikkingen, pakkingsdichtheidsveranderingen, verschuivingen veroorzaken een overspanning in het poriënwater met als gevolg korrelspanningsafname, grondverweking en verlies aan draagkracht (sondeerwaarde).

Als factoren zijn gebezigd de conusweerstand in horizontale richting (fictieve grootheid) en het τ-γ diagram.

Een en ander wordt gedemonstreerd voor <u>zand</u>, daar voor deze grondsoort in beide te correleren grafieken een lijn is opgenomen.

$n = 35\%$ (waterverzadigd)

$\gamma_{nat} = 0{,}65.2{,}65 + 0{,}35.1 = 1{,}725 + 0{,}35 = 2{,}075\ t/m^3$ (vast zand)

$\gamma_{onder\ water} = 2{,}075 - 1 = 1{,}075\ t/m^3$

$\varphi = 35^o \rightarrow V_b' = 250$

$\sigma_v = 0{,}2.1{,}075 = 0{,}215\ t/m^2 = 0{,}0215\ kg/cm^2$

$\sigma_h = \lambda_n . \sigma_v = (1 - \sin\varphi) . \sigma_v = (1 - \sin 35^o).0{,}0215 = 0{,}425.0{,}0215 = 0{,}00915\ kg/cm^2$

$S_h = \sigma_h . V_b' = 0{,}00915.250 = \underline{\underline{2{,}28\ kg/cm^2}}$ (eerste waarneming 20 cm + m.v.)

Indien de horizontale piekdruk $\geqq S_h = 2{,}28\ kg/cm^2$, treedt een volledige verstoring van de grondslag op. Voor kleinere piekdrukken dan de kritieke wordt het grondverwekend effect via het τ-γ diagram verkregen, namelijk:

- grafiek 9.3.8.2 geeft <u>100% verlies aan draagkracht bij</u> $\boxed{r \leqq 2{,}1.L^{1/3}}$

  r = afstand in meters vanaf het explosiepunt (maaiveldexplosie)

  L = ladinggewicht in kg

  $r = 2{,}1.L^{1/3} \rightarrow \frac{L^{1/3}}{r} = \frac{1}{2{,}1} = 0{,}476 \rightarrow \frac{L^{2/3}}{r^2} = \underline{0{,}226}$

  grafiek 9.3.8.1 geeft de bijbehorende piekdruk voor zand: $\hat{p} = 2{,}2\ kg/cm^2$
  Dit bedrag stemt op bevredigende wijze overeen met de afgeleide $2{,}28\ kg/cm^2$.
  $\hat{p}_{kr} = 2{,}2\ kg/cm^2$

- grafiek 9.3.8.2 geeft ca <u>5% verlies aan draagkracht bij</u> $\boxed{r = 4{,}8\ L^{1/3}}$

  $\frac{L^{1/3}}{r} = \frac{1}{4{,}8} = 0{,}208 \rightarrow \frac{L^{2/3}}{r^2} = \underline{0{,}0432}$

  grafiek 9.3.8.1 geeft $\hat{p} = 0{,}45\ kg/cm^2$ (zand)

  $\hat{p}_1 = 0{,}9.\hat{p}_{kr} = 0{,}9.2{,}2 = 1{,}98\ kg/cm^2$

  $\hat{p}_2 = 0{,}45\ kg/cm^2$

via het τ-γ diagram:

$$\gamma_1 = \alpha \frac{\tau_1}{\tau_{kr} - \tau_1} = \alpha \frac{\hat{p}_1}{\hat{p}_{kr} - \hat{p}_1} \; ; \; \gamma_2 = \alpha \frac{\tau_2}{\tau_{kr} - \tau_2} = \alpha \frac{\hat{p}_2}{\hat{p}_{kr} - \hat{p}_2} .$$

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{\dfrac{\hat{p}_2}{\hat{p}_{kr} - \hat{p}_2}}{\dfrac{\hat{p}_1}{\hat{p}_{kr} - \hat{p}_1}} = \frac{\hat{p}_2}{\hat{p}_1} \cdot \frac{\hat{p}_{kr} - \hat{p}_1}{\hat{p}_{kr} - \hat{p}_2} = \frac{0,45}{1,98} \cdot \frac{2,2 - 1,98}{2,2 - 0,45} = \frac{0,45}{1,98} \cdot \frac{0,22}{1,75} =$$

$\approx$ 3% verlies aan draagkracht.

De afwijking 3 versus 5% kan voor andere grondsoorten worden ingecalculeerd.

Met behulp van grafiek 9.3.8.1 kan grafiek 9.3.8.2 nu worden uitgebreid voor klei en veen. Hiertoe wordt grafiek 9.3.8.1 eerst omgebouwd conform 9.3.8.2, dat wil zeggen de piekdrukken worden uitgezet tegen $r = c.L^{1/3}$ (zie bijlage).

$r = 2,1.L^{1/3} \rightarrow \frac{L^{1/3}}{r} = 0,476 \rightarrow \frac{L^{2/3}}{r^2} = 0,226$: $\hat{p}_{veen} = \frac{22,5}{3}.10 = 75$ kg/cm^2; $\hat{p}_{klei} = 4,5$ kg/cm^2; $\hat{p}_{zand} = 2,2$ kg/cm^2.

$r = 3,5.L^{1/3} \rightarrow \frac{L^{2/3}}{r^2}$	$= 0,0815$:	$\hat{p}_{veen} = \frac{8,15}{3}.10 = 27,2$ kg/cm^2;	$\hat{p}_{klei} = 1,65$ kg/cm^2 ;	$\hat{p}_{zand} = 0,8$ kg/cm^2
$r = 4,8.L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,0432$: "	$= \frac{4,32}{3}.10 = 14,4$ "	" $= 0,9$ "	" $= 0,45$ "
$r = 6.L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,0278$: "	$= \frac{2,78}{3}.10 = 9,25$ "	" $= 0,55$ "	" $= 0,25$ "
$r = 7,1.L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,0198$: "	$= \frac{1,98}{3}.10 = 6,6$ "	" $= 0,35$ "	" $= 0,2$ "
$r = 8,1.L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,0152$: "	$= \frac{1,52}{3}.10 = 5,06$ "	" $= 0,3$ "	" $= 0,15$ "
$10.L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,01$: "	$= \frac{1}{3}.10 = 3,33$ "	" $= 0,2$ "	" $= 0,1$ "
$r = 12.L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,0069$: "	$= \frac{0,69}{3}.10 = 2,3$ "	" $= 0,1$ "	" $= 0,05$ "
$L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,0051$: "	$= \frac{0,51}{3}.10 = 1,7$ "	" $= 0,1$ "	" $= 0,05$ "
$r = 20.L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,0025$: "	$= \frac{0,25}{3}.10 = 0,83$ "	" $= 0,05$ "	" $= 0,03$ "
$r = 25.L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,0016$: "	$= \frac{0,16}{3}.10 = 0,53$ "	---	---
$r = 35.L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,0008$: "	$= \frac{0,08}{3}.10 = 0,27$ "	---	---
$r = 50.L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,0004$: "	$= \frac{0,04}{3}.10 = 0,13$ "	---	---
$r = 1,24.L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,65$:	---	---	" $= 10$ "
$r = 1,67.L^{1/3} \rightarrow$ "	$= 0,36$:	---	" $= 10$ "	---

- klei: (vast)

$\gamma_{nat} = 1{,}7\ t/m^3$

$\varphi = 25^o \rightarrow V_b^1 = 50$

$c = 0{,}5\ t/m^2 \quad V_c^1 = 2{,}6.\ V_c = 2{,}6.21 = 54{,}5$

$S_v = p_b.V_b^1 + c.V_c^1 = 0{,}2.0{,}7.50 + 0{,}5.54{,}5 = 7 + 27{,}3 = 34{,}3\ t/m^2 = 3{,}43\ kg/cm^2.$

$S_h = \lambda_n.S_v = (1 - \sin 25^o).3{,}43 = 0{,}578.3{,}43 = 1{,}99\ kg/cm^2 = \underline{2\ kg/cm^2}$ (voor zand 2,2(8)).

Voor 5% verlies in draagkracht wordt 3% in de $\tau - \gamma$ berekening ingevoerd:

$$0{,}03 = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{\hat{p}_2}{\hat{p}_1} \cdot \frac{\hat{p}_{kr} - \hat{p}_1}{\hat{p}_{kr} - \hat{p}_2} = \frac{\hat{p}_2}{0{,}9.2} \cdot \frac{2 - 1{,}8}{2 - \hat{p}_2} = \frac{\hat{p}_2}{1{,}8} \cdot \frac{0{,}2}{2 - \hat{p}_2}.$$

$$0{,}2.\hat{p}_2 = 0{,}03\ (3{,}6 - 1{,}8.\hat{p}_2) \rightarrow \hat{p}_2 = \frac{0{,}108}{0{,}254} = \underline{\underline{0{,}425}}\ kg/cm^2 \text{ (voor zand 0,45).}$$

Het onderschrift van grafiek 9.3.8.2, waarin wordt aanbevolen voor klei voorshands dezelfde cijfers te hanteren als voor zand, blijkt door de voorgaande bewerkingen te worden bevestigd.

Met behulp van de bijlage wordt gevonden voor klei:

100% verlies aan draagkracht bij	$r \leq 3{,}2.L^{1/3}$
5% " " " "	$r = 6{,}7.L^{1/3}$

- veen: (vast)

$\gamma_{nat} = 1{,}2\ t/m^3$

$\varphi = 25^o \rightarrow V_b^1 = 50$

$c = 0{,}2\ t/m^2 \qquad V_c^1 = 54{,}5$

$S_v = 0{,}2.0{,}2.50 + 0{,}2.54{,}5 = 2 + 10{,}9 = 12{,}9\ t/m^2 = 1{,}29\ kg/cm^2$

$S_h = (1 - \sin 25^o).1{,}29 = 0{,}578.1{,}29 = \underline{\underline{0{,}75}}\ kg/cm^2$ (100% draagkracht-verlies).

$$0{,}03 = \frac{\hat{p}_2}{0{,}9.0{,}75} \cdot \frac{0{,}75 - 0{,}68}{0{,}75 - \hat{p}_2}$$

$$0{,}07.\hat{p}_2 = 0{,}0153 - 0{,}0204\ \hat{p}_2$$

$$\hat{p}_2 = \frac{1{,}53}{9{,}04} = \underline{\underline{0{,}17}}\ kg/cm^2 \text{ (5\% draagkrachtverlies)}$$

bijlage:

100% verlies aan draagkracht bij	$r \leq 20{,}8.L^{1/3}$
5% " " " " :	

$$\hat{p}_{veen} = 0{,}17 = \frac{x}{3}.\ 10 \rightarrow x = 0{,}051 \rightarrow \frac{L^{2/3}}{r^2} = 0{,}00051$$

$$\frac{L^{1/3}}{r} = 0{,}0226 \rightarrow \boxed{r = \frac{1}{0{,}0226} \cdot L^{1/3} = 44{,}2.L^{1/3}}$$

Grondverwekingszône:

- Ø 30 cm (aardgas)
  explosie-equivalent: 500 gr. T.N.T.
  veen: $r = 1{,}33.44{,}2.\sqrt[3]{0{,}5} = \underline{46{,}6}$ m
  klei: $r = 1{,}33.\ 6{,}7.\sqrt[3]{0{,}5} = \underline{7{,}1}$ m
  zand: $r = 1{,}33.\ 4{,}8.\sqrt[3]{0{,}5} = \underline{5{,}1}$ m

- Ø 90 cm (aardgas)
  explosie-equivalent: 8 kg T.N.T.
  veen: $r = 1{,}33.44{,}2.\sqrt[3]{8} = \underline{117{,}5}$ m
  klei: $r = 1{,}33.\ 6{,}7.\sqrt[3]{8} = \underline{17{,}8}$ m
  zand: $r = 1{,}33.\ 4{,}8.\sqrt[3]{8} = \underline{12{,}8}$ m

Opmerking

Indien men de opvatting van kol. Schep, dat erosie $\hat{=}$ explosie, zou volgen, komt men tot de volgende waarden:

- Ø 90 cm (aardgas)
  erosie-equivalent = explosie-equivalent = 1000 kg T.N.T.
  veen: $r = 1{,}33.44{,}2.\sqrt[3]{1000} = \underline{587{,}5}$ m
  klei: $r = 1{,}33.6{,}7.10 = \underline{89}$ m
  zand: $r = 1{,}33.4{,}8.10 = \underline{63{,}8}$ m, hetgeen redelijk overeenstemt met het advies van de kolonel, en waarvan hij heeft gesteld (zie II), dat de maat van 60 m geldig is voor zand en voorshands ook voor klei kan worden aangehouden. Voor veen kon hij destijds geen waarde opgeven, doch merkte op dat deze grondsoort zich in dit opzicht gedraagt als water en de invloedssfeer van schokgolven aanzienlijk hoger zal liggen dan 60 m.

VII. Minimale veiligheidszône

De veiligheidszône zal dikwijls gelijk aan de grondverwekingszône kunnen worden gekozen. In bepaalde gevallen zal er echter een ondergrens aan deze keuze worden gesteld, namelijk door de minimaal toelaatbare afstand uit een oogpunt van kade-, dijk- of wegstabiliteit tussen de droge teen van deze grondlichamen en de insteek van de ontgronding (erosiekrater). Doorgaans is hiervoor te nemen 1 à 1,5 x de laagdikte van het slappe pakket, stel gemiddeld 20 m. De minimale veiligheidszône bedraagt dan: 20 m + de erosiekraterstraal.

Opmerking

Voor de bepaling van de veiligheidszône wordt verwezen naar de overzichtstabel aan het einde van dit rapport.

VIII. De uitwerking van onwillekeurige breuken op kaden, damwanden en afdekplaten

Hoewel door een juiste keuze van de minimaal vereiste veiligheidscoëfficiënt en de veiligheidszône wordt getracht te bereiken, dat breuk c.q. explosie van de leiding bij overbelasting (bijvoorbeeld door een drukstoot) steeds buiten deze veiligheidszône plaats heeft (de terreinleiding fungeert als veiligheidsklep voor de kruising), is het interessant te weten wat de gevolgen zijn, indien desalniettemin een exploderende en/of eroderende leidingbreuk in de kade, dijk of weg optreedt.

a) de uitwerking op een kade zonder kistdam bij een diepe ligging van de leiding

voorbeeld: de doorgeperste kruising van de ringvaart van de Zuidplaspolder, doch voor diverse leidingen.

Met behulp van de formule van Dambrun worden de verschillende ontgrondingen bepaald, waarbij overigens wordt geabstraheerd van de schokgolfeffecten bij explosies (zie pag. 244**).

- Ø 90 cm (aardgas)

  explosie: L = 8 kg T.N.T.

  g = 0,5 (veen)

  0 = 1 (doorgeperst)

  w = 4,5 m (minimum, tot de kruin)

  $L = g \times q \times 0 \times w^3$

  $8 = 0{,}5.q.1.4{,}5^3$

  $q = \frac{16}{4{,}5^3} = \frac{16}{85} = 0{,}19 \approx 0{,}2$ ∴ volkomen "kwetser"

dat wil zeggen: er ontstaat juist geen krater, doch het inwendige van de kade is tot aan het kruinoppervlak sferisch verslagen en gescheurd. Dit manifesteert zich door radiale en tangentiële scheurvorming in de kruin. Afgezien van de schokgolven (zie boven) wordt het behoud van stabiliteit voor de kade hoogst twijfelachtig.

erosie: (L) = 1000 kg T.N.T.

w = 5,5 m (maximum, tot de taluds)

$1000 = 0{,}5.q.1.5{,}5^3$

$q = \frac{2000}{166} = 12 \rightarrow n = 2{,}5 \quad \therefore \quad t = 2{,}5.5{,}5 = 13{,}75$ m

dat wil zeggen: de kade wordt geheel weggeërodeerd (tot m.v.-hoogte)

- Ø 30 cm (aardgas)

  explosie: L = 500 gr. T.N.T.

  dat is een onvolkomen kwetser.

Hoewel de verstoorde bolvormige zône zich hierbij niet aan het kruinoppervlak manifesteert, is ook hierbij gevaar aanwezig van standzekerheidsverlies (afgezien van de schokgolven).

<u>erosie</u>: (L) = 40 kg T.N.T.

$q = \frac{80}{166} = 0{,}48 \rightarrow n = 0{,}6 \quad \therefore \quad t = 0{,}6.5{,}5 = 3{,}3$ m

dat wil zeggen: de kade wordt door de erosiekrater ontkruind tot op de waterlijn, waarbij de nog juist waterkerende resten zo goed als zeker zullen afschuiven.

- Ø 90 cm (olie)

  <u>erosie</u>: (L) = 400 kg T.N.T.

  $q = \frac{800}{166} = 4{,}82 \rightarrow n = 1{,}82 \quad \therefore \quad t = 1{,}82.5{,}5 = 10$ m

dat wil zeggen: de kade wordt uitgespoten tot een mate van ontgronding is bereikt, welke ongeveer het midden houdt tussen de erosiegevolgen van primaire respectievelijke secundaire aardgasleidingen. Een en ander met een totaal waterkeringsverlies als resultaat.

Resumerende kan men stellen, dat de onder a) genoemde uitwerking catastrofaal zal zijn.

b) <u>de uitwerking op damwanden, deeluitmakend van kistdammen en explosieschermen</u>

** pag. 262, 263: $\boxed{\begin{array}{l} L = 5\ bd^2 \\ L = 10\ bd^2 \end{array}}$, vlak aansluitende lading
, niet vlak aansluitende lading

L = ladinggewicht in gr.
b = breedte in cm
d = dikte in cm

- Ø 90 cm (aardgas)

  explosie-equivalent: 8 kg T.N.T.

  <u>dijkkruisingen</u>: explosiescherm Larssen III n

  d = 13 mm

  $L = 10\ bd^2$

  <u>verticale</u> doorslag: $8000 = 10.b.1{,}3^2 \rightarrow b = \frac{8000}{16{,}9} = 475$ cm $\approx$ <u>5 m</u> (= ½ l)

  <u>boezemwaterkruisingen</u>: kistdam Larssen II n

  Dubbele Wiericke, Gouwe:

  d = 9,5 mm

  <u>verticale</u> doorslag: $L = 5\ bd^2 \rightarrow 8000 = 5.b.0{,}95^2 \rightarrow b = \frac{8000}{4{,}5} = 1780$ cm

  $\approx$ <u>18 m</u> (= l)

  Vrouwenvaart:

  <u>horizontale</u> doorslag: 18 m $\approx$ L (losse planken worden omhooggeworpen).

- Ø 30 cm (aardgas)

  explosie-equivalent: 500 gr. T.N.T.

  dijkkruisingen: $b = \frac{500}{16{,}9} = 29{,}6 \approx$ <u>30 cm</u> (verticaal)

  Larssen II n: $b = \frac{500}{9} = 55{,}5 \approx$ <u>50 cm</u> (Does: verticaal) (Zuidplas: horizontaal)

  $L = 10\ bd^2$

Resumerende kan men stellen, dat de onder b) genoemde uitwerking bij secundaire aardgasleidingen de waterkering in gevaar kan brengen door verlaging van de kerende hoogte met enige dm's (afgezien van schokgolven in veen), bij primaire aardgasleidingen tot een gedeeltelijke verticale splijting van het explosiescherm bij dijkkruisingen en tot volledige verticale c.q. horizontale doorslag van een kistdamwand kan leiden.

c) <u>de uitwerking op gewapend betonnen afdekplaten bij bepaalde wegkruisingen</u>

Het opblazen van gewapend-betonconstructies berust op het wegslaan van het beton tussen de wapening, waarna de constructie ineenzakt.

** pag. 258:

$$\boxed{L = b \times h}$$, voor opgestopte ladingen.

L = ladinggewicht in gr.

b, h = de zijden van de te vernielen doorsnede in cm.

De pijp bevindt zich in een aangevulde damwandkast en kan als opgestopt worden beschouwd.

De gestandaardiseerde afdekplaten hebben een breedte van 1 m en dikte van 25 cm.

De wegverhardingsbreedte bij de Vrouwenvaart bedraagt 3 m, bij de Gouwe 9 respectievelijk 4,5 m.

<u>doorslagbreedte</u>: Ø 90 (aardgas)

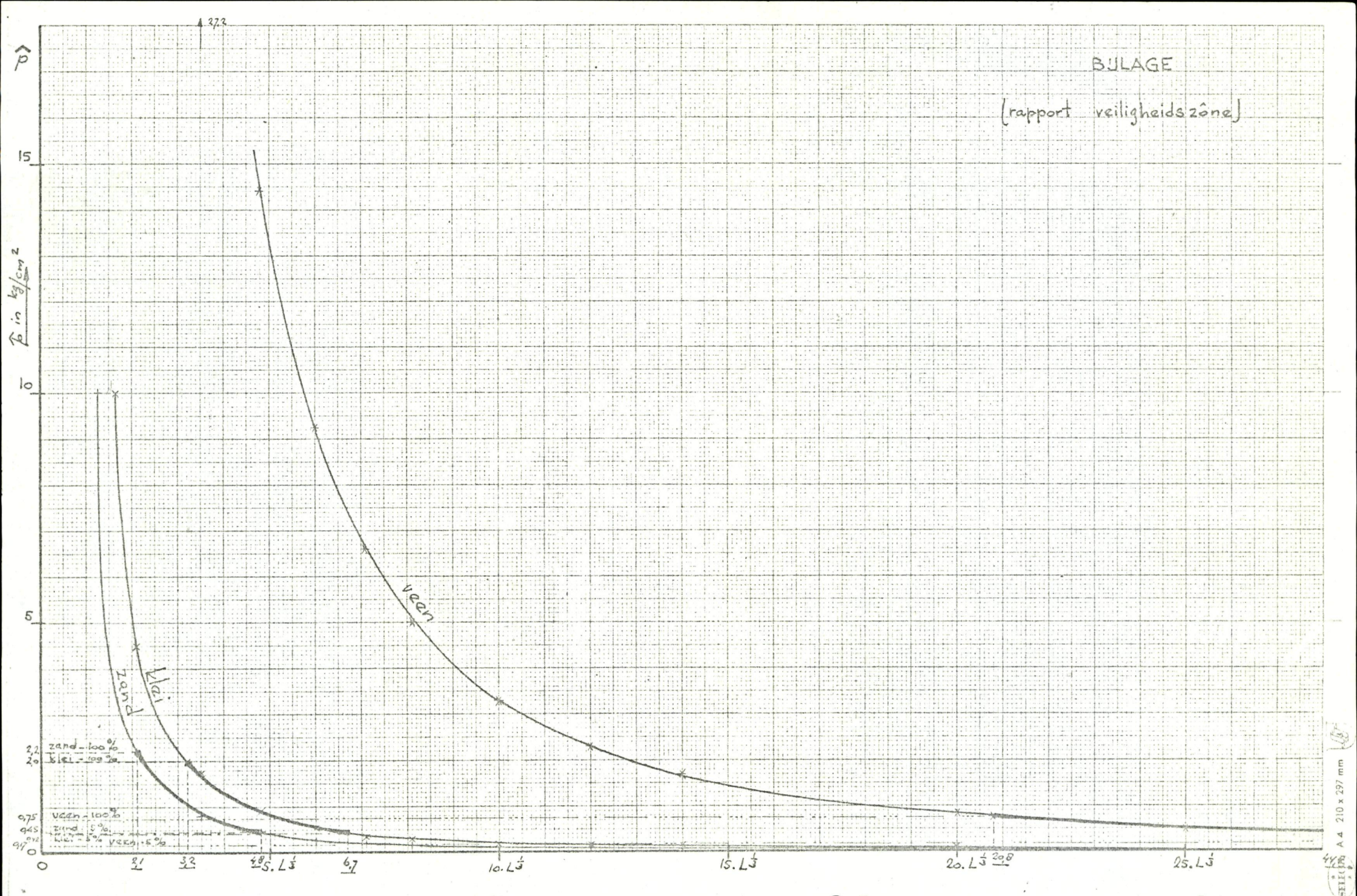
$8000 = b.25 \rightarrow b = 320$ cm $\approx$ 3 m, dat wil zeggen: <u>3 platen</u> (overspanning $\approx$ 3 m)

Conclusie: bij primaire aardgasleidingen impliceert de onder c) genoemde uitwerking een gat in de weg van 3 x 3 m^2, met een diepte van ca 1 m. De verkeersveiligheid kan hierdoor ernstig in gevaar worden gebracht.

De hiernavolgende overzichtstabel geeft een resumé van explosie- en erosie-equivalenten en kraters alsmede de bijbehorende grondverwekingszônes en minimale ontgrondingsafstanden. Hieruit worden de diverse benodigde veiligheidszônes afgeleid. Deze worden naast de tot op heden gehanteerde zônes gesteld.

's-Gravenhage, december 1966

transport-materiaal	diameter	bedrijfs-druk	barstdruk	stroom-snel-heid	explosie-equi-valent	erosie-equi-valent	explosie-krater (diameter)	erosie-krater (diameter)	grond-verwekings-zône	20m+erosie-krater-(straal)	veilig-heids-zône (nieuw)	veilig-heids-zône (oud)
aardgas	ø 90 cm	67,5 ato	119 ato	50 m/sec	8 kg T.N.T.	1 t T.N.T.	4,3 m (veen) 3,3 m (klei) " (zand)	21,1 m (veen) 17 m (klei) " (zand)	120 m (veen) 20 m (klei) 13,5 m (zand)	30,5 m (veen) 28,5 m (klei) " (zand)	120 m (veen) 30 m (klei) 30 m (zand)	60 m
aardgas	ø 30 cm	40 ato	200 ato	---	500 gr. "	40 kg "	onvol-komen kwetser (veen) (klei) (zand)	7,5 m (veen) 5,7 m (klei) " (zand)	46,6 m (veen) 7,1 m (klei) 5,1 m (zand)	23,7 m (veen) 22,8 m (klei) " m (zand)	45 m (veen) 25 m (klei) 25 m (zand)	60 m
olie	ø 90 cm	---	---	3 m/sec	---	400 kg "	----	15,8 m (veen) 12,6 m (klei) " (zand)	----	27,9 m (veen) 26,3 m (klei) " m (zand)	30 m (veen) 25 m (klei) 25 m (zand)	30 m


BIJLAGE
(rapport veiligheidszône)
p̂ in kg/cm²
27,2
15
10
5
2,2
2,0
0,75
0,45
0,12
0,17
0
zand - 100 %
klei - 100 %
veen - 100 %
zand - 5 %
klei - 5 %
veen - 5 %
zand
klei
veen
0
2,1
3,2
4,8
5. L^1/3
6,7
10. L^1/3
15. L^1/3
20. L^1/3
20,8
25. L^1/3
44,8