

Leidraad voor constructie en beheer
van gasleidingen in en nabij waterkeringen

T.A.W. Nr. 4085

TECHNISCHE ADVIESCOMMISSIE
VOOR DE WATERKERINGEN

Leidraad voor constructie en beheer
van gasleidingen in en nabij waterkeringen

T.A.W. Nr. 4085

TECHNISCHE ADVIESCOMMISSIE
VOOR DE WATERKERINGEN

Leidraad voor constructie en beheer
van gasleidingen in en nabij waterkeringen

T.A.W. nr. 4085

TECHNISCHE ADVIESCOMMISSIE
VOOR DE WATERKERINGEN

T.A.W. nr. 4085

Leidraad voor constructie en beheer
van gasleidingen in en nabij waterkeringen

1972

Inhoud

<u>Hoofdstuk</u>	<u>blz.</u>
1. Inleiding	
1.1. Aanleiding tot het opstellen van een leidraad	1
1.2. Bezwaren tegen gasleidingen in waterkeringen; Vergunningsvoorwaarden	1
1.3. Gebruik van de leidraad	2
2. Leidingen in de lengterichting van een waterkering	
2.1. Leiding in een waterkering	2
2.2. Leiding langs en evenwijdig aan een waterkering; veiligheidszone	3
3. Kruisingen van leidingen met waterkeringen	
3.1. Plaats van kruisen; veiligheidszone	3
3.2. Invloedszone	4
3.3. Wijzen van kruisen	4
3.4. Fundering van de leiding	5
3.5. Sterkteberekening	6
3.6. Bijkomende constructies	11
4. Uitvoering en beheer	
4.1. Uitvoering	13
4.2. Proefbelasting	13
4.3. Controle en alarmering	14

Bijlagen:

- A. Breedte van de terreinstrook langs de waterkering die ongestoord moet blijven.
- B. Ontgronding en grondverweking bij lek, breuk of explosie van een gasleiding.
- C. Reductie van de toelaatbare spanning afhankelijk van het belang van de waterkering.
- D. Spuiten, boren en persen van leidingen door waterkeringen.
- E. Zakkingen.
- F. Berekening drukstoten

Hoofdstuk 1: Inleiding

1.1. Aanleiding tot het opstellen van een leidraad

In en nabij vele waterkeringen in Nederland treft men gasleidingen aan. Ze kunnen onder bepaalde omstandigheden het waterkerend vermogen nadelig beïnvloeden en breuk van een leiding kan zelfs een ramp veroorzaken.

Mede door de vondst van het aardgas, waardoor het gasleidingennet aanzienlijk is uitgebreid zijn duidelijke richtlijnen voor hun constructie noodzakelijk geworden ter waarborging van de veiligheid van de door waterkeringen beschermde gebieden. In sommige leidingen worden zeer hoge drukken toegelaten (tot 200 atmosfeer).

De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen heeft daarom ten behoeve van de beheerders van waterkeringen als bedoeld in de 1e alinea, de hiernavolgende leidraad opgesteld. Deze zal gebruikt kunnen worden bij het formuleren van voorwaarden voor de aanleg en de exploitatie van gasleidingen in en nabij waterkeringen.

De Adviescommissie beveelt de beheerders van waterkeringen aan zich te laten adviseren door het onder haar ressorterend Centrum voor Onderzoek Waterkeringen *1) voor alle problemen die zich bij het ontwerpen van leidingen in of nabij waterkeringen kunnen voordoen.

1.2. Bezwaren tegen gasleidingen in waterkeringen Vergunningsvoorwaarden

In het algemeen zijn gasleidingen in of nabij een waterkering ongewenst omdat:

- zowel bij het leggen als bij het onderhoud en de eventuele vervanging van een leiding graafwerk in de waterkering moet worden uitgevoerd;
- extra krachten op de waterkering kunnen worden uitgeoefend wanneer een deel van de constructie buiten de waterkering valt;
- de waterdichtheid en de stabiliteit van de waterkering worden bedreigd door mogelijke lekkage of explosie van de leiding of ongelijke zakking van leiding en grondlichaam waardoor ruimte onder en/of naast de leiding kan ontstaan.

Het aantal kruisingen dient zoveel mogelijk te worden beperkt. Zij houden namelijk ondanks de meest zorgvuldige uitvoering risico's in, ondermeer omdat de uitgangspunten waarop de sterkteberekening berust, nooit met zekerheid zijn vast te stellen.

*) Adres: Bankastraat 137, Den Haag
Tel. : 070 - 648920

Steeds moet worden nagegaan of er een alternatief tracé gevonden kan worden, waarbij de waterkering niet wordt beroerd.

Wanneer het leggen van een gasleiding in de waterkering redelijkerwijze niet te vermijden is, zullen zodanige voorzieningen moeten worden getroffen, dat de kans op een calamiteit zo gering mogelijk is.

Op de beheerder van de waterkering rust de taak zich ervan te overtuigen, dat het complex van alle te nemen maatregelen hiertoe voldoende waarborgen schept. Eerst dan kan een vergunning tot het leggen van de leiding worden afgegeven.

In de vergunningsvoorwaarden moeten onder meer bepalingen worden opgenomen voor een controle van b.v. de exploitatiewijze van de leiding en de eigenschappen van drukkbegrenzingsinrichtingen, indien ten aanzien van deze punten bepaalde aannamen zijn gedaan bij de berekeningen bedoeld in paragraaf 2.2., 3.1. en volgens 3.5.2. van deze leidraad.

De beheerder van de leiding dient in kennis gesteld te worden van de voorgenomen verzwarings van waterkeringen daar dit consequenties kan hebben voor de aanwezige leidingkruisingen.

1.3. Gebruik van de leidraad

De leidraad kan worden gebruikt voor de beoordeling van alle gasleidingen.

Ten gevolge van een slechte uitvoering kunnen de op grond van deze leidraad berekende spanningen aanzienlijk worden overschreden. Daarom is een deskundige uitvoering naast het maken van een goed ontwerp een voorwaarde voor het verkrijgen van een betrouwbare constructie.

Het is niet de bedoeling in deze leidraad voor alle gevallen volledig aan te geven welke eisen aan constructie en beheer moeten worden gesteld.

In verband met de zeer bijzondere maatregelen die genomen moeten worden bij kruisingen van zgn. leidingstraten met waterkeringen, is de leidraad daarop niet zonder meer van toepassing.

De leidraad kan ook worden gebruikt om na te gaan of reeds aanwezige gasleidingen voldoende veilig zijn. Indien dit niet het geval is, kan het nodig zijn om de constructie aan te passen, of aan het toekomstig gebruik van de leiding beperkende bepalingen te verbinden.

Hoofdstuk 2: Leidingen in de lengterichting van een waterkering

2.1. Leiding in een waterkering

Het leggen van een leiding in de lengterichting in het profiel van een waterkering moet niet worden toegestaan, wegens de daaraan verbonden onaanvaardbare risico's.^{*1)}

^{*1)} Ook op het profiel van de waterkering aanwezige leidingen kunnen onaanvaardbare risico's met zich brengen.

2.2. Leiding langs en evenwijdig aan een waterkering;

Veiligheidszone

Een leiding evenwijdig aan een waterkering dient in principe te worden gelegd buiten de terreinstrook die zich langs de waterkering uitstrekt en die "veiligheidszone" wordt genoemd. De breedte van de veiligheidszone moet gelijk zijn aan de afstand tot de leiding waarbinnen ontgrondingen en verstoringen t.g.v. lekkage, breuk of explosie kunnen optreden, vermeerderd met de breedte van de langs de waterkering gelegen terreinstrook die in verband met de stabiliteit van de waterkering ongestoord moet blijven.

Voor de afstand G_B tot de leiding waarbinnen door lekkage, breuk, of explosie van de leiding, verstoring of belangrijke extra spanningen in de grond kunnen optreden: zie Bijlage B.

De breedte van de langs de waterkering gelegen terreinstrook waarbinnen geen ontgrondingen mogen ontstaan, hangt af van de eigenschappen van de ondergrond, het grondwaterregiem en de afmetingen van de waterkering. Deze breedte kan d.m.v. een grondmechanisch onderzoek worden bepaald. Indien echter blijkt dat er geen bijzondere omstandigheden zijn die gemakkelijk kunnen leiden tot evenwichtsverlies van de grondslag, kan de breedte van deze terreinstrook zonder nader onderzoek worden bepaald op 4 maal de hoogte h van de waterkering boven het maaiveld.

De breedte van de veiligheidszone is dan $4 h + G_B$ *1)

Als men naar het oordeel van de beheerder van de waterkering niet kan vermijden dat een deel van de leiding binnen de veiligheidszones in de lengterichting van een dijk wordt gelegd, kan dit worden toegestaan op voorwaarde dat het betrokken deel voldoet aan de eisen die bij een kruising van de leiding met de waterkering zouden worden gesteld.

Hoofdstuk 3 : Kruisingen van leidingen met waterkeringen

3.1. Plaats van kruisen; Veiligheidszone

Als een kruising van een leiding met een waterkering noodzakelijk is dient de leiding de waterkering zoveel mogelijk loodrecht te kruisen op de voor de waterkering minst ongunstige plaats.

*1) Voor motivering en beperkingen van deze regel zie bijlagen A + B.

Tevens moet de leiding voldoende ver verwijderd liggen van reeds aanwezige leidingen die eveneens de waterkering kruisen, opdat de uitvoering van de kruising (b.v. ontgraving, rijden met werktuigen en bergen van grond) geen gevaar van beschadigingen aan deze leidingen kan opleveren.

Bij toepassen van de navolgende punten 3.4., 3.5., 3.6.2., 3.6.3. en hoofdstuk 4 moet ook het leidinggedeelte in de veiligheidszone als deel van de kruising worden beschouwd. De breedte van de veiligheidszone kan worden bepaald zoals in 2.2. en bijlagen A + B is omschreven.

3.2. Invloedszone

Mechanische invloeden (verplaatsingen, krachten) op een leidinggedeelte buiten de veiligheidszone kunnen nog uitwerking hebben op het gedeelte binnen deze zone. Derhalve moet er een invloedszone worden bepaald die zich eveneens langs de waterkering uitstrekt, maar die breder is dan de veiligheidszone. De invloedszone moet zo breed zijn, dat mechanische invloeden buiten de invloedszone praktisch geen uitwerking kunnen hebben op het leidinggedeelte in de veiligheidszone. Deze breedte is te bepalen met een rekenmethode die o.a. uitgaat van de veronderstelling dat de buis kan worden voorgesteld als een elastisch ondersteunde ligger.

Een spanningsvrije montage van het kruisende leidinggedeelte met de leidingstrekkings in het terrein is bij stalen leidingen moeilijk te verwezenlijken. Daarom wordt aanbevolen deze verbinding, indien technisch mogelijk, buiten de invloedszones te doen plaatsvinden. De tussen de lassen besloten leidingstrekking moet bij ontwerp en uitvoering als één geheel worden beschouwd. Bovendien zal speciale aandacht moeten worden besteed aan een goede uitvoering van het grond- en baggerwerk en een juiste maatvoering voor wat betreft het horizontaal en vertikaal verloop van de pijpleiding.

3.3. Wijzen van kruisen

Er bestaan voor de wijze van kruisen in principe de volgende mogelijkheden:

A. De leiding wordt over de waterkering heengevoerd;
Daarbij kan men nader onderscheiden:

A1: Vrije- of luchtkruising.

A2: De leiding ligt in een grondaanvulling.

B. De leiding wordt door de waterkering gevoerd, waarbij de as van de leiding in een vertikaal plat vlak ligt.
Daarbij kan men nader onderscheiden:

- B1: De onderkant van de leiding ligt over enige lengte boven het ontwerppeil ^{*1)}.
- B2: De onderkant van de leiding ligt nergens boven het ontwerppeil.
- C. De leiding wordt door de waterkering gevoerd, waarbij de as van de leiding niet in een vertikaal plat vlak ligt, maar zodanig, dat belastingen door zettingsverschillen van grondlagen onder de leiding mede door torsie kunnen worden opgenomen (uitsluitend fundering op staal)

De onder A genoemde methoden van kruising hebben het voordeel dat de waterkering niet wordt aangetast. Bij methode A₁ bestaat de kans op beschadiging van de leiding door aanrijding, aanvaring, ijsgang, moedwillige beschadiging e.d., waardoor indirect een beschadiging van de waterkering mogelijk is. Indien om deze of andere redenen een meer beschermde ligging van de leiding noodzakelijk is, komt één van de onder A2, B of C genoemde methoden voor uitvoering in aanmerking.

Doorvoeren boven het ontwerppeil is gunstig omdat de gevolgen van slechte uitvoering of onvoorspelbaar gedrag van de leiding minder ernstig zullen zijn. De onder B2 genoemde methode kan in aanmerking komen als B1 redelijkerwijze niet mogelijk is b.v. wanneer de diameter van de leiding relatief groot is ten opzichte van de afmetingen van de waterkering (b.v. bij boezemkaden) of wanneer scherpe bochten in de leiding moeten worden vermeden.

3.4. Fundering van de leiding

Ter plaatse van de kruising met een waterkering kan een leiding door palen worden ondersteund of op staal worden gefundeerd. Een voordeel bij fundering op palen is, dat het gedrag van de constructie goed voorspelbaar is, omdat de zakkingen zeer gering zijn. Het verdient daarom aanbeveling een paalfundering toe te passen in alle gevallen waarin zakkingsverschillen een belangrijke spanningsbijdrage in de leiding kunnen leveren en er grote onzekerheid bestaat over de grootte van de zakkingsverschillen. Het laatste kan onder meer het gevolg zijn van de wijze van uitvoering omdat zakkingen t.g.v. grondroering moeilijk te voorspellen zijn (in het bijzonder bij uitvoering in den natte).

Fundering op staal komt in aanmerking als de te verwachten spanningen ten gevolge van zakkingsverschillen klein zijn. In beide gevallen bestaat het gevaar dat door ongelijke zakking van leiding en grondlichaam ruimte onder en/of naast de leiding kan ontstaan.

Wanneer de leiding wordt gelegd in een omgeving waar opdrijven van de leiding mogelijk is moeten extra voorzieningen worden getroffen (bijvoorbeeld schroefankers).

*1) Het ontwerppeil is de waterstand waarop de waterkerende constructies moeten worden ontworpen; dit peil is voor veel wateren officieel vastgesteld.

3.5. Sterkteberekening

3.5.1. Algemeen

De invloed van een leiding op het waterkerend vermogen van de waterkering en de vervorming die, o.a. door zakking van de waterkering in de leiding wordt teweeggebracht, hangen van zeer veel factoren af. Voor een kruising met inbegrip van de veiligheidszones moet daarom een sterkteberekening worden verlangd, waarin wordt uitgegaan van gegevens die uit een grondmechanisch onderzoek zijn verkregen *1)

De inwendige belastingen op de leiding die in rekening moeten worden gebracht bestaan uit krachten ten gevolge van de inwendige gasdruk en van temperatuursverandering van de leiding.

De uitwendige belastingen bestaan uit krachten die het gevolg zijn van het gewicht van de bovenliggende grond, eigen gewicht van de leiding, opwaartse druk, uitwendige waterdruk, verkeersbelasting en de invloed van ongelijkmatige zettingen van de ondergrond.

3.5.2. Inwendige belastingen

A. Inwendige overdruk

1. Een berekening moet aantonen, dat de druk die voor de sterkteberekening van het leidinggedeelte in de kruising wordt aangehouden niet kan worden overschreden. Hierbij dient ook op drukstoten te worden gelet. Het verdient aanbeveling alle leidingen op drukstoten te berekenen.

Bij deze berekeningen dient rekening te worden gehouden met verkeerde manipulaties met afsluiters en het plotseling uitvallen van een of meer compressoren.

De maximale drukverhoging kan berekend worden uit; * 2)

$$\Delta p = \frac{1}{\frac{1}{\Delta u \sqrt{p_o k p_o}} - \frac{k+1}{2k p_o}}$$

waarin: Δp = maximale drukverhoging

Δu = snelheidsverandering

k = isentropenexponent, voor veel gassen = 1,4

p_o = maximum bedrijfsdruk

ρ_o = de dichtheid van het gas bij maximum bedrijfsdruk

2. De kruisende leidingstrekking dient ten aanzien van de inwendige druk sterker te zijn dan de terreinstrekkingen. Dit kan worden bereikt door bij de gegeven wanddikte de maximaal toelaatbare inwendige druk te bepalen voor de leidingstrekkingen in het terrein en vervolgens de ontwerpdruk voor de kruising 20% hoger te stellen.

*1) Bij leidingen van kleine diameter en geringe inwendige druk zal het vaak mogelijk zijn een grondmechanisch onderzoek te vermijden en de berekening te baseren op de ongunstigst denkbare belastingen, zodat men er toch zeker van kan zijn, dat de toelaatbare spanning in de buiswand niet wordt overschreden.

*2) Voor motivering en beperking van deze regel zie bijlage F.

Bij stalen leidingen kan men voor berekening van de sterkte in de terreinstrekkingen uitgaan van de "vloei-druk" als bezwijk-kriterium. *1)

Onder "vloei-druk" wordt verstaan: de inwendige gasdruk p_{vl} waarbij de tangentiële spanning in de buiswand de gegarandeerde kleinste rekgrens σ_{vl} zou bereiken (Voor de-definitie van de gegarandeerde kleinste rekgrens zie 3.5.4). Men kan deze druk berekenen met de formule

$$p_{vl} = \frac{2t\sigma_{vl}}{D_u} \quad (1)$$

waarin t = de nominale wanddikte

D_u = de uitwendige diameter

De ontwerpdruk voor de kruising (behoudens de onder A1 gevonden uitkomst) bedraagt dan:

$$1,2 \times 2/3 \times p_{vl} = 0,80 p_{vl} \quad (2)$$

waarin: $2/3$ = de gebruikelijke veiligheids-faktor voor staal t.o.v. vloeien

p_{vl} = de volgens (1) berekende vloeidruk in de terreinstrekking

3. Als het (b.v. bij bestaande leidingen) redelijkerwijze niet mogelijk is dat de kruising voldoet aan het gestelde onder (2), zou men door het aanbrengen van betrouwbare drukbegrenzings-apparatuur kunnen bereiken dat de druk bij de kruising het berekende maximum niet overschrijdt. Het is dan noodzakelijk dat de leidingbeheerder ten genoegen van de waterkeringbeheerder aantoont dat de ontwerpdruk in de kruising niet kan worden overschreden. *2) Aanbevolen wordt dat een door de waterkeringbeheerder aangewezen instantie (overheidsinstantie of onafhankelijk deskundig instituut) controle blijft uitoefenen zolang de leiding in bedrijf is. Een continue registratie van de druk in de leiding kan hierbij een belangrijk hulpmiddel zijn.

*1) Bij lagedrukleidingen kan een belangrijk deel van de spanning worden veroorzaakt door grondbelasting en eigen gewicht van de leiding. Dit kan tot gevolg hebben, dat de leiding in het terrein altijd bij een lagere druk zal bezwijken dan de druk, berekend volgens formule (1). Deze lagere druk mag dan in de berekening worden ingevoerd.

*2) Beheerders van waterkeringen kunnen hierover advies vragen aan het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen (zie 1.1.).

B. Temperatuurspanningen

Spanningen t.g.v. temperatuursveranderingen dienen te worden berekend.

Temperatuurspanningen kunnen b.v. optreden:

- a. bij verpompen van verwarmde gassen;
- b. bij vrijliggende leidingen (zie 3.3.).

3.5.3 Uitwendige belastingen

Verscheidene in de sterkteberekeningen in te voeren grootheden in het bijzonder die volgen uit de grondgesteldheid, zijn nooit exact bekend. Daarom dienen de uit het grondmechanisch onderzoek afgeleide grootheden in de sterkteberekening met factoren te worden vermenigvuldigd, of erdoor gedeeld, waarin de mate van onzekerheid tot uitdrukking komt.

De grootte van deze factoren kan pas goed worden vastgesteld als ruime ervaring over het gedrag van leidingen in kruisingen is verkregen. Nu deze ervaring er nog niet is, kunnen onderstaande factoren als richtsnoer dienen. De beheerder van de waterkering is evenwel vrij, in bijzondere gevallen hiervan af te wijken, bijvoorbeeld wanneer de eigenschappen van de grond zeer goed bekend zijn, of wanneer deze eigenschappen bijzonder moeilijk zijn te bepalen.

Onzekerheidsfactoren voor grondmechanische grootheden

neutrale grondbelasting t.o.v. de gemiddelde waarde	1,1
passieve grondbelasting t.o.v. de maximale waarde	1,3
zetting t.o.v. de gemiddelde waarde	1,5
zetting t.o.v. de maximale waarde	1,3
beddingsconstante t.o.v. de gemiddelde waarde	1,4
evenwichtsdraagvermogen voor zand t.o.v. de gemiddelde waarde	1,2
evenwichtsdraagvermogen voor klei en veen t.o.v. de gemiddelde waarde	1,5
grondwrijving t.o.v. de gemiddelde waarde	1,4

Bij de bepaling van de toelaatbare paalbelastingen zal de grondmechanisch adviseur gewoonlijk in zijn advies reeds met onzekerheden rekening hebben gehouden.

In bovenstaande tabel wordt onder zetting slechts de normale zetting door verhoging van de belasting op de ondergrond verstaan.

Zakkingen t.g.v. grondroering bij de uitvoering en t.g.v. dynamisch gedrag van de leiding zijn vooralsnog slecht te voorspellen. Daarom dienen aan de uitvoeringswijze aangepaste reserves in de constructie te worden ingebouwd. *1)

Bij het controleren of een bestaande kruisingsconstructie aan de eisen voldoet kan, wanneer betrouwbare gegevens van de opgetreden zettingen beschikbaar zijn, de onzekerheidsfactor voor de zettingen lager worden gesteld.

Indien belastingen van verschillende aard elkaar tegenwerken moet de grootste met de betreffende factor worden vermenigvuldigd en de kleinste erdoor gedeeld.

3.5.4 Toelaatbare materiaalspanningen

De algebraïsche som van de berekende spanningen in resp. axiale en tangentiële richting tengevolge van de meest ongunstige combinatie die kan optreden van de aldus vastgestelde in- en uitwendige belastingen mag nu nergens de hieronder aangegeven toelaatbare spanning overtreffen.

De toelaatbare spanning moet worden vastgesteld als produkt van de berekeningsfactoren die in onderstaand overzicht zijn vermeld en een "schadefactor". De schadefactor dient om de toelaatbare spanning te bepalen, afhankelijk van de gevolgen van een doorbraak van de waterkering. Als regel kan men voor deze schadefactor een waarde kiezen die kan variëren van 1 tot $\frac{3}{4}$ *2).

Berekeningsfactoren (ongereducerd)

Staal

Voor stalen leidingen is de toelaatbare spanning gelijk aan $\frac{2}{3}$ van de gegarandeerde minimum rekgrens van het materiaal (berekend bij nominale wanddikte). *3)

De gegarandeerde minimum rekgrens is de materiaalspanning, waarbij na ontlasting een blijvende rek overblijft, die gelijk is aan 0,2% van de oorspronkelijke meetlengte.

De rekgrens kan ook de spanning zijn, waarbij onder belasting een totale rek optreedt die gelijk is aan 0,5% van de oorspronkelijke meetlengte. (meestal ruwweg "vloei-grens" genoemd).

Bovengenoemde waarden dienen bij 20° C te worden bepaald.

Hiervoor mag niet meer dan 75% van de breukgrens worden ingevoerd.

*1) Bij fundering op staal zijn gevallen bekend waarbij t.g.v. zakkingen door grondroering bij de uitvoering en dynamisch gedrag van de leiding de berekende spanningen met 25% werden overschreden (zie bijlage E).

*2) Betreffende de keuze van deze factor zie bijlage C.

*3) Indien bepaalde eigenschappen van het materiaal zijn verkregen als gevolg van koud vervormen en de leiding boven 300° C wordt verhit (lassen uitgezonderd) is de toelaatbare spanning $\frac{3}{4} \times \frac{2}{3} = \frac{1}{2}$ van de gegarandeerde minimum rekgrens.

Het staal zal aan bepaalde eisen t.a.v. de beperking van scheuruitbreiding moeten voldoen.
De hiertoe vereiste materiaalspecificaties moeten door een onafhankelijk instituut worden goedgekeurd.
Voor de eisen die overigens aan het materiaal moeten worden gesteld kan worden verwezen naar;
Ontwerpnorm 81091 (NEN 1091) Veiligheidsvoorschriften voor Gastransportleidingen. *1)

Gietijzer

- a. Grijs gietijzer is bros bij trek of buigtrek.
De toelaatbare spanning = $2/5$ van de breukgrens.
- b. Nodulair (ductile) gietijzer heeft wel een vloeitraject.
De toelaatbare spanning = $1/2$ van de breukgrens.

Kunststoffen

Kunststofleidingen mogen niet op palen worden gefundeerd, omdat hierbij te grote plaatselijke belastingen moeten worden opgenomen.
Voor de toelaatbare spanning in enige thermoplastische kunststoffen kan worden verwezen naar: N.E.N. 2670 "Algemene richtlijnen voor het toepassen van kunststofleidingen" en naar de keuringseisen van de vereniging van exploitanten van gasbedrijven.

1. Keuringseisen voor buizen van ongeplasticeerd polyvinylchloride voor gasleidingen.
2. Keuringseisen voor buizen bestaande uit een mengsel van ongeplasticeerd polyvinylchloride en gechloreerd polyetheen (PVC/CPE) voor gasleidingen.
3. Keuringseisen voor buizen van polyetheen (PE) van hoge dichtheid (hard PE) voor gasleidingen.

Leidingen van deze materialen dienen in verband met koudbrosheid vorstvrij te worden gelegd. Bij hogere temperaturen dan 20°C (verwarmde gassen b.v. vlak achter compressoren) moeten de toelaatbare spanningen worden verlaagd.

*1) Beheerders van waterkeringen kunnen hierover advies vragen aan het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen (zie 1.1.)

3.5.5. Materiaal-keuze

Bij het toepassen van genoemde materialen moeten deze zodanige eigenschappen bezitten, dat een eventuele breuk zich niet ten gevolge van doorgaande scheurvorming over grote lengte uitbreidt.
Stalen leidingen met gelaste verbindingen zijn algemeen bruikbaar. *1)

Bij niet al te grote zettingen, of als een paalfundering wordt toegepast, komen leidingelementen van nodulair gietijzer eveneens in aanmerking.
Ook voor leidingen van andere materialen worden in punt 3.5.4. toelaatbare spanningen genoemd. De technische ontwikkeling op dit gebied is snel. Momenteel hebben kunststoffen en grijs gietijzer echter nog eigenschappen, die voor toepassing in waterkeringen ongunstig kunnen zijn (zie 3.5.4.).
Bij ontwerp en uitvoering moet terdege met deze eigenschappen rekening worden gehouden.

De toepassing van asbestcement moet worden ontraden.

3.5.6. Sterkte-eisen voor koppelingen

Er moet grote aandacht worden geschonken aan de dichtheid en treksterkte van de verbindingen van buiselementen. Het verdient aanbeveling trekvaste koppelingen toe te passen. Voor relatief stijve elementen van gietijzer is het belangrijk dat enige hoekverdraaiing in de verbinding mogelijk is in verband met mogelijke geringe zettingsverschillen. De hoekverdraaiing moet binnen de door de fabrikant genoemde, en door een bevoegde instantie gecontroleerde toelaatbare hoekverdraaiing blijven. Bij aansluiting van op staal gefundeerde buizen op een starre constructie in de dijk en de veiligheidszone dienen speciale flexibele koppelingen te worden toegepast. (deze overgang echter bij voorkeur buiten de veiligheidszone, zie 3.6.2.).

3.6. Bijkomende constructies

3.6.1. Kwelschermen, damwanden, etc.

Als de onderkant van de leiding nergens in de waterkering reikt tot boven het ontwerppeil, moet zij worden voorzien van een of meer kwelschermen, die waterdicht met de leiding of met de mantelbuis, indien deze wordt toegepast, dienen te worden verbonden.
Wanneer de kruisingsconstructie wordt onderheid, moet extra aandacht aan de aansluiting van het kwelscherm op de buis worden geschonken, omdat de leiding mogelijke zettingen van het dijk-lichaam niet zal volgen.

*1) Voor zuurstofleidingen is in verband met brandgevaar roestvrij staal voorgeschreven.

De afmetingen van het kwelscherm moeten zodanig zijn, dat het waterkerend vermogen van de waterkering door de aanleg van de leiding niet wordt verminderd.

In veel gevallen zal het aanbeveling verdienen in de waterkering een damwandconstructie aan te brengen, of damwanden die voor de uitvoering nodig waren te laten zitten, en de leiding door een gat in de damwand te voeren. Deze damwandconstructie kan dan als een soort vervangende waterkering worden beschouwd. Als extra maatregel ten behoeve van de instandhouding van de waterkering kan namelijk worden geëist, dat de damwand bestand is tegen een zekere ontgronding, direct voor of achter de wand, ontstaan ten gevolge van een lek in de leiding.

Tussen leiding en damwand moet een waterdichte afsluiting worden aangebracht, die bij fundering op staal geen krachten opneemt.

Bij een vrije kruising van een leiding met een waterkering (zie punt 3.3) kan de waterkering extra worden beschermd door deze onder de leiding over enige afstand te bekleden.

3.6.2. Afsluiters, ventielen, etc.

Voor kruisingen van gasleidingen met waterkeringen moet de mogelijkheid bestaan de leiding op een zodanige wijze af te sluiten dat het leidinggedeelte in de waterkering (inclusief het deel in de veiligheidszone) binnen de kortst mogelijke tijd drukloos wordt.

De afsluiters dienen goed bereikbaar te zijn en door bijv. een meetpaal duidelijk te zijn aangegeven. Hulpstukken en appendages zoals afsluiters, spruitstukken, ventielen, speciale flexibele koppelingen e.d. kunnen een discontinuïteit in de leiding vormen en dienen daarom bij voorkeur niet te worden aangebracht in het deel van de leiding dat tot de kruising behoort (inclusief het deel in de veiligheidszone).

3.6.3. Kathodische bescherming

Stalen leidingen en stalen mantelbuizen moeten indien het geleidend vermogen van de grond daartoe aanleiding geeft kathodisch worden beschermd (zie ook 4.3.). Vreemde geleiders, zoals damwanden zullen van de werking van een kathodische bescherming schade ondervinden. Als vuistregel kan volgens T.N.O. worden gehanteerd, dat bij kleine installaties (2 Ampère) de afstand tussen anodebedden en vreemde geleiders minstens 30 meter moet zijn, terwijl bij grotere stroomsterkten, bijvoorbeeld 50 A aan ten minste 100 m moeten worden gedacht. (Zie ook aanhangsel C van ontwerpnorm 81091 (NEN 1091) Veiligheidsvoorschriften voor Gastransportleidingen).

3.6.4. Mantelbuizen

Het toepassen van mantelbuizen bij een kruising van een leiding en een waterkering is in het algemeen te ontraden.

Nadelen bij het gebruik van mantelbuizen kunnen zijn:

- a. de onzekerheid die bestaat over het op de juiste plaats komen van de afstandhouders tussen leiding en mantelbuis, waardoor de wijze waarop de belasting van de mantelbuis op de leiding wordt overgedragen ongunstiger kan zijn dan in de berekeningen is aangenomen, terwijl het bij stalen leidingen niet is uitgesloten dat de mantelbuis toch nog een metallisch contact maakt met de leiding, hetgeen corrosie tot gevolg heeft;
- b. de moeilijkheden die het blijvend kathodisch beschermen van de binnenbuis met zich meebrengt.

Hoofdstuk 4 : Uitvoering en beheer

4.1. Uitvoering

De uitvoering moet zodanig zijn dat aan de uitgangspunten die aan het ontwerp ten grondslag liggen wordt voldaan. Deskundig toezicht bij de uitvoering is noodzakelijk. Het bij een kruising te verrichten graafwerk in de waterkering moet zoveel mogelijk worden beperkt. Uitvoering door middel van boren of spuiten moet echter niet worden toegestaan.

Voor uitvoering door middel van persen wordt verwezen naar bijlage D.

Het tijdstip van uitvoering van werken in een waterkering moet buiten het jaargetijde met voor de waterkering ongunstige omstandigheden worden gehouden, teneinde het risico bij de uitvoering te beperken en de kwaliteit van het werk zo hoog mogelijk op te voeren. De buizen die worden gelegd behoren gekeurd te zijn door een onafhankelijk deskundig instituut opdat zeker is dat de materiaaleigenschappen overeenkomen met wat in de berekeningen is aangenomen. Alle lassen in stalen leidingen moeten radiografisch worden onderzocht.

De resultaten van dit niet-destructieve onderzoek dienen beoordeeld te worden volgens de maatstaven genoemd in ontwerp-norm 81091 (NEN 1091) Veiligheidsvoorschriften voor Gastransportleidingen.

4.2. Proefbelasting

Het tot de kruising behorende deel van de leiding (inclusief het deel in de veiligheidszone) moet na aanaarden worden proefbelast door afpersen met water tot minimaal 1,3 x de ontwerpdruk. Bij gelaste stalen leidingen moet het buismateriaal worden belast tot zo mogelijk 90% van zijn gegarandeerde kleinste rekgrens (berekend bij nominale wanddikte).

4.3. Controle en alarmering

In de vergunning moeten ook de volgende punten worden vastgesteld.

Na het gereedkomen van de kruising moet het gehele werk nauwkeurig worden beschreven (de horizontale en vertikale ligging moet worden gemeten).

De leiding in de kruising moet halfjaarlijks worden geïnspecteerd, waarbij ondermeer de eventueel aanwezige kathodische bescherming door een onafhankelijk instituut wordt gecontroleerd; de ligging van de leiding wordt gemeten. Het verdient aanbeveling bij elke leiding te controleren in hoeverre het gedrag van de leiding overeenkomt met de gemaakte zettingsprognose (o.a. door zakbaken die aan de buis zijn bevestigd). Ook de afsluitmiddelen moeten halfjaarlijks worden gecontroleerd en beproefd.

Indien daartoe aanleiding bestaat kan men de wanddikte en/of de aanwezigheid van lekken laten controleren met elektromagnetische, nucleaire, akoestische of andere daartoe geëigende methoden.

De resultaten van de in dit artikel bedoelde inspecties moeten worden overlegd aan de beheerder van de waterkering.

De beheerder van de leiding dient in overleg met de waterkeringbeheerder een programma van te nemen maatregelen op te stellen dat wordt gevolgd bij eventueel lekken van het leidinggedeelte dat in de waterkering ligt.

Bijlage A

Breedte van de terreinstrook langs de waterkering die ongestoord moet blijven.

De breedte van de langs de waterkering gelegen terreinstrook waar in geval van lek van de leiding de grond ongestoord moet blijven, hangt af van grondslag en afmetingen van de waterkering.

Het Laboratorium voor Grondmechanica heeft op verzoek van de commissie enige stabiliteitsberekeningen uitgevoerd. Daarbij werd verondersteld dat een homogeen dijklichaam rust op een homogene ondergrond van hetzelfde materiaal. Voor verschillende grond-eigenschappen heeft men het ongunstigste (cirkelvormige) glijvlak bepaald. Men heeft dus onderzocht in welk glijvlak de verhouding van optredende en toelaatbare schuifspanningen het grootst was. Vervolgens heeft men eenzelfde berekening uitgevoerd, waarbij werd verondersteld dat op verschillende afstanden van de dijk een ontgronding aanwezig was. Een ontgronding op een afstand uit de teen van de dijk gelijk aan 4 maal de hoogte van de dijk bleek de veiligheid tegen afschuiving nagenoeg niet meer te beïnvloeden.

Dit resultaat geldt natuurlijk niet zonder meer onder omstandigheden, afwijkend van die waarvoor de stabiliteitsberekeningen werden uitgevoerd.

Afwijkende resultaten kunnen bijvoorbeeld verwacht worden wanneer:

- a. zeer slappe lagen in de ondergrond voorkomen,
- b. de spanningstoestand nog niet aan de bestaande belastingstoestand is aangepast,
- c. voortgaande deformaties van de waterkering optreden,
- d. een sterke omhooggerichte grondwaterstroming (bijvoorbeeld ten gevolge van kwel) optreedt.

In dergelijke afwijkende gevallen is voor het bepalen van de breedte van de ongestoord te laten zone een grondmechanisch onderzoek noodzakelijk (tenzij bij voorgaande onderzoeken in dezelfde omgeving voldoende gegevens zijn verkregen).

Een grondmechanisch onderzoek kan ook in normale gevallen dienstig zijn, namelijk om vast te stellen of de aangegeven waarde van 4 x de hoogte van de waterkering voor de breedte van de veiligheidszone wellicht kan worden verminderd.

Bij het vaststellen van de afstand moet er dan van worden uitgegaan dat de veiligheidscoëfficiënt tegen afschuiving van het ongunstigste glijvlak niet lager wordt dan de coëfficiënt die voor de aanleg van de leidingkruising aanwezig was.

Bijlage B

Ontgronding en grondverweking bij lek, breuk of explosie van een gasleiding

In het samengeperste gas van een gastransportleiding is een hoeveelheid energie aanwezig.

Deze energie zal bij breuk van de leiding vrij kunnen komen.

Daarbij zal een hoeveelheid grond kunnen worden weggeslingerd.

Een gedeelte van de grondmassa valt in de krater terug, terwijl een ander gedeelte een wal om de krater vormt.

Door het uitstromende gas kan bovendien erosie optreden en kunnen ontgrondingskuilen worden gevormd. De grootte van de ontgrondingen is door het Waterloopkundig Laboratorium onderzocht. *1). In model werd daartoe het lekken van een leiding in grond bestudeerd.

Daarbij werden de grondsoort, het vochtgehalte van de grond, de tijdsduur van uitstromen, de druk in de leiding, de grootte en vorm van het lek en de plaats gevarieerd.

Uit de modelproeven is gebleken dat de breedte van de ontgronding ten opzichte van de leidingas als volgt kan worden aangegeven. (zie fig. 1).

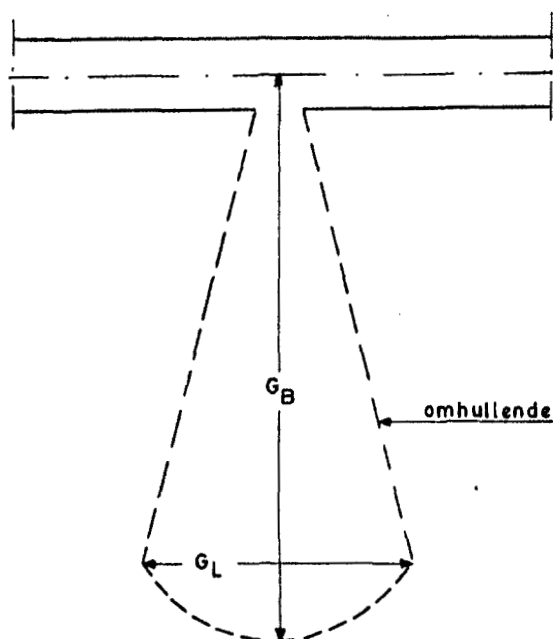


Fig. 1

*1) Zie rapport Waterloopkundig Laboratorium "Ontgronding door gasleidingbreuk" M 1136 - R 743

Gatvorm: rond
 Breedte: $G_B = R(w) \left\{ \frac{g}{D^2} \left(\frac{\dot{I}}{\rho g} \right)^3 \right\}^{1/8} t^{1/4}$ (driedimensionaal)
 Diepte : $w < 2\% D = 3 d + \text{gronddekking}$
 $2\% \leq w \leq 5\% D = 40 R(w) d + \text{gronddekking}$
 $w > 5\% D = D_{w=5\%} = 1,6 d + \text{gronddekking}$
 Lengte : $G_L = 1/2 (G_B + b_o)$
 als $G_B > b_o$
 Gatvorm: spleet
 Breedte: $G_B = R(w) \cdot 0,07 \left\{ \frac{g}{D^2} \left(\frac{\dot{I}}{\rho g} \right)^3 \right\}^{1/5} t^{2/5} b_o^{-3/5}$ (tweedimensionaal)
 Diepte : $w \leq 5\% D = 40 R(w) d + \text{gronddekking}$
 $w > 5\% D = 1,6 d + \text{gronddekking}$
 Lengte : $G_L = 1/2 (G_B + b_o)$
 als $G_B > b_o$

waarin: G_B = breedte van de kuil ten opzichte van de leidingas (zie fig. 1)
 G_L = lengte van de kuil (zie fig. 1)
 $R(w)$ = een vochtafhankelijke constante (zie fig. 2)
 w = vochtgehalte in gewichtsprocenten droge stof
 $\dot{I}$ = impulsflux van de straal
 D = diepte van de kuil
 d = diameter van de buis
 ρ = dichtheid van het uitstromende gas bij omgevingsdruk
 g = versnelling van de zwaartekracht
 b_o = breedte gatopening
 t = tijdsduur erosieproces

De grootste lengte G_L (toe te passen in 3.1.) moet worden aangehouden als totale afschuiving van de leiding uitgesloten is (b.v. bij stalen leidingen).

De overgang van het tweedimensionale (spleet) stromingsbeeld naar het driedimensionale (rond gat).

Door het Waterloopkundig Laboratorium werd gevonden dat bij bepaalde spleet-afmetingen de ontgrondingen niet met behulp van de tweedimensionale theorie konden worden bepaald, terwijl ze ook niet als driedimensionaal konden worden beschouwd.

Er bestaat derhalve een overgangsgebied tussen de twee- en de driedimensionale theorie.

Uit de modelproeven is verder gebleken dat de grootte van de ontgrondingen kan worden benaderd met behulp van de overgangskromme a in fig. 3.

Welke van de genoemde theorieën moet worden toegepast bij bepaalde spleet-afmetingen in de leiding kan met deze overgangskromme worden bepaald.

Er zijn drie gebieden te onderscheiden:

a. 2-dimensionaal indien $X' = \frac{G_B}{R(w) \cdot b_0} < 40$

G_B kan met de 2-dimensionale theorie bepaald worden.

b. 3-dimensionaal indien $X = \frac{G_B}{R(w) \cdot b_0} > 200$

G_B kan met de 3-dimensionale theorie bepaald worden.

c. overgangsgebied indien $40 \leq X = \frac{G_B}{R(w) \cdot b_0} \leq 200$

De afmetingen van de geërodeerde kuil bij een scheur in het overgangsgebied kunnen berekend worden uit:

Gatvorm: spleet (overgangsgebied)

Breedte: De breedte van de kuil kan eerst benaderd worden met;

$$\frac{G_B}{R(w)} = \left\{ \frac{g}{D^2} \left(\frac{\dot{I}}{\rho g} \right)^3 \right\}^{1/8} t^{1/4}$$

Hieruit kan een waarde voor $X = \frac{G_B}{R(w) \cdot b_0}$ bepaald worden.

De juiste breedte van de kuil kan dan gevonden worden door in fig. 3 vanuit het punt ($X, 1$) een rechte lijn met richtingscoëfficiënt = $1(45^\circ)$ te trekken en het snijpunt hiervan met de getrokken overgangskromme a te bepalen.

Diepte: $w \leq 5\%$: $D = 40 R(w) d + \text{gronddekking}$

$w > 5\%$: $D = D_{w=5\%} = 1,6 d + \text{gronddekking}$

Lengte: $G_L = 1/2 (G_B + b_0)$

waarin: G_B = breedte van de kuil ten opzichte van de leidingas (zie fig. 1)

G_L = lengte van de kuil (zie fig. 1)

$R(w)$ een vochtafhankelijke constante (zie fig. 2)

w = vochtgehalte in gewichtsprocenten droge stof

$\dot{I}$ = impulsflux van de straal

D = diepte van de kuil

d = diameter van de buis

ρ = dichtheid van het uitstromende gas bij omgevingsdruk

g = versnelling van de zwaartekracht

b_0 = breedte gatopening

t = tijdsduur erosieproces

Het hangt van zeer veel factoren af welke formule men zal kunnen toepassen.

Men zal bij verschillende afmetingen en vormen van het lek met de gegevens van de leiding en omliggende grond, de compressor, etc. de maximale waarde van G_B moeten bepalen.

Men kan uitgaan van de permanente stromingsituatie die zich na de breuk van de leiding zal instellen.

De tijdsduur waarover men de ontgrondingen zal moeten berekenen hangt in hoge mate af van het leidingsysteem en zal van geval tot geval moeten worden onderzocht.

Bovengenoemde berekening vereist, evenals de bepaling van de ontwerpdruk conform 3.5.2.A 1, een voldoende zekerheid dat de uitgangspunten ten aanzien van de leiding en de leidingexploitatie niet worden gewijzigd. Indien de beschreven berekeningsmogelijkheid niet wordt benut, moet men uitgaan van de berekening zoals hieronder is aangegeven.

Vereenvoudigde berekening

De vereenvoudigde berekening is gebaseerd op de volgende aannamen:

1. De toelaatbare uitbreidingsnelheid ($V_{uitbr.}$) van de ontgrondingskuil wordt gekozen.

Voorshands adviseert de commissie uit te gaan van $\frac{1}{7200} \text{ m/s}$

2. De formule voor de driedimensionale uitstroming wordt toegepast.

Als maximum voor de breedte G_B van de ontgroning ten opzichte van de leiding-as voor alle richtingen van de gasstraal werd door het Waterloopkundig Laboratorium bij deze aannamen aangegeven:

$$G_B = \sqrt[3]{\frac{R(w)^4}{4}} \cdot \frac{\left\{ \frac{g}{D^2} \left(\frac{I}{\rho g} \right)^3 \right\}^{1/6}}{V_{uitbr.}^{1/3}}$$

Diepte: $w < 2\%$: $D = 3d + \text{gronddekking}$

$2\% \leq w \leq 5\%$: $D = 40 R(w) d + \text{gronddekking}$

$w > 5\%$: $D = D_w = 5\% = 1,6 d + \text{gronddekking}$

Lengte: $G_L = 1/2 (G_B + b_0)$

als $G_B > b_0$

Voor het tijdsinterval dat voor het bereiken van de in 1. genoemde uitbreidingssnelheid nodig is geldt $t_v = \frac{G_B}{4 V_{uitbr.}}$

$R(w)$ = een vochtafhankelijke constante (zie fig. 2)
 w = vochtgehalte in gewichtsprocenten droge stof
 G_B = breedte van de kuil ten opzichte van de leidingas (zie fig. 1)
 G_L = lengte van de kuil (zie fig. 1)
 $\dot{I}$ = impulsflux van de straal
 D = diepte van de kuil
 d = diameter van de buis
 ρ = dichtheid van het uitstromende gas bij omgevingsdruk
 g = versnelling van de zwaartekracht
 $V_{uitbr.}$ = uitbreidingssnelheid erosiekrater

De in de berekening toe te passen impulsflux van de gasstraal dient gebaseerd te worden op de veronderstellingen, dat het gatoppervlak gelijk is aan de leidingdoorsnede en de maximale bedrijfsdruk in de leiding gehandhaafd blijft.

$$\begin{aligned}
 \text{Dan geldt: } \dot{I} &= 1,27 \cdot A \cdot p_0 \leq \dot{I}_{\max} & (1) \\
 \dot{I}_{\max} &= A \left\{ \rho_* u_*^2 + p_* \right\} & (2) \\
 \text{met } Q_{\max} &= A \rho_* u_* & (3)
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} \dot{I} &= 1,27 \cdot A \cdot p_0 \leq \dot{I}_{\max} \\ \dot{I}_{\max} &= A \left\{ \rho_* u_*^2 + p_* \right\} \\ Q_{\max} &= A \rho_* u_* \end{aligned}} \right\} \text{ zie ook opmerking 4}$$

waarin: $Q_{\max}$ = de maximale massastroom per tijdseenheid, welke door de compressor kan worden geleverd en door de gatopening afgevoerd.

$\dot{I}$ = impulsflux van de straal
 p_0 = druk in leiding bij stilstand (max. bedrijfsdruk)
 A = oppervlak uitstroomopening
 u_* = uitstroomsnelheid gas
 p_* = druk ter plaatse van de uitstroom-opening
 ρ_* = dichtheid van het gas ter plaatse van de uitstroom-opening.

Opmerking 1. De maximale uitstroomsnelheid van het gas is gelijk aan de plaatselijke geluidssnelheid en bedraagt:

$$u_* = a_0 \sqrt{\frac{2}{(k+1)}}$$

a_0 = de geluidssnelheid bij p_0 en ρ_0 ($a_0 = \sqrt{k \frac{p_0}{\rho_0}}$)
 ρ_0 = de dichtheid in de leiding bij stilstand

p_0 = de druk in de leiding bij stilstand (max. bedrijfsdruk)

k = de verhouding van de soortelijke warmte bij constante druk en die bij constant volume.
Voor een bepaalde gassoort moet de bijbehorende waarde van k worden ingevoerd. Voor veel gasen is k gelijk aan 1,4.

2. De druk van het uitstromende gas ter plaatse van de uitstroomopening volgt uit de relatie:

$$p_* = p_0 \left(\frac{k+1}{2} \right)^{-k/(k-1)}$$

3. De dichtheid van het uitstromende gas ter plaatse van de uitstroomopening volgt uit de relatie:

$$\frac{\rho_*}{\rho_0} = \left(\frac{p_*}{p_0} \right)^{1/k}$$

4. Indien gerekend wordt in het M.K.S.-stelsel kan voor aardgas met $k \approx 1,4$, bij een temperatuur van ca 15°C de maximaal door de kompressor te leveren impulsflux bepaald worden uit:

$$\dot{I}_{\max} = 635 Q_{\max}$$

Waarin: $\dot{I}_{\max}$ = de maximale haalbare impulsflux in N.

$Q_{\max}$ = de maximale massastroom per tijdseenheid, welke door de kompressor kan worden geleverd en door de gat-opening afgevoerd in kg/s

De dimensie van de konstante 635 is $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

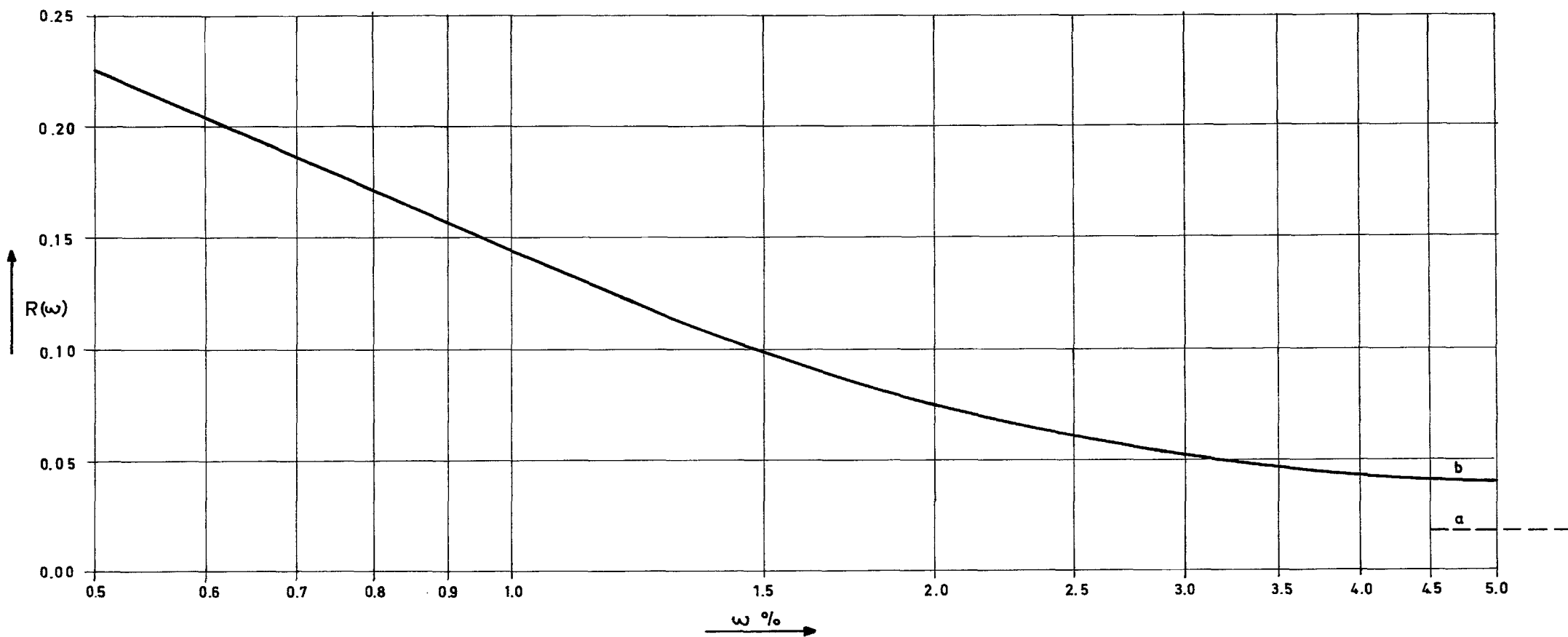
Door de breuk van de leiding zal in het gas een negatieve drukgolf ontstaan.

De verhouding tussen de scheursnelheid en de snelheid van de negatieve drukgolf bepaalt de scheurlengte en moet zo klein mogelijk zijn (in ieder geval < 1)

Deze scheursnelheid is afhankelijk van de materiaaleigenschappen van de buis (zie 3.5.4.).

Bij constante snelheidsverhouding zal de scheurlengte afhankelijk zijn van de spanning t.g.v. de inwendige druk, welke derhalve zo laag mogelijk moet worden gesteld (in ieder geval kleiner dan $2/3 \sigma_{v1}$). Gronddeformaties t.g.v. horizontaal gerichte schokgolven bij explosie van een gasleiding kunnen aanleiding geven tot korrelverschikkingen en pakingsdichtheidsveranderingen. Hiervan is een overspanning in

het poriënwater het gevolg en derhalve verlies aan draagkracht. De bestaande theoriën, die de breedte aangeven van de tussen de leiding en de waterkering gelegen terreinstrook waarbij bij explosie vrijwel geen verlies aan draagkracht van de ondergrond van de waterkering zal optreden, zijn nog onvoldoende door proefnemingen getoetst. Algemene richtlijnen zijn derhalve niet te geven. Van geval tot geval moet worden onderzocht of de grondslag van de waterkering gevoelig is voor genoemde verschijnselen.



a) VERZADIGD NAT ZAND , KLEI , VEEN

b) ZAND $W \leq 5\%$; BIJ EEN VOCHTGEHALTE ZAND $> 5\%$; LINEAIR INTERPOLEREN

Fig. 2

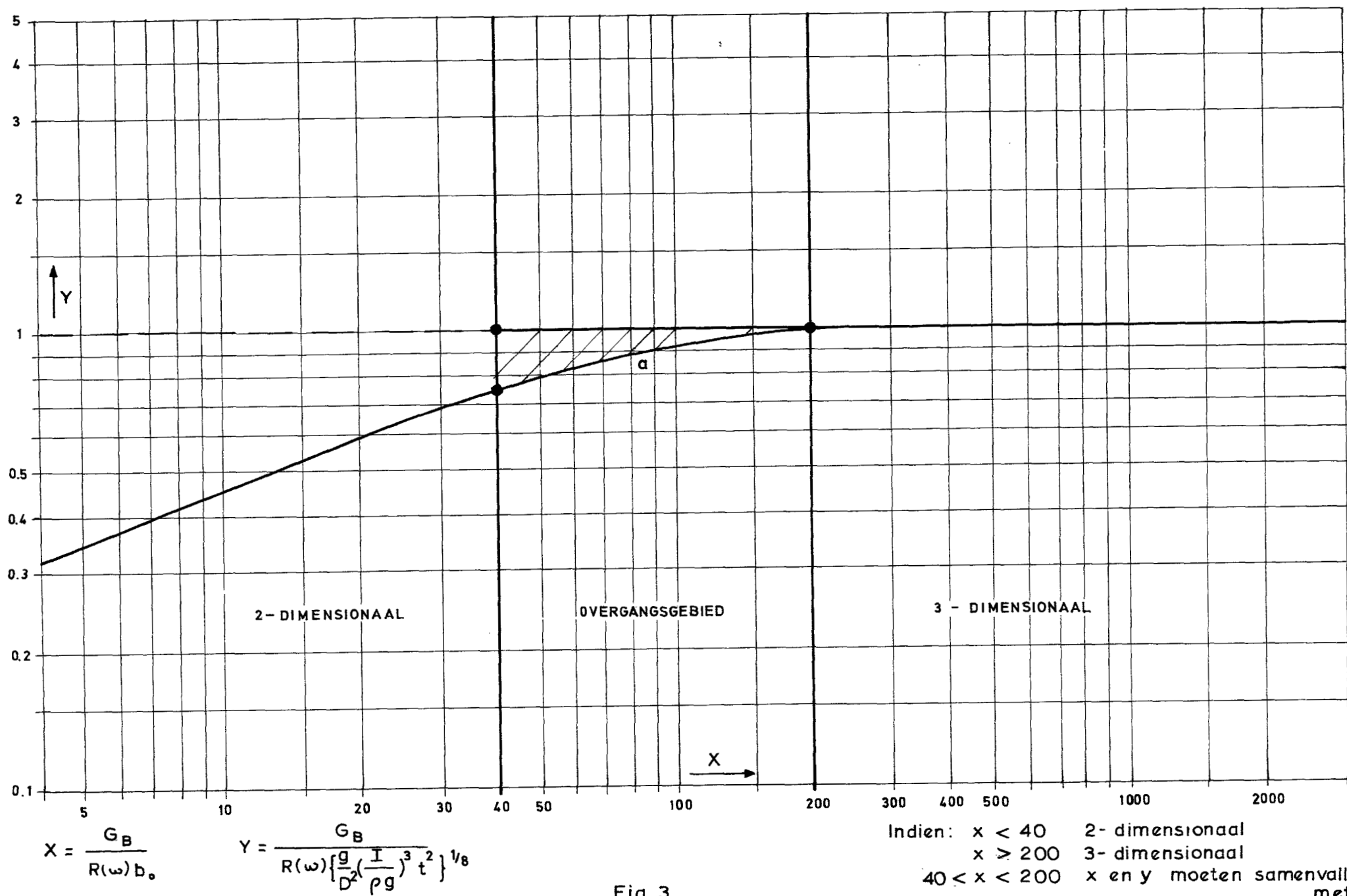


Fig. 3

Bylage C

original
1-4-74. by H. J. Burg
R

Bijlage D

Sputen, boren en persen van leidingen door waterkeringen

Definities:

- A. Bij spuiten wordt de grond door een waterstraal losgemaakt en met het water afgevoerd.
- B. Bij boren wordt een gat gemaakt door een mechanisch werktuig. De buis wordt daarna in het gat aangebracht.
- C. Bij persen wordt een buis door het grondlichaam gedrukt, waarbij de grond die in de buis geraakt wordt verwijderd.

Algemene voordelen van deze methoden:

Er vindt zo weinig mogelijk grondroering plaats, zodat de waterkering zijn oorspronkelijke samenstelling en eigenschappen slechts zeer plaatselijk verliest. Dit betekent ook dat de buis geen grote zakkingen behoeft te doorstaan en dat wellicht minder bochten behoeven te worden aangebracht.

Algemene nadelen:

Men kan slechts controle uitoefenen op de voortgang van de werktuigen in de grond, de weerstand die ze ontmoeten en de grondverwijdering.

Inhomogeniteiten van de grond en het voorkomen van voorwerpen als boomstronken, stukken puin, oude beschoeiingen etc. kunnen ernstige moeilijkheden geven.

Rondom het pijpgedeelte dat op zodanige wijze wordt aangebracht kunnen geen kwelschermen e.d. worden aangebracht.

Kwaliteit van de uitvoering:

Ad A : spuiten

De hoeveelheid grond die wordt verwijderd kan moeilijk tot een minimum worden beperkt en onmogelijk worden gecontroleerd. Bij deze methode zullen de grondwaterspanningen in de dijk plaatselijk worden vergroot, hetgeen gevaarlijk kan zijn voor de stabiliteit van de dijk.

Ad B : Boren

De hoeveelheid grond die wordt verwijderd kan worden beperkt, mits:

- de cohesie van de grond voldoende is,
- de boring boven het freatisch vlak plaats vindt.

Aan de laatste voorwaarde wordt vooral bij boezemkaden niet voldaan.

Controle op de afmetingen van het geboorde gat is ook bij deze methode vrijwel onmogelijk.

Ad C : Persen

Bij een goede uitvoering wordt bij deze methode niet meer grond verwijderd dan noodzakelijk is.
De grond om de buis wordt mogelijk nog enigermate verdicht, zodat een goede waterdichte aansluiting ontstaat, indien de buis volledig glad is.

Aan de methode zijn, ook bij goede uitvoering de volgende gevaren verbonden.

- a. doorbraak van water naar de buis,
- b. de grote krachten, die bij het persen moeten worden uitgeoefend, kunnen scheurvorming of stabiliteitsverlies veroorzaken.

In het verleden werd meestal eerst een onbeklede mantelbuis doorgeperst, omdat de bekleding bij doorpersen toch zou worden beschadigd. De transportbuis moet wel worden bekleed vanwege het gevaar van corrosie. Er bestaat thans een bekleding van polyetyleen die bestand is tegen doorpersen. Gezien de nadelen van mantelbuizen (zie 3.6.4.), is het dus het beste, de aldus beklede transportbuis zelf door te persen.

Toepassing:

Spuiten en boren is ontoelaatbaar in waterkeringen. Bij persen doen zich in de praktijk bij de uitvoering nog veel onzekerheden en gebreken voor. Als omvangrijke voorzorgsmaatregelen worden genomen, kunnen met persen wel goede resultaten worden verkregen.

Voor waterkeringen waar geen risico van doorbraak tijdens de uitvoering aanwezig is, kan wanneer de grondslag zich ertoe leent persen worden overwogen.

Bijlage E

Zakkingen

Indien voor een kruising een fundering op staal wordt toegepast, vormen zakkingen een belangrijk gegeven.

Zij kunnen als volgt worden onderscheiden:

1. zakkingen door consolidatie van waterkering en onderhoud als gevolg van eventuele wijziging van het dijkprofiel door ophoging t.p.v. de kruising en naaste omgeving.
2. zakkingen t.g.v. het seculair effect van in het verleden uitgevoerde dijksverzwaring.
3. zakkingen t.g.v. de uitvoering door grondroering.
4. zakkingen t.g.v. de dynamische invloed van de leiding op de omringende grond onder invloed van fluctuaties in bedrijfsdruk en temperatuur.

Ad 1.

Deze zakkingen zijn theoretisch te benaderen en worden "zettingen" genoemd.

Ad 2.

Deze zakkingen zijn naast theoretische benadering mede af te leiden uit de onderhoudservaringen van de waterkeringbeheerder en worden eveneens "zettingen" genoemd.

Ad 3.

Bij de bepaling van deze zakkingen spelen diepte en breedte van de ontgraven c.q. gebaggerde sleuf een rol.

A. diepte

In verband met de werktolerantie van de diverse graaf- en bagger machines wordt een overdiepte toegepast, terwijl een vlak afgewerkte sleufbodem illusoir is. Wordt de sleuf smal gehouden, dan kan een zakking van "klinkpercentage x overdiepte" worden aangenomen.

B. breedte

Wanneer bij de uitvoering een bredere sleuf ontstaat dan ongeveer 2 x de buisdiameter gemeten over de top van de buis, treedt door verschil in klink van de aanvulspecie t.p.v. resp. naast de buis negatieve kleef op, waardoor de zooldruk van de buis hoger wordt dan de oorspronkelijk aanwezige korreldruk met als gevolg "zetting" van de onderliggende lagen met als absoluut maximum "klinkpercentage x buisdiameter" (het klinkverschil zal dan n.l. zijn opgeheven en ten gevolge daarvan de negatieve kleef zijn verdwenen).

Ad 4.

In theorie is het denkbaar, dat een kruisingsconstructie door intermitterende expansie gepaard gaande met groundbreuk (d.w.z. overschrijding van maximaal leverbare (passieve) grondbelasting c.q. evenwichts-draagvermogen) in de grond blijvend van positie verandert, omdat bij groundbreuk irreversibele (plastische) gronddeformaties optreden. Over een eventueel effect van deze aard is momenteel niets bekend.

Verwerking van de beschreven verschijnselen in de
sterkteberekening

- "Zettingen" dienen door de grondmechanisch adviseur te worden bepaald (1 en 2). De totale zettingen moeten worden vermenigvuldigd met de onzekerheidsfactoren sub 3.5.3. alvorens in de sterkteberekening te worden ingevoerd.
- "Zakkingen" hangen meestal nauw samen met de wijze van uitvoering en zijn derhalve moeilijk bij het grondmechanisch onderzoek te betrekken (met uitzondering van 4). De zakkingen (3 en 4) kunnen op grond van de huidige praktijkervaring worden getaxeerd op ca. 20 cm. (bij zorgvuldige uitvoering).
Bij onzorgvuldige uitvoering (onnodig diepe ontgravingen) zijn zakkingen geconstateerd van meer dan $\frac{1}{2}$ m.
Voorschijds adviseert de Commissie bij fundering op staal uit te gaan van een zakningsverschil van 10 cm. ter versterking van het (de) eventuele zettingsverschil(len).

Bijlage F

Berekening drukstoten

Het Waterloopkundig Laboratorium heeft op verzoek van de Commissie een berekeningsmethode opgesteld voor de bepaling van de maximaal mogelijke drukverhogingen in gasleidingen ten gevolge van niet permanente stroming.

Als uiterste geval werd de situatie beschouwd waarbij aan het benedenstroomse leidingeinde een klep ogenblikkelijk sluit. Het wrijvingsverlies in de leiding wordt geconcentreerd gedacht aan het benedenstroomse leidingeinde; de stroming in de leiding zelf is dan wrijvingsloos verondersteld.

De elasticiteit van de leiding wordt niet in aanmerking genomen. De toestandsveranderingen in het gas worden isentropisch verondersteld. *1)

De maximale drukverhoging kan dan berekend worden uit:

$$\Delta p = \frac{1}{\frac{1}{\Delta u \sqrt{\rho_0 k p_0}} - \frac{k+1}{2k p_0}}$$

waarin: Δp = maximale drukverhoging

Δu = snelheidsverandering

k = isentropenexponent voor veel gassen $\approx 1,4$

p_0 = maximum bedrijfsdruk. *2)

ρ_0 = de dichtheid van het gas bij maximum bedrijfsdruk

Opm.1. Met behulp van deze vergelijking is met redelijke nauwkeurigheid de maximum drukverhoging te schatten. De plaatselijke drukverhoging is op bovengenoemde wijze niet te berekenen zodat rekening moet worden gehouden met een maximum druk in de totale leiding van $p_0 + \Delta p$.

2. Bij deze berekening is een verloop van het werkpunt van de compressor niet in aanmerking genomen. De verhoging van de druk, die hierdoor ontstaat moet bij de berekende druk worden opgeteld.

*1) Een isentropische toestandsverandering wil zeggen: een omkeerbare toestandsverandering, waarbij geen warmte-uitwisseling met de omgeving optreedt. Het rekenen met de aanname voor een dergelijke toestandsverandering geeft te ongunstige waarden.

*2) De maximum bedrijfsdruk is de druk, die bij het gebruik van een gasleiding op enig punt in het leidinggedeelte kan heersen en die - indien een beveiligingsmiddel tegen drukoverschrijding is aangebracht - wordt geacht gelijk te zijn aan de druk waarbij dit beveiligingsmiddel in werking begint te treden.

3. In de meeste gevallen zal de drukverhoging kleiner zijn dan 10% van de maximum bedrijfsdruk.

Voorbeeld

Gegevens: maximum bedrijfsdruk $p_o = 50 \text{ bar} = 50 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
 maximum snelheid $u = 15 \text{ m/sec}$
 isentropen exponent $k = 1,4$
 dichtheid bij 1 bar en 20°C $\rho^1 = 1,2 \text{ kg/m}^3$

Uitwerking: Neem aan, dat het gas in de compressor isotherm wordt gecomprimeerd: dit geeft de hoogste p_o en dus de grootste drukverhoging.

$$\frac{p^1}{\rho^1} = \frac{p_o}{\rho_o} \quad \frac{1}{1,2} = \frac{50}{\rho_o} \quad \rho_o = 60 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta p = \frac{1}{\frac{1}{\Delta u \sqrt{\rho_o^k p_o}} - \frac{k+1}{2k p_o}}$$

$$\Delta p = \frac{1}{\frac{1}{15 \sqrt{60 \cdot 1,4 \cdot 5 \cdot 10^6}} - \frac{2,4}{2,8 \cdot 5 \cdot 10^6}} = 3,24 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

**Centrum voor Onderzoek
Waterkeringen**

Bankastraat 137

's-Gravenhage

Tel. 070-65 91 48 en 64 61 41

datum:

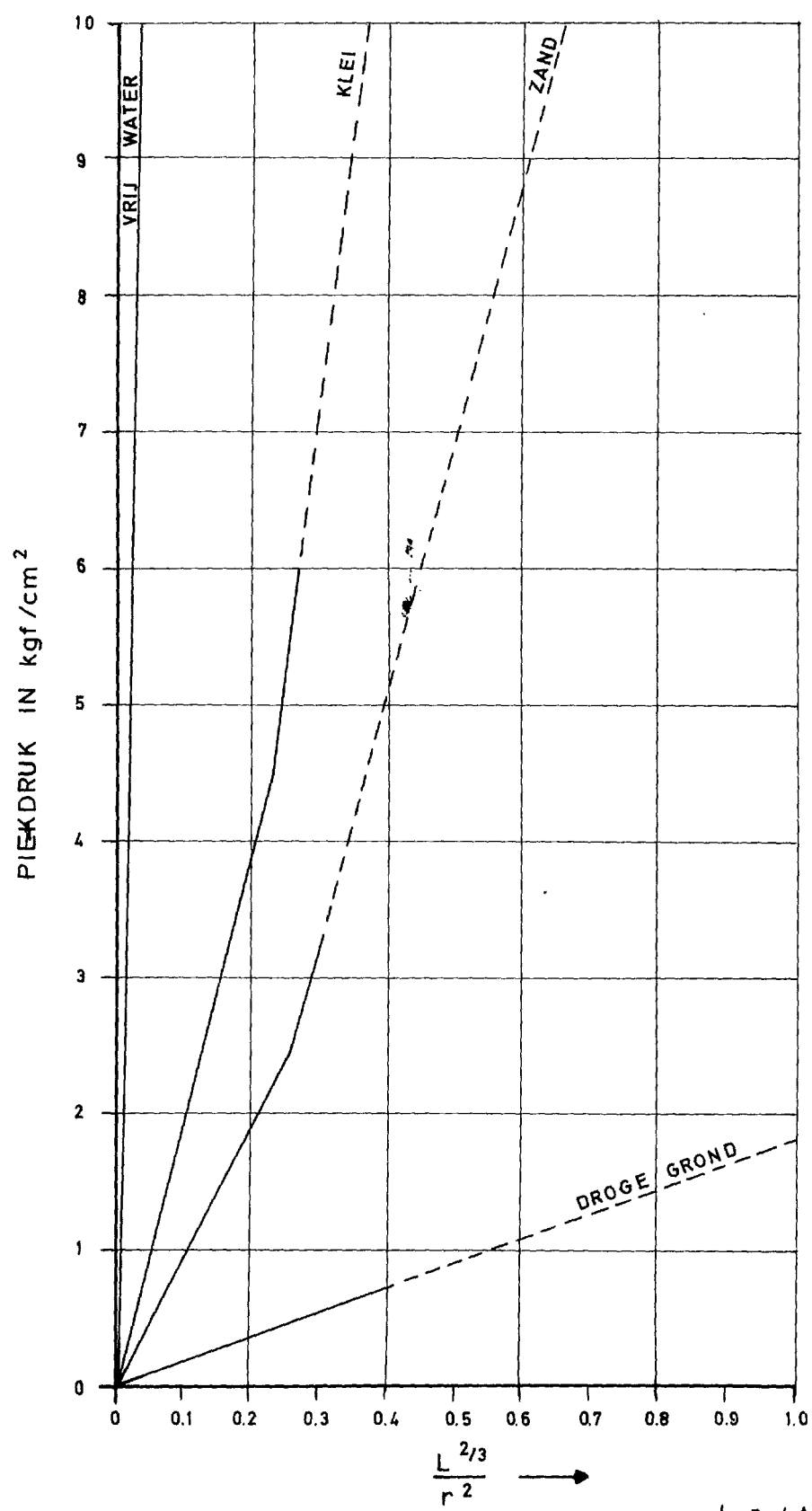
ter attentie van:

afzender:

Niet met nota kopiëren
als de appendix niet
volgt.

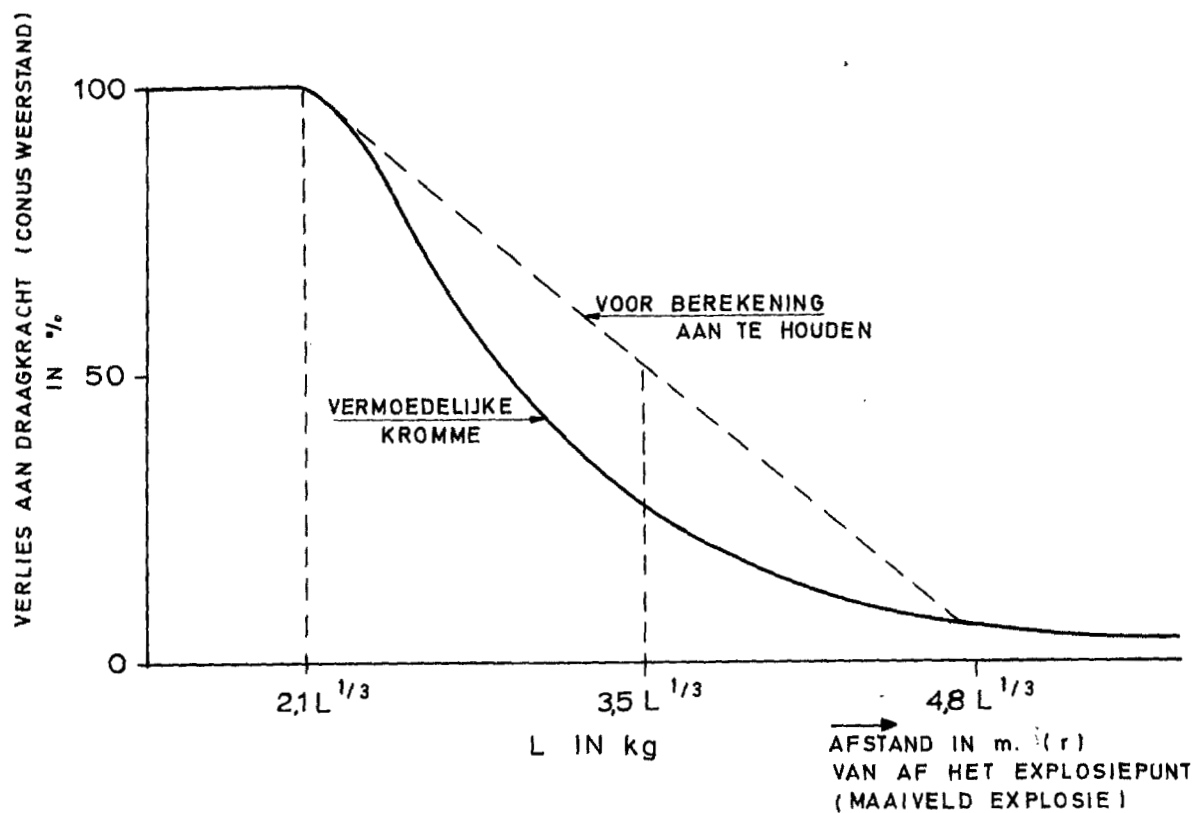
Overzicht van de appendix bij nota nr. C 71.036

- Appendix 1 Gegevens voor de benadering van de vereiste veiligheidszone bij verschillende bodemgesteldheden.
- Appendix 1a Aanvullende berekeningen bij appendix 1
- Appendix 2 Bepaling ladingequivalent verwekingszone en kraterstraal voor gasleidingen
- Appendix 3 De bepaling van de lengte afmetingen van erosiekraters die ontstaan bij verschillende gassnelheden, overdrukken en diameters van transportleidingen.



L = LADINGGEWICHT IN KG.
r = AFSTAND IN m.

BODEMDRUKKEN IN EEN MET WATER VERZADIGDE BODEM (DIREKTE GRONDSCHOK)			
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN	Getek.	Acc.	
	L.S. 5-1	<i>[Signature]</i>	A 1
			Nr. 71.1



1. De grafiek geldt voor een maaiveldexplosie.
2. 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 $1 \frac{1}{3}$.
3. De grafiek geldt voor een met water verzadigde zandbodem met een poriënvolume van ca 35 %. Voor klei kunnen voorspanden dezelfde afstanden worden aangehouden.

GRONDVERWEKING DOOR EEN EXPLOESIE
IN EEN MET WATER VERZADIGDE BODEM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

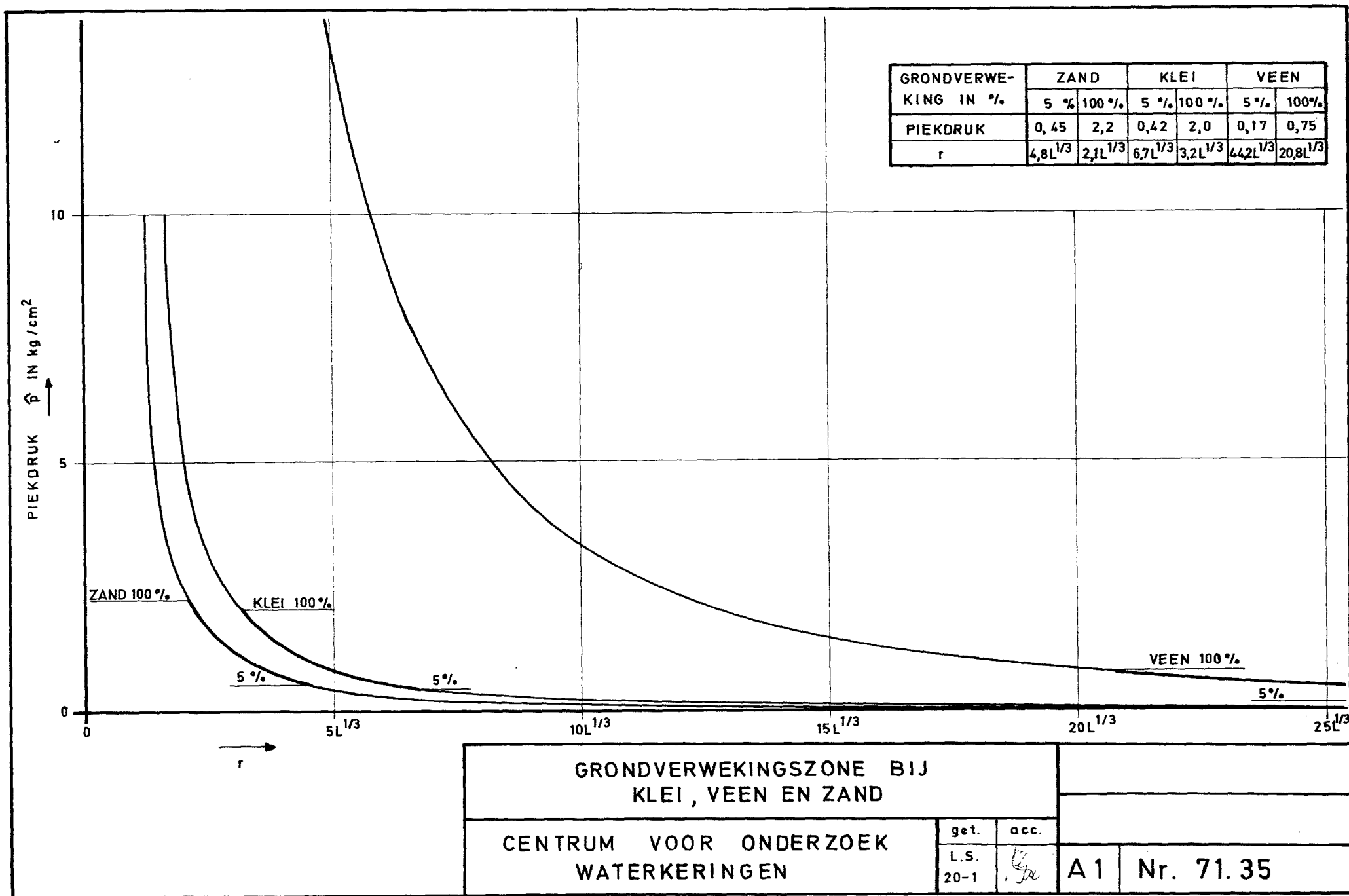
Getek.

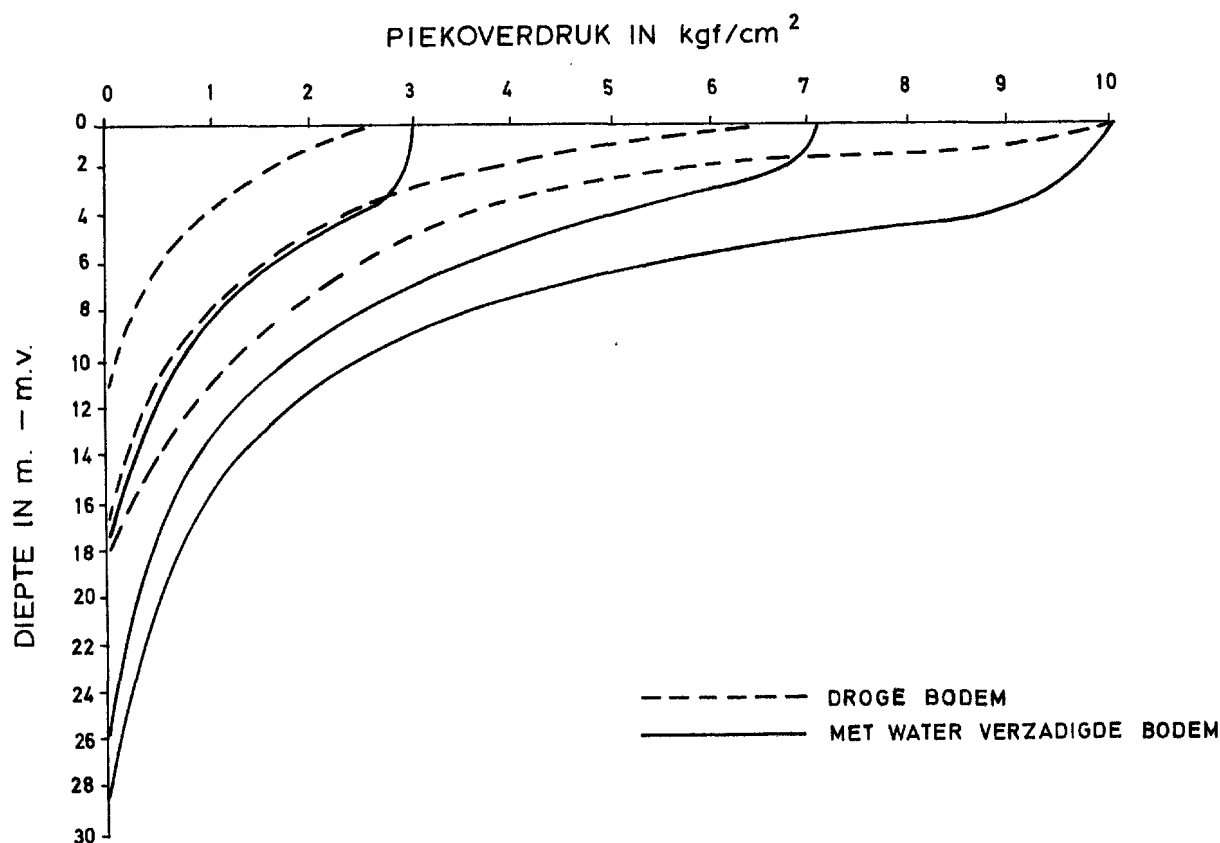
L.S.
5-1

Acc.

A 1

Nr. 71.2





DEZE GRAFIEK GELDT VOOR MET WATER VERZADIGDE ZANDBODEM. VOOR KLEI KAN VOORSHANDS DEZELFDE GRAFIEK WORDEN AANGEHOUDEN.

DEMPING IN DE DIEPTE VAN DE DOOR
DE LUCHTDRIK GEINDUCEERDE GROND SCHOK
VOOR DROGE - EN MET WATER VERZADIGDE BODEM

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

Getek.	Acc.
L.S.	<i>[Signature]</i>
6-1	

A1 Nr. 71.3

Aanvullende berekeningen

Nr. C-71.036

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

Aanvullende berekeningen

Nr. C-71.036

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

Aanvullende berekeningen

Nr. C-71.036

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

Aanvullende berekeningen bij

nota no. C-71.036

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

Berekening van het aantal kilocalorieën met de formule:

$$A = \frac{2500 V (p-p^{0,714})}{427} \text{ kcal}$$

1e.) $l = 60 \text{ m}$

$$p = 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$d = 0,90 \text{ m}$$

$$V = \frac{\pi}{4} \times 0,90^2 \times 60 = 38,15 \text{ m}^3$$

$$p = 70 - 70^{0,714} = 49,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = \frac{25000 \times 38,15 \times 49,2}{427} = 109893 \text{ kcal}$$

2e.) $l = 60 \text{ m}$

$$p = 100 \text{ kg/cm}^2$$

$$d = 0,15 \text{ m}$$

$$V = \frac{\pi}{4} \times 0,15^2 \times 60 = 1,06 \text{ m}^3$$

$$p = 100 - 100^{0,714} = 73,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = \frac{25000 \times 1,06 \times 73,2}{427} = 4543 \text{ kcal}$$

Uit de formule $t = \omega \sqrt{\left\{ \frac{0,31}{\omega} \sqrt[3]{V (p-p^{0,714}) + 0,41} \right\}^2 - 1}$ volgt:

$$V = \left(\frac{\left\{ \sqrt{\frac{t^2}{\omega^2} + 1 - 0,41} \right\} \omega}{\frac{0,31}{p-p^{0,714}}} \right)^3$$

1e.) $t = 4,5 \text{ m}$
 $\omega = 2 \text{ m}$
 $p = 70 \text{ atm}$

$$V = \left(\frac{\left\{ \sqrt{\left(\frac{4,5}{2}\right)^2 + 1 - 0,41} \right\} 2}{\frac{0,31}{49,2}} \right)^3 = 47,07 \text{ m}^3$$

2e.) $t = 2,5 \text{ m}$
 $\omega = 2 \text{ m}$
 $p = 70 \text{ atm}$

$$V = \left(\frac{\left\{ \sqrt{\left(\frac{2,5}{2}\right)^2 + 1 - 0,41} \right\} 2}{\frac{0,31}{49,2}} \right)^3 = 9,21 \text{ m}^3$$

3e.) $t = 2,25 \text{ m}$
 $\omega = 1,60 \text{ m}$
 $p = 100 \text{ atm}$

$$V = \left(\frac{\left\{ \sqrt{\left(\frac{2,25}{1,60}\right)^2 + 1 - 0,41} \right\} 1,60}{\frac{0,31}{73,2}} \right)^3 = 4,31 \text{ m}^3$$

Appendix 2

Bepaling ladingequivalent, verwekings-
zône en kraterstraal van gasleidingen

Nr. C-71.036

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

Bepaling ladingequivalent, verwekings-
zône en kraterstraal van gasleidingen

Nr. C-71 036

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

Bepaling ladingequivalent, verwekings-
zône en kraterstraal van gasleidingen

Nr. C-71.036

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

- a. De bepaling van de grafiek die bij bepaalde diameter en druk de lading weergeeft per m buis (zie fig. 1 en 2)

de lading wordt berekend uit:

$$L = \frac{25000}{427.1000} \times \frac{\pi \cdot d^2}{4} (p - p^{0,714}) \text{ kg TNT}$$

P = 2, 4, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 atm.

d = 0,10, 0,20, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60, 0,70, 0,80, 0,90
1,00, 1,10, 1,20, 1,30, 1,40, 1,50 m

- b. De verwekingszone in m ten opzichte van de lading (kg TNT)
volgens de formule $x = 4,8 L^{1/3}$. waaruit volgt: $L = \left(\frac{x}{4,8}\right)^3$
(zie fig. 3 bijlage 1)

c. Bijlage 2 geeft de Kraterstralen weer ten opzichte van de meedewerkende buislengten.

De kraterstraal wordt berekend uit de volgende formule

$$V = \frac{\left(\frac{\sqrt{\frac{t^2}{\omega} + 1} - 0,41}{0,31} \right)^3 \omega}{p-p^{0,714}}$$

buisgegevens

diepteligging buis $\omega = 2 \text{ m}$

p inwendige druk $p = 70 \text{ kg/cm}^2 p-p^{0,714} = 49,2 \text{ kg/cm}^2$

diameter buis $d = 0,9 \text{ m}$

Volume meedewerkende
buislengte $V = \frac{\pi}{4} \times 0,9^2 \times X$

Bijlagenoverzicht: Bijlage 1 tek. A2 Nr. 71.59
" 2 tek. A1 Nr. 71.62

De bepaling van de lengte-afmetingen
van erosiekraters die ontstaan bij
verschillende gassnelheden, overdruk-
ken en diameters van gastransportlei-
dingen

Nr. C-71.036

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

De bepaling van de lengte-afmetingen
van erosiekraters die ontstaan bij
verschillende gassnelheden, overdruk-
ken en diameters van gastransportlei-
dingen

Nr. C-71.036

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

De bepaling van de lengte-afmetingen
van erosiekraters die ontstaan bij
verschillende gassnelheden, overdruk-
ken en diameters van gastransportlei-
dingen.

Nr. C 71.036

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

De bepaling van de lengte-afmetingen
van erosiekraters die ontstaan bij
verschillende gassnelheden, overdruk-
ken en diameters van gastransportleidingen

Nr. C-71.036

De bepaling van de lengte-afmetingen van erosiekraters die ontstaan bij verschillende gassnelheden, overdrukken en diameters van gastransportleidingen (zie rapport W.L.van ir.H.N.C.Breusers T.A.W. nr.1721)

- P_o = gasdruk in de buis in ato
 P^* = gasdruk van uitstromend gas in ato
 ρ_o = dichtheid in de buis in kg/m^3 (20°C , dichtheid lucht = $1,3 \text{ kg/m}^3$)
 ρ^* = dichtheid van uitstromend gas in kg/m^3
 a_o = geluidsnelheid in m/s
 U^* = uittreesnelheid in m/s
 A^* = oppervlak van de gecontraheerde straal uit de opening in cm^2
 A^*_{eff} = effectieve oppervlak van de straal in cm^2
 D^*_{eff} = effectieve diameter in m
 U_{max} = maximale snelheid op een afstand x in m/s
d = diameter in m
v = snelheid van het gas in de buis in m/s
x = lengte van de erosiekrater in m

$P_o (1) = 0,1 \text{ ato}$	$P^* = 0,53 \times P_o : P^*(1) = 0,053 \text{ ato}$
$P_o (2) = 1,0 \text{ ato}$	$P^*(2) = 0,530 \text{ ato}$
$P_o (3) = 3,0 \text{ ato}$	$P^*(3) = 1,590 \text{ ato}$
$P_o (4) = 8,0 \text{ ato}$	$P^*(4) = 4,240 \text{ ato}$
$P_o (5) = 40,0 \text{ ato}$	$P^*(5) = 21,200 \text{ ato}$
$P_o (6) = 60,0 \text{ ato}$	$P^*(6) = 31,800 \text{ ato}$

$$\rho_o = \frac{P_o + 1}{1} \times \frac{273}{(273 + 20)} \quad \rho^* = 0,635 \rho_o$$

$\rho_o (1) = 1,0230 \text{ kg/m}^3$	$\rho^* (1) = 0,6496 \text{ kg/m}^3$
$\rho_o (2) = 1,8635 \text{ kg/m}^3$	$\rho^* (2) = 1,1833 \text{ kg/m}^3$
$\rho_o (3) = 3,7270 \text{ kg/m}^3$	$\rho^* (3) = 2,3666 \text{ kg/m}^3$
$\rho_o (4) = 8,3857 \text{ kg/m}^3$	$\rho^* (4) = 5,3249 \text{ kg/m}^3$
$\rho_o (5) = 38,2014 \text{ kg/m}^3$	$\rho^* (5) = 24,2579 \text{ kg/m}^3$
$\rho_o (6) = 56,8362 \text{ kg/m}^3$	$\rho^* (6) = 36,0910 \text{ kg/m}^3$

$$a_o = \sqrt{\frac{1,4 \times p \times 10^5}{\rho_o}} \quad U^* = 0,913 a_o$$

$a_o (1) = 116,9839 \text{ m/s}$	$U^* (1) = 106,8063 \text{ m/s}$
$a_o (2) = 274,0939 \text{ m/s}$	$U^* (2) = 250,2472 \text{ m/s}$
$a_o (3) = 335,6951 \text{ m/s}$	$U^* (3) = 306,4896 \text{ m/s}$
$a_o (4) = 365,4596 \text{ m/s}$	$U^* (4) = 333,6646 \text{ m/s}$
$a_o (5) = 382,8727 \text{ m/s}$	$U^* (5) = 349,5628 \text{ m/s}$
$a_o (6) = 384,4387 \text{ m/s}$	$U^* (6) = 350,9925 \text{ m/s}$

$$Q^* = \rho^* U^* A^* = \frac{1}{4} \frac{\pi}{4} d^2 \cdot v \cdot \rho_o \longrightarrow$$

$$A^* = \frac{\pi d^2 v \rho_o \cdot 10^4}{16 \cdot \rho^* U^*} \text{ cm}^2$$

$$A^* \text{ eff} = 42 \times A^* \text{ cm}^2$$

$$D^* \text{ eff} = \frac{1}{100} \sqrt{\frac{4}{\pi} A^* \text{ eff.m}}$$

$$x \text{ wordt bepaald uit : } \frac{U_{\text{max}}}{U^*} = 6 \times \frac{D^* \text{ eff.}}{x}$$

waarbij $U_{\text{max}} = 50 \text{ m/s}$

P_o in at	V in m/s	d. in m
0,1	4	0,1 0,2 0,3
1,0	6	0,1 0,2 0,3 0,4 0,5
3,0	6	0,1 0,2 0,3 0,4 0,5
8,0	8	0,2 0,3 0,4 0,5 0,6
40,0	12	0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0
60,0	15	0,6 0,7 0,8 0,9 1,0 1,1 1,2 1,3

P_o	d	A^*	A^*_{eff}	D^*_{eff} in m	x
0,1	0,1	1,1575	48,6150	0,08	$0,12 \cdot 106,8063 \cdot 0,08 = 1,03 \text{ m}$
	0,2	4,6298	194,4516	0,16	$0,12 \cdot 106,8063 \cdot 0,16 = 2,05 \text{ m}$
	0,3	10,4171	437,5182	0,24	$0,12 \cdot 106,8063 \cdot 0,24 = 3,08 \text{ m}$
1,0	0,1	0,7410	31,1220	0,06	$0,12 \cdot 250,2472 \cdot 0,06 = 1,80 \text{ m}$
	0,2	2,9641	124,4922	0,13	$0,12 \cdot 250,2472 \cdot 0,13 = 3,90 \text{ m}$
	0,3	6,6691	280,1022	0,19	$0,12 \cdot 250,2472 \cdot 0,19 = 5,71 \text{ m}$
	0,4	11,8562	497,9604	0,25	$0,12 \cdot 250,2472 \cdot 0,25 = 7,51 \text{ m}$
	0,5	18,5254	778,0668	0,31	$0,12 \cdot 250,2472 \cdot 0,31 = 9,31 \text{ m}$
3,0	0,1	0,6050	25,4100	0,06	$0,12 \cdot 306,4896 \cdot 0,06 = 2,21 \text{ m}$
	0,2	2,4201	101,6442	0,11	$0,12 \cdot 306,4896 \cdot 0,11 = 4,05 \text{ m}$
	0,3	5,4453	228,7026	0,17	$0,12 \cdot 306,4896 \cdot 0,17 = 6,25 \text{ m}$
	0,4	9,6806	406,5852	0,23	$0,12 \cdot 306,4896 \cdot 0,23 = 8,46 \text{ m}$
	0,5	15,1259	635,2878	0,28	$0,12 \cdot 306,4896 \cdot 0,28 = 10,30 \text{ m}$
8,0	0,2	2,9640	124,4880	0,13	$0,12 \cdot 333,6646 \cdot 0,13 = 5,21 \text{ m}$
	0,3	6,6690	280,0980	0,19	$0,12 \cdot 333,6646 \cdot 0,19 = 7,61 \text{ m}$
	0,4	11,8560	497,9520	0,25	$0,12 \cdot 333,6646 \cdot 0,25 = 10,01 \text{ m}$
	0,5	18,5250	778,0500	0,31	$0,12 \cdot 333,6646 \cdot 0,31 = 12,41 \text{ m}$
	0,6	26,6759	1120,3878	0,38	$0,12 \cdot 333,6646 \cdot 0,38 = 15,22 \text{ m}$

P_o	d	A^*	A^*_{eff}	D^*_{eff} in m	x
40,0	0,5	26,5236	1113,9912	0,38	$0,12.349,5628.0,38 = 15,94 \text{ m}$
	0,6	38,1939	1604,1438	0,45	$0,12.349,5628.0,45 = 18,88 \text{ m}$
	0,7	51,9861	2183,4162	0,53	$0,12.349,5628.0,53 = 22,23 \text{ m}$
	0,8	67,9003	2851,8126	0,60	$0,12.349,5628.0,60 = 25,17 \text{ m}$
	0,9	85,9363	3609,3246	0,68	$0,12.349,5628.0,68 = 28,52 \text{ m}$
	1,0	106,0942	4455,9564	0,75	$0,12.349,5628.0,75 = 31,46 \text{ m}$
60,0	0,6	47,5479	1997,0118	0,50	$0,12.350,9925.0,50 = 21,06 \text{ m}$
	0,7	64,7180	2718,1560	0,59	$0,12.350,9925.0,59 = 24,85 \text{ m}$
	0,8	84,5297	3550,2474	0,67	$0,12.350,9925.0,67 = 28,22 \text{ m}$
	0,9216	112,1797	4711,5474	0,77	$0,12.350,9925.0,77 = 32,43 \text{ m}$
	1,0	132,0776	5547,2592	0,84	$0,12.350,9925.0,84 = 35,38 \text{ m}$
	1,1	159,8139	6712,1838	0,92	$0,12.350,9925.0,92 = 38,75 \text{ m}$
	1,2	190,1918	7988,0556	1,01	$0,12.350,9925.1,01 = 42,54 \text{ m}$
	1,3	223,2112	9374,8704	1,09	$0,12.350,9925.1,09 = 45,91 \text{ m}$

Dit is in een grafiek gewerkt op bijlage 1 (tek.A1-71.63)

GEGEVENS VOOR EEN BENADERING VAN DE VEREISTE
VEILIGHEIDSZONE VOOR GASLEIDINGEN BIJ
VERSCHILLENDE BODEMGESTELDHEDEN

Nr. C-71.036

Centrum voor Onderzoek
Waterkeringen

Benadering van de vereiste veiligheidszône voor gasleidingen bij verschillende bodemgesteldheden.

I. Geraadpleegde literatuur

1. 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).
2. "Springstoffen" (eigenschappen, vervaardiging, werking en toepassing van militaire vernielingen, in de mijnbouw en in de landbouw) door P.W. Scharroo
3. Gevarenszône bij het bezwijken van ondergrondse drukhouders
Dienst van het Stoomwezen
4. Benadering van de vereiste veiligheidszône van hogedruk-
leidingen bij verschillende bodemgesteldheden
Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland
5. Symposium Schokgolven
VI Schokgolven in granulaire substanties
Ir. R.W. Trense
6. Riszausbreitung an Groszrohren
H. Lepand
Stahl und Eisen 85 (1965)
nr. 25
7. Luftdruckberstversuche an Groszrohren
F.O. Koch
Rohre, Rohrleitungsbau, Rohrleitungstransport
Heft 6 1965
8. Line Pipe Research
The Oil and Gas Journal
September 23, 1963
9. Pipe failures, some of the causes and cures
M.A. Judoh and D.M. Taylor
Pipe Line Industry
part I (1963) June
part II (1963) July
10. Voorlopige resultaten van enkele proefnemingen
(explosieproeven) met pijpleidingen.
11. Symposium Schokgolven
III De bepaling van de verbrossing in staal door spanningsgolf-
dempingsmetingen.
drs. H.C. van Elst

II. Bepaling van de kraterstraal bij een gedeeltelijk openscheuren van een leiding (explosie) Lit. (2), (3) en (4)

In het samengeperste gas van een gastransportleiding is een hoeveelheid energie opgezameld, die bij expansie vrij kan komen.

Heeft deze uitzetting adiabatisch plaats (wat bij een snelle uitzetting het geval is), dan is de hoeveelheid energie te berekenen uit:

$$A = \frac{P_1 V_1}{K-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]$$

A = arbeid in kgfm

P_1 = begindruk in kgf/cm^2 (absoluut)

V_1 = beginvolume in m^3

p_2 = einddruk in kgf/cm^2 (absoluut)

p_1 = begindruk in kgf/cm^2 (absoluut)

Voor $K = 1,4$ P_1 omgezet in kgf/cm^2 (abs), $p_2 = 1$ wordt dit

$$A = 25000 V (p_1 - p_2)^{0,714} \quad (1)$$

Bij een ondergrondse explosie van een hoeveelheid springlading wordt - bij voldoende grootte van de leiding - een hoeveelheid aarde in de vorm van een kegel met afgeronde top weggeslingerd.

Een gedeelte van de aardmassa moet daarna in het gat terug, terwijl een ander gedeelte een wal om de krater vormt.

Bij het tot explosie brengen van een steeds kleinere hoeveelheid springstoffen ontstaat tenslotte de situatie, dat geen aarde meer wordt getransporteerd. Er kunnen echter wel scheuren en verzakkingen in het grondoppervlak ontstaan.

Men kan stellen dat uit 1 kg explosieven ongeveer 1000 Kcal warmte vrijkomt. (2)

De afmetingen van de krater zijn het best te bepalen met behulp van de formule v. Dambrun

$$l = g \cdot 0 \cdot \left(\sqrt{1 + \left(\frac{t}{w} \right)^2} - 0,41 \right)^3 w^3 \quad (3)$$

In deze formule is:

l = de ladinggrootte in kg

g = coëfficiënt afhankelijk van de grondsoort zand 0,5
veen 1

t = kraterstraal in m

w = kortste weerstandslijn (= diepteligging van het springpunt onder het maaiveld in m)

O = opstoppingscoëfficiënt (aangevulde sleuf = 2)

Uit vergelijking (1) (2) en (3) volgt

$$\frac{25000}{427.1000} V \{p - p^{0,714}\} = 1 \hat{=} 2 \left(\sqrt{1 + \left(\frac{t}{w}\right)^2} - 0,41 \right)^3 w^3$$

uitgewerkt voor t ; zand.

$$t = w \sqrt{\left(\frac{0,39}{w} \sqrt[3]{V (p - p^{0,714}) + 0,41} \right)^2 - 1}$$

uitgewerkt voor t ; veen.

$$t = w \sqrt{\left(\frac{0,31}{w} \sqrt[3]{V (p - p^{0,714}) + 0,41} \right)^2 - 1}$$

In deze formule is :

- t = kraterstraal, gemeten op maaiveldniveau in m;
- w = afstand hart pijpleiding tot maaiveld.
- p = de druk van de explosie in kgf/cm² (absoluut)
- V = het volume dat aan de explosie deelneemt in m³ (beginvolume)

De in de formule voor het volume van een pijpleiding in te vullen waarde is een gedeelte van het totale volume van de leiding.

De resultaten van de proeven op de Maasvlakte wijzen erop, dat de formule van Dambrun niet mag worden toegepast. De afmeting van de kraterstraal is groter dan de theoretische waarde. Dit wijst erop, dat bij gasexplosies (expansie) de energie langzamer op de grond wordt overgedragen en dat hierdoor grotere kraters kunnen ontstaan.

Resultaten proeven Maasvlakte (contrôle)

1e	t = 4,5 m) w = 2 m) p = 70 atm)	V = 58,7550	medewerkende lengte van de buis	= 21,5 m =====
2e	t = 2,5 m) w = 2 m) p = 70 atm)	V = 11,4782	medewerkende lengte van de buis	= 18 m =====
3e	t = 2,25 m) w = 1,60 m) p = 100 atm)	V = 4,2656	medewerkende lengte van de buis	= 24 m =====

III Scheurvorming in gastransportleidingen

Inleiding:

De Pipe Line Research Committee van de American Gas Association (A.G.A.) in de U.S.A. en H. Lepand in Duitsland hebben de oorzaken en gevolgen door proeven bepaald (Lit. 6,7,8,9,10).

Zo zijn bijvoorbeeld bij het afpersen van langsgelaste gastransportleidingen scheuren opgetreden van meer dan 1 km lengte.

Er zal een overzicht worden gegeven van deze onderzoeken.
De proeven op de Maasvlakte zullen hiermee worden vergeleken.

Resultaten

1. De voortplantingssnelheid bleek in directe relatie te staan tot de hoedanigheid van het breukvlak.
Afhankelijk van het aandeel van de vervormingsbreuk en de knapbreuk kan men drie gebieden onderscheiden:

	<u>Aandeel vervormingsbreuk in breukvlak</u>	<u>scheursnelheid</u>	<u>scheurkarakteristiek</u>
1	8 - 20 %	> 450 m/sec	vele sinusvormig verlopende scheuren
2	20 - 80 %	275 - 450 m/sec	2 à 3 sinusvormig verlopende scheuren
3	80 - 100 %	< 275 m/sec	rechte scheur in langsrichting

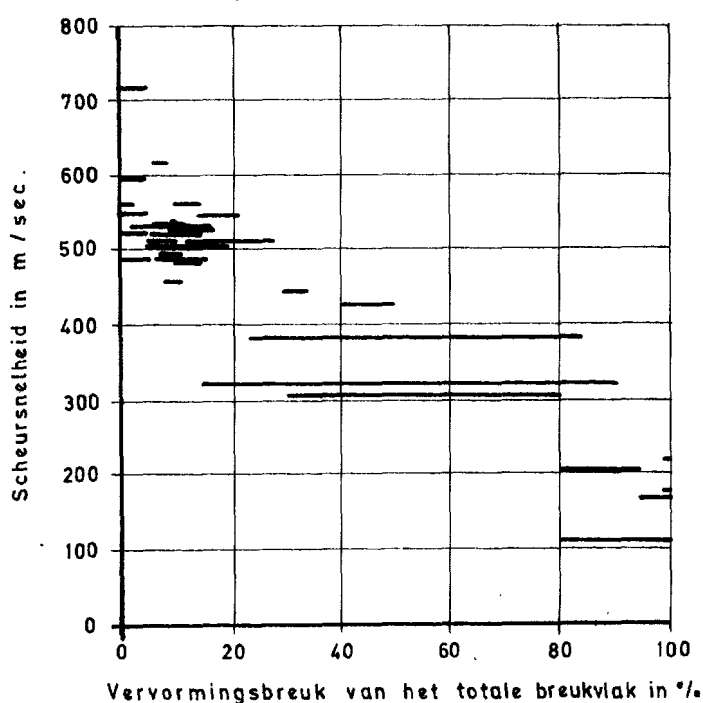


Fig. 1 SCHEURSNELEID BIJ EEN GEDEELTELIJKE
VERVORMINGSBREUK. (Lit. 8)
(buisafmetingen 762 x 9,5 mm., staal X52)

De scheursnelheid is verder afhankelijk van de temperatuur. Bij een temperatuur van $+40^{\circ}\text{C}$ blijkt b.v. bij het halfgekalmeerde staal X 52 een duidelijke discontinuïteit in de voortplantingssnelheid van de scheur (zie fig. 2)

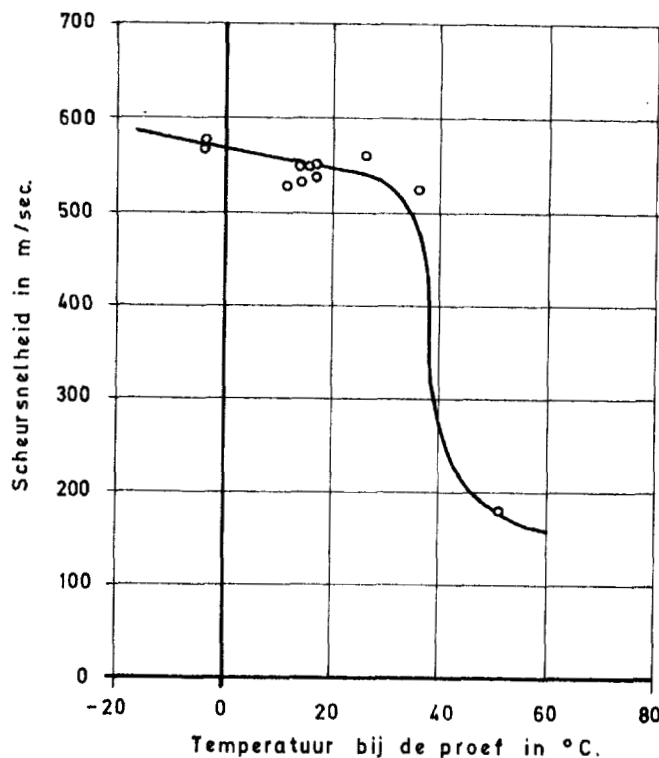


Fig. 2 DE INVLOED VAN DE TEMPERatuur OP DE SCHEURSnelHEID. (Lit. 8)
(staal X 52, halfgekalmeerd staal)

Bij het interpreteren van deze gegevens is de beschouwing in Lit. 1) van belang. De gebruikelijke kerfslagproeven worden uitgevoerd op spanningsloos materiaal. Hieruit volgt een overgangstemperatuur (zie fig. 3 a en b) ontleend aan het energiecriterium voor kerfslagproeven.

De bepaling van de stoptemperatuur 1) van een brosse breuk met behulp van de Robertsonproef wordt door de schrijver belangrijker geacht dan genoemde overgangstemperatuur.

De stoptemperatuur wordt bepaald aan proefplaten van dusdanige lengte en breedte, dat toeneming hiervan geen invloed heeft; de proefplaatdikte is als toegepast in de constructie, terwijl de aangelegde belasting correspondeert met de bedrijfsspanning, bijvoorbeeld 60% van de vloeigrens (Boven een zekere belasting, bijvoorbeeld corresponderend met 40% van de vloeigrens) neemt de stoptemperatuur nog slechts weinig toe met toenemende aangelegde belasting. Op deze wijze worden voor de praktijk representatieve omstandigheden gesimuleerd.

1) De stoptemperatuur is die temperatuur, waar beneden een geïnitieerde breuk onder de beschouwde (spannings)omstandigheden doorloopt en waarboven deze stopt.

Conclusie:

De stoptemperatuur en de voortplantingssnelheid van de scheur hangen ten nauwste samen met de chemische samenstelling en de behandeling van het staal bij de fabricage. Er zal aan deze eigenschappen grote aandacht moeten worden besteed.

2. De lengte van een zich uitbreidende buisleidingscheur hangt af van zijn voortplantingssnelheid. Bij breuk van de buisleiding ontspant het gas zich achter een neg. drukgolf, waarvan de snelheid bij de gebruikelijk hoge drukken, temperatuur, buisdiameter en gassamenstelling bij verzadiging gelijk is aan de geluidssnelheid in samengeperst gas (300 - 420 m/s)

Wanneer nu de voortplantingssnelheid van de scheur kleiner is dan de snelheid van de neg. drukgolf, neemt de druk aan het begin van de scheur af en zal de scheur tot stilstand komen. Is daarentegen de snelheid van de scheur hoger, dan blijft de gasdruk aan het begin van de scheur konstant. In dat geval zullen zeer lange scheuren ontstaan.

Conclusie:

De verhouding tussen de scheursnelheid en de snelheid van de negatieve drukgolf bepaalt dus de scheurlengte. Bij het groter worden van deze verhouding zijn steeds langere breuken te verwachten.

3. De verschillende onderzoeken tonen een duidelijke samenhang tussen de kerfslagwaarde in de omvangsrichting van de buis en de scheursnelheid. (fig. 3a, 3b, 3c)

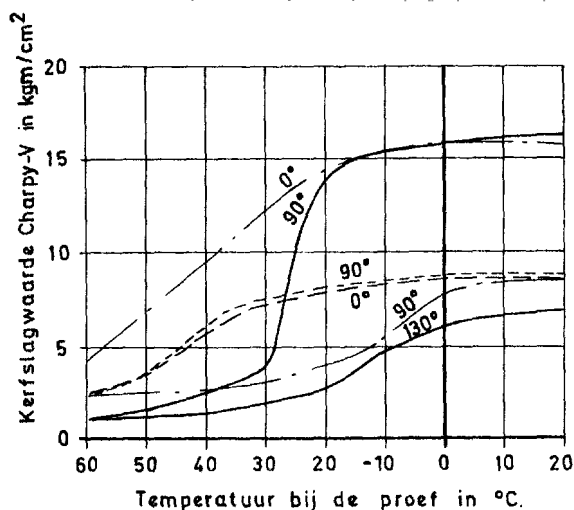


Fig. 3^a KERFSLAGWAARDE-TEMPERATUUR KROMMEN ONDER BEPAALDE HOEKEN t.o.v. DE AXIALE AS VAN DE BUIS. (Lit. 4)

VERKLARING Fig. 3^a — — — Naadloze buis
- - - Langsgelaste buis
— — — Spiraalgelaste buis

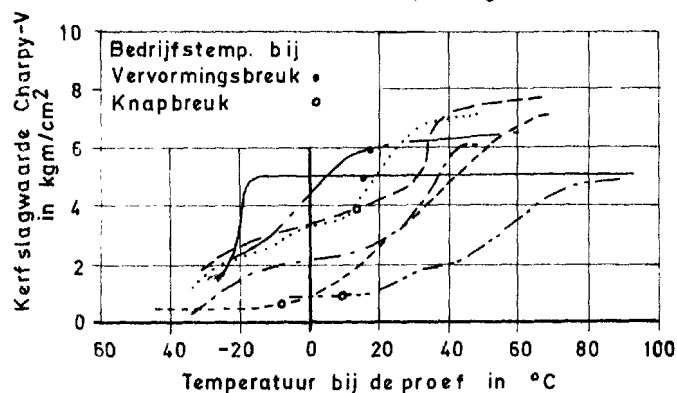


Fig. 3^b KERFSLAGWAARDE-TEMPERATUUR KROMMEN VAN VERSCHILLENDE BUIZEN IN OMTREKS-RICHTING GEMETEN BIJ ENIGE SCHADEGEVALLLEN. (Lit. 4)

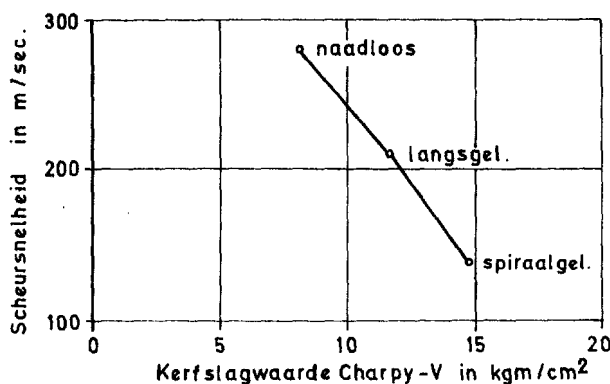


Fig. 3^c EFFECTIEVE SCHEURSNEELHEID BIJ VERSCHILLENDE KERFSLAGWAARDEN GELDIG VOOR DE BUISOMTREK. ($T = \pm 10^\circ\text{C.}$, Lit. 4)

4. Hoe liggen de verhoudingen nu bij de verschillende buistypen, die men kan onderscheiden zoals:

- 1e naadloze buizen
- 2e langsgelaste buizen
- 3e spiraalgelaste buizen

H. Lepand (Lit. 6) vond de volgende resultaten:

De vernielde buislengte hangt in de eerste plaats af van de inwendige druk.

Bij een ringspanning van 72 % van de vloeigrens werden slechts scheurlengten van ongeveer 1 m gemeten.

Een ringspanning van 80 % van de vloeigrens geeft scheuren van ongeveer 3 m.

De voortplantingssnelheid van de scheur in de buis bleek in alle gevallen lager te zijn dan de snelheid van de decompressiegolf.

De langsgelaste en naadloze buizen laten in bijna alle gevallen de in fig. 3 getekende vertakkingen van de langsscheur in richtingen van 45° met de buisas zien.

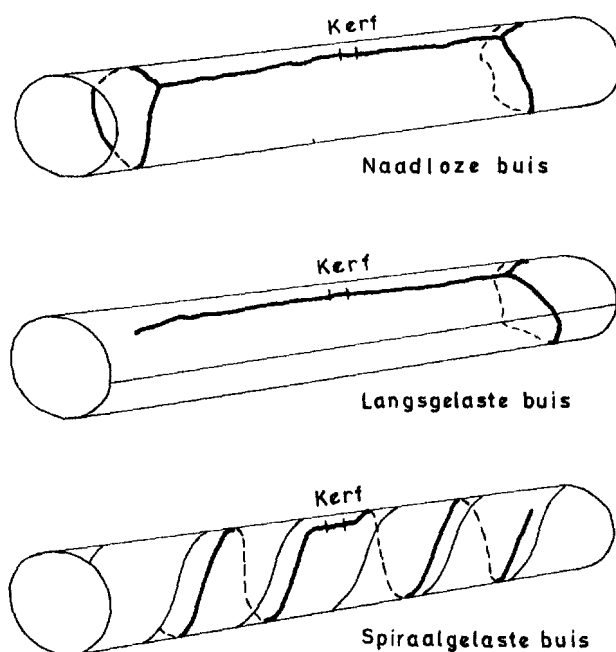


Fig. 4 SCHEURVORMING BIJ VERSCHILLENDE BUISTYPEN
(Lit. 6)

Dit effect wordt veroorzaakt door de drukvermindering in de buis bij de zich uitbreidende breuk.

Tegelijk met de scheuruitbreiding en de daarmee verbonden neg. drukgolf wordt de ringspanning steeds lager en zal gelijk worden aan de langsspanning.

De scheur zal nu onder 45° uitwijken en loopt vrijwel direct om de omtrek van de buis heen.

Het feit dat bij de proeven hoge langskrachten op de buizen werken is, volgens de onderzoeken van de A.G.A. voor de langsgelaste en naadloze buizen niet van betekenis, omdat de scheur bij deze buistypen zich het eerst in de langsrichting voortplant.

Dit werd door de proeven bevestigd.

Bij spiraalgelaste buizen traden andere scheuren op zoals uit fig. 4 blijkt.

Als belangrijk resultaat van de proeven kan worden genoemd dat onder gelijke omstandigheden bij spiraalgelaste buizen de effectieve lengte van de scheur kleiner is dan bij de twee andere buistypen.

In alle gevallen werd een zich uitbreidende scheur niet op een rondnaad afgebroken.
De scheur loopt door de rondnaad alsof deze niet aanwezig is.
Bij de Amerikaanse onderzoeken bleek dat een zich voortplantende scheur slechts dan achter een rondlas tot stilstand kwam, wanneer in het aansluitende buisgedeelte zelf de scheur zich niet meer kon voortplanten.

In fig. 5 is een overzicht gegeven van het gebied waarin genoemde proeven lagen.

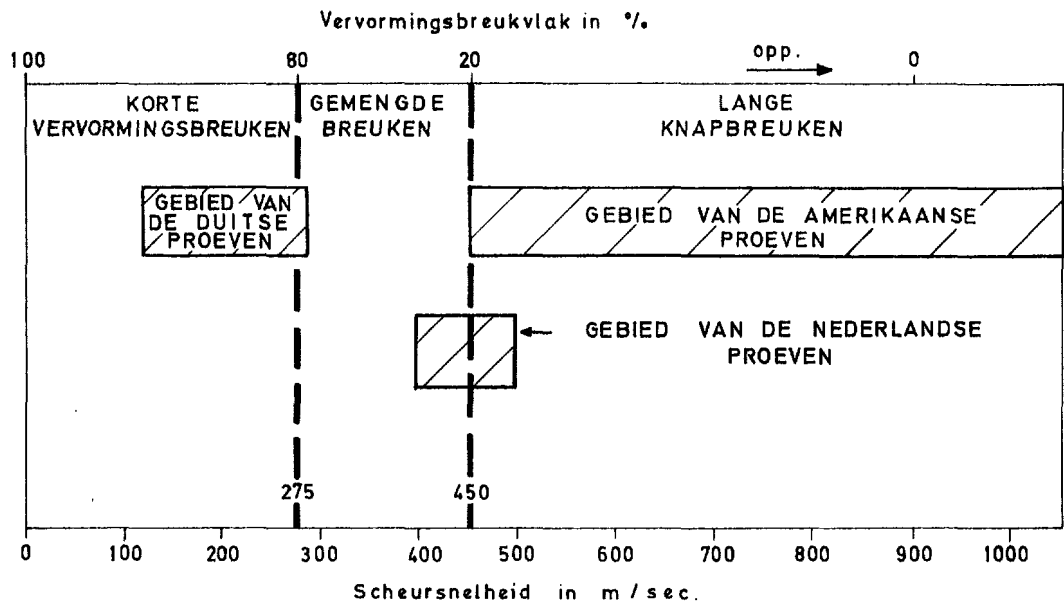


Fig. 5 OVERZICHT VAN DE SCHEURSNELHEIDSMETINGEN

De voorlopige uitkomsten van de proeven op de Maasvlakte blijken resultaten te geven die niet passen in het behandeld schema. Met name is de overeenstemming wat betreft scheurlengte met de Duitse proeven in het geheel niet aanwezig. De oorzaken hiervan zullen nog nader moeten worden onderzocht.

Ook de invloed van de verhouding tussen de ringspanning en de rekgrens van het materiaal op een eventuele scheurlengte is niet duidelijk.

Wel blijkt dat bij lagere inwendige gasdrukken bij een bepaalde materiaalsoort kleinere scheuren ontstaan.

De voortplantingssnelheid van de scheur moet dan echter wel kleiner zijn dan de snelheid van de decompressiegolf.

Conclusie:

De absolute grootte van de scheur is niet aan te geven.

Wel kan worden gezegd dat bij een grotere veiligheidscoëfficiënt

t.o.v. de vloeigrens (rekgrens) de scheurlengte kleiner zal worden.

De veiligheid bij een kruising van een leiding met een waterkering wordt dus vergroot, indien de toelaatbare inwendige druk zo laag mogelijk wordt gehouden. Dit zou o.a. kunnen worden bereikt door een leidinggedeelte met voldoende grote wanddikte aan te laten sluiten aan de veiligheidszône.

IV Bepaling van de erosiekrater bij het breken van een gasleiding
waarbij het gas gedurende enige tijd uit blijft stromen. (erosie)

De bij een breuk van een gasleiding optredende erosiekrater is afhankelijk van de grondsoort waarin de pijpleiding wordt gelegd, druk en diameter van de leiding en richting van de uitstromende gasstraal.

Veiligheidshalve kan als grondsoort los zand worden gekozen. De optredende erosiekrater zal met behulp van proeven bepaald moeten worden.

V. Grondverwekingszone

Zie bijlage 1 en 2 volgens Litt. (1)

In bijlage 1 wordt het verband gegeven tussen de piekdrukken (kgf/cm^2) in met water verzadigde bodem ($\sigma_{\text{grond}} = \sigma_{\text{water}} + \sigma_{\text{korrel}}$), de afstand (m) vanaf het explosiepunt en het ladinggewicht (kg). Er zijn lijnen voor zand, klei, vrij water (= veen) en droge grond.

In bijlage 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 (maaiveldexplosie) 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. $4/3$.

In Litt. (4) wordt ook voor veen en klei het verlies aan draagkracht aangegeven.

De resultaten zijn:

voor zand : 100% verlies aan draagkracht bij $r \leq$	2,1 L $^{1/3}$
5% verlies aan draagkracht bij $r =$	4,8 L $^{1/3}$
voor klei : 100% verlies aan draagkracht bij $r \leq$	3,2 L $^{1/3}$
5% verlies aan draagkracht bij $r =$	6,7 L $^{1/3}$
voor veen : 100% verlies aan draagkracht bij $r \leq$	20,8 L $^{1/3}$
5% verlies aan draagkracht bij $r =$	44,2 L $^{1/3}$

L = explosie-equivalent in kg T.N.T.

r in m.

Bij ondergrondse explosies moeten bovengenoemde waarden met $4/3$ worden vermenigvuldigd.

Deze waarden gelden voor explosies van springstoffen.

Zij kunnen bij het toepassen van gasleidingen aan de veilige kant worden geacht. (Trense).

Proeven ~~Maas~~vlakke.

1e proef	100% verlies aan draagkracht bij $r \leq$	17,5 m	} L = 250 kg T.N.T.
	5% verlies aan draagkracht bij $r =$	40 m	
2e proef	100% verlies aan draagkracht bij $r \leq$	8,7 m	} L = 27 kg T.N.T.
	5% verlies aan draagkracht bij $r =$	26,5 m	
3e proef	100% verlies aan draagkracht bij $r \leq$	8,7 m	} L = 27 kg T.N.T.
	5% verlies aan draagkracht bij $r =$	26,5 m	
voor 20 cm onder maaiveld.			