

Inleiding

De vlucht die de drinkwaterdistributie en de afvalwaterzuivering de laatste 10 jaar heeft aangenomen, is mede oorzaak geweest van een belangrijke verschuiving naar de toepassing van persleidingbuizen met grotere diameters. Werden eens voornamelijk buizen gelegd met een diameter tot 250 mm en was een 'grote' diameter een buis \varnothing 400 mm, nu zijn persleidingbuizen met een diameter van 1600 mm geen uitzondering meer.

De grotere diameter vraagt wel een andere



IR. J. VAN CASPEL
Eternit BV, Amsterdam

benadering wat betreft de sterkteberekening.

Was voor de diameter tot 250 mm de inwendige druk de maatgevende belasting, zo gaat bij de grotere diameters in hoofdzaak de uitwendige belasting de dikte van de buiswand bepalen, waarbij naarmate de diameter groter wordt, ook grondsoort, wijze van uitvoering en de verhouding diameter/wanddikte een steeds belangrijker invloed op de wanddikte uitoefenen.

Symbolenlijst

Symbool	Omschrijving		
a	beddingsfactor	qha	horizontale actieve gronddruk
B	horizontale beddingsconstante	qhp	horizontale passieve gronddruk
C	konstante van Terzaghi	qv	totale verticale belasting
D	inwendige diameter	qv _f	vertikale reactie bij flexibele buis
e	wanddikte romp	qv _s	vertikale reactie bij starre buis
e ₁	wanddikte spie	qv _v	vertikale verkeersbelasting met stootfactor
E _b	elasticiteitsmodulus buismateriaal	r	straal van de buis
Egr	elasticiteitsmodulus grond	rsd	zettings factor
h	hoogte van de kolom grond boven de buis	rsds	zettings factor stijve buis
he	equivalente hoogte van de kolom-grond boven de buis	S	stootfactor
I	traagheidsmoment	W	weerstandsmoment
m ₁	momenten-coëfficiënt voor de bovenbelasting	γw	volume gewicht vulling
m ₂	momenten-coëfficiënt voor de watervulling	α	halve opleghoek
m ₃	momenten-coëfficiënt voor de horizontale actieve gronddruk	γg	volume gewicht grond
m _{ys}	momenten-coëfficiënt voor de verticale belasting bij een starre buis	η	systeem stijfheidsfactor
m _{vf}	momenten-coëfficiënt voor de verticale belasting bij een flexibele buis	λd	vergrotingsfactor
m _b	momenten-coëfficiënt voor de horizontale passieve gronddruk	ρ	inwendige wrijvingshoek
n	veiligheidsfactor	σb	optredende buigspanning in wand
P	inwendige druk	σt	optredende trekspanning in wand
Pv	gelijkmatig verdeelde verkeersbelasting	-	
qgv	vertikale gronddruk	σb_0	toelaatbare buigspanning in wand indien $\sigma t = 0$
		σt_0	toelaatbare trekspanning in wand indien $\sigma b = 0$
		σb	toelaatbare buigspanning in wand indien $\sigma t \neq 0$
		σt	toelaatbare trekspanning in wand indien $\sigma b \neq 0$

Dit alles heeft er toe geleid, dat het voor de niet specialist steeds moeilijker is geworden het juiste buistype te berekenen en uitvoeringseisen vast te stellen.

Om hierin verandering te brengen geeft Eternit een tabellenboek uit. Hierin is het toepassingsgebied van de buizen gegeven van een vijftal voor Nederland maatgevende grond en uitvoeringssituaties.

Deze tabellen vereenvoudigen voor u de keuze van het juiste buistype, terwijl het tevens mogelijk wordt gemaakt de wijze van uitvoering op eenvoudige wijze bij de keuze te betrekken.

De wanddikten van de buizen zijn berekend op inwendige en uitwendige belasting.

Hierna vindt u de gebruikte berekeningsmethodiek, welke in principe opgaat voor alle soorten buizen.

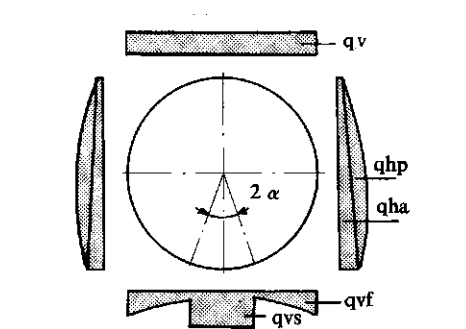
Berekeningsgrondslagen

Bij de berekening zijn de volgende fasen te onderscheiden:

1. Het vaststellen van de vorm van de uitwendige belasting op de buis of beter het krachtenspel tussen buis en grond en de daaruit voortvloeiende krachten in de buiswand.

2. Het berekenen van de grootte van de uitwendige belasting, te weten:

— verticale belasting;



Afb. 1 - Model van het krachtenspel tussen buis en grond.

— horizontale actieve gronddruk.

3. Het berekenen en de beoordeling van de in de buiswand optredende spanningen.

Het krachtenspel tussen buis en grond

Het vaststellen van dit krachtenspel is het moeilijkste deel van de berekening.

De oorzaak hiervan ligt bij de grond waarvan gedrag en eigenschappen nooit gelijk zijn.

Om dit te ondervangen moest een model worden gevonden met de volgende eigenschappen.

— Het model moest een goede en veilige benadering van de werkelijke situatie geven.

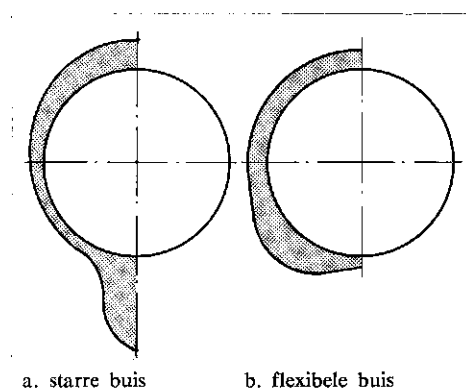
— Het model moest hanteerbaar zijn.

Een dergelijk model is weergegeven in afb. 1. Dit model is voor een groot gedeelte opgebouwd volgens een theorie van Leonhardt [1]. Deze ging uit van twee extreme omstandigheden, nl.:

- volkomen starre buis;
- volkomen flexibele buis.

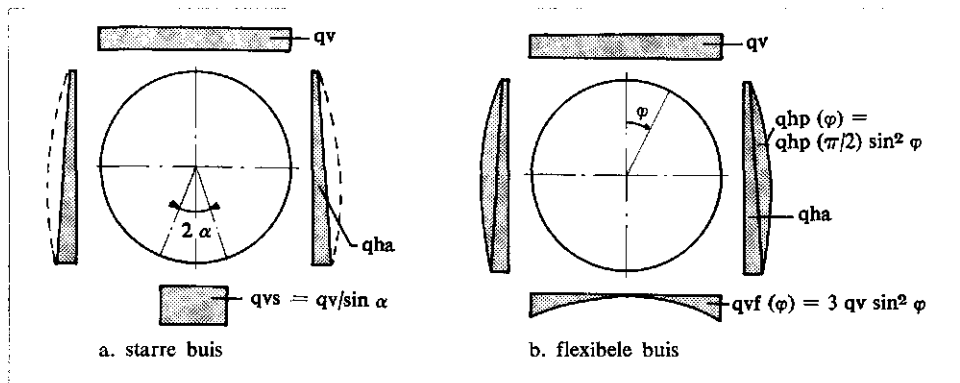
De volkomen starre buis heeft een in de voet van de buis gekoncentreerde belasting, zoals uit metingen bekend is [2, 3] (afb. 2a). De volkomen flexibele buis daarentegen brengt door zijn vervorming de spanning voornamelijk aan de zijkanten van de buis op de grond over [4, 5] (afb. 2b).

Afb. 2 - Gemeten krachtenspel buis - grond.

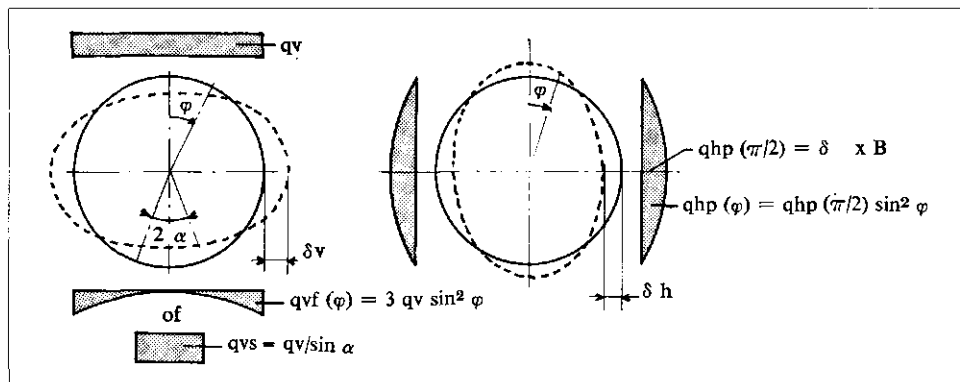


a. starre buis

b. flexibele buis



Afb. 3 - Model krachterspel buis - grond.



Afb. 4 - Vormverandering van de buis.

De modellen van deze twee extreme omstandigheden zijn in afb. 3 gegeven. De passieve horizontale gronddruk is bij de starre buis gestippeld aangegeven daar dit een voor de starre buis irreële grondreactie is. Uit het vervolg van de theorie zal de reden hiervan blijken. Het is mogelijk uit de vormverandering van buis en grond de grootte van de horizontale passieve grondreactie $qhp \left(\frac{\pi}{2}\right)$ te bepalen.

Hierin is $qhp \left(\frac{\pi}{2}\right) = \delta \times B$, waarin $\delta = \delta v + \delta h$ en B de beddingsconstante van de grond is (afb. 4).

Bij de berekening van qhp is de invloed van qha niet opgenomen. De reden hiervoor is, dat voor de actieve horizontale grondreactie kan worden aangenomen, dat hij wegvalt tegen een deel van de bovenbelasting en verticale grondreactie. Door deze alzijdige druk ontstaat slechts een drukspanning in de buiswand.

Bij de berekening is met de volledige verticale bovenbelasting, verticale steunreactie en horizontale actieve gronddruk gerekend om de invloed van de opleghoek tot uitdrukking te brengen.

De moment coëfficiënt voor bepaling van het moment in de buiswand wordt voor

deze extreme situaties gegeven door de formule:

$$m(\varphi) = \frac{M(\varphi)}{qv r^2} = m_{vi}(\varphi) + m_h(\varphi) \lambda^*$$

$$\text{met } \lambda^* = \frac{qhp}{qv}$$

Momenten coëfficiënten voor:
vertikale belasting starre buis

$$0 \leq \varphi \leq \frac{1}{2} \pi$$

$$m_{vs}(\varphi) = (-0,5 \sin^2 \varphi - 0,106 \cos \varphi (\sin^2 \alpha - 1) + 0,159 \alpha \sin \alpha + 0,239 \cos \alpha + 0,080 \frac{\alpha}{\sin \alpha} - 0,125)$$

$$\frac{1}{2} \pi \leq \varphi \leq \pi - \alpha$$

$$m_{vs}(\varphi) = (-\sin \varphi - 0,106 \cos \varphi (\sin^2 \alpha - 1) + 0,159 \alpha \sin \alpha + 0,080 \frac{\alpha}{\sin \alpha} + 0,239 \cos \alpha + 0,375)$$

$$\pi - \alpha \leq \varphi \leq \pi$$

$$m_{vs}(\varphi) = \frac{\sin^2 \varphi}{\sin^2 \alpha} (-\frac{1}{2} \frac{\sin^2 \varphi}{\sin^2 \alpha} - 0,106 \cos \varphi (\sin^2 \alpha - 1)$$

$$+ 0,159 \alpha \sin \alpha + 0,080 \frac{\alpha}{\sin \alpha} + 0,239 \cos \alpha - 0,5 \sin \alpha + 0,375)$$

vertikale belasting flexibele buis
 $0 \leq \varphi \leq \frac{1}{2} \pi$

$$m_{vf}(\varphi) = -0,5 \sin^2 \varphi - 0,085 \cos \varphi + 0,297$$

$$\frac{1}{2} \pi \leq \varphi \leq \pi$$

$$m_{vf}(\varphi) = -0,25 \sin^4 \varphi - 0,085 \cos \varphi + 0,047$$

Passieve horizontale gronddruk
 $0 \leq \varphi \leq \pi$

$$m_h(\varphi) = -0,25 \sin^4 \varphi - 0,333 \cos^2 \varphi (2 + \sin^2 \varphi) + 0,470$$

Uit de vormveranderingsvergelijking volgt voor λ^* :

starre buis

$$\lambda^* = \frac{\epsilon}{\eta + 0,070}$$

flexibele buis

$$\lambda^* = \frac{0,064}{\eta + 0,070}$$

waarin ϵ een functie is van de opleghoek 2α
 $\epsilon = -0,083 \sin^2 \alpha + 0,159 \alpha \sin \alpha + 0,239 \cos \alpha + 0,08 \frac{\alpha}{\sin \alpha} - 0,209$

en η de systeem stijfheid van grond en buis voorstelt

$$\eta = \frac{E_b I}{r^4 B}$$

Het verloop van de momentcoëfficiënten voor deze extreme situaties is voor de voet van de buis in afb. 5 met stippellijnen gegeven als functie van η .

De getekende stippellijn voor de starre buis is die bij een opleghoek van $2 \alpha = 60^\circ$.

De in afb. 5 getekende stippellijnen zijn irreëel daar voor de volledig starre en volledig flexibele buis theoretisch resp. $\eta = \infty$ en $\eta = 0$ geldt. Praktisch liggen deze waarden bij resp. $\eta \geq 10$ en $\eta \leq 0,01$.

De reële momentcoëfficiënten als functie van η liggen tussen de beide stippellijnen. Leonhardt stelt dat het niet zondermeer mogelijk is de belastingsfunctie van de tussenliggende gevallen aan te geven. Wel geeft hij aan, dat een goede benadering wordt verkregen met de in afb. 5 getrokken lijn.

Deze lijn, die in de praktijk voldoet, ontstaat onder de volgende aannamen.

— Er bestaat een rechtlijnig verband tussen de flexibele verticale ondersteuning $q_{vf}(\pi/2) = 3 qf$ en de horizontale passieve steundruk $q_{hp}(\pi/2)$, nl. $qf = \beta \cdot q_{hp}(\pi/2)$.

— De totale bovenbelasting wordt gedragen door de starre en de flexibele ondersteuning $q_v = q_f + q_s$ (zie afb. 6).

— Als randvoorwaarden gelden:

- $\eta = \infty$ voor volkomen starre buis.
- $\eta = 0$ voor volkomen flexibele buis.

Uit deze aannamen volgt dat de momenten-coëfficiënt voor de verticale belasting wordt bepaald met de formule:

$$m_1(\varphi) = m_{vs}(\varphi)(1 + \beta \lambda^*) + m_{vf}(\varphi) \cdot \beta \cdot \lambda^* + m_h(\varphi) \lambda^*$$

waarin

$$\beta = \frac{3,29 + 70 m_{vs}(\varphi) + 1000 m_h(\varphi) \cdot \varepsilon}{6,4 m_{vs}(\varphi) - 1000 m_{vf}(\varphi) \cdot \varepsilon - 47 \cdot \varepsilon + 3}$$

terwijl voor de tussenliggende gevallen

$$\lambda^* = \frac{\varepsilon}{\eta + 0,07 + \beta \cdot \varepsilon - \beta \times 0,064}$$

De lijnen van de momentcoëfficiënten in de voet van de buis, als functie van η , zijn bij de verschillende aanvangsoplegghoeken 2α gegeven in afb. 7.

De momenten coëfficiënten voor bepaling van het moment t.g.v. de vulling van de buis (m_2) en de horizontale actieve grond-druk (m_3) worden gegeven in tabel I.

TABEL I.

m_1	m_2	m_3
0,2921	0,28	
0,2922—0,3690	0,40	— 0,25
0,3691—0,4681	0,56	
> 0,4681	0,70	

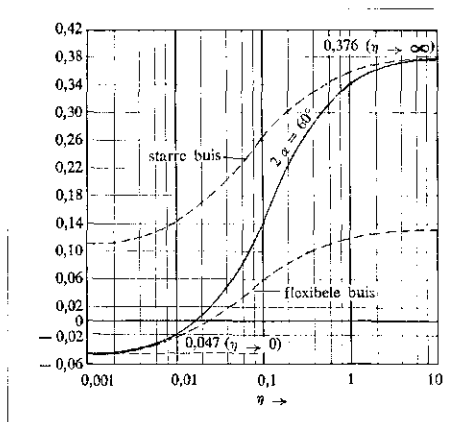
De waarden m_2 zijn gezien de geringe invloed slechts bij benadering gegeven. Het totale moment in de buiswand wordt

$$M = (m_1 \cdot q_v + m_2 \cdot q_w + m_3 \cdot q_{ha}) \left(\frac{D+e}{2} \right)^2$$

waarin $q_v = q_{gv} + q_{vv}$ en $q_w = \frac{D}{2} \times \gamma w$

Vertikale belasting

De verticale belasting q_v bestaat uit de



Afb. 5 - Momenten coëfficiënt in voet van de buis ($2\alpha = 60^\circ$).

vertikale grondbelasting, eventueel vermeerderd met de verkeersbelasting.

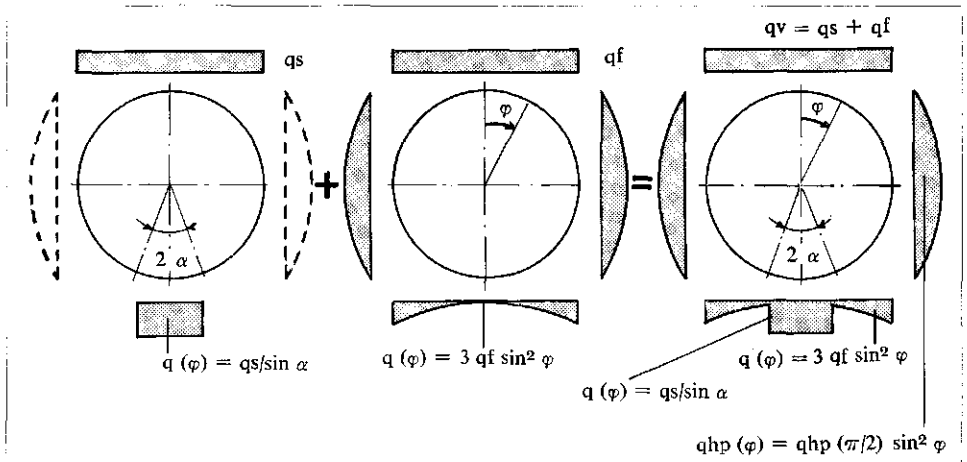
Vertikale gronddruk

De grootte van de verticale gronddruk q_{gv} kan bepaald worden m.b.v. de theorie van Marston.

Deze theorie onderscheidt 3 situaties, nl.:

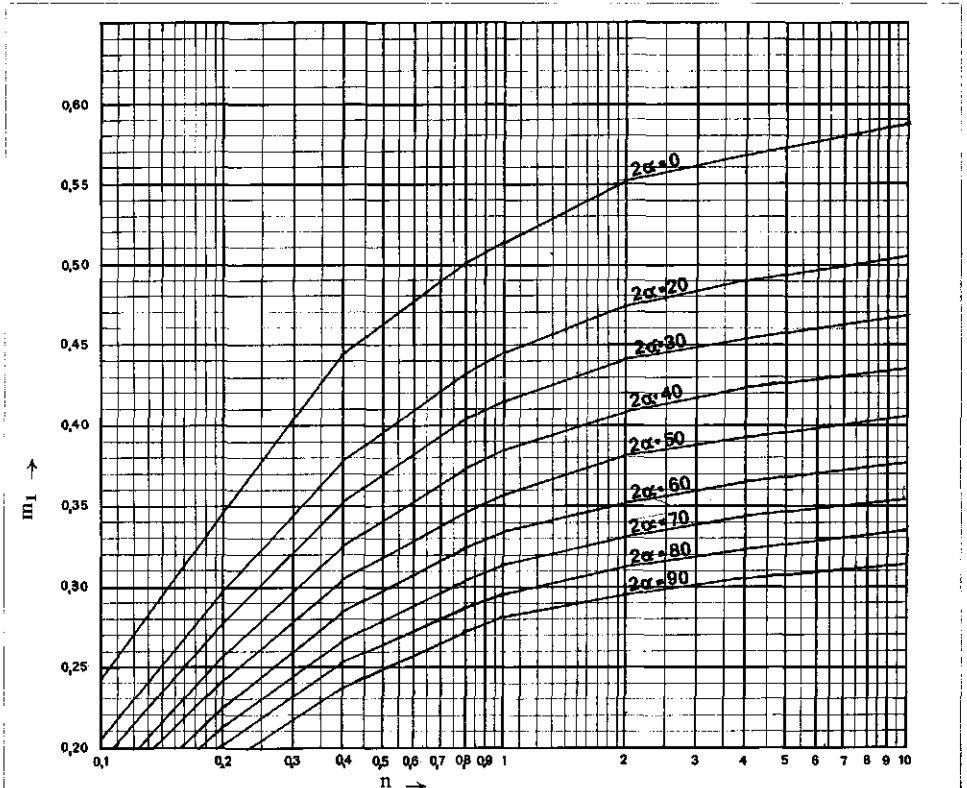
- a. buis heeft grotere stijfheid dan de kolommen grond naast de buis (afb. 8 a);
- b. buis en kolommen grond naast de buis hebben gelijke stijfheid (afb. 8 b);
- c. buis heeft kleinere stijfheid dan de kolommen grond naast de buis (afb. 8 c).

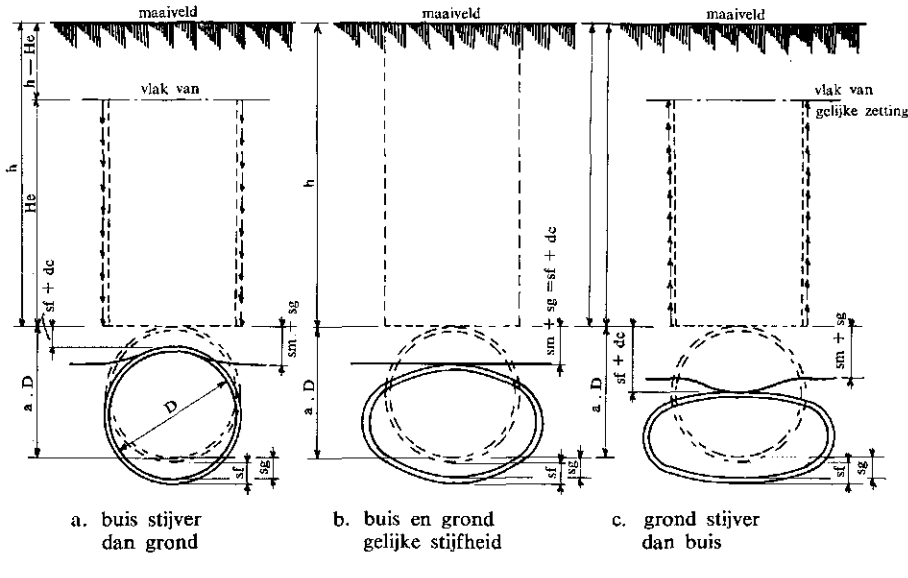
Marston leidde hieruit formules af voor



Afb. 6 - Sommatie starre en flexibele ondersteuning.

Afb. 7 - Momentcoëfficiënten m_1 in de voet van de buis.





Afb. 8 - Invloed stijfheidsverhouding buis/grond op grond boven de buis.

bepaling van de verticale grondbelasting op de buis.

Deze formules zijn:

$q_{gv} = \lambda d \times \gamma g \times h$ waarin,

$\lambda d =$

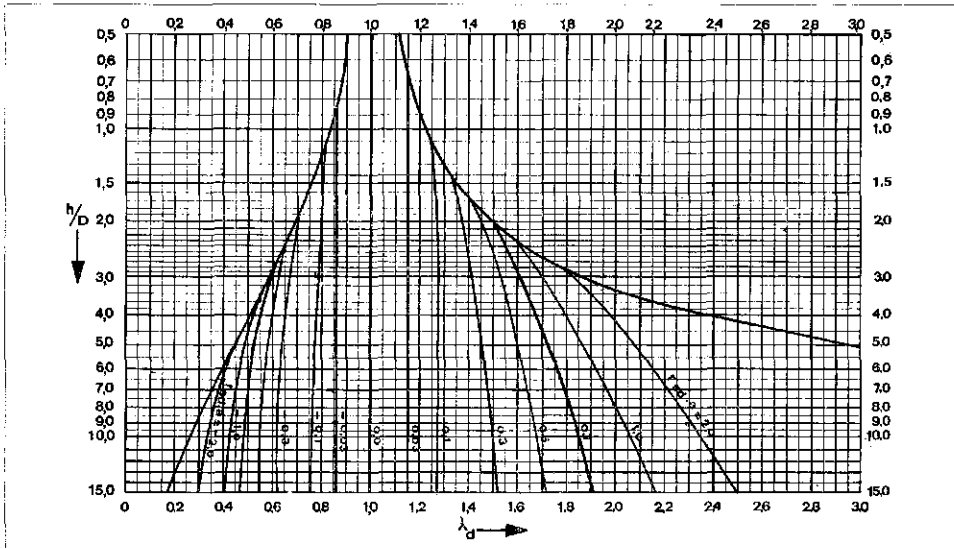
$$\left[\frac{\pm 2 k \mu \frac{He}{D} - 1}{\pm 2 k \mu} + \left(\frac{h+He}{D} \right) e \right] \frac{\pm 2 k \mu \frac{He}{D}}{h}$$

Een veel gebruikte formule om de grootte van He vast te stellen is:

$$\frac{\pm 2 k \mu \frac{He}{D}}{e} \pm 2 k \mu \frac{He}{D} = rsd \times a \times 2 k \mu + 1$$

He moet hieruit proberenderwijs worden opgelost.

Afb. 9 - Bepaling van factor λ_d (volgens Roske).



$$rsd = \frac{(sm + sg) - (sf + dc)}{sm} = \text{stijfheidsverhouding buis/grond}$$

$$k = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\rho}{2} \right) = \text{horizontale gronddruk}$$

$$\mu = \text{tg } \rho = \text{wrijvingscoëfficiënt van de grond}$$

$$a = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \alpha \right) = \text{beddingsfactor}$$

In deze formules staan de plustekens voor geval a en de mintekens voor geval c, terwijl voor geval b, $\gamma d = 1$ geldt.

Deze theorie wordt bevestigd door onderzoeken van Marston/Spangler, Guerrin/Daniel, Wetzorke en Roske [2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Roske [7] heeft bovenstaande onhanteerbare

formules tot een eenvoudige grafiek verwerkt (afb. 9).

Naar de grootte van de rsd waarde zijn diverse onderzoeken gedaan. Spangler [13] geeft hiervoor tabel II.

TABEL II.

stijve buis op starre fundering (onderheid)	rsd = 1
stijve buis op normale grond	rsd = 0,5 tot 0,8
stijve buis op slappe grond	rsd = 0 tot 0,5
flexibele buis	rsd = -0,2 tot +0,8

De faktor rsd kan nauwkeuriger worden bepaald met de formule

$$rsd = r_{sds} - \frac{dc}{sm} \text{ waarin:}$$

$$r_{sds} = \frac{sm + sg - sf}{sm}$$

(dc = 0, rsd waarde bij stijve buis)

De formule voor de vervorming van de buis luidt

$$dc = \frac{0,1 \times q_v \times D \times r^3}{E_b \cdot I}$$

terwijl de vervorming van de grondkolom naast de buis kan worden bepaald met de formule van Terzaghi

$$sm = \frac{a \cdot D}{C} \ln \left(1 + \frac{pl}{po} \right) = \frac{a \times D}{C} \ln \left(1 + \frac{2h}{D} \right)$$

De volgende waarden voor C kunnen worden aangehouden

zand	50—400
leem	20— 50
klei	10— 20
veen	3— 10

Hoewel rsd negatief kan worden, hetgeen betekent dat de buis minder wordt belast dan de kolommen grond naast de buis (geval afb. 8 c), houden we als minimumwaarde rsd = 0 aan (geval afb. 8 b). De reden hiervoor is dat door verschil in zetting de belasting op de buis in geval 8 c kan toenemen.

Verkeersbelasting

De grootte van de verkeersbelasting wordt berekend met de formule van Boussinesq [14]

$$p_v = \frac{3p}{2\pi R^2} \cos^3 \beta \text{ (zie afb. 10)}$$

De puntbelastingen zijn die volgens VOSB klasse 30, 45, 60 en het laststelsel als in afb. 10 getekend.

In afb. 10 zijn de belastingen door verkeer als functie van de diepte voor de verschillende klassen gegeven.

Tot 1 m dekhoogte treedt de maximale belasting onder punt B op.

Bij grotere dekhoogten kan worden aangenomen, dat de maximale belasting onder punt A optreedt (zie afb. 10).

De totale verkeersbelasting met stootcoëfficiënt wordt berekend met de formule

$$q_{vv} = P_v \times S$$

waarin $S = (1 + \frac{0,3}{h})$, stootcoëfficiënt.

De zwaarste in Nederland voorkomende verkeersbelasting is die volgens klasse 30. Voor de klassen 45 en 60, zeer zwaar verkeer, dat slechts onder bijzondere omstandigheden op de weg komt, is aangenomen dat minimaal een eenvoudig wegdek aanwezig is.

Volgens Brandt [15] kan dit in rekening worden gebracht door de dekhoogte te verhogen. Als eenvoudig wegdek is een klinkerdek aangenomen. Dit houdt in dat bij een werkelijke dekhoogte h, de belasting P_v kan worden bepaald bij een dekhoogte van h + 0,4 m.

Horizontale actieve grondbelasting

De horizontale actieve grondbelasting volgt uit de formule

$$q_{ha} = (h + \frac{1}{2}D) \times \gamma \times g \times (1,5 - \frac{\lambda d}{2}) \times \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\rho}{2})$$

De invloed van λd blijkt uit afb. 11.

Spanning in buiswand

De buigspanning in de buiswand t.g.v. het moment is, voor de eternitbuis maximaal in de voet van de buis en bedraagt

$$\sigma_b = \frac{M}{W}$$

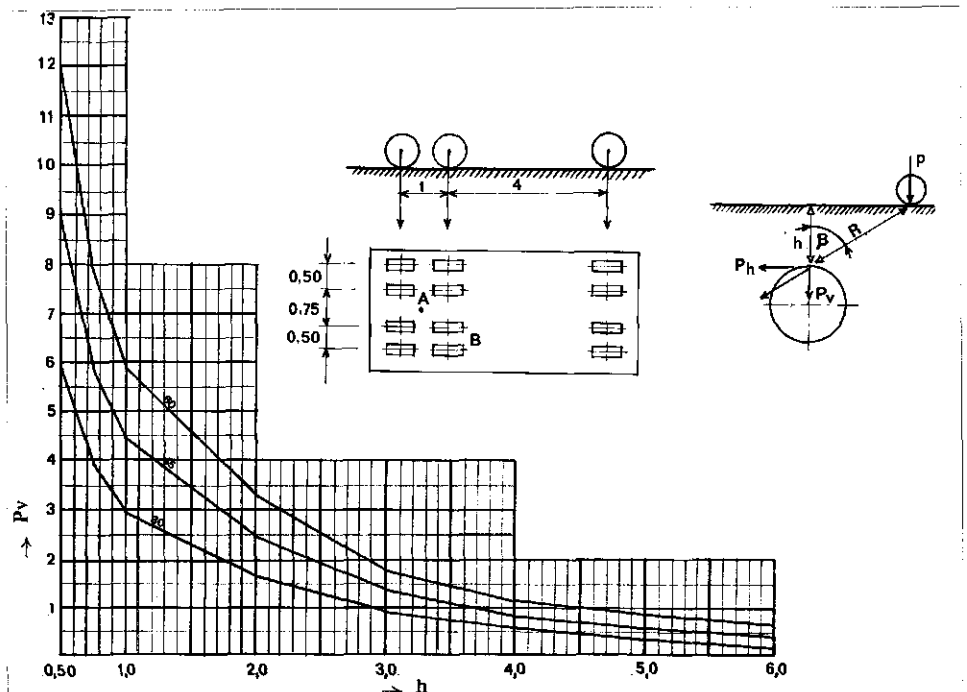
$$W = 1/6 e^2$$

Het totaal moment bestaat uit het moment t.g.v. bovenbelasting, zijdelingse gronddruk en watervulling.

Ten gevolge van inwendige druk ontstaat in de buiswand een trekspanning.

$$\sigma_t = \frac{P \times D}{2 \times e_1}$$

De normaalkracht t.g.v. de uitwendige



Afb. 10 - Verkeersbelasting volgens VOSB.

belasting is zeer gering en kan worden verwaarloosd.

Beoordeling van spanningen

De aard van het materiaal heeft tot gevolg, dat de toelaatbare spanningen bij zuivere trek en buiging duidelijk van elkaar verschillen.

Schlick [16] heeft langs empirische weg de volgende relatie gevonden

$$\sigma_b = \sigma_{bo} \sqrt{\frac{\sigma_t - \sigma_t}{\sigma_t}}$$

$$\sigma_t = \sigma_t (1 - (\frac{\sigma_b}{\sigma_{bo}})^2)$$

De buig- en trekspanningen moeten voldoen aan de voorwaarden

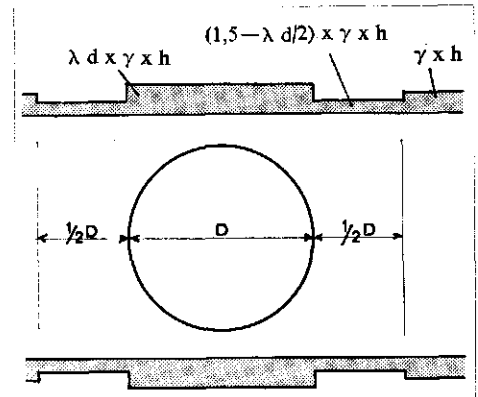
$$\sigma_b \times n \leq \sigma_b$$

$$\sigma_t \times n \leq \sigma_t$$

TABEL III - Grond en uitvoeringstypen.

groep	grondsoorten	ondergrond buis	grond naast buis
I	zware klei *	losmaken	geen eisen
II	slappe grond (veen, slappe klei)	geen eisen	geen eisen
III	kohesieve zanderige grond	losmaken	geen eisen
IV	kohesieve zanderige grond niet kohesieve zanderige grond	losmaken losmaken	laagsgewijze verdichting geen eisen
V	niet kohesieve zanderige grond	losmaken	laagsgewijze verdichting

* Indien in zware kleigrond grondverbetering wordt toegepast kan de buis worden berekend volgens groep III, IV of V.



Afb. 11 - Invloed λd op horizontale grondbelasting.

De toelaatbare spanningen en veiligheidscoëfficiënten zijn die volgens het normblad Nen 3262 [17].

Berekeningsaannamen

Om tabellarisatie van het toepassingsgebied van Eternit-buizen mogelijk en zinvol te maken hebben wij de in Nederland meest voorkomende grondsoorten en uitvoeringswijzen in vijf groepen ingedeeld (tabel III).

TABEL IV - Grond en uitvoeringsgegevens.

grond- soort en uit- voering	volum- gewicht KN/m ³	inwen- dige wrijvings- hoek ρ	rsds waarde	C waarde	Egr waarde N/mm ²	opleg- hoek 2 α = 2 α ₁ + 2 α ₂ 2 α < 90°
I	20	20	0,5	10	0	$\left(\frac{\alpha_1 \times \pi}{180} - \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1\right) D = 0,041, \alpha_2 = 0$
II	15	20	0,5	0	0	α ₁ = 45°, α ₂ = 0
III	18	30	0,5	100	2	$\left(\frac{\alpha_1 \times \pi}{180} - \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1\right) D = 0,082, \alpha_2 = 0$
IV	18	30	0,5	150	3	$\left(\frac{\alpha_1 \times \pi}{180} - \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2\right) D = 0,082$
V	18	30	0,5	300	6	α ₂ = 24,3 $\left(\frac{1 - D}{D}\right)$ (alleen voor D < 1,00)

Per groep hebben wij de volgende grond en uitvoeringsgegevens aangenomen (tabel IV).

Terwijl de gegevens volume gewicht en inwendige wrijvingshoek nauwelijks uitleg behoeven, vragen de verdere gegevens mogelijk enige verklaring.

rsds waarde

De rsd waarde voor stijve buizen, varieert in normale grond van 0,5 - 0,8. Aangezien spanningsverschillen in de slappe grond zettingen tot gevolg zullen hebben, welke de buis ontlasten is in geval II rsds = 0,5 aangehouden (afb. 12).

In de gevallen I en III t/m V is aangenomen, dat de grond onder de buizen wordt losgemaakt. Ten opzichte van de grond naast de buis is deze grond slap: de hiervoor geldende rsd waarde voor stijve buizen varieert tussen 0 - 0,5.

In deze gevallen is voor rsds de maximale waarde 0,5 aangehouden.

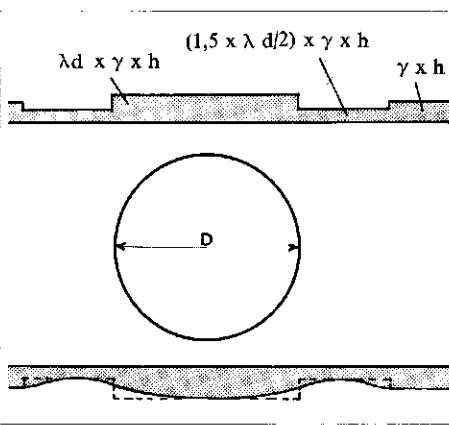
De konstante van Terzaghi en de elasticiteitsmodulus

De C- en E-waarde zijn direkt van elkaar afhankelijk. De E-waarde van de grond geldt slechts voor kleine spanningsverschillen daar de elasticiteitsmodulus van grond de wet van Hooke niet volgt.

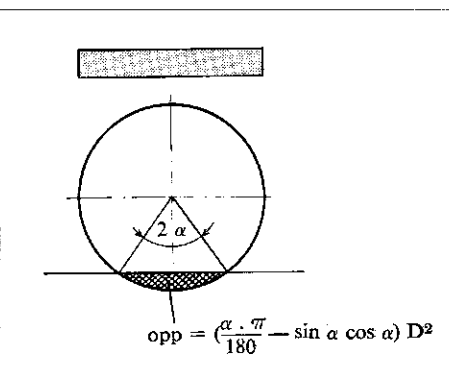
Volgens Leonhardt kan de beddings-konstante van de grond naast de buis worden bepaald met de formule

$$B = 0,6 \times \frac{Egr}{r}$$

Voor de E-waarde zijn de ATV [18] richtlijnen aangehouden. Aangezien bij bepaling van de rsd faktor het gedrag van grond over een grotere hoogte geldt, met name bij de grotere diameters is het in dit geval beter te rekenen met de logaritmische

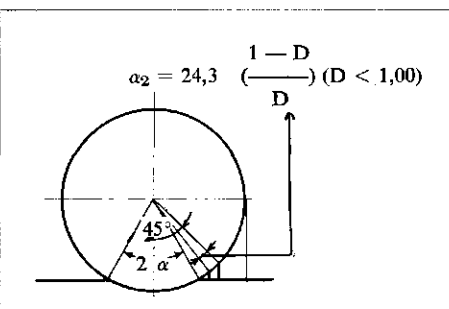


Afb. 12 - Spanningsherverdeling in slappe grond.



Afb. 13.

Afb. 14.



samendrukkingswet van Terzaghi.

De C-waarden zijn vastgesteld op basis van de E-waarden uit de ATV richtlijnen.

Aanvangsopleghoek

De aanvangsopleghoek wordt gevormd door de indringing van de belaste buis in de grond en eventueel een vergroting van de opleghoek bij de aanvulling.

De opleghoek door indringing wordt gevonden met de formule

$$\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180} - \sin \alpha \cos \alpha\right) D = \frac{q}{A} \quad (\text{zie afb. 13})$$

Deze formule is voor de grote diameters aan de veilige kant, daar de beddingsfaktor A konstant is aangenomen. In werkelijkheid zal A afnemen naarmate de diameter groter wordt.

Voor de faktor $\frac{q}{A}$ is in de groepen III t/m

V aangenomen, dat een buis Ø 900 mm een minimale opleghoek van 60° krijgt, terwijl in groep II de faktor A als benadering tweemaal zo groot is aangenomen. Bij aanvulling in slappe grond wordt de buis over de volle 180° ondersteund.

Voor de berekening is als maximale opleghoek 2 α = 90° aangehouden.

Wanneer naast de buis wordt verdicht, kan de invloed van deze verdichting op de opleghoek worden benaderd met de formule

$$\alpha_2 = 24,3 \left(\frac{1 - D}{D}\right), (D < 1,00) \quad (\text{zie afb. 14})$$

Bij het opstellen van deze formule is er van uitgegaan dat bij aanvulling in lagen van 30 cm en een spreidingshoek van 60° de verdichting slechts over de buitenste 15 cm van invloed is.

In geen geval is een opleghoek 2 α > 90° aangehouden, waarbij de passieve steundruk dan is verwaarloosd.

Literatuur

1. Leonhardt, G. Einfluss der Bettungssteifigkeit auf die Tragfähigkeit und die Verformungen von flexiblen Rohren Strasse Brücke Tunnel. Heft 3/1972 Seiten 63-68. Verlag Wilhelm Ernst und Sohn. 1 Berlin 31.
2. Spangler, H. G.: The supporting strength of rigid pipe culverts. Iowa Eng. Exp. Station 1933, Bull. Nr. 112.
3. Pettibone, H. C. und Howard, A. K.: Distribution of soil pressures on concrete pipe. Proc. ASCE July 1967, S. 85-102.
4. Howe, H., Nöthen, P. H. und Unger, P.: Berechnungsgrundlagen für erdverlegte PVC-Entwässerungsleitungen. Rohre, Rohrleitungs-transport 5 (1966), H4, S. 191-200.
5. Klöppel, K.: Untersuchung des Tragsverhaltens

Mededelingen

eines Multi-Plate-Brückenrohres. Versuchsbericht Nr. 9/64 des Inst. für Statik und Stahlbau der T.H. Darmstadt.

6. Wetzorke, M. *Ueber die Bruchsicherheit von Rohrleitungen in parallelwandigen Gräben*. 1960.

7. Roske, K. *Betonrohre nach Din 4032*.

8. Guerrin, A. et Daneil, G., *Le calcul des Tuyaux en Béton armé et non armé*.

9. Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band 1, Berlin - München 1967.

10. Voellmy, A., *Die Bruchsicherheit eingebetteter Rohre*, Zürich 1936.

11. Wagenmaker, F., *Berekening van ondergrondse leidingen*. 'Polytechnisch Tijdschrift' editie Bouwkunde Water- en Wegenbouw nr. 17, 1968.

12. Jong, J. A. de, *De draagkrachtproblematiek van ingegraven flexibele buizen*. 'Polytechnisch Tijdschrift', editie Bouwkunde Water- en Wegenbouw 4-1-1967.

13. Spangler, H. G., Handy, R. L.: *Soil Engineering*. New York, 1973.

14. Boussinesq, *Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et des mouvement des solides élastiques*, Parijs 1885.

15. Brandt, H.: 'Die Spannungsermittlung im Mehrschichtensystem', *Der Bauingenieur*, Heft 2, 1970.

16. Schlick, W. J. *Supporting Strengths of Cast-Iron Pipe for Water and Gas service*. Bulletin 146. Iowa State College, Ames Iowa, 1940.

17. NEN 3262 'Kwaliteitseisen voor asbestcement-buizen en bijbehorende koppelingen bestemd voor transport onder druk van drinkwater, rioolwater dan wel gas', 1969.

18. ATV - Abwassertechnische Vereinigung e.V. *Richtlinien für die Berechnung von Entwässerungskanälen und leitungen*. Bonn (1975).

