

BOCHTVERSTERKINGEN BIJ PERSLEIDINGEN: Het bepalen van het aantal trekvast koppelingen

ir. D. GUNST, e.a. ingenieur, W.Z.K. Oostende
ir. L. TOUSSEYN, SECO Brussel

Probleemstelling

De opname van de krachtswerkingen in een bocht van een persleiding kan op verschillende wijzen geschieden. Ofwel door:

- het aanbrengen van stootmassieven onder de vorm van een betonmassief, een damplankenscherm of een paalkonstruktie met op steek geheide palen;
- het voorzien, aan weerszijden van het bochtstuk, in een aantal trekvast verankerde koppelingen;
- een combinatie van beide voorgaande.

Het is de bedoeling in wat volgt dieper in te gaan op het probleem van de opname van de krachtswerkingen in een bocht van een persleiding door aan weerszijden van de bocht te voorzien in een aantal trekvast koppelingen.

De dimensionering van de bochtversterkingen is een zaak, die voor elk specifiek geval opnieuw moet worden berekend. Hierbij dient de ontwerper aandacht te hebben voor de volgende veranderlijken:

- de aard van de grond
- de wijze van aanvullen
- de wijze van beproeven
- de grondwaterstand
- het materiaal van de leiding
- de bochtconfiguratie
- de funderingswijze
- de inwendige druk

Al deze factoren maken het probleem relatief kompleks, zodat voor een aantal specifieke gevallen de hiernavolgende eindformule niet zonder meer kan worden toegepast. De opgebouwde gedachtengang kan in deze gevallen als leidraad dienen.

Stabiliteit van een bocht

De aktiekrachten op een bocht zijn

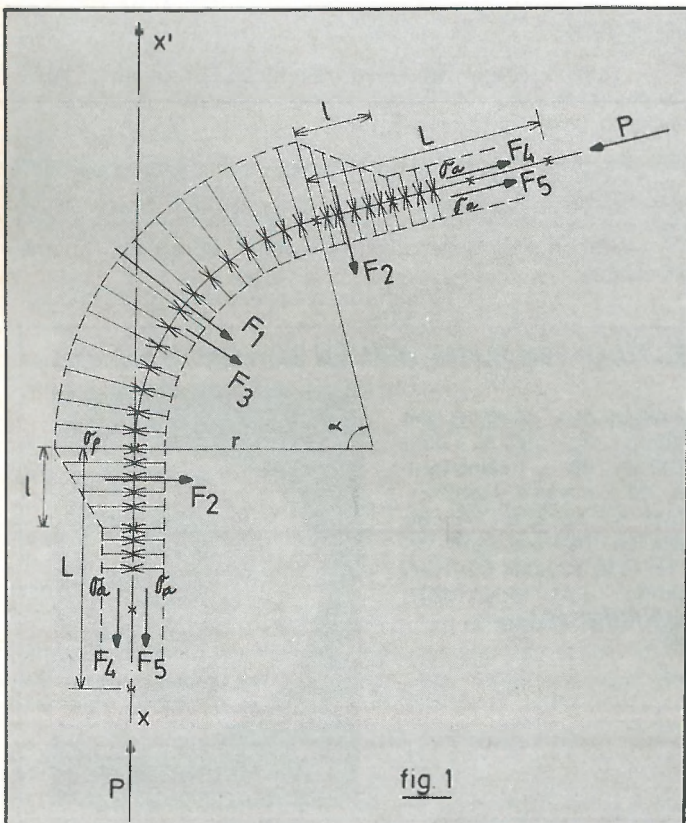


fig 1

$P = p \cdot S$ waarbij p = druk in de leiding (N/m^2)

$$S = \frac{\pi D_i^2}{4}$$

D_i = inwendige diameter van buis (m)

De reaktiekrachten die zich ontwikkelen zijn:

- F_1 = de resultante van de steundrukken van het in de bocht gelegen gedeelte.
- F_2 = de resultante van de steundrukken op de eerste rechte buis aanliggend aan de bocht.
- F_3 = de resultante van de wrijving in het basisvlak van de buis of van de buisfundering van het in de bocht gelegen gedeelte.
- F_4 = de resulterende zijdelingse wrijving op de buis in de rechte gedeeltes.
- F_5 = de resultante van de wrijving in het basisvlak van de buis of van de buisfundering in de rechte gedeeltes.

a) krachten F_1 en F_2

Deze krachten worden veroorzaakt door de gronddruk tegen de buizen over een hoogte gelijk aan de buitendiameter van de buis. Deze hoogte kan groter zijn indien een stootmassief gerealiseerd wordt.

De gronddruk die hier wordt aangenomen is de passieve gronddruk, verminderd met de actieve gronddruk, berekend op een diepte overeenstemmend met het midden van de buis.

$$\sigma_p - \sigma_a = H \cdot \gamma \cdot g \left(\tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) - \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \right)$$

H = de hoogte van het midden van de buis tot het niveau van aanvullen.

σ_g = het soortelijk gewicht van de grond.

φ = de hoek van inwendige wrijving van de grond.

Er wordt aangenomen dat aan de drukzijde van de bocht, de passieve gronddruk zich volledig manifesteert over gans het bochtstuk tot de eerste trekvast koppeling. Tussen deze verbinding en de eerstvolgende wordt een lineaire vermindering verondersteld tot de actieve gronddruk.

Deze veronderstelling is gebaseerd op de wijze waarop het systeem zich o.i.v. de krachtswerkingen in de bocht gaat verplaatsen. Hoewel deze veronderstelling een functie is van de aard van het materiaal van de buis en de daarbijhorende verbinding is het bij de meeste buistypes zo dat kan worden aangenomen dat het bochtstuk op zichzelf voldoende stijf is om zich als één geheel lateraal te verplaatsen en de passieve gronddruk aldus op haar volledige lengte op te wekken. Ter hoogte van de eerste verbinding is de verplaatsing van het buiseinde van de eerste rechte buis identiek, maar wordt nihil verondersteld bij het andere buiseinde.

$$F_1 = \int_{-\frac{\alpha}{2}}^{\frac{\alpha}{2}} (\sigma_p - \sigma_a) \cdot D_u \cdot r \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha$$

$$F_1 = 2 \cdot (\sigma_p - \sigma_a) \cdot D_u \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

$$F_2 = \frac{1}{2} (\sigma_p - \sigma_a) \cdot D_u \cdot l \quad (2)$$

D_u = de uitwendige diameter van de buis

r = de kromtestraal van de bocht

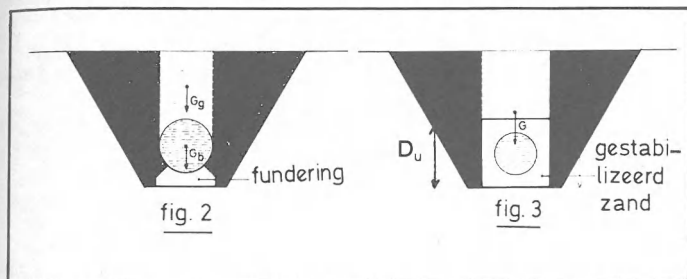
α = de openingshoek van de bocht in radialen

l = de lengte van 1 buis.

b) resulterende wrijving F_3 in de bocht

Tengevolge van de verplaatsing zoals beschreven hierboven, ontstaan wrijvingskrachten in de zin tegengesteld aan de verplaatsing. Deze wrijvingskrachten werken in het basisvlak van de buis of van de basisfundering.

$$F_3 = \mu G \alpha r = \mu (G_g + G_b) \cdot \alpha r \quad (3)$$



G_g = Het gewicht per strekkende meter van de aanvullingsgrond, rekening houdend met de grondwaterstand, of omwille van de proefopstelling met de gedeeltelijke sleufaanvulling. Het kan noodzakelijk zijn de berekening te maken voor verschillende omstandigheden (proefopstelling — in gebruik).

G_b = Het gewicht per strekkende meter van de buis gevuld met water, eventueel te verminderen met de opwaartse waterdruk.

μ = De wrijvingscoëfficiënt buis-grond of grond-grond. Deze komt in de meeste grondsoorten overeen met $\tan \varphi$, waarbij φ de hoek van inwendige wrijving is.

vb. — middelmatig gepakt zand $\varphi = 30^\circ$

— klei $\varphi = 20^\circ$

— in geval van met water verzadigde klei kan de coëfficiënt $\mu = 0,1$ bedragen.

c) resulterende wrijving F_4

Onder invloed van de verplaatsing, en door de aanwezigheid van enerzijds de verhoogde zijdelingse druk op de eerste buis naast de bocht, en anderzijds de actieve gronddruk over de lengte L ontstaat een zijdelingse wrijvingskracht.

$$F_4 = 2 \cdot \mu \cdot L \cdot D_u \cdot \sigma_a + \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot l \cdot D_u \cdot (\sigma_p - \sigma_a) \quad (4)$$

Opmerking

Indien de buis gefundeerd en/of omhuld is met zandcement of mager beton controleert men de wrijving in de vlakken buis-zandcement en zandcement-grond. In dit laatste geval mag, bij de begroting van de wrijvingskrachten het gewicht van het zandcement in rekening gebracht worden in de factor G van de formule (3) en de hoogte D_u^* i.p.v. D_u in de formule (4).

d) resulterende wrijving F_5

F_5 is de wrijving die ontstaat in het basisvlak onderaan de persleiding of onderaan de fundering. Deze kracht manifesteert zich aan beide zijden van de bocht over een lengte L .

$$F_5 = \mu \cdot G \cdot L$$

$$F_5 = \mu \cdot (G_g + G_b) \cdot L$$

Door de projectie van de verschillende krachten op de xx' -as ontstaat volgende evenwichtsvergelijking.

$$P - P \cos \alpha - 2(\sigma_p - \sigma_a) \cdot r \cdot D_u \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2} \cdot (\sigma_p - \sigma_a) \cdot D_u \cdot l \cdot \sin \alpha$$

$$- \mu \cdot G \cdot \alpha \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha}{2} - 2 \cdot \mu \cdot L \cdot D_u^* \cdot \sigma_a - \frac{1}{2} \mu \cdot l \cdot D_u \cdot (\sigma_p - \sigma_a)$$

$$+ 2 \cdot \mu \cdot L \cdot D_u^* \cdot \sigma_a \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} \mu \cdot l \cdot D_u \cdot (\sigma_p - \sigma_a) \cos \alpha$$

$$- \mu \cdot G \cdot L + \mu \cdot G \cdot L \cdot \cos \alpha = 0$$

Stel :

$$A = P(1 - \cos \alpha) - 2(\sigma_p - \sigma_a) \cdot r \cdot D_u \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2} \cdot D_u \cdot$$

$$l(\sigma_p - \sigma_a) \cdot \sin \alpha - \mu \cdot G \cdot \alpha \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2} \mu \cdot l \cdot D_u$$

$$(1 - \cos \alpha) \cdot (\sigma_p - \sigma_a) \quad (6)$$

$$B = \mu \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (G + 2 \cdot D_u^* \cdot \sigma_a) \quad (8)$$

$$\text{Daaruit volgt : } L = \frac{A}{B}$$

L is de lengte over dewelke de koppelingen tussen de opeenvolgende buizen trekvast dienen verankerd te zijn.

Veiligheidscoëfficiënt

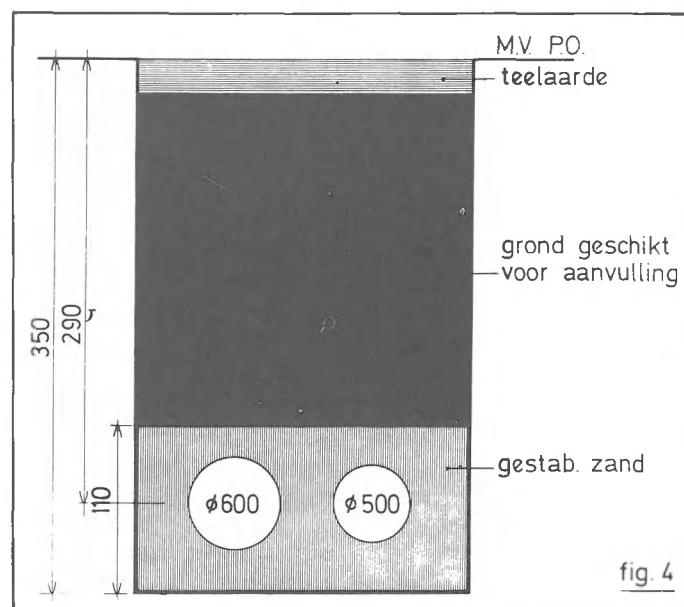
Op de lengte L welke in de vorige paragraaf bepaald werd, wordt een veiligheidscoëfficiënt $\nu = 1,2$ t.o.v. de proefdruk toegepast met een minimum van 1,8 t.o.v. de dienstdruk.

De uiteindelijke trekvast verankerde lengte bedraagt aldus $L_{\text{totaal}} = 2 \cdot \nu \cdot L + L_{\text{bocht}}$.

Indien $L \leq 0$ dient theoretisch geen enkele koppeling trekvast te zijn. Als veiligheid wordt steeds de eerste koppeling als trekvast uitgevoerd.

Rekenvoorbeeld

Twee naast elkaar liggende persleidingen $\varnothing = 500$ mm en $\varnothing = 600$ mm vormen een bocht van 82° . De proefdruk bedraagt $1,5 \text{ N/mm}^2$. De aanvulling rond de buis gebeurt met gestabiliseerd zand. Het niveau van het freatisch oppervlak wordt gelijk verondersteld met het niveau van het maaiveld. De hoek van inwendige wrijving bedraagt slechts 8° . Zodoende is $\mu = \tan \varphi = 0,14$.



$$P = p \cdot S = 1.500 \text{ kN/m}^2 \times \frac{\pi}{4} \times (0,60^2 + 0,50^2) = 718 \text{ kN}$$

$$\mu = 0,14$$

$$G = 2,4 \times 2,25 \times \pi \times 1,10 \times 2,25 \times 12 - \frac{\pi}{4} \times (0,60^2 + 0,50^2) = 88,62 \text{ kN/m}^2$$

$$D_u = 0,72 \text{ m}$$

$$h = 2,9 \text{ m}$$

$$\sigma_a = 2,9 \times 1,1 \times \tan^2(45^\circ - 4^\circ) = 24,1 \text{ kN/m}^2$$

(actieve gronddruk ter hoogte van de as van de buis)

$$\sigma_p = 2,9 \times 1,1 \times \tan^2(45^\circ + 4^\circ) = 42,2 \text{ kN/m}^2$$

(passieve gronddruk ter hoogte van de as van de buis)

$$r = 8,4 \text{ m}$$

$$\alpha = 82^\circ = 1,43 \text{ rad.}$$

$$l = 6 \text{ m}$$

Er wordt aangenomen dat de zijdelingse wrijving werkt op een hoogte $D_u^* = 1,1 \text{ m}$ (omwille van de aanvulling onder en rond de buis met gestabiliseerd zand).

De factoren A en B van de formules (6) en (7) worden aldus :

$$A = 718 \times (1 - \cos 82^\circ) - 2 \times (42,2 - 24,1) \times 8,4 \times 0,72 \times$$

$$\sin^2 41^\circ - \frac{1}{2} \times 0,72 \times 6 \times 18,1 \times \sin 82^\circ - 0,14 \times 88,62 \times 1,43$$

$$+ 8,4 \times \sin 41^\circ - \frac{1}{2} \times 0,14 \times 0,72 \times (1 - \cos 82^\circ) \times 18,1 \times 6 =$$

$$= 382,64 \text{ kN/m}$$

$$B = 0,14 \times (1 - \cos 82^\circ) \times (88,62 + 2 \times 1,1 \times 24,1) = 17,07 \text{ kN}$$

$$L = 382,64 : 17,07 = 22,42 \text{ m}$$

$$L_{\text{totaal}} = 2 \times 1,2 \times 22,42 + 12 = 66 \text{ m}$$