

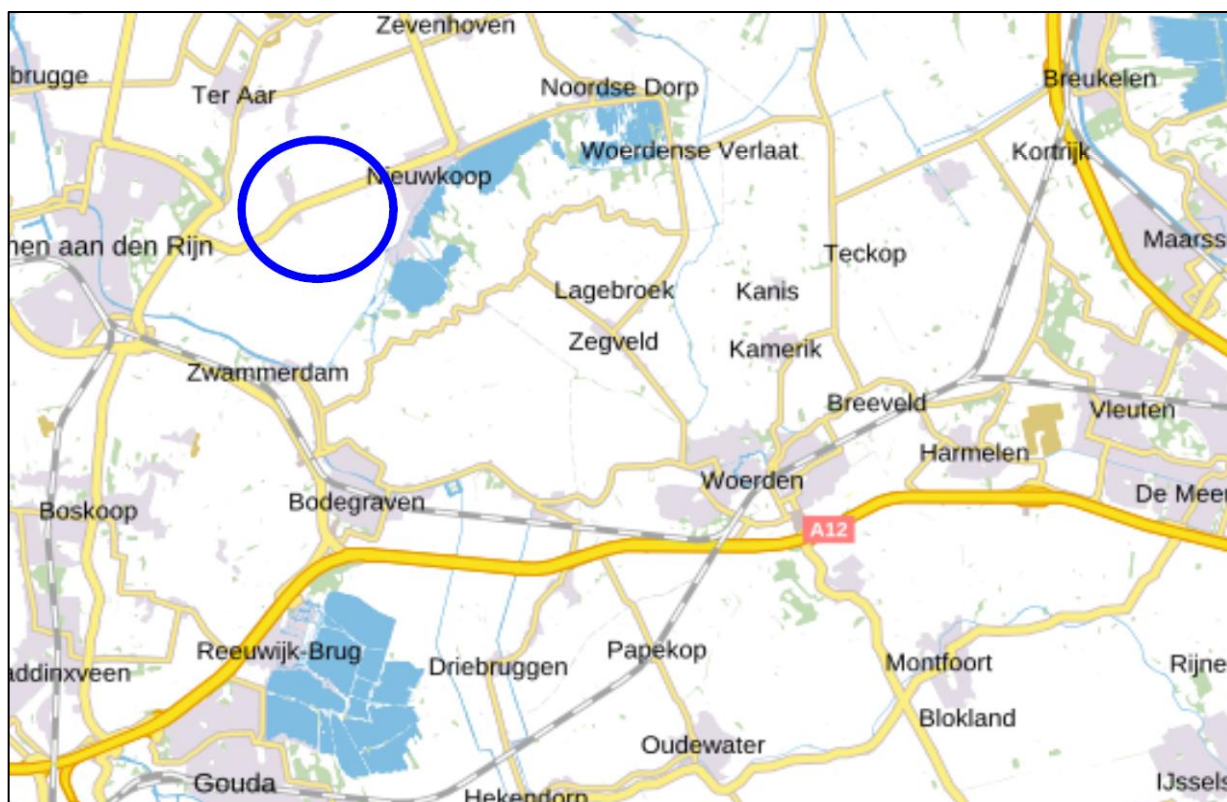
Berekening volgens NEN 3650:2020 (Gelegd/geperst methode: z-sprong)

Naam van het project : Voorbeeld sterkteberekening Sigma type "Gelegd Geperst"

Projectonderdeel : Sterkteberekening Ø 323,9 mm Staal gasleiding

Opdrachtgever : Gasbedrijf X

## Voorbeeld sterkteberekening Sigma type "Gelegd Geperst" Sterkteberekening Ø 323,9 mm Staal gasleiding



*Locatie van de werkzaamheden (fictieve locatie)*

Datum rapport: 27 december 2021



**Kees Schrijvers**  
Adviesbureau Schrijvers BV  
+31(0)6-204 278 34





## Inhoudsopgave

Blz.

|                                                                                   |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---|
| Materiaal en leidinggegevens                                                      | 1 |
| Procescondities                                                                   | 1 |
| Gegevens van het waterstaatswerk                                                  | 1 |
| Dwarsdoorsnede principe veiligheidszone volgens NEN 3651:2020                     | 1 |
| Schematische weergave van stabiliteitszone-, verstoringszone en veiligheidszone b | 1 |
| Berekening kraters                                                                | 2 |
| Factor psi                                                                        | 2 |
| Halve breedte erosiekrater                                                        | 2 |
| Halve lengte erosiekrater                                                         | 2 |
| Veiligheidszone bij evenwijdige ligging                                           | 2 |
| Veiligheidszone bij kruising                                                      | 2 |
| Berekening diepte van de erosiekrater                                             | 2 |
| Spanningen ten gevolge van inwendige druk                                         | 2 |
| Reroundingfactor                                                                  | 3 |
| Berekening neutrale grondbelasting                                                | 3 |
| Passieve grondbelasting t.g.v. inklinken sleuf                                    | 3 |
| Berekening van de verkeersbelasting                                               | 4 |
| Verkeersbelasting geperst gedeelte                                                | 4 |
| Verkeersbelasting open sleuf gedeelte                                             | 5 |
| Berekening indirecte belastingen                                                  | 5 |
| Uitvoeringszakingsverschil tijdens de uitvoering                                  | 5 |
| Zettingsverschil in gebruiksfase leiding                                          | 5 |
| De zettingslengte waarmee gerekend moet worden                                    | 5 |
| Beddingsconstante geperste deel                                                   | 6 |
| Beddingsconstante gelegde deel                                                    | 6 |
| De spanning obx in geperst gedeelte t.g.v. het zettingsverschil                   | 6 |
| Momentcoëfficiënt m-                                                              | 6 |
| De spanning obx in gelegd gedeelte t.g.v. het zettingsverschil                    | 6 |
| Momentcoëfficiënt m+                                                              | 6 |
| Spanningen t.g.v. temperatuurverschil                                             | 6 |
| Toeslag op spanningen indien een bocht wordt toegepast ix, iy, ixp en iyp         | 6 |
| Toetsen berekeningsresultaten aan eisen NEN 3650:2020                             | 7 |
| 1. Toetsen op minimale ringstijfheid                                              | 7 |
| 2. Toetsen op implosie                                                            | 7 |
| 3. Toetsen op deflectie (vervorming)                                              | 7 |
| 4. Toetsen op optredende spanningen                                               | 8 |

## Bijlagen

|           |                                      |
|-----------|--------------------------------------|
| Bijlage A | : Grondgegevens                      |
| Bijlage B | : Uitgangspunten Z-sprong berekening |
| Bijlage C | : Printuitvoer sterkteberekening     |



### Basisgegevens

#### Materiaal en leidinggegevens

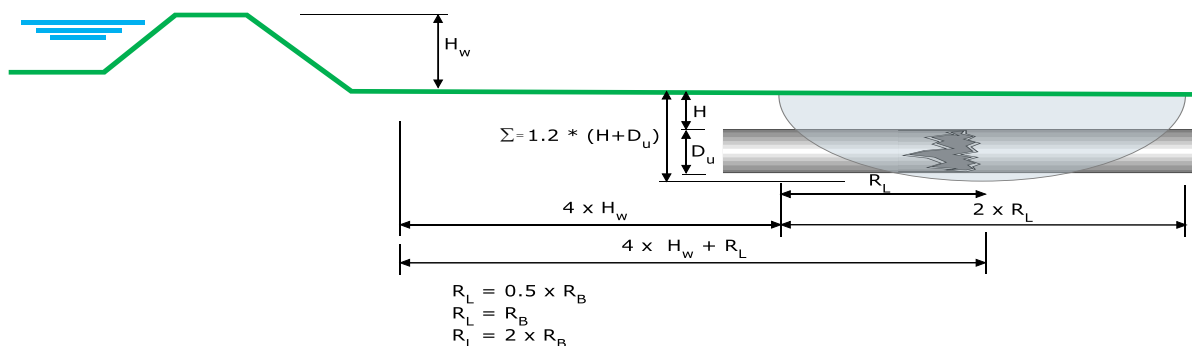
|                     |       |   |            |
|---------------------|-------|---|------------|
| Materiaal           |       | = | Staal L320 |
| Uitwendige diameter | $D_e$ | = | 323,9 mm   |
| Wanddikte           | $d_n$ | = | 12,5 mm    |
| Inwendige diameter  | $D_i$ | = | 298,9 mm   |
| Gemiddelde diameter | $D$   | = | 311,4 mm   |

#### Procescondities

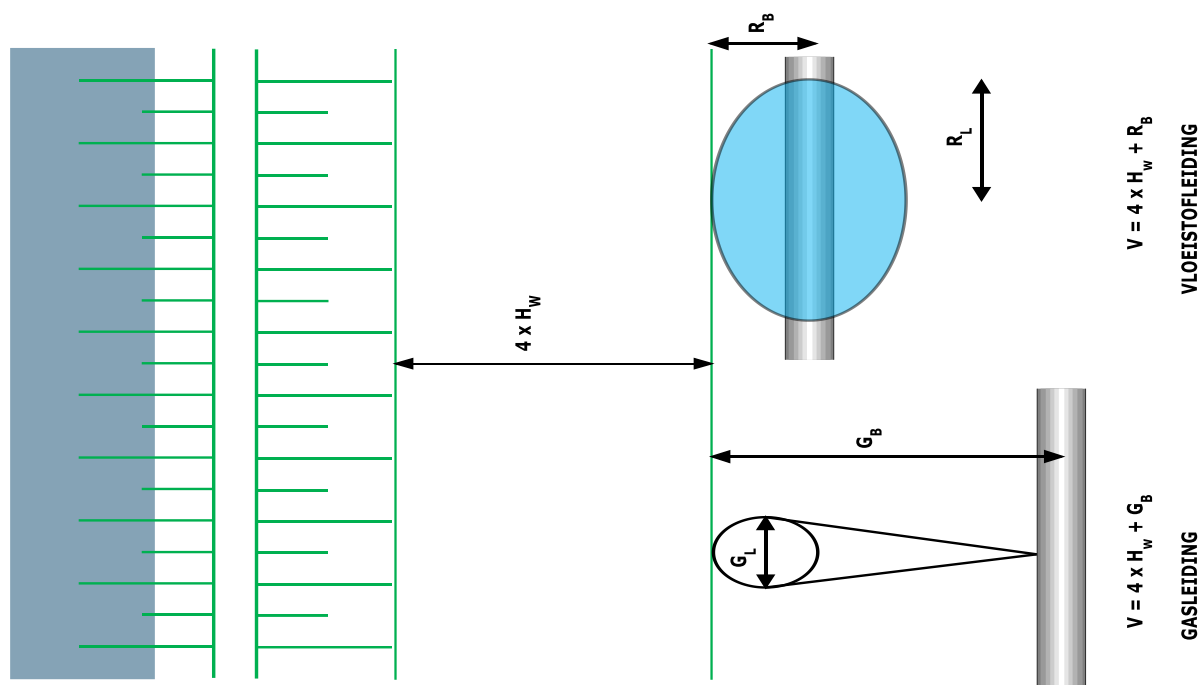
|                        |    |   |                       |
|------------------------|----|---|-----------------------|
| Ontwerpdruk            | pd | = | 0,8 N/mm <sup>2</sup> |
| Volumieke massa medium | p  | = | 0 kg/m <sup>3</sup>   |

#### Gegevens van het waterstaatswerk

|                                                           |                            |               |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------|---------------|
| Verheeld of niet verheeld waterstaatswerk                 |                            | Niet verheeld |
| Hoogteverschil kruin-maaiveld                             | $H_{\text{werk}}$          | 3,00 m        |
| Stabiliteitszone = viermaal hoogteverschil kruin-maaiveld | $H_{\text{werk}} \times 4$ | 12,00 m       |



#### Dwarsdoorsnede principe veiligheidszone volgens NEN 3651:2020



Schematische weergave van stabiliteitszone-, verstoringszone en veiligheidszone bij evenwijdige ligging



### Berekening kraters

|                            |       |   |       |   |
|----------------------------|-------|---|-------|---|
| Factor psi                 | psi   | = | 24,50 | m |
| Halve breedte erosiekrater | $G_B$ | = | 3,91  | m |
| Halve lengte erosiekrater  | $G_L$ | = | 0,98  | m |

### Berekening veiligheidszones

|                                         |          |   |       |   |
|-----------------------------------------|----------|---|-------|---|
| Veiligheidszone bij evenwijdige ligging | $V(G_B)$ | = | 21,34 | m |
| Veiligheidszone bij kruising            | $V(G_L)$ | = | 12,98 | m |

### Berekening diepte van de erosiekrater

|               |       |   |      |   |
|---------------|-------|---|------|---|
| Diepte krater | $D_k$ | = | 4,28 | m |
|---------------|-------|---|------|---|

### Conclusie

Ter plaatse is sprake van kruising met een waterstaatswerk

|                                                                                    |   |       |   |
|------------------------------------------------------------------------------------|---|-------|---|
| Dit betekent dat de veiligheidszone gelijk is aan $4 \times H_{\text{werk}} + R_B$ | = | 15,91 | m |
|------------------------------------------------------------------------------------|---|-------|---|

|                                                                              |      |   |
|------------------------------------------------------------------------------|------|---|
| De diepte van de krater t.o.v. het maaiveld ter plaatse van de buis bedraagt | 4,28 | m |
|------------------------------------------------------------------------------|------|---|

Ter plaatse van het waterstaatswerk en de breedte van de veiligheidszone dient de leiding aan de NEN 3650 en de NEN 3651 te voldoen.

### Spanningen ten gevolge van inwendige druk

Spanning in omtreksrichting

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

|            |   |      |                   |
|------------|---|------|-------------------|
| $\sigma_p$ | = | 9,96 | N/mm <sup>2</sup> |
|------------|---|------|-------------------|

In langsrichting bedraagt de spanning t.g.v. inwendige druk:

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p$$

|               |   |      |                   |
|---------------|---|------|-------------------|
| $\sigma_{pl}$ | = | 2,99 | N/mm <sup>2</sup> |
|---------------|---|------|-------------------|

|                                                                          |   |        |                   |
|--------------------------------------------------------------------------|---|--------|-------------------|
| Toelaatbare spanning = toelaatbare materiaalspanning x importantiefactor | = | 230,40 | N/mm <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------|---|--------|-------------------|

Conclusie: **Voldoet**



Ten gevolge van de inwendige druk "verzet" de leiding zich tegen indrukken voor belastingen van buiten (grond en verkeer). De grootte van de invloed hiervan wordt berekend met de Reroundingfactor

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$$

$$f_{rr} \text{ (geperst)} = 0,98 -$$

$$f_{rr} \text{ (gelegd)} = 0,98 -$$

### Berekeningen van de grondbelastingen

Voor de grondbelasting op de leiding kan gebruik gemaakt worden van informatie uit het Dinoloket, sonderingen, grondboringen of kennis van het gebied.

In de NEN 3650 is tabel B.1 opgenomen. Deze tabel is afgeleid van de NEN 9997-1+C2.

Gelet op het grondonderzoek wordt uitgegaan van

: Zand

### Berekening neutrale grondbelasting

Indien geen grondwater aanwezig is:

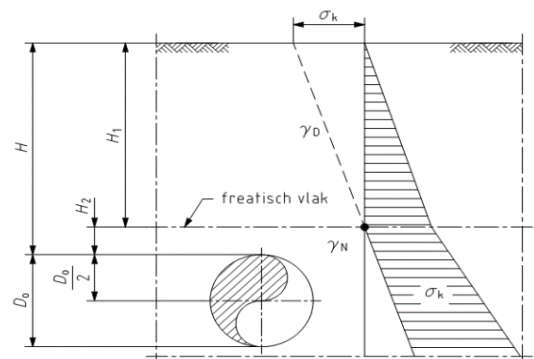
$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

Indien ter plaatse grondwater boven de buis aanwezig is dan volgt:

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

Grondbelasting geperst gedeelte

Grondbelasting gelegde gedeelte



$$Q_n = 24,39 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_n = 8,36 \text{ N/mm}^1$$

### Passieve grondbelasting t.g.v. inklinken sleuf

$$q_p = q_n \times \left( 1 + f_m \frac{H}{D_0} \right)$$

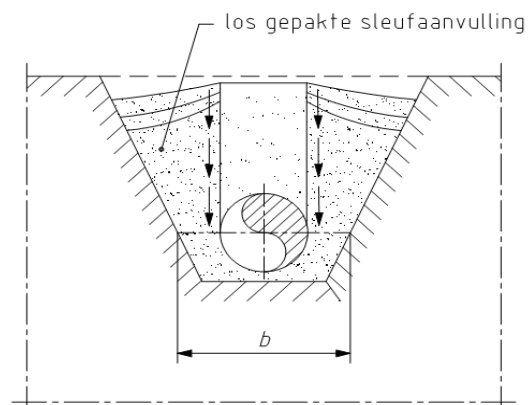
De Marstonfactor  $f_m$  is afhankelijk van de sleufbreedte op buisasniveau.

Zeër smalle sleuf ( $b \leq 1,5 \times D_0$ ):  $f_m = 0$

Smalle sleuf ( $>1,5 \times D_0$   $b \leq 3 \times D_0$ ):  $f_m = 0,1$

Brede sleuf ( $> 3 \times D_0$ ):  $f_m = 0,3$

Passieve grondbelasting t.p.v. open sleuf

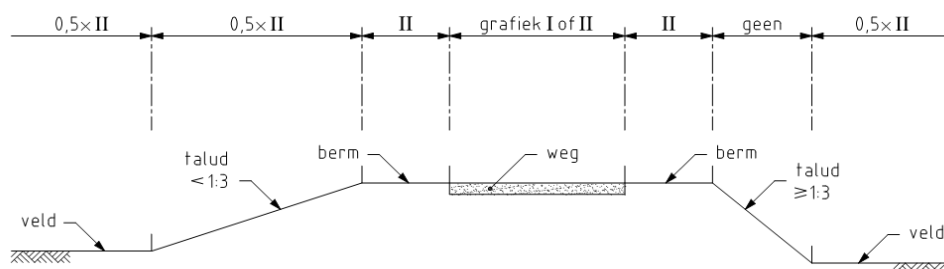


$$Q_p = 19,97 \text{ N/mm}^1$$



## Berekening van de verkeersbelasting

Er wordt bij verkeersbelasting onderscheid gemaakt in drie verkeersklassen:

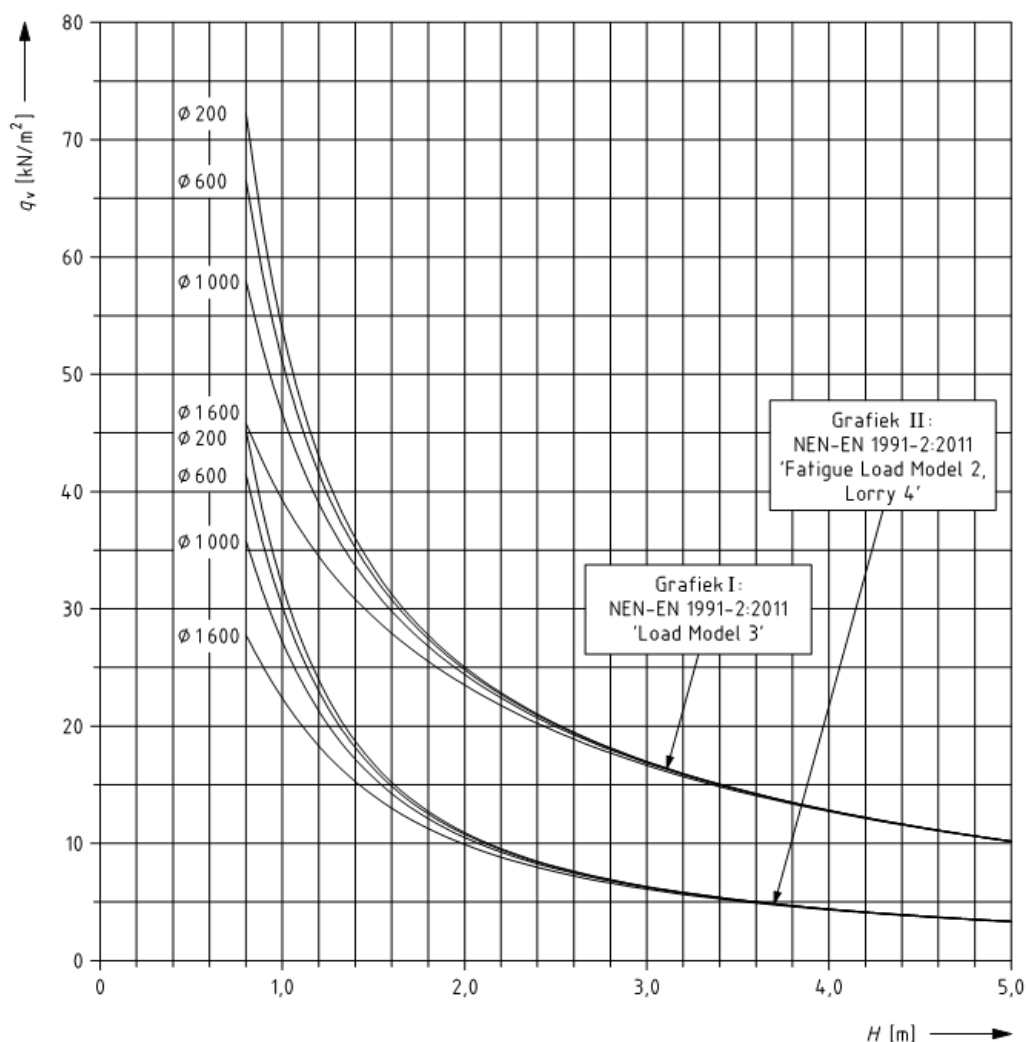


Grafiek I is van toepassing op stroomwegen zoals rijkswegen en provinciale wegen.

Grafiek II is van toepassing voor stadswegen.

Grafiek ½ x II is wordt gebruikt voor gebieden waar incidenteel verkeer komt bijvoorbeeld voor bij maaierwerkzaamheden

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

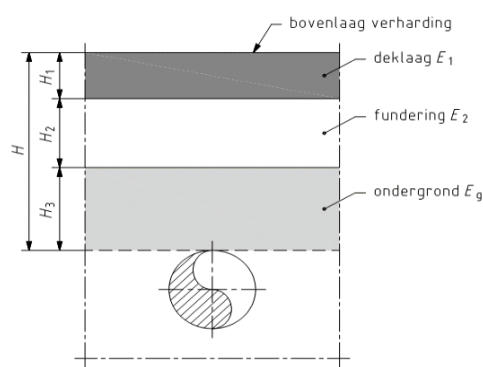
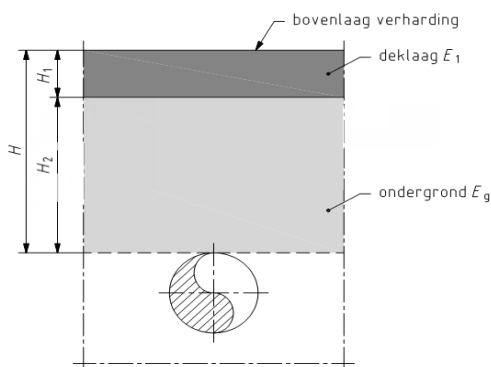




Vanwege de wegconstructie mag in het algemeen de ontlastende invloed hiervan in de berekening worden verdisconteerd. Er wordt onderscheid gemaakt in tweelagen-structuur en drielagenstructuur. Op basis daarvan wordt een equivalente dekkingshoogte bepaald volgens:

$$H_{n,eq} = 0,9 H_n \sqrt[3]{E_n/E_g}$$

In de NEN 3650:2020 wordt onderscheid gemaakt in tweelagenstructuur of drielagenstructuur



In de berekening is geen rekening gehouden met ontlastende invloed van het wegdek

|                                       |       |   |      |                   |
|---------------------------------------|-------|---|------|-------------------|
| Verkeersbelasting geperst gedeelte    | $Q_v$ | = | 4,15 | N/mm <sup>1</sup> |
| Verkeersbelasting open sleuf gedeelte | $Q_v$ | = | 3,25 | N/mm <sup>1</sup> |

### Berekening indirecte belastingen

Berekening invloed zettingen (tijdens uitvoering) gebeurt door het uitvoeringszakkingsverschil in rekening te brengen. De zettingslengte L volgt uit de berekeningsmethode.

Bij dit project is de z-sprongmethode van toepassing.

Op langere termijn komt daar nog een zetting of zakking van de ondergrond daar boven op.

|                                                   |       |   |       |    |
|---------------------------------------------------|-------|---|-------|----|
| Uitvoeringszakkingsverschil tijdens de uitvoering | $f_v$ | = | 25,00 | mm |
| Zettingsverschil in gebruiksfase leiding          | $f_z$ | = | 5,00  | mm |
| De zettingslengte waarmee gerekend moet worden    | L     | = | 4.848 | mm |



### Spanningen t.g.v. uitvoeringszakkingverschil en zettingsverschil

Als gevolg van de overgang van het geperst deel naar het gelegd deel ontstaat spanning in langsrichting.

Beddingsconstante geperste deel  $k_1 = 0,04 \text{ N/mm}^3$

Beddingsconstante gelegde deel  $k_2 = 0,016 \text{ N/mm}^3$

De spanning  $\sigma_{bx}$  ten gevolge van het zettingsverschil wordt als volgt berekend:

$$\sigma_{bx} = m^- \cdot q_0 \cdot D_e \cdot \frac{L^2}{W_b}$$

De spanning  $\sigma_{bx}$  in geperst gedeelte t.g.v. het zettingsverschil  $m^- = 0,240$  -  
 $\sigma_{bx} = 122,86 \text{ N/mm}^2$

In het gelegde deel wordt de buigspanning als volgt berekend:

$$\sigma_{bx} = m^+ \cdot q_0 \cdot D_e \cdot \frac{L^2}{W_b}$$

De spanning  $\sigma_{bx}$  in gelegd gedeelte t.g.v. het zettingsverschil  $m^+ = 0,192$  -  
 $\sigma_{bx} = 98,29 \text{ N/mm}^2$

### Spanningen t.g.v. temperatuurverschil

Indien de leiding in de winter wordt gelegd en er sprake is van een groot verschil in temperatuur tussen medium en omgeving dan is het gebruikelijk om met 10° temperatuurverschil te rekenen. Dit verschil in temperatuur zorgt voor een spanning in langsrichting van de leiding.

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

In deze formule wordt gerekend met het temperatuurverschil, de uitzettingscoëfficiënt en de elasticiteitsmodulus.

De spanning ten gevolge van temperatuurverschil bedraagt  $\sigma_{ax} = 23,87 \text{ N/mm}^2$

### Toeslag op spanningen indien een bocht wordt toegepast $i_x$ , $i_y$ , $i_{xp}$ en $i_{yp}$

Een bocht is slapper dan een rechte buis. Als er een bocht wordt toegepast dan zijn gegevens van de bochtstraal en de wanddikte van de bocht van belang.

Bochtstraal  $R = 0,00 \text{ mm}$

Wanddikte van de bocht  $t = 0,00 \text{ mm}$

$$i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} \quad i_{xp} = \frac{i_x}{C_2}$$

$i_x = 0,00$  -  
 $i_{xp} = 0,00$  -  
 $i_y = 0,00$  -  
 $i_{yp} = 0,00$  -



## Toetsen berekeningsresultaten aan eisen NEN 3650:2020

### 1. Toetsen op minimale ringstijfheid

Met de wanddikte en de elasticiteitsmoduls van het materiaal kan de wandstijfheid worden berekend.

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

De ringstijfheid van de leiding is

$$S_N = 1109,27 \text{ kN/m}^2$$

Minimale ringstijfheid volgens NEN 3650

$$S_{N\_min} = \text{N.V.T.} \text{ kN/m}^2$$

Conclusie toetsing op minimale ringstijfheid:

**Voldoet niet**

### 2. Toetsen op implosie

Als gevolg van de druk van het grondwater kan de leiding imploderen. Bij horizontaal gestuurde boringen kan de leiding imploderen door te hoge boorspoeldrukken.

Volgens de NEN 3650 moet daarom getoetst worden op implosie. Hierbij wordt gekeken naar implosie korte duur en implosie lange duur.

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

Implosie korte duur

$$p_{o,kort} = 19,5 \text{ N/mm}^2$$

Implosie lange duur

$$p_{o,lang} = 9,75 \text{ N/mm}^2$$

Er is een risico op implosie indien meer grondwater aanwezig is dan

$$975,18 \text{ m}$$

Ter plaatse is grondwater boven de buis van

$$h_n = 0,50 \text{ m}$$

Conclusie toetsing op implosie:

**Voldoet**

### 3. Toetsen op deflectie (vervorming)

Met name bij kunststofleidingen is toetsing op deflectie noodzakelijk. Bij het berekenen hiervan wordt bij kunststof gerekend met  $E'$ . Bij staal met  $E$ .

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

Optredende deflectie geperste deel

$$= 1,46 \text{ mm}$$

Optredende deflectie gelegde deel

$$= 0,75 \text{ mm}$$

Maximaal toelaatbare deflectie

$$= 46,71 \text{ mm}$$

Conclusie toetsing op implosie:

**Voldoet**



#### 4. Toetsen op optredende spanningen

Toelaatbare spanning (Toelaatbare materiaalspanning x importantiefactor) = 256,00 N/mm<sup>2</sup>

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx}) \quad \sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

##### Gedurende 1e en 2e jaar na aanleg

Optredende spanningen in omtreksrichting  $\sigma_{y2} = 134,11 \text{ N/mm}^2$  **Voldoet**

Optredende spanningen in langsrichting  $\sigma_x = 146,73 \text{ N/mm}^2$  **Voldoet**

##### Na 2 jaar na aanleg

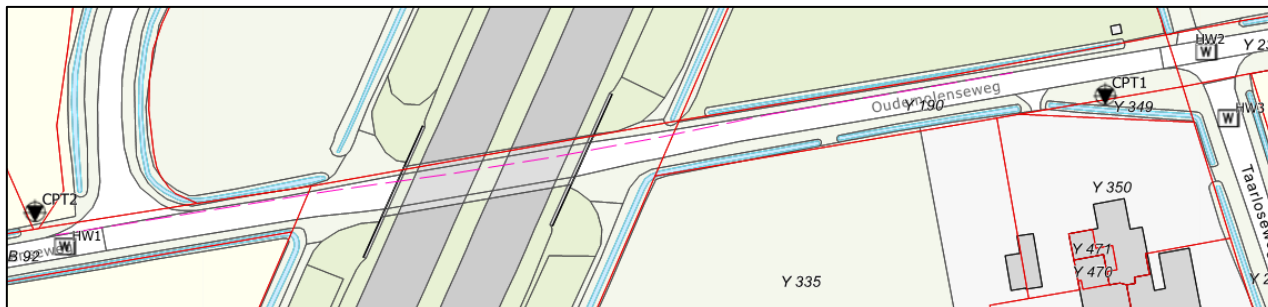
Optredende spanningen in omtreksrichting  $\sigma_{y2} = 102,09 \text{ N/mm}^2$  **Voldoet**

Optredende spanningen in langsrichting  $\sigma_x = 122,16 \text{ N/mm}^2$  **Voldoet**

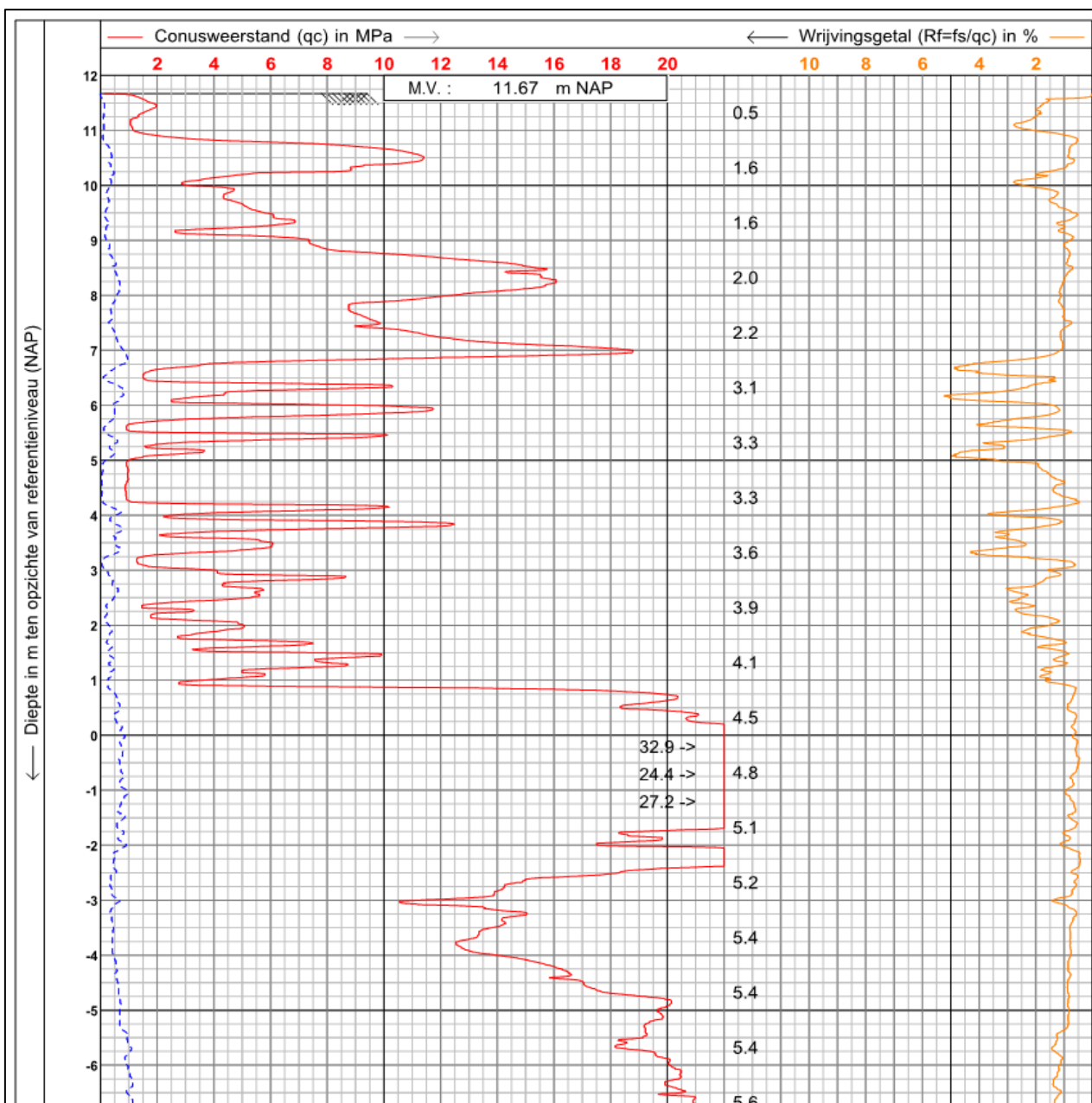


## Overzicht beschikbaar grondonderzoek

Er is grondonderzoek uitgevoerd. Dit is ingelezen in het programma Sigma.



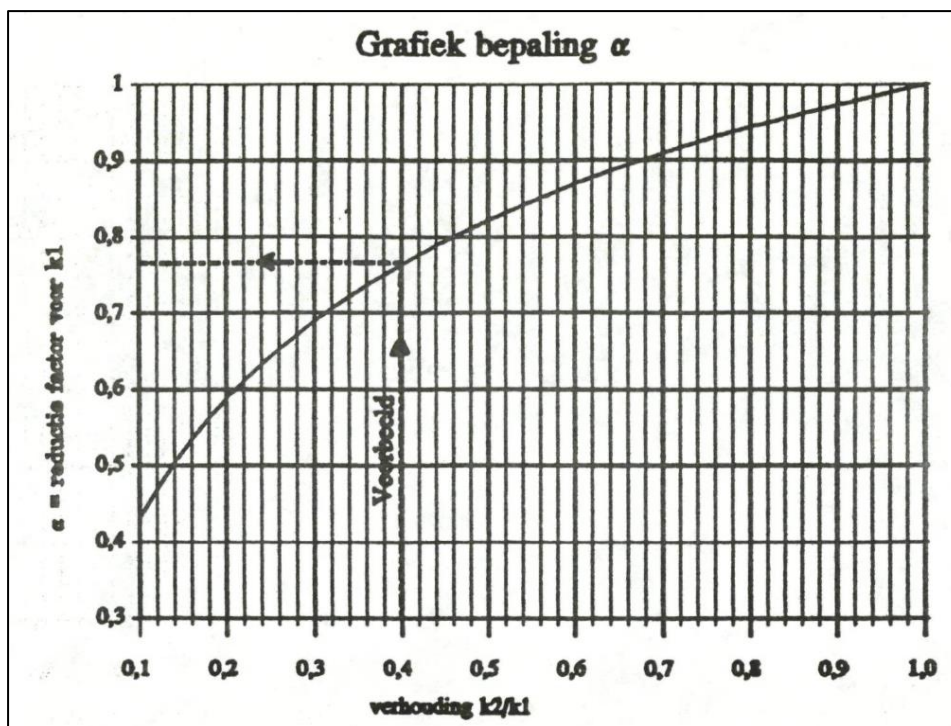
Grondonderzoeken die gebruikt zijn voor de berekeningen



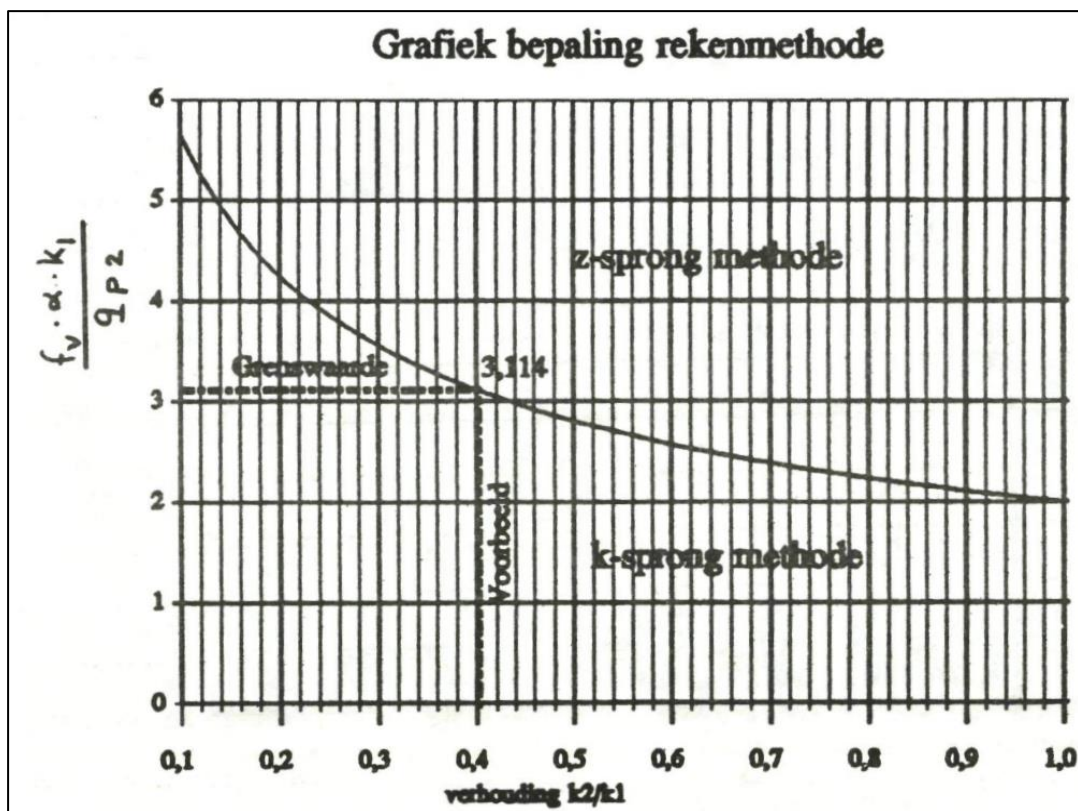
Fragment van sondering nr. 1



## Uitgangspunten Z-sprong berekening



Grafiek bepaling  $\alpha$



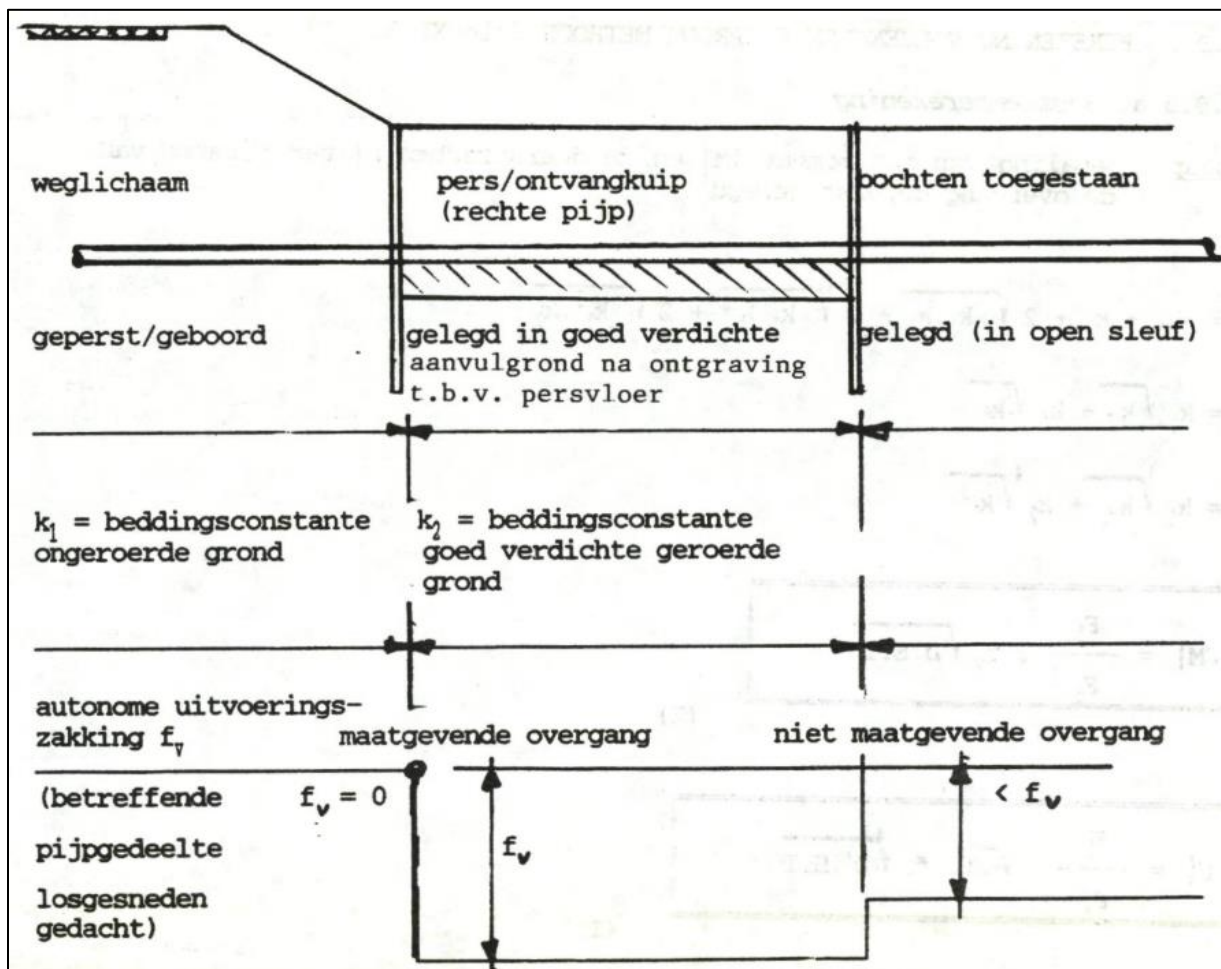
Grafiek bepaling rekenmethode z-sprong / k-sprong

Berekening volgens NEN 3650:2020 (Gelegd/geperst methode: z-sprong)

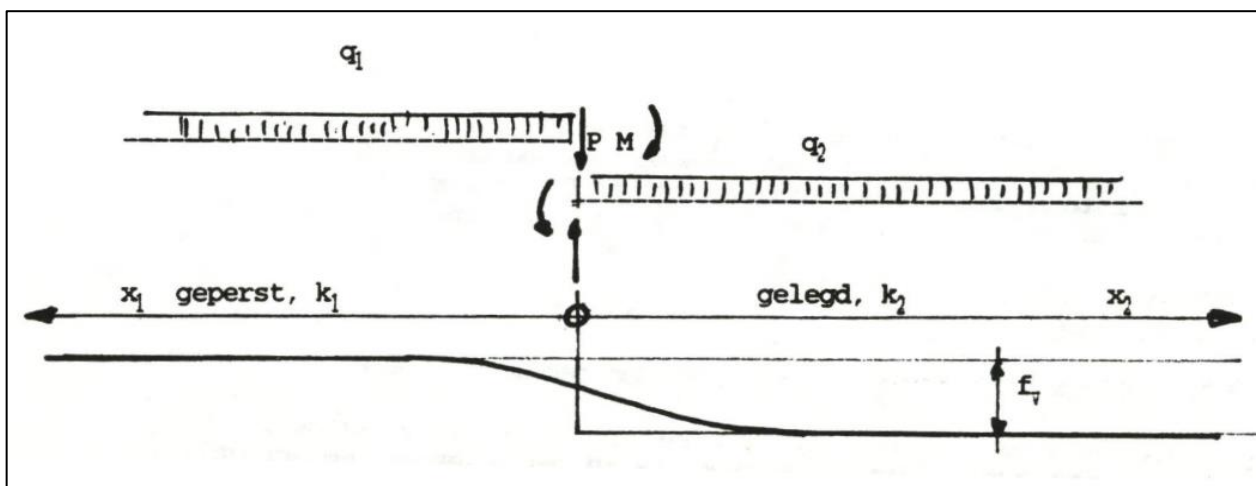
Projectonderdeel : Sterkteberekening Ø 323,9 mm Staal gasleiding

Opdrachtgever : Gasbedrijf X

Bijlage B Uitgangspunten Z-sprong berekening



Schematisatie z-sprong berekening



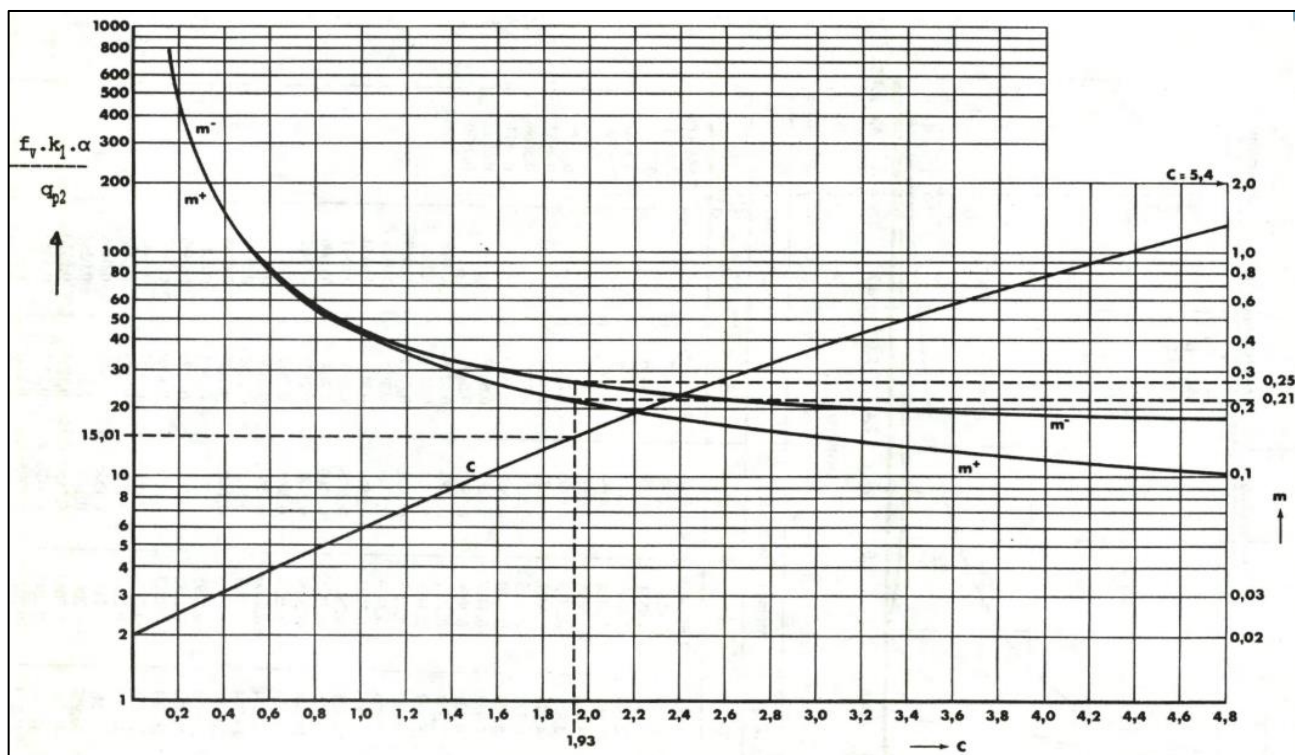
Principes  $q$ ,  $k_1$  (geperst),  $k_2$  (gelegd) en  $f_v$

Berekening volgens NEN 3650:2020 (Gelegd/geperst methode: z-sprong)

Projectonderdeel : Sterkteberekening Ø 323,9 mm Staal gasleiding

Opdrachtgever : Gasbedrijf X

Bijlage B Uitgangspunten Z-sprong berekening



Grafiek om  $m^-$  en  $m^+$  te bepalen

| c     | $\frac{f_y \cdot k_1 \cdot \alpha}{Q_{p2}}$ | Momentcoëfficiënten |          | $\beta$ -coëfficiënten |           |           |
|-------|---------------------------------------------|---------------------|----------|------------------------|-----------|-----------|
|       |                                             | $m^-$               | $m^+$    | $\beta_a$              | $\beta_o$ | $\beta_b$ |
| 1E-10 | 2,000                                       | -1,61E+19           | 1,61E+19 | 7,85E+09               |           | 7,85E+09  |
| 0,1   | 2,215                                       | -17,8528            | 17,7188  | 7,8307                 |           | 7,7724    |
| 0,2   | 2,463                                       | -4,9571             | 4,8504   | 3,8836                 |           | 3,7516    |
| 0,3   | 2,745                                       | -2,4499             | 2,3694   | 2,5576                 |           | 2,3396    |
| 0,4   | 3,064                                       | -1,5324             | 1,4754   | 1,8888                 |           | 1,5788    |
| 0,5   | 3,423                                       | -1,0895             | 1,0561   | 1,4843                 |           | 1,0852    |
| 0,6   | 3,826                                       | -0,8393             | 0,8193   | 1,2126                 |           | 0,7373    |
| 0,7   | 4,274                                       | -0,6827             | 0,6671   | 1,0175                 |           | 0,4863    |
| 0,8   | 4,773                                       | -0,5775             | 0,5622   | 0,8707                 |           | 0,3068    |
| 0,9   | 5,324                                       | -0,5029             | 0,4861   | 0,7563                 |           | 0,1811    |
| 1     | 5,932                                       | -0,4478             | 0,4287   | 0,6648                 |           | 0,0950    |
| 1,1   | 6,601                                       | -0,4059             | 0,3840   | 0,5900                 |           | 0,0370    |
| 1,2   | 7,334                                       | -0,3731             | 0,3483   | 0,5279                 | 0,0013    |           |
| 1,3   | 8,137                                       | -0,3468             | 0,3193   | 0,4757                 | 0,0262    |           |
| 1,4   | 9,012                                       | -0,3255             | 0,2952   | 0,4311                 | 0,0419    |           |
| 1,5   | 9,965                                       | -0,3079             | 0,2749   | 0,3928                 | 0,0515    |           |
| 1,6   | 11,000                                      | -0,2932             | 0,2577   | 0,3595                 | 0,0570    |           |
| 1,7   | 12,121                                      | -0,2807             | 0,2428   | 0,3304                 | 0,0597    |           |
| 1,8   | 13,335                                      | -0,2701             | 0,2299   | 0,3047                 | 0,0606    |           |
| 1,9   | 14,644                                      | -0,2609             | 0,2186   | 0,2820                 | 0,0602    |           |
| 2     | 16,056                                      | -0,2529             | 0,2086   | 0,2618                 | 0,0590    |           |
| 2,1   | 17,574                                      | -0,2460             | 0,1997   | 0,2438                 | 0,0574    |           |
| 2,2   | 19,204                                      | -0,2398             | 0,1917   | 0,2275                 | 0,0554    |           |
| 2,3   | 20,953                                      | -0,2344             | 0,1845   | 0,2129                 | 0,0533    |           |
| 2,4   | 22,824                                      | -0,2295             | 0,1781   | 0,1996                 | 0,0511    |           |
| 2,5   | 24,825                                      | -0,2252             | 0,1722   | 0,1875                 | 0,0489    |           |
| 2,6   | 26,961                                      | -0,2213             | 0,1668   | 0,1766                 | 0,0467    |           |
| 2,7   | 29,238                                      | -0,2178             | 0,1619   | 0,1665                 | 0,0446    |           |
| 2,8   | 31,663                                      | -0,2146             | 0,1574   | 0,1573                 | 0,0426    |           |
| 2,9   | 34,241                                      | -0,2117             | 0,1533   | 0,1488                 | 0,0406    |           |
| 3     | 36,980                                      | -0,2091             | 0,1494   | 0,1411                 | 0,0388    |           |
| 3,1   | 39,885                                      | -0,2067             | 0,1459   | 0,1339                 | 0,0370    |           |
| 3,2   | 42,964                                      | -0,2045             | 0,1426   | 0,1272                 | 0,0353    |           |
| 3,3   | 46,223                                      | -0,2025             | 0,1395   | 0,1210                 | 0,0337    |           |
| 3,4   | 49,670                                      | -0,2006             | 0,1366   | 0,1153                 | 0,0322    |           |
| 3,5   | 53,311                                      | -0,1989             | 0,1339   | 0,1100                 | 0,0308    |           |

Momentcoëfficiënten  $m^-$  en  $m^+$  (volgens Pijpleidingcode 7<sup>e</sup> revisie 1992)

Berekening volgens NEN 3650:2020 (Gelegd/geperst methode: z-sprong)

Projectonderdeel : Sterkteberekening Ø 323,9 mm Staal gasleiding

Opdrachtgever : Gasbedrijf X

Bijlage C Printuitvoer sterkteberekening



## **Sterkteberekening volgens gelegd-geperst methode conform de NEN 3650:2020**