

|                                                                                                                                                     |                  |                         |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|-------------------|
| Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012                                                                          |                  | Sigma 2012 3.0 ©        |                   |
| <b>Algemene gegevens</b>                                                                                                                            |                  |                         |                   |
| Naam van het project : Hogeboomsweeg te Amsterdam<br>Projectonderdeel : 200 PE80 sdr 11 100 mbar lage druk gasleiding<br>Importantiefactor S : 0,85 |                  |                         |                   |
| <b>Materiaalgegevens</b>                                                                                                                            |                  |                         |                   |
| Materiaalsoort:                                                                                                                                     | PE               |                         |                   |
| Kwaliteit:                                                                                                                                          | PE 80 SDR 11     |                         |                   |
| Lange-duur treksterkte                                                                                                                              | MRS              | = 8                     | N/mm <sup>2</sup> |
| Materiaalfactor                                                                                                                                     | $\gamma_M$       | = 1,25                  | -                 |
| Toelaatbare langeduur spanning                                                                                                                      | $\bar{\sigma}_t$ | = 6,40                  | N/mm <sup>2</sup> |
| Elasticiteitsmodulus korte duur                                                                                                                     | E                | = 825                   | N/mm <sup>2</sup> |
| Elasticiteitsmodulus lange duur                                                                                                                     | E'               | = 300                   | N/mm <sup>2</sup> |
| Lineaire uitzettingscoëfficiënt                                                                                                                     | $\alpha_g$       | = 16,0·10 <sup>-5</sup> | mm/(mm·K)         |
| Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal                                                                                                                      | $\alpha_\sigma$  | = 0,65                  | -                 |
| Toelaatbare deflectie                                                                                                                               | $\delta$         | = 8                     | %                 |
| <b>Leidinggegevens</b>                                                                                                                              |                  |                         |                   |
| Uitwendige middellijn                                                                                                                               | D <sub>e</sub>   | = 200,00                | mm                |
| Wanddikte                                                                                                                                           | d <sub>n</sub>   | = 18,2                  | mm                |
| Geen bocht aanwezig                                                                                                                                 |                  |                         |                   |
| <b>Procesgegevens</b>                                                                                                                               |                  |                         |                   |
| Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)                                                                                                          |                  | = Gas                   |                   |
| Temperatuurverschil                                                                                                                                 | $\Delta t$       | = 10,0                  | °                 |
| Ontwerpdruk                                                                                                                                         | p <sub>d</sub>   | = 0,01                  | N/mm <sup>2</sup> |
| <b>Aanleggegevens</b>                                                                                                                               |                  |                         |                   |
| Ligging: Kruising met een waterstaatswerk                                                                                                           |                  |                         |                   |
| Zettingslengte                                                                                                                                      | L                | = 9,333                 | mm                |
| Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld                                                                                                              | H                | = 1,4                   | m                 |
| Gronddekking boven de grondwaterstand                                                                                                               | H <sub>d</sub>   | = 0,8                   | m                 |
| Gronddekking onder de grondwaterstand                                                                                                               | H <sub>n</sub>   | = 0,60                  | m                 |
| Belastinghoek                                                                                                                                       | $\alpha$         | = 180                   | °                 |
| Ondersteuningshoek                                                                                                                                  | $\beta$          | = 70                    | °                 |
| Uitvoeringszakkingverschil                                                                                                                          | f <sub>v</sub>   | = 5,0                   | mm                |
| Zettingsverschil                                                                                                                                    | f <sub>z</sub>   | = 0                     | mm                |
| Klinkpercentage                                                                                                                                     | $\mu$            | = 0,02                  | %                 |
| Marstonfactor                                                                                                                                       | f <sub>m</sub>   | = 0,3                   | -                 |
| <b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>                                                                                   |                  |                         |                   |
| Waterstaatswerk: Niet Verheeld                                                                                                                      |                  |                         |                   |
| Hoogteverschil kruin-maaiveld                                                                                                                       |                  | = 4,0                   | m                 |
|                                                                                                                                                     |                  | 10-12-2015 12:54:46     |                   |

|                                                                            |             |         |                      |                   |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|----------------------|-------------------|
| Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012 |             |         | Sigma 2012 3.0 ©     |                   |
| Grondmechanische gegevens                                                  |             |         |                      |                   |
| Grondsoort                                                                 |             |         | = Zand               |                   |
| Volumiek gewicht droge grond                                               | $\gamma_d$  | = 17    |                      | kN/m <sup>3</sup> |
| Volumiek gewicht natte grond                                               | $\gamma_n$  | = 19    |                      | kN/m <sup>3</sup> |
| Volumiek gewicht water                                                     | $\gamma_w$  | = 10    |                      | kN/m <sup>3</sup> |
| Inwendige wrijvingshoek grond                                              | $\phi$      | = 30    |                      | °                 |
| Effectieve cohesie                                                         | $c'$        | = 0     |                      | kN/m <sup>2</sup> |
| Ongedraineerde schuifsterkte                                               | $c_u$       | = 0     |                      | kN/m <sup>2</sup> |
| E-modulus sleufmateriaal                                                   | $E_1$       | = 5     |                      | MN/m <sup>2</sup> |
| Minimale verticale beddingsconstante                                       | $k_{v,min}$ | = 0,016 |                      | N/mm <sup>3</sup> |
| Gemiddelde verticale beddingsconstante                                     | $k_{v,gem}$ | = 0,018 |                      | N/mm <sup>3</sup> |
| Niet rekenen met horizontale steundruk                                     |             |         |                      |                   |
| Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd                                  | $\gamma$    | = 1,1   |                      |                   |
| Verkeersbelasting                                                          |             |         |                      |                   |
| Grafiek I:                                                                 |             |         | Fatigue Load Model 3 |                   |
| Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek                                |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |
|                                                                            |             |         |                      |                   |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                      |                 |                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      |                 | Sigma 2012 3.0 ©                 |
| <b>1. Eigenschappen van de leiding</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                      |                 |                                  |
| Inwendige middellijn                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $D_i = D_e - 2 \cdot d_n$            | = 163,60        | mm                               |
| Gemiddelde middellijn                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $D_g = (D_e + D_i)/2$                | = 181,80        | mm                               |
| Uitwendige middellijn+bekleding                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $D_o = D_e + 2 \cdot e$              | = 200,00        | mm                               |
| Uitwendige straal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $r_e = D_e / 2$                      | = 100,00        | mm                               |
| Inwendige straal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $r_i = D_i / 2$                      | = 81,80         | mm                               |
| Gemiddelde straal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $r_g = (r_e + r_i) / 2$              | = 90,90         | mm                               |
| Traagheidsmoment buis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$ | = 43.375.425,69 | mm <sup>4</sup>                  |
| Weerstandsmoment buis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $W_b = I_b / r_e$                    | = 433.754,26    | mm <sup>3</sup>                  |
| Wandtraagheidsmoment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $I_w = d_n^3 / 12$                   | = 502,38        | mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup> |
| Wandweerstandsmoment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $W_w = d_n^2 / 6$                    | = 55,21         | mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup> |
| <b>2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                      |                 |                                  |
| Voor gasleidingen geldt: $\Phi$ moet kleiner dan 600 zijn.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      |                 |                                  |
| $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,10} \cdot 8 \cdot 0,16^2)^3}{(1,6 \cdot 0,16 + 1,4)^2} = 0,000026$                                                                                                                                                                                                                                  |                                      |                 |                                  |
| <b>3. Berekening van de veiligheidszone</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                      |                 |                                  |
| $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$<br>$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,000026} = 0,12 \text{ m}$<br>$G_L = G_B / 4 = 0,12 / 4 = 0,03 \text{ m}$<br>Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_L = 4 \cdot 4,00 + 0,03 = 16,03 \text{ m}$                                                                                                                                                                          |                                      |                 |                                  |
| <b>4. Berekening van de spanningen <math>s_p</math> en <math>s_{pl}</math> t.g.v. inwendige druk</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                      |                 |                                  |
| $D_g/d_n = 181,80/18,20 = 9,99 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$<br>$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{100,00^2 + 81,80^2}{100,00^2 - 81,80^2} \cdot 0,01 = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,05 \text{ N/mm}^2$<br>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 6,40 \cdot 0,85 = \mathbf{5,44 \text{ N/mm}^2}$ |                                      |                 |                                  |
| <b>5. Berekening reroundingfactor <math>f_{rr}</math></b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                      |                 |                                  |
| $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 90,9^3 \cdot 0,102}{825 \cdot 502,38}) = 1,00$                                                                                                                                                                                                                                          |                                      |                 |                                  |
| <b>6. Berekening van de neutrale grondbelasting <math>Q_n</math></b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                      |                 |                                  |
| $q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$<br>$q_n = 1,1 \cdot 17 \cdot 0,8 + 1,1 \cdot 19 \cdot 0,6 - 10 \cdot 0,6 = 21,50 \text{ kN/m}^2$<br>$Q_n = q_n \cdot D_o$<br>$Q_n = 21,50 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 4,30 \text{ N/mm}^1$                                                                                                                        |                                      |                 |                                  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Sigma 2012 3.0 ©    |
| <b>7. Berekening van de passieve grondbelasting <math>Q_p</math></b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |
| $q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o}\right)$ $q_p = 21,50 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{1,4}{0,2}\right) = 66,65 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 66,65 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 13,33 \text{ N/mm}^1$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |
| <b>8. Berekening van de reële grondbelasting <math>Q_k</math></b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |
| $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,2}{5^{0,5} \cdot \sqrt{1,4/0,2}} = 0,0068 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 21,50 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,2}{0,0068} \cdot (66,65 - 21,50)}{1 + \frac{66,65 - 21,50}{0,0068 \cdot 0,0160 \cdot 10^6}} = 40,35 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 40,35 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 8,07 \text{ N/mm}^1$                                                                         |                     |
| <b>9. Berekening van de verkeersbelasting <math>Q_v</math> volgens Grafiek I NEN 3650-1:C.17</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |
| <p>Niet rekenen met ontlastende invloed</p> $q_v = 36,05 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 36,05 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 7,21 \text{ N/mm}^1$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                     |
| <b>10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding <math>\lambda</math></b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |
| $\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{200 \cdot 0,018}{4 \cdot 825 \cdot 43.375.425,69}} = 0,0022 \text{ mm}^{-1}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |
| <b>11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                     |
| <p>Zettingslengte <math>L = 9.333 \text{ mm}</math></p> $\lambda \cdot L = 0,0022 \cdot 9.333 = 20,90$ <p><math>i = 0,900</math> (= 90,0 % inklemming)</p> <p><math>B_z = 0,000360</math> (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 4)</p> $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$ $Q_z = 0,000360 \cdot 5,0 \cdot 200 \cdot 0,018 = 0,0065 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,0065 \cdot 0,0022 \cdot 9.333 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0022 \cdot 9.333}{6}\right) = 0,55 \text{ N/mm}^1$ |                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 10-12-2015 12:54:46 |

**12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)**

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (5,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot 200 \cdot 0,018 = 0,0065 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,0065 \cdot 0,0022 \cdot 9.333 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0022 \cdot 9.333}{6}\right) = 0,55 \text{ N/mm}^1$$

**13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen**

Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 18,40$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 15,07$$

$$B = D_o = 0,20 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,40 + 0,20 / 2 = 1,50 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,42$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + (\gamma' \gamma_n - \gamma_w) \cdot D_o / 2) / Z = 15,06 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 579,18 \text{ kN/m}^2 = 0,58 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,58 \cdot 200,00 = 115,84 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

| Situatie 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar | Conclusie:                         | Situatie na 2 jaar              | Conclusie:                         |
|------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| $Q_k = 8,07 \text{ N/mm}^1$                    | Geen aanpassing<br>van $Q_d$ nodig | $Q_n = 4,30 \text{ N/mm}^1$     | Geen aanpassing<br>van $Q_d$ nodig |
| $Q_v = 7,21 \text{ N/mm}^1$                    |                                    | $Q_v = 7,21 \text{ N/mm}^1$     |                                    |
| $Q_d = 0,55 \text{ N/mm}^1 +$                  |                                    | $Q_d = 0,55 \text{ N/mm}^1 +$   |                                    |
| $\Sigma = 15,83 \text{ N/mm}^1$                |                                    | $\Sigma = 12,06 \text{ N/mm}^1$ |                                    |

**14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)**

Moment t.g.v.  $Q_k$  en  $Q_v$

$$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,178 \cdot (8,07 + 7,21) \cdot 90,90$$

$$M_q = 247,23 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v.  $Q_d$

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,55 \cdot 90,90$$

$$M_{qd} = 6,05 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v.  $M_q$  en  $M_{qd}$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (247,23 + 6,05) / 55,21 = 4,57 \text{ N/mm}^2$$

|                                                                                                                                                        |  |                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------|
| Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012                                                                             |  | Sigma 2012 3.0 ©                         |
| <b>15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)</b>                                                             |  |                                          |
| Moment t.g.v. $Q_n$ en $Q_v$                                                                                                                           |  | Moment t.g.v. $Q_d$                      |
| $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$                                                                                                                |  | $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ |
| $M_q = 0,178 \cdot (4,30 + 7,21) \cdot 90,90$                                                                                                          |  | $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,55 \cdot 90,90$  |
| $M_q = 186,24 \text{ Nmm/mm}^1$                                                                                                                        |  | $M_{qd} = 6,05 \text{ Nmm/mm}^1$         |
| Spanning t.g.v. $M_q$ en $M_{qd}$                                                                                                                      |  |                                          |
| $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$                                                                                                         |  |                                          |
| $\sigma_q = 1,00 \cdot (186,24 + 6,05) / 55,21 = \mathbf{3,47 \text{ N/mm}^2}$                                                                         |  |                                          |
| <b>16. Berekening van de spanning <math>\sigma_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math></b>                                      |  |                                          |
| $\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$                                                                               |  |                                          |
| $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 5,0 \cdot \sqrt{\frac{825 \cdot 0,018}{18,2}} = \mathbf{0,09 \text{ N/mm}^2}$                                              |  |                                          |
| <b>17. Berekening van de spanning <math>\sigma_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math> en zettingsverschil <math>f_z</math></b> |  |                                          |
| $\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$                                                             |  |                                          |
| $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (5,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{825 \cdot 0,018}{18,2}} = \mathbf{0,09 \text{ N/mm}^2}$                              |  |                                          |
| <b>18. Berekening van de spanning <math>\sigma_{ax}</math> t.g.v. temperatuurverschil</b>                                                              |  |                                          |
| $\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$                                                                                                        |  |                                          |
| $\sigma_{ax} = 10,0 \cdot 0,00016 \cdot 825 = \mathbf{1,32 \text{ N/mm}^2}$                                                                            |  |                                          |
| <b>19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht</b>                                                                                  |  |                                          |
| Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt:                                                                                                         |  |                                          |
| $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$                                                                                                             |  |                                          |
| <b>20. Toetsing op minimale ringstijfheid <math>S_N</math></b>                                                                                         |  |                                          |
| $S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$                                                                                                                      |  |                                          |
| $S_N = 825 \cdot \frac{502,38}{181,8^3} = 0,07 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{68,98 \text{ kN/m}^2}$                                                         |  |                                          |
| Minimaal vereiste ringstijfheid = <b>2 kN/m<sup>2</sup></b>                                                                                            |  |                                          |
| <b>21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk</b>                                                                                  |  |                                          |
| Veiligheidsfactor $\gamma$ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$                                                                                     |  |                                          |
| Veiligheidsfactor $\gamma$ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$                                                                                  |  |                                          |
| $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$                                                                    |  |                                          |
| $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 825,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 1,31 \text{ N/mm}^2$                               |  |                                          |
| $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 300,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 0,24 \text{ N/mm}^2$                                 |  |                                          |
| Conclusie: Kans op implosie bij <b>23,89 m</b> grondwater boven de leiding                                                                             |  |                                          |
|                                                                                                                                                        |  | 10-12-2015 12:54:46                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Sigma 2012 3.0 ©    |
| <b>22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                     |
| $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (4,30 + 7,21) - 0,083 \cdot (1 - \sin(30^\circ)) \cdot (4,30 + 7,21) + 0,048 \cdot 0,55) \cdot 90,90^3}{300 \cdot 502,38} = \mathbf{2,86 \text{ mm}} (= 1,57\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D<sub>g</sub> = 0,08 · 0,85 · 181,80 = <b>12,36 mm</b></p> |                     |
| <b>23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |
| <p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,57 = \mathbf{2,97 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 0,09 + 1,32 = \mathbf{1,38 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 6,40 \cdot 0,85 = \mathbf{5,44 \text{ N/mm}^2}</math></p>                                                                            |                     |
| <b>24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                     |
| <p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,47 = \mathbf{2,26 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 0,09 + 1,32 = \mathbf{1,38 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 6,40 \cdot 0,85 = \mathbf{5,44 \text{ N/mm}^2}</math></p>                                                                            |                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 10-12-2015 12:54:46 |